

示波器的使用

Using an Oscilloscope

【背景简介】

示波器是电子测量中最常用和最重要的仪器，其最吸引人的功能就是把我們看不见、摸不着的电压信号非常直观形象地展示在我们的面前！而且，示波器还可以用于测量电压随时间的变化及电信号间的相互关系（如幅度、周期、频率、相位差等多种参数）。只要能采用传感器把非电量转换为电量，我们就可以用示波器来测量一切非电信号（如压力、振动、声、光、热、磁等非电量），因此，示波器在科学实验和工程技术中有着十分广泛的应用，应该是所有理工科大学学生必须熟练掌握其使用方法的必备工具。

从结构原理划分，示波器可分为模拟示波器和数字示波器两大类，本实验具体介绍双踪（双通道）模拟示波器的功能使用方法，数字示波器将在下学期相关实验中介绍。

【实验目的】

- 1、了解模拟示波器的基本结构和工作原理
- 2、全面熟悉模拟示波器面板各旋钮功能并熟练掌握其使用方法
- 3、Y—t 模式下观察正弦电压信号并测定其峰峰值电压和周期
- 4、X—Y 模式下观察李萨如图并测定未知正弦电压信号的频率

【实验原理】

一、示波器的结构及工作原理

示波器的基本结构主要包括示波管、同步触发扫描电路、水平（X 轴）和垂直（Y 轴）放大电路、电源等部分，如图 1 所示。

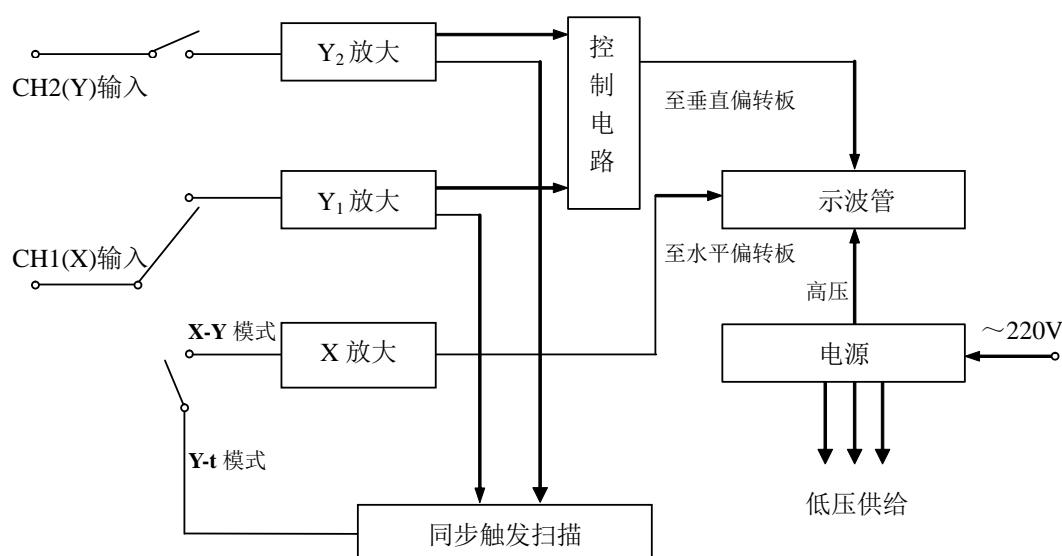


图 1 模拟示波器基本结构框图

1、示波管 示波管（CRT）是示波器的核心，如图 2 所示。它主要由安装在高真空管中的电子枪、偏转系统和荧光屏三部分组成。电子枪用来发射一束强度可调且能聚焦的高速电子流，它由灯丝、阴极、栅极 1、聚焦阳极 2 等部分组成。偏转系统由垂直(Y)偏转板 3 和水平(X)偏转板 4 组成。若在偏转板上施加电压，偏转板间形成电场会作用带电粒子，电子束通过时运动方向会发生偏转，在荧光屏上产生的光点位置随之改变。荧光屏上涂有荧光粉，受电子轰击后发光而形成光点，光点的亮度取决于单位时间打在荧光屏上的电子数量，调节栅极 1 的电位可以改变加速度从而调节光迹亮度；光点的大小由电子束的粗细决定，调节聚焦阳极 2（静电聚焦非线性电场）的电位可以改变电子束聚焦的远近从而调节波形的清晰度。它们分别由示波器面板上的**辉度（INTENSity）**和**聚焦（FOCUS）**旋钮来调节实现。

