

## 实验 A5 用示波器测量交流信号的基本参数

### [实验前思考题]

1. 示波器主要由哪几大部分组成?
  2. 简述示波器显示波形的原理
  3. 模拟示波器和数字示波器的主要区别是什么?
  4. 尽可能多地列出评价示波器性能的技术指标的名称(不需解释,只列名称)。
  5. 怎样用示波器测量正弦信号的电压、周期和频率?
1. 光源系统、信号检测和放大系统、扫描触发系统、波形显示系统。
2. 以屏幕为平面直角坐标系,屏幕上光点的坐标差加在两个方向上电压  $U_x, U_y$  的函数,则光点的运动可以用参数方程  $\begin{cases} x = f[U_x(t)] = g(t) \\ y = w[U_y(t)] = v(t) \end{cases}$  消去  $t$  后的方程即为屏幕上光点的轨迹方程。
3. ① 模拟示波器用示波管显示,而数字示波器用平板显示器。  
② 模拟示波器加速电子束偏转在屏幕上显示波形,数字示波器在像素点两端加电压,点亮像素点。
4. 带宽、存储深度、记录长度、垂直灵敏度。
5. 调出稳定的波形,使屏幕上不少于一个完整的波形,读出任意一个波峰波谷的电压值  $U$ ,则  $U = \frac{U'}{2}$ ,找出相邻波形同相位点距离  $L$ ,扫描速度  $t_0$ ,周期  $T = t_0 L$ ,频率  $f = \frac{1}{T}$



(请自行加页)

## 【实验目的】

1. 了解示波器显示波形的原理(显示器、扫描、同步、整步);
2. 了解双踪数字存储示波器的使用方法;
3. 学习用示波器测交流信号电压、频率和相位差。

## 【仪器用具】

编号	仪器用具名称	数量	主要参数(型号, 测量范围, 测量精度等)
1	双踪示波器		DS1152D-EDU
2	双通道信号发生器		DG1022
3	双通道交流毫伏表		TH1912A
4	台式数字万用表		DM3051
5	示波器训练模板		DS1070D
6	导线		

## 【原理概述】

电子示波器是用来直接显示、观察和测量电压波形及其参数的电子仪器。一切可转化为电压的电学量(如电流、电阻等)和非电学量(如温度、压力、磁场、光强等),只要转换后的电压参数落在示波器的观察范围内,均可用示波器来观察和测量。示波器自1933年诞生以来已经有70多年的历史,已由模拟示波器发展到取样示波器、记忆示波器、数字存储示波器(DSO, Digital Storage Oscilloscope)、逻辑示波器、智能示波器、虚拟示波器等近十个系列数百个品种,频率响应可从直流至 $10^9\text{ Hz}$ ,是用途极为广泛的一种通用电子测量测试仪器。由于示波器种类繁多,外形、性能、功能差异很大,要想完全熟练地掌握一种示波器的使用方法,就必须认真阅读相关的使用说明书。这里只能介绍一些具有共性的基本知识。

### 1. 示波器的基本原理

示波器实际上是一台电压信号的二维显示设备,任何种类的示波器,都主要由电源系统、信号检测和放大系统、扫描触发系统、波形显示系统等四部分组成。示波器的原理框图如图1所示,虚线框内的模块是数字示波器特有的功能模块,模拟示波器没有。不论哪种示波器,若设显示屏的水平方向为x,垂直方向为y,屏幕上光点的坐标是加



在两个方向上的电压  $U_x$  和  $U_y$  的函数，这一函数通常为线性的，则光点的运动可用一个参数方程表示为

$$\begin{cases} x = f[U_x(t)] = K_x U_x(t) = g(t); \\ y = w[U_y(t)] = K_y U_y(t) = v(t). \end{cases} \quad (1)$$

