



# 目录

<b>1</b>	<b>实验综述</b>	<b>3</b>
1.1	实验原理	3
1.1.1	同相位与反相位观察	3
1.1.2	测量拍频	3
1.1.3	李萨如图形法测量两信号的相位差	4
<b>2</b>	<b>实验内容</b>	<b>5</b>
2.1	实验数据	5
2.1.1	同相位与反相位观察	5
2.1.2	测量拍频	5
2.1.3	李萨如图形法测量两信号的相位差	6
2.2	结果与误差分析	8
2.2.1	同相位与反相位观察	8
2.2.2	测量拍频	9
2.2.3	李萨如图形法测量两信号的相位差	9
<b>3</b>	<b>实验拓展</b>	<b>9</b>
3.1	简述“拍”和“拍频”	9
3.2	拍摄示波器显示的拍频图像的方法	10
3.3	拍频原理的实际应用事例	10
<b>4</b>	<b>参考文献</b>	<b>11</b>

# 1 实验综述

示波器是一种电子测量仪器，用于观察和分析电信号的波形。它通过将电信号转换为可视化的图形显示在屏幕上，使我们能够测量信号的幅度、频率、相位等参数。

波是指在空间和时间中传播的振动或扰动，具有周期性，反射和折射等特性。

本实验共有三个部分：

1. 同相位与反相位观察
2. 测量拍频
3. 李萨如图形法测量两信号的相位差

## 1.1 实验原理

### 1.1.1 同相位与反相位观察

利用示波器信号相加的 add 功能，可以观察两个信号的同相位和反相位的情况。

### 1.1.2 测量拍频

拍指的是同方向的两个频率相差不大的简谐波叠加时，叠加后的波形的幅值将随时间作强弱的周期性的变化的现象。本实验主要探究两个同方向不同频率的简谐波叠加形成的拍。

假设两个振幅相同、初相位一致且频率接近的谐振动：

$$y_1 = A \cos(\omega_1 t + \phi), \quad y_2 = A \cos(\omega_2 t + \phi)$$

合振动为：

$$y(t) = y_1(t) + y_2(t) = 2A \cos\left(\frac{\omega_2 - \omega_1}{2}t\right) \cos\left(\frac{\omega_2 + \omega_1}{2}t + \phi\right)$$

其中，幅值  $2A \cos\left(\frac{\omega_2 - \omega_1}{2}t\right)$  随时间缓慢变化，最大值  $2A$ ，最小值  $0$ 。

拍频为：

$$\nu_{\text{拍频}} = |\omega_2 - \omega_1|, \quad T_{\text{拍频}} = \frac{1}{|\omega_2 - \omega_1|}$$

在实验中，我们通过调节示波器获得稳定的拍的图像，在利用光标测量的功能测出拍频。

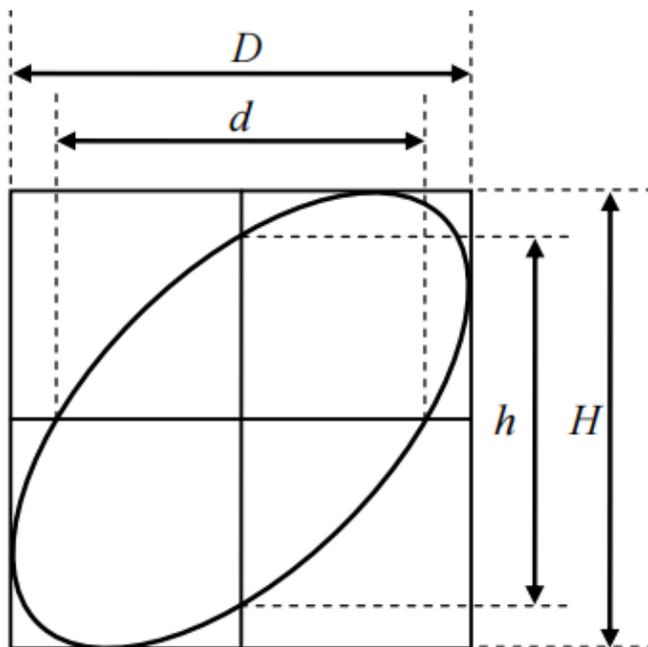


图 1: 李萨如图形的测量值

### 1.1.3 李萨如图形法测量两信号的相位差

李萨如图形的作用在上学期的实验 I 中已经学习过。在本次实验中，通过测量李萨如图形的相关值，可以计算得所测两个波的相位差。

设  $d$  为椭圆与 X 轴相交点的间距值， $D$  为椭圆 X 轴方向最大值， $h$  为椭圆与 Y 轴相交点的间距值， $H$  为椭圆 Y 轴方向最大值。