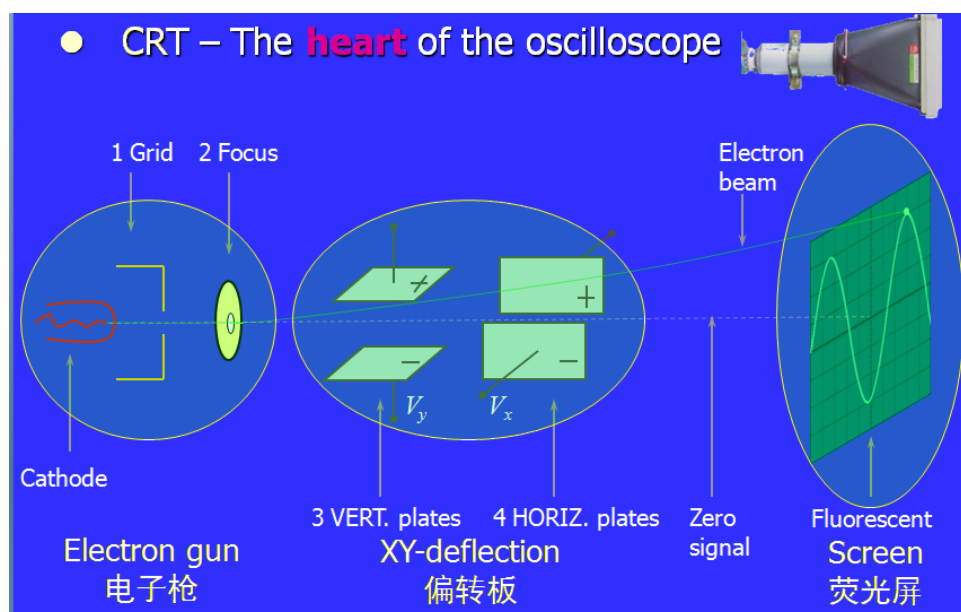


图 2 示波管（CRT）

2、扫描 当偏转板加上一定的电压后，电子束将受到电场的作用而偏转，光点在荧光屏上移动的距离与偏转板上所加的电压**近似成正比**。若在 Y 偏转板上加正弦电压，X 偏转板不加电压，荧光屏上光点就会作上下方向的垂直谐振动，振动频率较快时，看起来就是一条垂直线段。如果屏上的光点同时沿 X 轴正方向作匀速运动（**模拟时间**），我们就能看到光点描出的时间函数图就是一段正弦曲线。光点从左往右沿 X 轴正向的匀速运动及回复至起点重复地移动的周期过程，称为扫描。获得扫描的方法，是在 X 轴偏转板上加一个电压与时间成正比的信号，即**锯齿波扫描电压**，由示波器内的扫描电路——**时基发生器**产生。若**水平方向扫描电压信号的周期 T_x 刚好是垂直方向被测电压信号周期 T_y 的整数倍 N** 时，则屏上将显示出稳定不动的波形，这被称为**扫描同步**，示波器的这种工作模式称之为**Y - t 模式**。