两方程联立，消去参数  $t$ ，所得方程就是屏幕上光点的运动轨迹方程。

根据波形显示方式的不同，基本可将示波器分为模拟示波器、数字示波器、虚拟示波器三种类型。

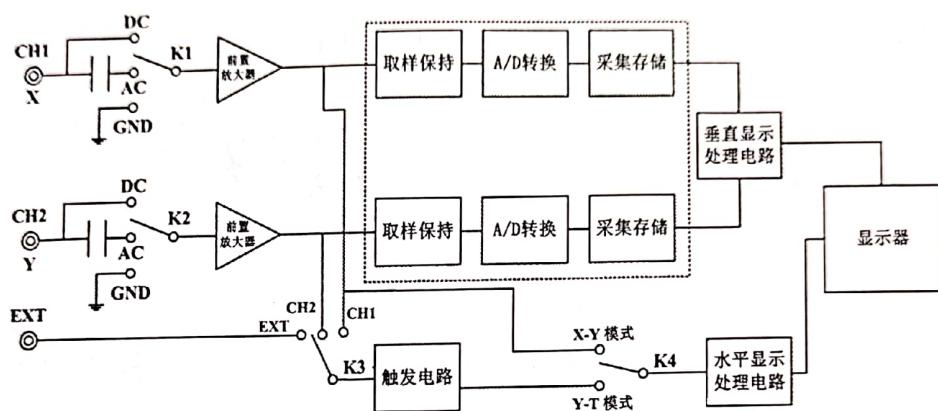


图 1 示波器原理框图

K1、K2. 输入端耦合方式选择，K3. 触发源选择，K4. Y-T 显示模式和 X-Y 显示模式选择

## 2. 示波器的工作模式

示波器通常有两种工作模式，分别为：

(1) 波形显示模式 (Y-T)，对应图 1 中开关 K4 接“Y-T 模式”。该模式下在  $x$  轴施加的信号  $U_x(t)$  为锯齿波，由于锯齿波的电压在一个周期内与时间  $t$  成正比，有  $x \propto U_x(t) \propto t$ ，相当于在显示屏上建立了一个以时间  $t$  为横坐标的线性坐标系。

当  $y$  方向电压为零，对应图 1 中的开关 K2 接地 (GND) 时， $U_y(t) = 0$ ，仅在水平方向上加周期电压  $U_x(t)$ ，则显示光点沿水平方向作往返运动，这种过程称为扫描，相应地  $U_x(t)$  称为扫描电压。当扫描电压频率  $f$  较高时，将显示为一条连续的直线，称为扫描线。当  $y$  方向加周期电压  $U_y(t)$ ，有  $y \propto U_y(t)$ ，如图 2 (a) 所示， $y$  轴输入信号的波形就可以在屏幕上显示出来。

为显示波形的方便，示波器锯齿波的频率可通过扫描速度  $t_0$  旋钮 (Horizontal Scale) 来进行调节，其单位为 s/div (秒每格)，在一些老式的模拟示波器上也采用 s/cm (秒每厘米) 作单位。若选择了扫描速度  $t_0$ ，则水平距离为  $l$  格的两点间的时间间隔  $t$  为



$$t = t_0 l \quad (2)$$

如果选择扫描速度  $t_0$  使得屏幕范围（通常为 10 格）内的总时间大于被观测波形  $U_y(t)$  的周期，就可以在屏幕上显示出完整的波形。该工作模式下，式 (1) 中的  $K_y$  可简写为  $K$ ，称为电压灵敏度，单位为 V/div。

**(2) 李萨如图形显示模式 (X-Y)**，对应图 1 中的开关 K4 接“X-Y 模式”。该模式下在  $x$  轴施加与 CH1 通道的输入信号成比例的电压，故屏幕显示的波形是 CH1 通道和 CH2 通道输入信号的合成图形，称为李萨如图形。该模式下， $K_x$  称为  $x$  轴的电压灵敏度， $K_y$  称为  $y$  轴的电压灵敏度。