输入示波器 CH1 和 CH2 的简谐振动方程为：

$$x = A \sin(\omega t), \quad y = B \sin(\omega t + \varphi)$$

当  $t = 0$  时：

$$x = 0, \quad y = B \sin(\varphi)$$

$$\sin(\varphi) = \frac{y}{B} = \frac{h}{H}, \quad h = 2y, \quad H = 2B$$

当  $t = \frac{\pi}{\omega} - \varphi$  时：

$$x = A \sin(\varphi), \quad y = 0$$

$$\sin(\varphi) = \frac{x}{A} = \frac{d}{D}, \quad d = 2x, \quad D = 2A$$

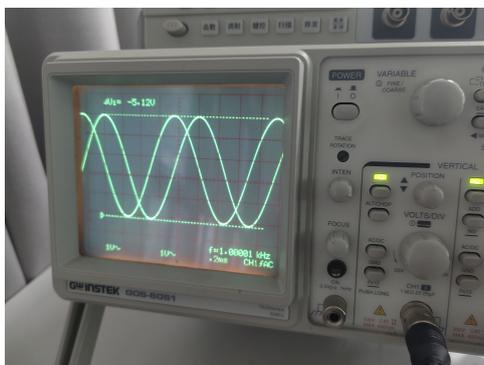
因此，测量  $d$ 、 $D$  或  $h$ 、 $H$  即可求得相位差。为减小误差，采用平均值法：

$$\varphi = \frac{\arcsin\left(\frac{h}{H}\right) + \arcsin\left(\frac{d}{D}\right)}{2}$$

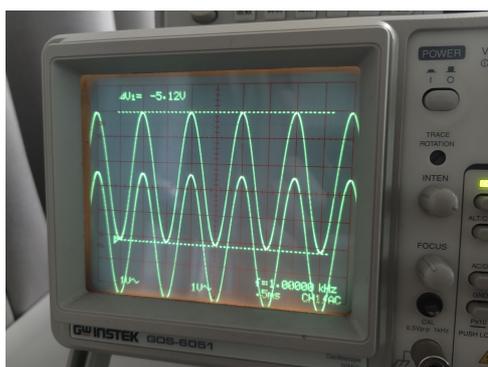
## 2 实验内容

### 2.1 实验数据

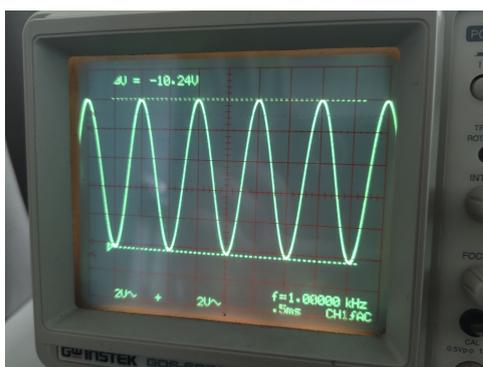
#### 2.1.1 同相位与反相位观察



(a) 反相位



(b) 同相位



(c) 同相位叠加后

图 2: 同相位与反相位的波形

反向相位的波形如图2a所示，同向相位的波形如图2b及2c所示。

$V_{CH1}$	$V_{CH2}$	V 叠加 (示波器读数)	$V = V_{CH1} + V_{CH2}$	$\Delta =  V - V_{\text{叠加}} $
5.00	5.00	10.24	10.00	0.24

表 1: 同相位叠加观察的数据

#### 2.1.2 测量拍频

四次拍频测量的图片分别为:

实验次数	$v_2(KHz)$	$v(Hz)$	$v_{拍频}(Hz)$	$\Delta(Hz) =  v - v_{拍频} $	相对误差 (%)
1	1.08	80.0	79.6	0.4	0.500
2	1.12	120	119	1	0.833
3	1.16	160	158	2	1.25
4	1.20	200	201	1	0.500

表 2: 测量拍频数据

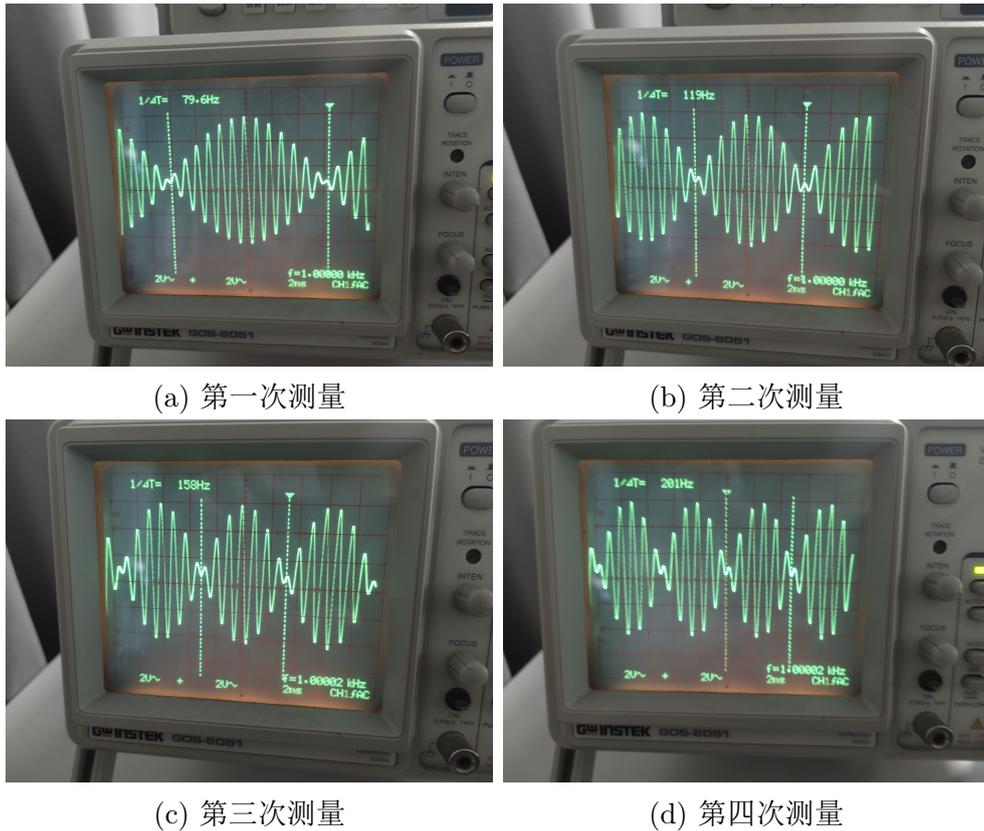
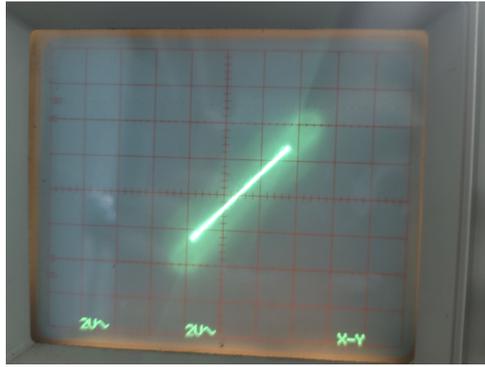