实现同步扫描的条件：

$$T_x = NT_y$$

3、同步触发 由于被测电压和扫描电压来自两个独立的信号源，它们的周期难以调成精确的整数倍关系，屏上的波形难免会发生横向漂移，造成观察困难。在示波器演进的过程中，科研人员不断创新，巧妙地利用**同步控制原理**解决了这一难题：设定恰当的启动扫描的电压值即调节**触发电平（LEVEL）**旋钮，不要超出被测信号变化的范围，并选择被测信号在触发电压值处的变化趋势即**触发斜率（SLOPE）**按键，弹出为“+”电压增加，按下为“-”电压减小），触发控制器电路（TRIGGER）会检测被测信号的电压值是否达到触发电平，同时被测信号是否满足触发斜率设定的变化趋势，如果二者同时满足**同步触发的充要条件**，

那么，触发控制器便启动锯齿波扫描电压，如此可确保扫描周期与被测信号周期总是成整数倍关系，从而在荧光屏上显示稳定的波形。电路的这种控制作用称为**同步**，如图 3 所示。

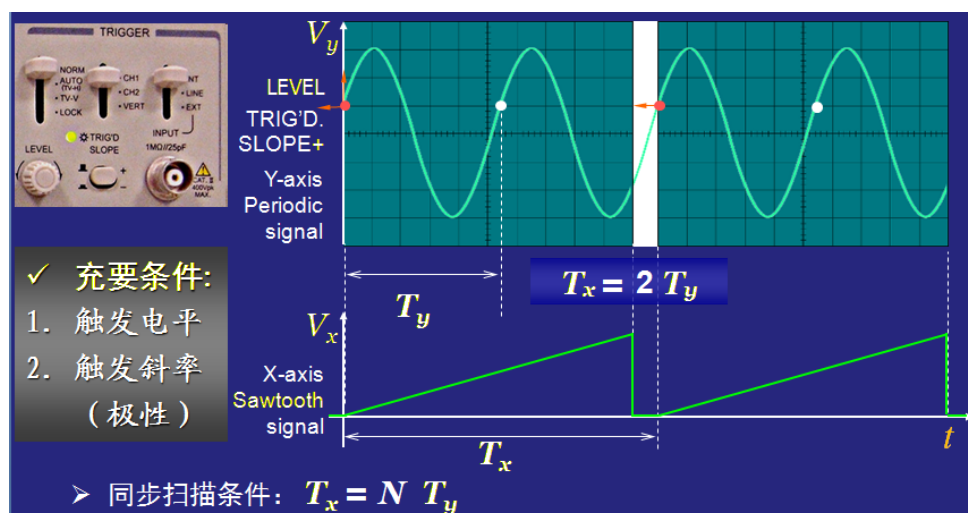


图 3 同步触发扫描

4、放大器 一般示波器垂直和水平偏转板的灵敏度不高，当加在偏转板上的电压较小时，电子束不能发生足够的偏转，光点位移很小。为了便于观测，需要预先把小的输入电压经过放大后再送到偏转板上，为此设计了垂直和水平放大器。示波器的**垂直偏转系数**是指光迹在荧光屏 Y 方向偏转一格时对应的电压值，面板标识为 VOLTS/DIV (DIVision 为荧光屏上一大格，通常为 1 cm)。若示波器的垂直偏转系数指向 0.5V/DIV，则当光迹在 Y 方向偏转 6.0 格时，Y 轴输入电压的峰一峰值应为 3.0V。同理，**水平偏转系数** (或时基扫描系数) 是指光迹在 X 方向偏转一大格对应的扫描时间，面板标识为 TIME/DIV。

5、X—Y 模式 当示波器由 Y—t 模式切换为 X—Y 模式时，扫描信号被切断，此时，通道 1 (CH1(X)) 被连接到 X 偏转板，通道 2 (CH2(Y)) 还是被连接到 Y 偏转板。在这种模式下，电子束同时受到连接 X、Y 偏转板的输入电压形成的电场力的作用，如果此两路电压均为正弦波信号，且周期或频率的比值为有理数 (整数的比)，则我们会在荧光屏上看到闭合稳定的漂亮图案，这便是相互垂直谐振动合成的轨迹——**李萨如图**，如图 4 所示。