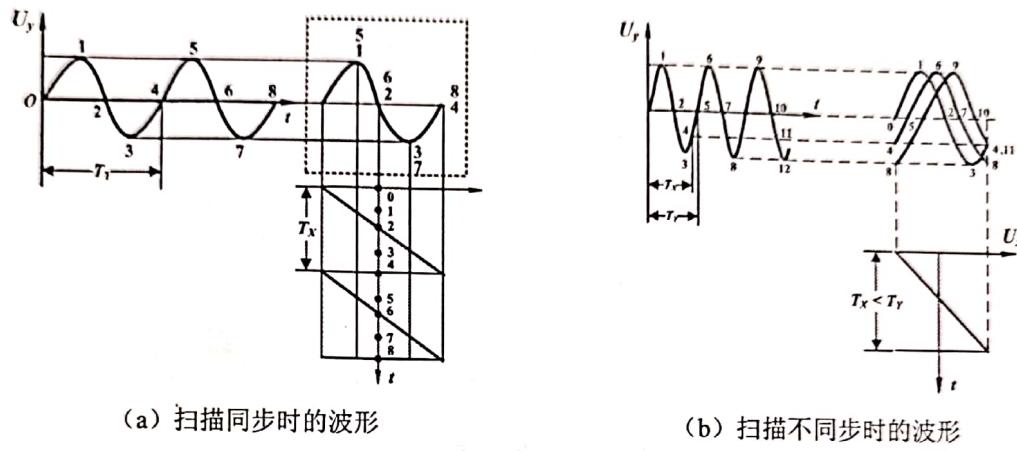


图 2 示波器的扫描

### 3. 示波器的扫描同步（波形稳定）原理

#### (1) 扫描同步

示波器如果不经过仔细调节，其显示的波形会左右移动。为了后续进行各种测量，需要使显示的波形在屏幕上稳定不动。设锯齿波  $U_x(t)$  的周期为  $T_x$ ，被观测波形  $U_y(t)$  的周期为  $T_y$ ，如图 2 (a) 所示，如果  $T_x = nT_y$  ( $n = 1, 2, 3 \dots$ ) 严格成立，则锯齿波每次扫描的起点都准确地落在被观测信号的同相位点上，每次扫描显示的波形都完全相同，从而显示出稳定的波形，波形与时间无关，该状态称为扫描同步。若  $T_x \neq nT_y$ ，每次扫描起始点会落在非同相位点上，每次扫出的波形不重复，如图 2 (b) 所示，则屏上显示的波形在  $x$  方向上不断移动，

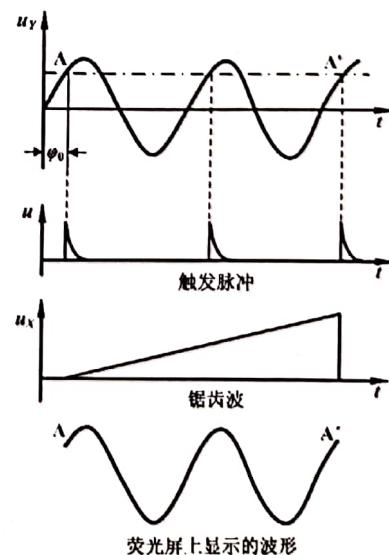


图 3 触发扫描实现扫描同步



扫描不同步。

### (2) 扫描同步的实现(整步)

实际使用示波器的过程中，很难通过调节 $T_x$ 的方法满足上述的扫描同步状态，即使实现短暂的同步，对信号的任何扰动也会破坏这种状态，所以示波器中采用了特殊的方式来实现和保持扫描同步状态，这一过程称为“整步”。

**触发扫描同步：**如图 3 所示，示波器将“触发电平”(trig level)与输入的被测信号进行比较，当输入信号电压等于触发电平(图中 A 点的电压)时，触发电路便输出触发脉冲，强制启动扫描电路进行扫描，光点自左向右由 A 点扫描至 A' 点。在该扫描周期内，扫描电路不再受触发脉冲影响。本次扫描结束后，触发脉冲又可再次强制启动扫描电路，进行下一次扫描。因每个触发脉冲产生于相同触发电平处，故每次扫描的起点都会准确地落在同相位点 $\varphi_0$ 上，多次扫出的波形重叠，稳定地显示在屏幕上。

**注意：**示波器的触发电平应调至信号的峰峰值之间，否则会因为信号电压始终达不到触发电平而无法产生触发脉冲。

## 4. 判断波形是否稳定的三个原则

在示波器屏幕上调节出波形后，可通过如下几个原则判断其是否稳定：

(1) 在任意位置画一垂直线与波形相交，交点数有且只有一个。若没有交点或交点数不止一个，则波形不稳定或不完整，需继续调节。

(2) 波形上的任意一点不左右移动。低频时光点会闪烁，但其位置不左右移动，应认为是稳定的。

(3) 屏幕上能看到两个以上完全一样的重复图形，即两个周期以上。

## 5. DS1152D-EDU 型混合信号数字示波器使用介绍

DS1152D-EDU 是一种常用的混合信号数字示波器，带宽 150MHz，同时具备 2 通道的模拟信号输入端和 16 通道的数字逻辑输入端。本节简单介绍 DS1152D-EDU 示波器面板(图 4)中 11 个主要部分的作用。更多的功能和调节方法需参阅说明书。