图 3: 拍频测量的波形

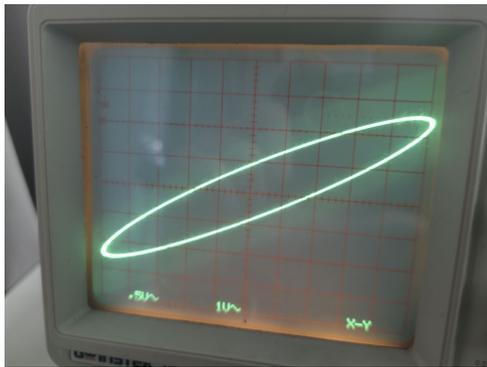
### 2.1.3 李萨如图形法测量两信号的相位差

实验次数	$\phi_2(\text{度})$	$\phi'(\text{度}) =  \phi_1 - \phi_2 $	$h/V$	$H/V$	$D/V$	$d/V$	$\phi/V$	$\Delta/V$	相对误差 (%)
1	20	20	1.75	5.2	4.9	1.7	19.9	0.1	0.5
2	40	40	3.3	5.1	5.2	3.2	39.2	0.8	2
3	60	60	4.4	5.2	5.2	4.35	57.3	2.7	4.5
4	120	120	4.4	5.2	5.2	4.35	123	3	2.50
5	140	140	3.25	5.2	5.4	3.3	142	2	1.43
6	160	160	1.75	5.1	5.1	1.7	161	1	0.625

