

物理实验报告

实验名称： 示波器的使用

实验桌号：

指导教师： 殷立明

班级：

姓名：

学号：

实验日期: 2025 年 6 月 5 日 星期四上午

浙江大学物理实验教学中心

一、预习报告

1. 实验综述

实验现象：

波形显示：示波器屏幕呈现被测电信号（如正弦波、方波）的实时波形。

触发同步：调节触发电平和扫描速度后，滑动波形变为稳定显示。

李萨如图：X-Y 模式下，两垂直信号叠加形成稳定图形（如椭圆、 ∞ 形），其形状反映频率比和相位差。

测量光标：使用光标法时，移动水平/垂直线可直接读取电压差（ ΔV ）或时间差（ ΔT ）。

实验原理：

偏转系统：电子束受垂直（Y 轴）、水平（X 轴）偏转板电压控制，光点位移与电压成正比。

扫描原理：X 轴扫描电压将 Y 轴信号沿时间轴展开；触发同步确保扫描起点与信号周期匹配，稳定波形。

李萨如图：两信号频率比为整数比时，形成稳定闭合图形，用于测频。

实验方法：

基础操作：连接信号源，选择通道（CH1/CH2）、耦合方式（AC/DC），调节 VOLTS/DIV（电压标度）和 TIME/DIV（时基）。

测量方法：分为直读法和光标法。

拓展应用：用李萨如图测频率；测量二极管导通电压。

2. 实验重点

了解示波器内部结构与工作原理；学会利用示波器观察和测量各种信号；掌握示波器的调节和使用方法

3. 实验难点

触发同步调节：需精准协调触发电平、扫描速度和信号周期，否则波形不稳定。

李萨如图稳定：要求两信号频率为严格整数比且相位差恒定，微调频率时图形易旋转或抖动。

误差控制：时基校准、信号耦合方式选择等操作不当会显著影响测量精度。

二、原始数据

浙江大学 实验报告

课程名称: _____ 指导教师: _____ 专业: _____
 实验名称: _____ 实验类型: _____ 姓名: _____
 一、实验目的和要求 (必填) 二、实验内容和原理 (必填) 学号: _____
 三、主要仪器设备 (必填) 四、操作方法与实验步骤 日期: _____
 五、实验数据记录和处理 六、实验结果与分析 (必填) 地点: _____
 七、讨论、心得 同组学生姓名: _____

实验一: 电压的测量
 设定值: 1kHz , $V_{pp} = 5.000\text{V}$
 直读法: 格数 = 5.3 格, 灵敏度 = 1V/格 , 故 $V_{pp} = 5.3\text{V}$
 光标法: 5.08V

实验二: 频率或周期的测量
 直读法: 格数 = 8.2 格, 灵敏度 = 0.5ms/格 , 故 $T = \frac{8.2 \times 0.5}{4} = 1.025\text{ms}$
 光标法: $T = \frac{4.020\text{ms}}{4} = 1.005\text{ms}$

实验三: 用比较法验证 $f_y = n f_x$ 615.600

波形个数 n	1	2	3	4	5	6
测量 $f_x (\text{Hz})$	205.000	410.000	615.000	821.000	1025.000	1231.500
计算 $f_x (\text{Hz})$	205.000	205.800	205.000	205.250	205.000	205.250

$\bar{f}_x = 205.408\text{Hz}$, $E = \frac{|\bar{f}_x - 200|}{200} = 2.704\%$

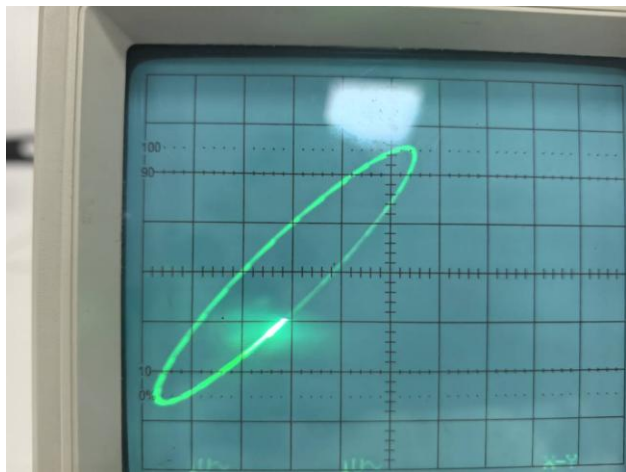
实验四: 用李萨如图测量未知信号的频率

$f_y : f_x$	1:1	1:2	1:3	2:1	3:1	$\frac{f_y}{f_x}$
图形						
垂直交点数 N_y	2	4	6	2	2	4
水平交点数 N_x	2	2	2	4	6	6
读出 $f_0 (\text{Hz})$	50.000 50.000	100.050	150.087	25.015	16.673	33.338
计算出 $f_y (\text{Hz})$	50.000	50.025	50.029	50.030	50.019	50.007