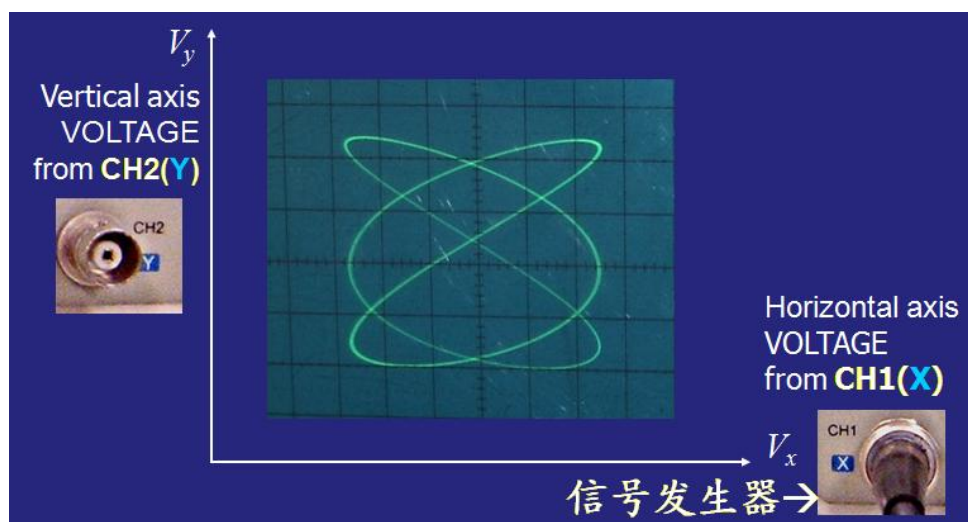


图 4 李萨如图

二、测量原理

1、Y—t 模式下测量已知信号的峰峰值电压和周期

将信号发生器输出的已知正弦波电压信号输入到示波器的 CH1 通道，将示波器工作模式切换到 Y—t 模式，在**校准状态**下将波形调到最佳状态，即在荧光屏上显示**至少一个周期**、纵向**幅度尽可能大**的稳定波形，上下左右移动波形，对准网格（方格边长 1 cm 被 5 等分），以中央刻度线为标尺，测定相关距离，读取相关示数，便可间接求得峰峰值电压和周期：

$$\begin{cases} V_{pp} = D_y Y \\ T = D_x X \end{cases} \quad (1)$$

其中， V_{pp} 为峰峰值电压， D_y 为垂直偏转系数（VOLTS/DIV）， Y 为峰谷垂直距离； T 为周期， D_x 为水平偏转系数（TIME/DIV）， X 为相邻峰或谷水平距离。图 5 所示分别为测量峰峰值电压和周期时对准刻度线调节到位的效果图！