### (1) DS1152D-EDU 示波器前面板主要部分

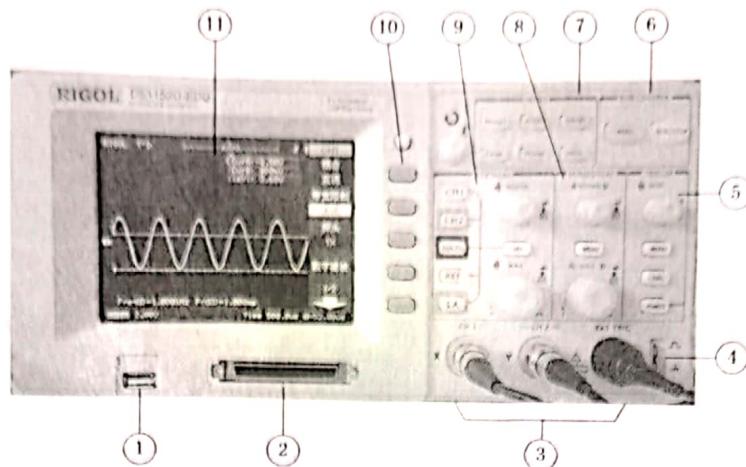


图 4 DS1152D-EDU 型示波器前面板图

(下面请写出图 4 中示波器 11 个主要部位的名称)

1. USB HOST 接口
2. 数字逻辑分析仪输入端.
3. 模拟通道
4. 校准电压输出端口及接地端
5. 触发部分.
6. 运行控制部分.
7. 菜单部分.
8. 键盘部分
9. 重叠部分.
10. 屏幕菜单选择按钮.
11. 彩色显示部分.

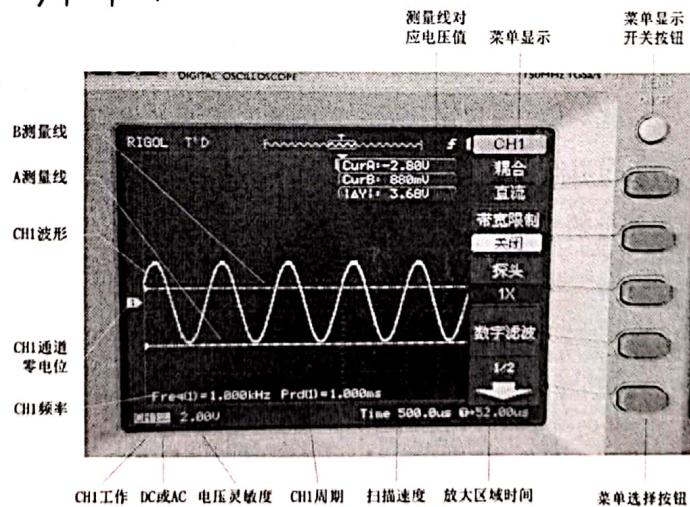


图 5 屏幕显示文字的意义



### (2) DS1152D-EDU 示波器调节出稳定波形的步骤

以被测信号接入 CH1 通道为例说明，可采用两种方法。

方法一，自动设置方法

- a. 将被测信号接入 CH1 通道，按一下 [CH1] 按钮使 CH1 通道工作，[CH1] 按钮的绿色背景灯点亮。
- b. 按 [AUTO] 键，等待若干秒至波形稳定地显示出来。

方法二，手动设置方法（在采用方法一无法得到稳定波形时，需进行手动设置）

- a. 按 [CH1]，屏幕右侧显示 CH1 菜单，耦合方式选“接地”。
- b. 调垂直部分的 POSITION 旋钮，将 CH1 扫描线调至屏幕中央，屏幕左侧的黄色三角形箭头指在相同位置。
- c. 耦合方式选“交流”，调节电压灵敏度 SCALE 旋钮，使被测波形的上下边界均限制在屏幕范围内。
- d. 按触发部分的 MENU 按钮显示触发菜单，触发源选“CH1”，触发耦合模式选择交流“AC”。
- e. 调节触发电平 LEVEL 旋钮，使触发电平在被测信号的峰峰值之间，显示波形稳定。
- f. 调节水平部分的扫描速度 SCALE 旋钮，使屏幕上显示若干个波形，以便观察和测量。