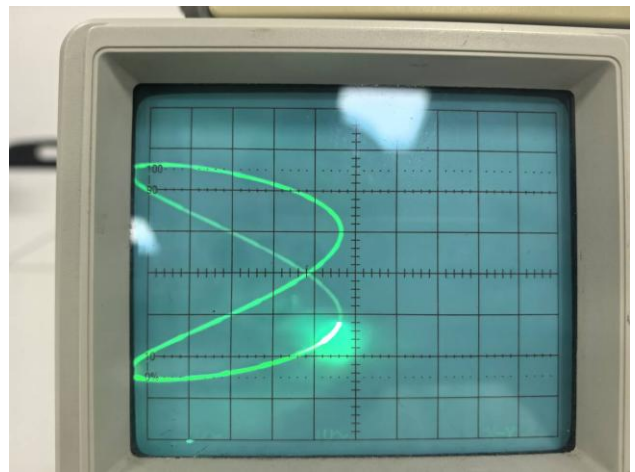
实验五: 测量二极管导通电压
 $f = 1\text{kHz}$
 $V_{pp} = 5.000\text{V}$ 输入 $V_{pp} = 5.08\text{V}$ 输出 $V_p = 1.920\text{V}$ $U = 2.54\text{V} - 1.12\text{V} = 0.12\text{V}$
 ~~$V_{pp} = 6.000\text{V}$ 输入 $V_{pp} = 6.4\text{V}$ 输出 $V_p = 2.400\text{V}$ $U = 3.02\text{V} - 2.40\text{V} = 0.62\text{V}$~~
 $V_{pp} = 7.000\text{V}$ 输入 $V_{pp} = 7.04\text{V}$ 输出 $V_p = 2.880\text{V}$ $U = 3.52\text{V} - 2.88\text{V} = 0.64\text{V}$
 $V_{pp} = 10.000\text{V}$ 输入 $V_{pp} = 10.00\text{V}$ 输出 $V_p = 4.32\text{V}$ $U = 5.00\text{V} - 4.32\text{V} = 0.68\text{V}$

实验六: RC电路相位差测量
 $V_{pp} = 5.000\text{V}$ $f = 1\text{kHz}$ $\Delta t = 0.184\text{ms}$ $T = 1.005\text{ms}$ $\Delta\varphi = 65.9^\circ$
 $f = 2\text{kHz}$ $\Delta t = 0.112\text{ms}$ $T = 0.504\text{ms}$ $\Delta\varphi = 80.0^\circ$