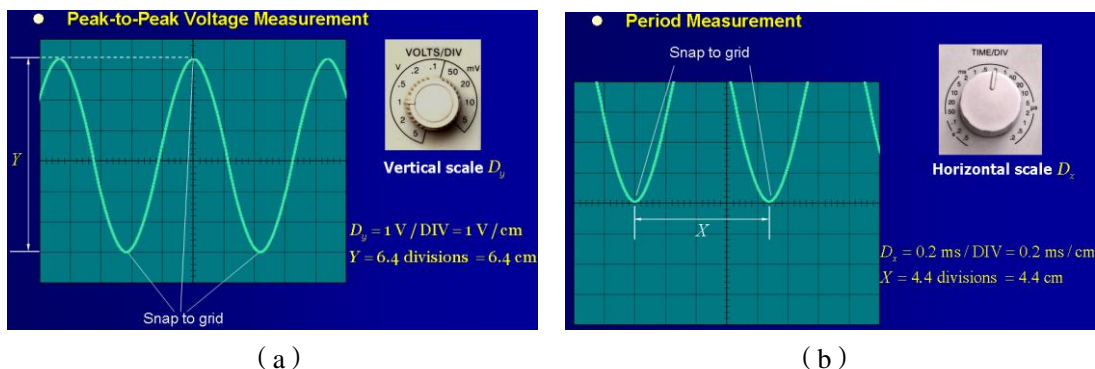


图 5 峰峰值电压和周期的测量

2、X—Y 模式下测量未知信号的频率

将信号发生器输出的已知正弦电压信号接入到示波器的 CH1(X)通道，被测未知正弦电压信号接入 CH2(Y)通道，同时将示波器工作模式切换到 X—Y 模式，调节已知信号频率使两正弦电压的周期或频率成简单整数比时，合成轨迹为一**稳定的闭合图案——李萨如图形**，如图 4 所示。分别对图形作一根水平和垂直切线，并设水平切线与图形的切点数为 N_x 、垂直切线与图形的切点数为 N_y ，那么，在 X、Y 方向的电压信号频率 f_x 、 f_y 与 N_x 、 N_y 有如下确定关系，

$$\frac{N_x}{N_y} = \frac{T_x}{T_y} = \frac{f_y}{f_x} \quad (2)$$

因此，只要读取已知信号的频率 f_x ，就可以由公式（2）求出未知信号的频率 f_y 。

【实验仪器】

1. SG4320A 型双踪模拟示波器
2. EE1420 型函数信号发生器
3. 待测正弦电压信号源

【实验内容】

1、Y—t 模式下测量已知信号的峰峰值电压和周期

统一规定信号发生器输出已知信号参数范围：正弦波、频率约 $\sim 1\text{KHz}$ ，幅度约 $\sim 5\text{V}$ ；按照上述**测量原理 1** 测量相关量，完成数据表 1 记录，由公式（1）可求得已知信号的峰峰值电压和周期。将信号发生器输出的电压幅度和频率作为标准值，分别计算由示波器测得的峰峰值和周期的百分误差。

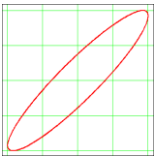
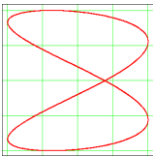
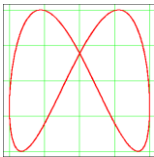
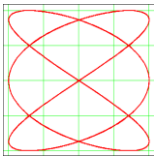
表 1 正弦信号电压与周期测量数据表

函数信号发生器		双踪模拟示波器				计算值	
频率 (KHz)	电压幅度 U_{pp} (V)	垂直偏转系数 D_y (V/cm)	Y (cm)	水平偏转系数 D_x (ms/cm)	X (cm)	V_{pp} (V)	T (ms)

2、X—Y 模式下利用李萨如图测量未知信号的频率

把已知和未知正弦信号分别加到水平和垂直偏转板，则荧光屏上光点的运动轨迹是两个互相垂直的谐振动的合成。当两个正弦信号频率或周期比为整数之比时，其轨迹是一个闭合且稳定的李萨如图。按照上述**测量原理 2**，利用李萨如图的规律即公式（2），分别求出 $N_x:N_y=1:1, 1:2, 2:1, 2:3$ 几种情况下未知信号的频率，完成数据表 2 的记录。

表 2 未知信号频率测量数据表

李 萨 如 图				
N_x	1	1	2	2
N_y	1	2	1	3
f_x				
f_y				

3、利用 X—Y 模式模拟 Y—t 模式测量未知信号的频率

把信号发生器输出已知正弦信号和待测未知正弦信号分别连接到水平和垂直偏转板,将信号发生器输出波形由正弦切换为锯齿波,调节其频率 f_x , 当 $T_x = T_y$ 亦即 $f_y = f_x$ 时,我们会在荧光屏上看到一个完整周期的未知正弦波电压信号的稳定波形,即在没有同步控制的条件下硬生生实现扫描同步,此时,已知信号的频率即为被测信号的频率。同理,当调节到已知信号的周期 T_x 正好为 $2T_y$ 和 $3T_y$ 时,我们将看到什么?被测信号的频率又是多少?这是非常有趣的尝试!请尝试自行设计表格记录相关数据,分别测定未知信号的频率。

【注 1】每周实验课实验参数都会改变,具体要求以当堂授课内容为准!