### (3) 用示波器测量电学量

用示波器可以测定交流信号的电压、频率、周期等多种参数。

#### a. 用示波器测电压

调出稳定波形，调节电压灵敏度  $K$  (V/div) 使波形的波峰和波谷都限制在屏幕范围内，读出波形上任意两点间的垂直距离  $y$  (div)，就可计算出两点的电压差

$$U_y = Ky \quad (\text{V}) \quad (3)$$

若两点正好分别取波峰和波谷，则测出的电压为该信号的峰峰值  $U_{pp}$ 。若两点分别在波峰（或波谷）和中线，则测出的电压为峰值  $U_p = U_{pp}/2$ 。若信号为简谐波，其有效值为

$$U' = U_{pp}/2\sqrt{2} = Ky_{pp}/2\sqrt{2} = U_p/\sqrt{2} \quad (4)$$

#### b. 用示波器测周期和频率



1. 使用过程中注意信号端口的标识，不要接错。
2. 若将电压信号直接接入数字万用表的电流通道，极易损坏万用表。

### | 实验内容及步骤 |

1. 参阅讲义和说明书，熟悉示波器各调节按键和旋钮的名称、功能。掌握调出稳定波形的方法，并用原理（一）.4 部分的三个标准判断波形是否稳定。

#### 2. 测量交流信号的幅度

- (1) 用函数信号发生器产生正弦波，用示波器测量波形的电压峰峰值  $U_{pp}$ ，用数字万用表测量波形的电压有效值  $U_{eff}$ 。
- (2) 正弦信号的频率分别取 100Hz、1kHz、10kHz、100kHz、1MHz、10MHz，用示波器测量波形的峰峰高度  $y_{pp}$  和电压灵敏度  $K$  ( $\text{V}/\text{div}$ )，计算电压的峰峰值  $U_{pp}$  和有效值  $U'$ 。
- (3) 在单对数坐标系中作示波器的测量结果  $U'$  与数字万用表的测量结果  $U_{eff}$  随频率  $f$  的变化关系曲线，进行比较并说明两者存在差异的原因。

#### 3. 测量交流信号的周期和频率

- (1) 正弦信号频率分别取 100Hz、1kHz、10kHz、100kHz、1MHz、10MHz，用示波器测量一个周期的长度  $L$  和扫描速度  $t_0$ ，计算信号的周期  $T$  和频率  $f$ 。
- (2) 用数字万用表的频率测量功能测量交流信号的频率  $f'$ ，并与示波器的测量结果  $f$  作比较，说明两者有差异的原因。

#### 4. 观察李萨如图形

- (1) 用双通道信号发生器产生两个正弦波，分别接示波器的 CH<sub>1</sub> 通道和 CH<sub>2</sub> 通道，用  $[x-y]$  显示方式观察李萨如图形。
- (2) 取 CH<sub>1</sub> 的频率为 1kHz，改变 CH<sub>2</sub> 信号的频率和两者的相位差，观察并记录波形，找出交点数  $m$  和  $n$ ，并计算相应的频率。取五种频率比，每种频率下取 0°、45°、90° 三种相位差。

#### 5. 用示波器观测示波器训练模板各输出端口的波形、电压峰峰值和频率。

- (1) 采用示波器专用探头，衰减系数取“x1”，调节探头补偿旋钮，使标准信号的显示波形如图 9(b) 所示则补偿正确，若出现图 9(a 和 c) 的图形，则补偿不正确。
- (2) 测量出示波器训练模板输出的 14 种不同信号的波形、峰峰值  $U_{pp}$  和周期  $T$ （或