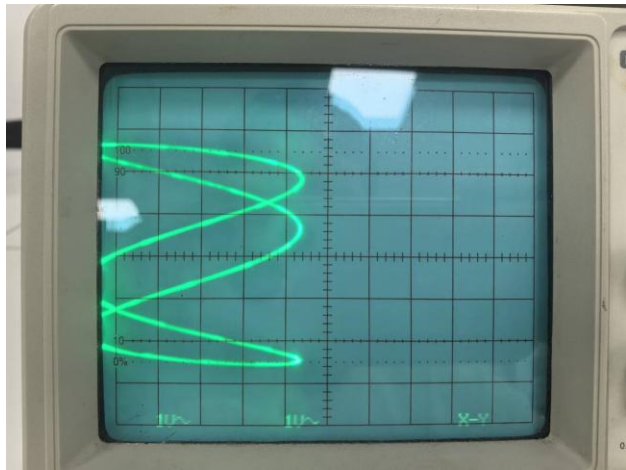
段 明



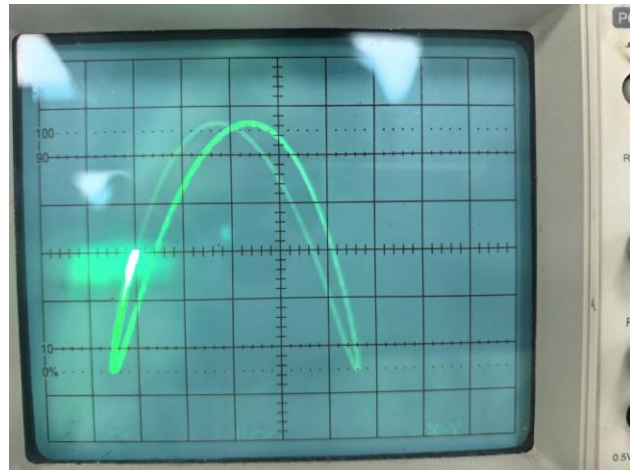
1:1



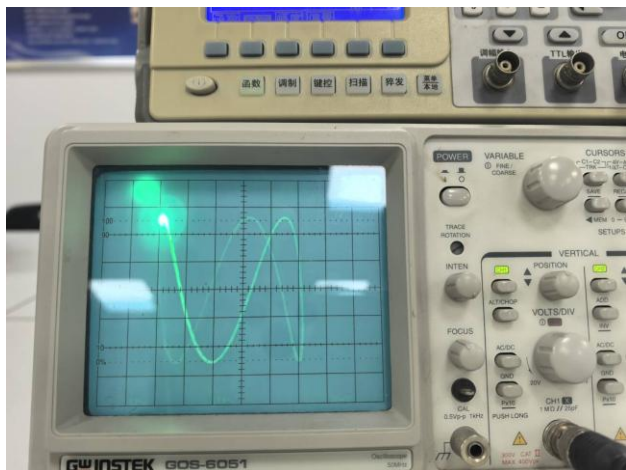
1:2



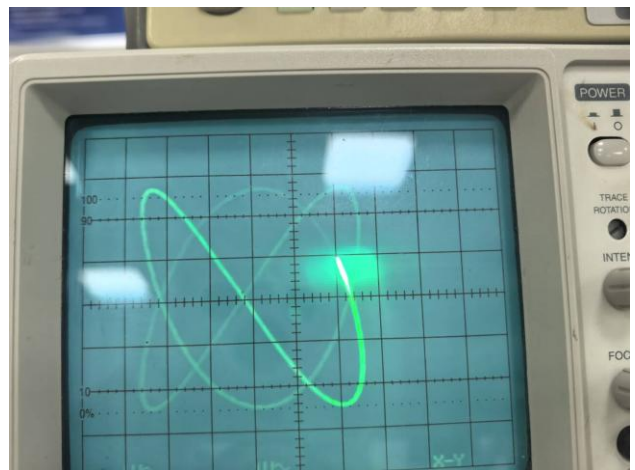
1:3



2:1



3:1



3:2

三、结果与分析

1. 数据处理与结果

实验一：电压的测量（设定值为 $f = 1kHz, V_{P-P} = 5.000V$ ）

直读法：格数为5.3格，灵敏度为 $1V/\text{格}$ ，故 $V_{P-P} = 5.3V$

光标法： $V_{P-P} = 5.08V$

实验二：频率或周期的测量（参数同实验一）

直读法：格数为8.2格，灵敏度为 $0.5ms/\text{格}$ ，周期数为4，故 $T = \frac{8.2 \times 0.5}{4} ms = 1.02ms, f = \frac{1}{T} = 0.980kHz$

光标法： $T = \frac{4.020}{4} ms = 1.005ms, f = \frac{1}{T} = 0.995kHz$

实验三：用比较法验证 $f_y = n f_x$ （设定值为 $V_{P-P} = 5.000V$ ）

波形个数 n	1	2	3	4	5	6
测量 $f_y(Hz)$	205.900	411.700	615.600	821.000	1025.000	1231.500
计算 $f_x(Hz)$	205.900	205.850	205.200	205.250	205.000	205.250

故 $\bar{f}_x = 205.408Hz, E = \frac{|f_x - 200|}{200} = 2.704\%$

实验四：用李萨如图形测量未知信号的频率

$f_y:f_x$	1:1	1:2	1:3	2:1	3:1	3:2
图形	见原始数据					
n_y	2	4	6	2	2	4
n_x	2	2	2	4	6	6
$f_x(Hz)$	50.020	100.050	150.087	25.015	16.673	33.338
$f_y(Hz)$	50.020	50.025	50.029	50.030	50.019	50.007

（注：最后一组数据原本应该测量 2:3，但本人不小心弄成了 3:2，故将错就错了）

故 $\bar{f}_y = 50.022Hz$ ，A 类不确定度为 $u_A = \sqrt{\frac{1}{5 \times 6} \sum_{i=1}^6 (f_i - \bar{f}_y)^2} = 0.004Hz$

则 $f_y = (50.022 \pm 0.004)Hz$

实验五：测量二极管导通电压（设定值为 $f = 1kHz$ ）

设定 $V_{P-P} = 5.000V$ ，输入 $V_{P-P} = 5.08V$ ，输出 $V_P = 1.920V$ ， $U = \frac{V_{P-P}}{2} - V_P = 0.62V$

设定 $V_{P-P} = 7.000V$ ，输入 $V_{P-P} = 7.04V$ ，输出 $V_P = 2.880V$ ， $U = \frac{V_{P-P}}{2} - V_P = 0.64V$

设定 $V_{P-P} = 10.000V$ ，输入 $V_{P-P} = 10.00V$ ，输出 $V_P = 4.320V$ ， $U = \frac{V_{P-P}}{2} - V_P = 0.68V$