【注 2】实验完毕离开实验室前,务必关掉电源,整理仪器,清洁桌面!

【安全问题】

本实验在正常操作的情况下有周全的防护,但操作不当,仍然可能造成危害:

1. 不要用手触摸 220V 市电插口,以免电击;
2. 不要将饮料水杯放在仪器旁,以免碰倒漏电,安全第一!

【数据处理】

1. 参照数据表格规范设计表格;
2. 正确测量和完整读取有效数字,完成【实验内容】1 的要求,评估峰峰值电压和周期的百分误差,分析误差原因;
3. 完成【实验内容】2 和 3 的要求,并简要分析测量结果。

【思考题】

1. 示波器是好的,可是荧光屏上没有信号,你能找到哪些原因呢?
2. 当示波器从 Y—t 模式切换到 X—Y 模式时,你知道有哪些功能旋钮和按键失效了呢?

【注 3】你的答案必须经过你亲手操作确被证实!切勿瞎猜!! 否则,××!!!

【参考文献】

- [1] 熊永红等主编,大学物理实验,科学出版社,2007 年 8 月.
- [2] Keller, P.A.: The 100th Anniversary of the Cathode-Ray Tube. Vol. 13, No. 10, 1997.
- [3] 张开逊,回望人类发明之路:驾驭电子,北京出版社,2007 年 8 月.
- [4] 彭瑞明主编,大学物理实验,华南理工大学出版社,2006 年 2 月.

附录：《信号发生器》和《示波器》操作指南

一、EE1420 型函数信号发生器面板功能



<ul style="list-style-type: none">● 选择波形 <p>开机后，想要输出正弦波，直接在波形列选择第 1 个按键即可；想要输出锯齿波，在波形列按一下第 4 个按键好了。</p>	
<ul style="list-style-type: none">● 调节频率 <p>在频率菜单高亮的状态下，直接利用数字键输入频率值，此时会看到液晶屏右侧显示不同频率的单位菜单，按一下右侧对应的蓝色菜单键即可选定此单位，如千赫 KHz。</p> <p>如果到时候想改变频率值，可再次启动频率菜单高亮，利用左右方向键选定某位，再利用上下方向键对此位进行加 1 减 1 操作。</p>	
<ul style="list-style-type: none">● 调节幅度（即峰峰值 V_{pp}） <p>按一下幅值菜单右侧对应的菜单键变成高亮状态即是启动幅度调节，利用数字键输入电压值，此时会看到液晶屏右侧显示电压的不同单位菜单，按一下右侧对应的菜单键即可选定此单位，如伏特 Vpp。</p>	

【注意】

1. “**函数输出**”端口 **OUTPUT** 输出被测已知电压信号，电缆线必须接在此端口；
2. 面板右侧功能键 **Output** 必须启动**点亮**才有电压信号输出；
3. 右上角滚轮调节比较灵敏，请慎用；
4. 面板中下部的**电源开关**为半透明橡胶按键，开机还好，关机时须按下不动约 2 秒才能行哦！



	<p>电源开关</p> 	<p>光迹角度调节旋钮 用专用起子调节波形至水平</p>  
	<p>聚焦旋钮 调节波形清晰度</p> 	<p>辉度旋钮 调节波形明暗度</p>  
	<p>④ 水平偏转系数 D_x 选择开关 调节波形水平方向疏密度</p> 	<p>③ 时基扫描微调—测量时间 时须顺时针至校准/CAL</p>  
	<p>⑫ ⑪ 垂直偏转系数 D_y 选择开关 调节波形纵向电压的幅度</p> 	<p>⑬ ⑭ 垂直偏转微调—测量 电压时须顺时针至校准/CAL</p>  
	<p>⑪ ⑫ 垂直位置旋钮 调节波形纵向位置</p> 	<p>② 水平位置旋钮 调节波形横向位置</p>  