频率 $f$ )。

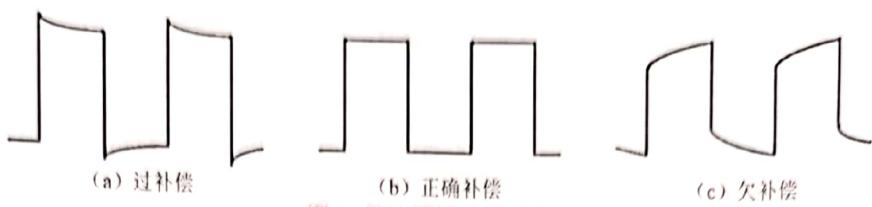


图 9 示波器探头补偿状态

### | 数据记录及处理 |

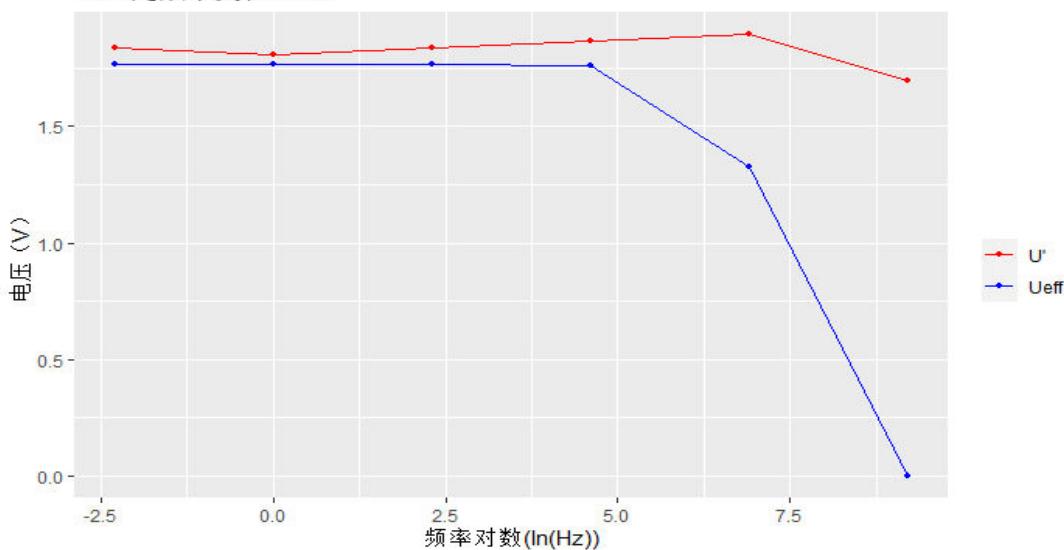
#### 2. 测量交流信号电压

$f$ (Hz)	$y_{pp}$ (div)	$K$ (mV/div)	$U_{pp} = Ky_{pp}$ (V)	$U' = U_{pp}/2\sqrt{2}$ (V)	$U_{eff}$ (V)	$ U' - U_{eff} /U_{eff}$
100	2.60	$2 \times 10^3$	5.20	1.84	1.7676	$4 \times 10^{-2}$
1k	2.56	$2 \times 10^3$	5.12	1.81	1.7691	$2.3 \times 10^{-2}$
10k	2.60	$2 \times 10^3$	5.20	1.84	1.7676	$4 \times 10^{-2}$
100k	2.64	$2 \times 10^3$	5.28	1.87	1.7613	$6.0 \times 10^{-2}$
1M	2.68	$2 \times 10^3$	5.36	1.90	1.3284	$4.3 \times 10^{-1}$
10M	2.40	$2 \times 10^3$	4.80	1.70	$2.7 \times 10^{-4}$	$6.3 \times 10^3$

作 $U'$ 和 $U_{eff}$ 随频率 $f$ 变化的关系曲线。

2016.02.19

电压随频率变化曲线





讨论分析：

当频率较低时，数字示波器和数字万用表取得的交流电压有效值吻合程度高。

当频率较高时，数字万用表带宽有限，数字示波器与数字万用表测得的电压有效值吻合程度低。

### 3. 测量交流信号的频率

$f$ (Hz)	$L$ (div)	$t_0$ (ms/div)	$T = Lt_0$ (ms)	$f = 1/T$ (kHz)	$f'$ (kHz)	$ f - f' /f$
100	5	2	10	0.1	0.1	0
1k	5	0.2	1	1	1	0
10k	5	0.02	0.1	10	10	0
100k	5	0.002	0.01	100	100	0
1M	5	$2 \times 10^{-4}$	0.001	1000	0	1
10M	5	$2 \times 10^{-5}$	0.0001	10000	0	1