实验六：RC 电路相位差测量（设定值为 $V_{P-P} = 5.000V$ ）

设定 $f = 1kHz$ ，有 $\Delta t = 0.184ms, T = 1.005ms$ ，计算可得 $\Delta\phi = \frac{\Delta t}{T} \times 360^\circ = 65.9^\circ$

设定 $f = 2kHz$ ，有 $\Delta t = 0.112ms, T = 0.504ms$ ，计算可得 $\Delta\phi = \frac{\Delta t}{T} \times 360^\circ = 80.0^\circ$

2. 误差分析

- (1) 由于波形存在一定的宽度，因此使用光标法测量电压和时间的时候将存在一定的系统误差（在对齐方式统一的情况下），此误差可以通过将灵敏度调大（分度值减小）来解决。
- (2) 由于示波器中的小格并没有围成小正方形，因此使用直读法测量电压和时间的时候难免会在对齐时产生随机误差，且该随机误差将显著大于光标法。
- (3) 实验“用李萨如图形测量信号频率”中，由于信号发生器精度有限，难以使得李萨如图形保持稳定，同时由于信号发生器的信号并不稳定，这将导致有时候调节到近乎稳定的状态后，李萨如图形又开始以较快的速度翻转，对结果带来误差。
- (4) 信号发生器输出信号并非始终严格与预设信号相等，而是存在小范围浮动，这给电压与时间的测量均带来一定的随机误差。
- (5) 调整波形恰为整数个、李萨如图形至最终状态均存在主观性，给实验带来随机误差。

3. 实验探讨

本次实验学习了示波器的多种使用方法，并完成了六个小实验，综合性较强。同时，本实验也是本学期的最后一个实验，通过本学期的一系列实验，我对物理实验的基本操作方法、实验数据的处理以及其对应的实验原理均有了更加深入的理解。

四、思考题

1. 找出二极管正向导通的 $U-I$ 函数关系式，并查找 PN 结的原理
二极管的正向导通的 $U-I$ 函数关系式可以表示为：

$$I_D = I_S(e^{\frac{U_D}{nV_T}} - 1)$$

其中 I_D 是通过二极管的电流， I_S 是反向饱和电流， U_D 是二极管两端的电压， n 是理想因子，通常取值在1~2之间， V_T 是热电压，常温下约为26mV。

二极管 PN 结原理的核心在于 P 型半导体与 N 型半导体结合形成的空间电荷区（耗尽层）及其内建电场，通过外加电压改变电场平衡状态实现单向导电性：正向偏置时削弱内建电场促进载流子扩散（导通），反向偏置时增强电场抑制扩散（截止）。

2. 请找出 RC 电路中输入端和电容输出端的相位差的影响因素，并推导出其关系式

影响因素：电源频率 ω ，电阻值 R ，电容 C 。

首先，我们需要理解 RC 电路的基本工作原理。在 RC 电路中，电流和电压之间的相位关系是关键。电阻器上的电流和电压是同相位的，而电容器上的电流超前电压 90 度。这意味着在正弦电流通过电容器时，电压会滞后电流 90 度。

接下来，我们考虑一个正弦电流源输入到 RC 电路的情况。假设输入电压为 $U_{in}(t) = U_m \sin(\omega t)$ ，则电容上的电压 $U_C(t) = U_m \sin(\omega t - \phi)$

由于电容的阻抗可以表示为 $Z_C = \frac{1}{i\omega C}$ ，其中 i 为虚数单位。根据复数阻抗的定义，电容上的电

压可以表示为： $U_C(t) = I_m \left(R + \frac{1}{i\omega C} \right) \sin(\omega t)$ ，与上式进行对比（可通过欧拉公式），可以得到 $\tan \phi = \omega RC$ 。

3. 在 RC 电路相位差测量这一实验中，为什么不能用 VERT 模式

在 RC 电路相位差测量实验中，不能使用 VERT 模式（即 CH1 与 CH2 交替扫描模式），因为这种模式会导致两个通道的波形无法在同一时间轴上同步显示。示波器在交替扫描下会先显示

CH1 的波形片段，再切换到 CH2 的波形片段，两者并非同时捕获。这会破坏输入信号（CH1）与输出信号（CH2）之间的真实时间对应关系，使光标法无法精确测量两波形的时间差 Δt （如过零点或峰值点的偏移量）。而相位差计算 $\frac{\Delta t}{T} \times 360^\circ$ 依赖准确的时间差 Δt ，若时间轴不同步，测量结果将产生错误偏差。因此必须采用能保证双通道严格时间同步的模式（如 CHOP 断续扫描或专用双踪同步触发）。