⑦ 水平触发扫描方式选择开关



- 触发源选择必须与被测信号通道一致
- 建议初学者选择“自动”触发模式
- 显示双踪信号时应选择“VERT”/ 交替触发
- 以上功能在 X-Y 模式失效！



⑧ 信号通道和垂直模式选择开关



- 选择被测信号通道：CH1/ CH2
- 同时显示两个通道信号请选择 DUAL / 双踪
- 建议初学者选择垂直模式 ALT（交替触发）
- 以上功能在 X-Y 模式失效！



⑤ 触发电平

确定启动扫描时被测信号的初始电压值，顺时针为增加



- X-Y 模式失效



⑥ 触发斜率

选择上升沿+或下降-



X-Y 模式失效！

默认弹出位置为上升沿+



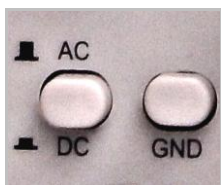
⑨ CH1(X)通道插口

- Y-t 模式，通道 1 电压信号输入到垂直偏转板
- 在 X-Y 模式，此通道信号被切换到水平偏转板上



⑭ CH2(Y)通道插口

- 不管在什么工作模式，此通道始终会输入到垂直偏转板上



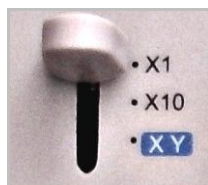
⑩ ⑮ AC-DC-GND 输入模式



选择 AC 为交流输入，即通过电容器过滤掉直流分量，由于电容的非线性会引起信号不同程度的失真，慎用！

输入信号耦合方式选择：

- AC: 信号直流分量被滤掉
- DC: 输入完整信号
- GND: 强制输入零电压信号



① 工作模式切换开关

- X1 Y-t 模式显示电压随时间演化的图像
- X10 Y-t 模式下时间轴被放大到 10 倍
- 切换到 X-Y 模式时，扫描信号被切断，CH1(X)被连接到 X 偏转板，而 CH2(Y)还是连接到 Y 偏转板

三、示波器操作要点

将信号发生器输出连接到 1 通道 CH1(X), 务必将输入方式切换至直流 DC (为什么?)

- 玩转示波器 八步曲 (Y-t 模式操作的必由之路!)

1. 打开电源
2. 切换到工作模式 Y-t
3. 选择被测信号的输入通道 CH1
4. 选择触发: 扫描方式选自动 AUTO, 触发源选择必须与被测信号通道一致, 即 CH1 (见第 3 步), 触发的来源应选 INT(内部).
5. 选择触发斜率 SLOPE (极性±), 默认为+ (上升沿); 电平 LEVEL 调至中部为宜.
6. 调节辉度 INTENsity 和聚焦 FOCUS, 看到最清晰和舒适明暗度为佳
 - ★ 若开机后看不到波形, 此步骤应在第一步后操作, 即将灰度尽量调大一些!
7. 分别纵向和横向上下和左右平移波形位置便于观测:
调节水平 X 位移旋钮/ HORIZontal POSITION, 垂直 Y 位移旋钮/VERTical POSITION
8. 选定适当的偏转系数, 将波形纵向幅度尽量调大, 横向保持至少 1 个周期, 即:
选择合适的垂直偏转系数 VOLTS/DIV 和水平偏转系数 TIME/DIV (1 DIVision= 1 cm)

★ 请注意: 选定偏转系数前, 务必先将所有微调旋钮旋至校准 CAL 位置, 否则, 结果必谬!

- 探索总结 X-Y 模式几步曲 ? !