分析：

当频率较低时，数字示波器和数字万用表测得交流信号的频率相等。

当频率升至兆赫兹级别附近时，数字万用表带宽有限，测不到相应频率值。



## 4. 观察李萨如图形

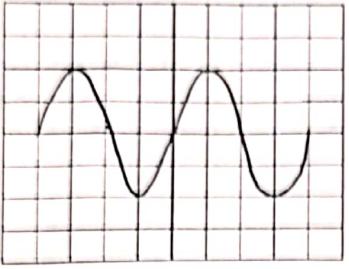
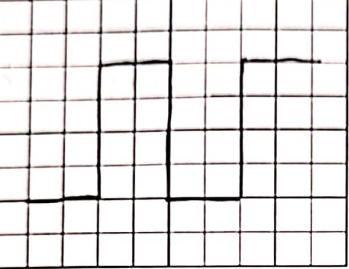
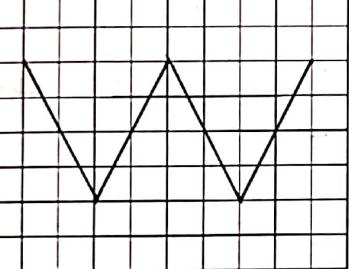
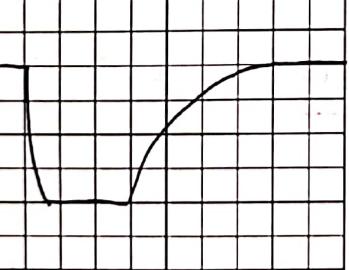
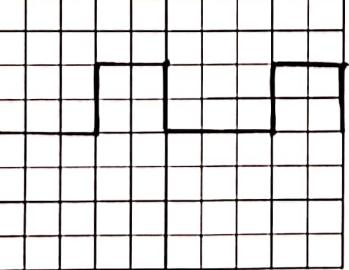
$$f_x = 1 \text{ kHz}$$

相位差			水平交点数 $m$	垂直交点数 $n$	计算频率 $f_y = \frac{m}{n} \cdot f_x$	显示频率 $f'_y$
0	45°	90°				
			2	2	1 kHz	1 kHz
			4	2	2 kHz	2 kHz
			6	2	3 kHz	3 kHz
			8	2	4 kHz	4 kHz
			10	2	5 kHz	5 kHz

注 6.16



5. 用示波器观测示波器训练模板各输出端口的波形、电压峰峰值和频率  
(需采用专用探头, 测量前需要调节补偿).

端口 符号	图形	电压峰峰值 $U_{pp}$ / V	周期 $T$ / s	频率 $f$ / Hz
sine ~		1.84 1.56 3.68	0.002	500. 1000
Square ~		2.04 2.56 5.28	0.002	500. 1000
Triangle Ramp ~		2.18 3.12	0.002	500.
SDA. Pulse. △		5	$10^{-5}$	$10^5$
ACMP_out		5.4	0.002	500.



端口 符号	图形	电压峰峰值 $U_{pp}$ / V	周期 $T$ / s	频率 $f$ / Hz
Noisy Sine		5.04	0.002	500.
SCLK.		5.36	$1.6 \times 10^{-5}$	62.75 k
sine. FM		5.36	$4 \times 10^{-6}$	250k.
Pulse.		4.5	0.001	1000.
Triangle FM.		5.36	$4 \times 10^{-6}$	250k.

ie 6.00



## | 实验后思考题 |

1. 示波器图形不稳定是什么原因造成？应该如何调节？如何判断显示的波形是否稳定。

2. 列举表征数字存储示波器性能的主要技术指标，并作解释。

- (1) ① 接触不良：调整各处接头。  
② 触发方式不对：依据不同波形调节“触发方式”  
③ 触发电平没有调到合适的位置：将 Trigger 旋钮停在标准线调节至波峰和波谷之间。

(2) 当波形稳定时，过函数曲线的任一条垂线只有一个交点且波峰波谷位置稳定不变。

2. 带宽：能有效通过的信号最大频带宽度。

采样率：单位时间采样数。