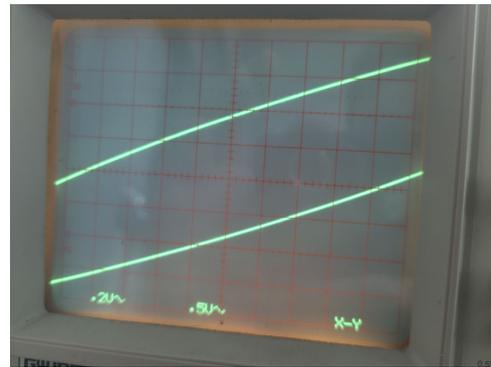
对于每一次相位差的测量，都拍摄了两张图片。



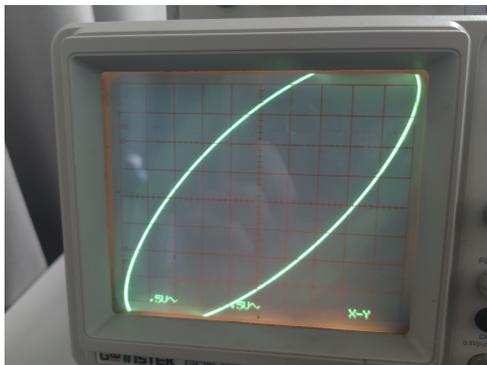
(a) 校准



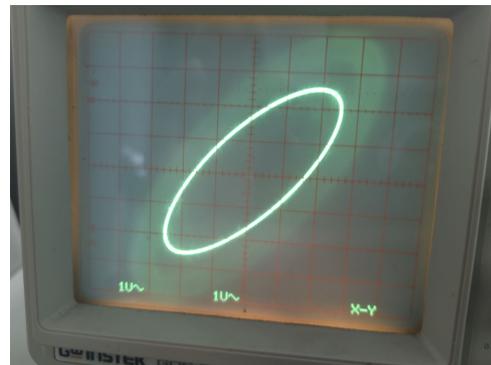
(b) 第一次测量



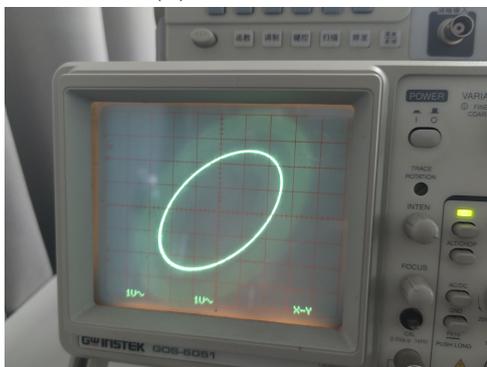
(c) 第一次测量



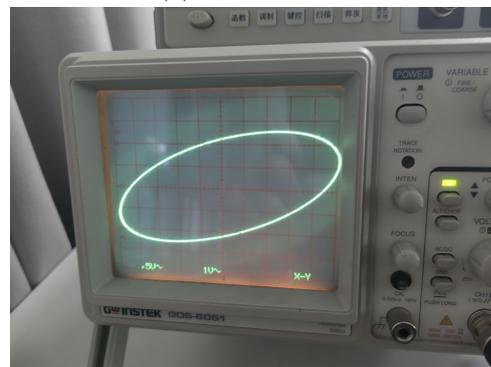
(d) 第二次测量



(e) 第二次测量

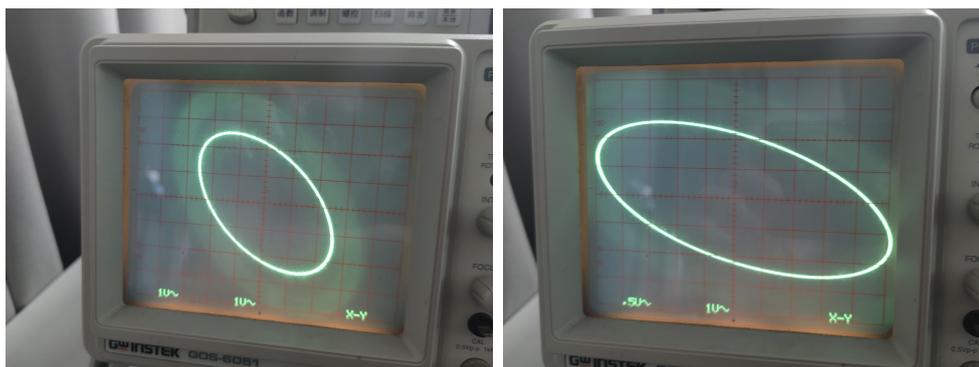


(f) 第三次测量



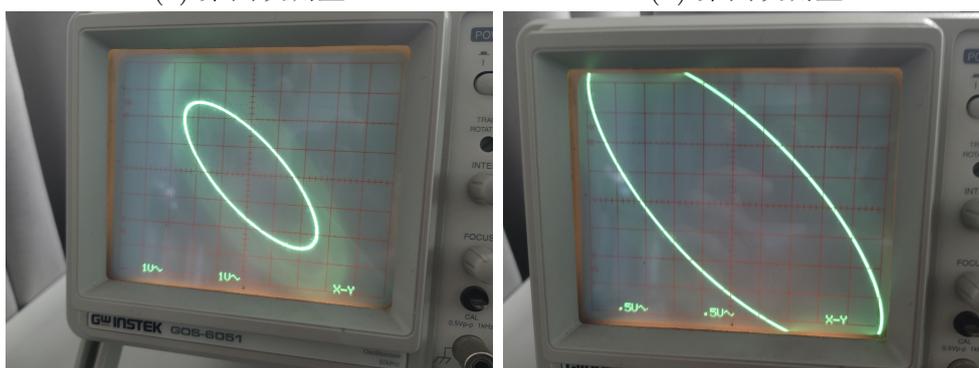
(g) 第三次测量

图 4: 李萨如图形测量图片组 1



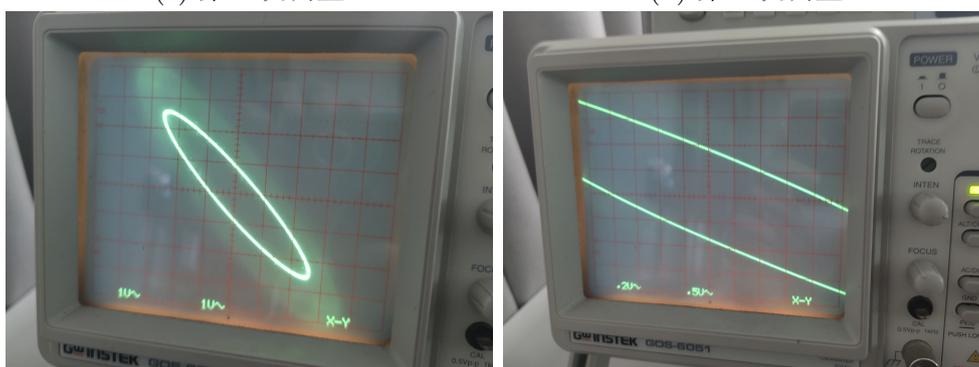
(a) 第四次测量

(b) 第四次测量



(c) 第五次测量

(d) 第五次测量



(e) 第六次测量

(f) 第六次测量

图 5: 李萨如图形测量图片组 2

## 2.2 结果与误差分析

### 2.2.1 同相位与反相位观察

- 同相位与反相位的波形如图2b和2a所示，可以看出同相位波形的叠加的数值相加特点。
- 通过示波器读数和计算得到的叠加波形的幅值有一定的误差，误差为 0.24，误差在可接受范围内。

### 2.2.2 测量拍频

在拍频的测量中，我们测量了四次拍频，得到的数据如表格所示。可以看出，测量的拍频与实际值有一定的误差，但误差在 5% 以内，可以接受。可能的误差来源于示波器测量精度限制，信号发生器输出不稳定，以及理想的拍频波形难以实现等因素。

### 2.2.3 李萨如图形法测量两信号的相位差

在本实验中,h,d 等物理量的读取主要依靠人眼估读，因此存在一定误差。在实验中，我们尽量减小误差，采用平均值法，取多次测量的平均值，减小误差。通过计算，我们得到的相位差与实际值有一定的误差，但误差均在在 5% 以内，可以接受，说明我们的实验操作是合理的。

## 3 实验拓展

### 3.1 简述“拍”和“拍频”

拍是指当两个频率非常接近的简谐振动叠加时，合成振动的振幅会随时间发生周期性的增强和减弱。这种振幅的周期性变化现象称为“拍”。

拍频是指振幅变化的频率，等于两个振动频率之差的绝对值，即：

$$f_{\text{拍}} = |f_1 - f_2|$$

数学推导（来自讲义）：

设两个简谐振动为：

$$y_1 = A \cos(\omega_1 t)$$

$$y_2 = A \cos(\omega_2 t)$$

它们的合振动为：

$$y = y_1 + y_2 = A \cos(\omega_1 t) + A \cos(\omega_2 t)$$

应用三角恒等式，有：

$$y = 2A \cos\left(\frac{\omega_1 - \omega_2}{2}t\right) \cos\left(\frac{\omega_1 + \omega_2}{2}t\right)$$

其中，

1. 振幅项:

$$2A \cos\left(\frac{\omega_1 - \omega_2}{2}t\right)$$

表示振幅的缓慢变化,体现了“拍”现象。

2. 频率项:

$$\cos\left(\frac{\omega_1 + \omega_2}{2}t\right)$$

表示合振动的快速振荡。

因此,振幅以频率  $f_{\text{拍}} = |f_1 - f_2|$  缓慢变化,形成拍现象。

### 3.2 拍摄示波器显示的拍频图像的方法

按照实验讲义的内容,可以按照如下方法得到拍频图像并拍照:

1. **设置信号源:** 连接两个频率稍有不同的信号源到示波器的输入通道 (CH1 与 CH2), 并点击 add 按钮。
2. **调整示波器参数:** 设置合适的时间基准和电压范围。
3. **触发设置:** 选择合适的触发模式和触发电平, 确保波形稳定显示。
4. **拍摄屏幕图像:** 使用专业模式 (ISO=50、S=1/8、EV=0) 的手机相机拍摄示波器屏幕上的拍频波形。

### 3.3 拍频原理的实际应用事例

我想介绍的是无线电通信中的拍频应用。

**基本原理:**

在无线电通信中,拍频现象可用于信号的混频和频率转换。通过将两个略有不同频率的信号混合,可以生成新的频率成分,包括和频与差频。差频即为拍频。

**实验方法:**

1. **准备设备:** 准备两个频率不同的无线电信号源 (如信号发生器)、混频器, 以及示波器。
2. **连接信号源:** 将两个信号源分别连接到混频器的输入端。
3. **进行混频:** 混频器将两个输入信号进行非线性混合, 产生和频与差频。

4. 观察输出信号：使用示波器查看混频器输出，识别和频与差频成分。
5. 分析拍频信号：通过测量差频的频率，可以实现对原始信号频率的调整或提取。

## 4 参考文献

本实验无参考文献。