

一、示波器的作用

1. 广泛的电子测量仪器；
2. 测量电信号的波形（电压与时间关系）；
3. 测量幅度、周期、频率和相位等参数；
4. 配合传感器，测量一切可以转化为电压的参量（如电流、电阻、温度磁强等）

二、工作原理

1. 组成：
2. 电子偏转：电子在水平/垂直方向受电场力。
3. 电子扫描：在水平偏转板上加锯齿波电压，电子束在水平方向周期性地来回扫动，屏幕出现水平亮线，称为“扫描”。

扫描方式：AUTO/NORM

4. 波形显示原理：在 Y 偏转板加正弦电压 U_y ，在 X 偏转板加锯齿电压 U_x ，使电子在 Y 方向做正弦运动，沿 X 方向做匀速运动。

若 $T_x = nT_y$ 。则屏幕上出现 n 个稳定的正弦波。

触发同步：只有 T_x 为 T_y 的整数倍时，屏幕上的波形才能稳定。

为了得到稳定波形，可以采用触发同步：即从触发源（如 Y 轴电压）引入一部分信号去控制锯齿波发生器，强制 $T_x = nT_y$ 。

调同步：选触发源（source）-调电平（trigger level）。

双踪显示：利用电子开关，把通道 1（CH1）和通道 2（CH2）的两个信号波形轮流显示。

选通道：**CH1**、**CH2**、**CH1+CH2**，**CH1-CH2**

选显示方式：交替（**ALT**）/断续（**CHOP**）

5. 李萨如图，用李萨如图测量信号频率

把两个正弦信号分别加到 **X** 轴（**CH1**）和 **Y** 轴（**CH2**）输入端，则屏幕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之比为整数时，其轨迹是一个稳定的闭合曲线。这种曲线称为李萨如图，如图 3-3-6 所示。

三、示波器的使用方法 1. 面板

2. 使用方法

1) 选扫描方式（**SWEEP MODE**）：**AUTO**，以便无信号输入时产生水平亮线。（**NORMAL/SINGLE**）。

旋钮居中：先将常用旋钮放在中间位置，如“**INTEN**”（波形亮度）、“**READ OUT**”（字符亮度）和“**POSITION**”（垂直位移）、“**←→POSITION**”（水平位移）等常用旋钮居中。

2) 选通道：**CH1/CH2**；

选显示方式：**ALT**

交流（**AC**）耦合：一般情况下，按 **DC/AC** 键，使 **CH1** 和 **CH2** 输入信号耦合方式为 **AC**。

3) 调同步

选触发源（**source**）：按 **SOURCE**（触发源）键—**VERT**（垂直）

触发方式，这样不管从 **CH1** 还是从 **CH2** 输入信号，都能得到稳定的波形显示。

交流（**AC**）耦合：按 **COUPLE**（耦合）键，使触发信号耦合方式为 **AC**。

调波形稳定：调“**TRIG LEVEL**”（触发电平）

4) 调大小

调节 **X** 轴“**TIME/DIV**（扫描速率）”旋纽，使屏幕 **X** 方向显示 1~2 个周期波形。

调节 **Y** 轴“**VOLTS/DIV**（偏转因数）”旋纽，使 **Y** 方向信号的峰值占 3~5 格。

示波器使用小结：

扫描-通道-显示-触发-同步

口诀：自动（**AUTO**）扫描-旋纽居中-交流（**AC**）耦合-垂直（**VERT**）触发-电平（**TRIG LEVEL**）调节。

3. 测信号幅度、周期（频率）与相位

1) “距离测量法”——基本方法

峰峰值电压 $U_{PP} = y(\text{cm}) \times \text{偏转因数 } K(\text{V/cm})$

交流有效值：

周期 $T = x(\text{cm}) \times \text{扫描速度 } P(\text{ms/cm})$

频率 $f = 1/T(\text{Hz})$

相位 = $x(\text{cm}) \times 3600/XT$

2) “光标测量法”——大多数示波器没有.

测相位差：

利用“双踪功能”测量两同频率电压的相位差。

相位差： $\Delta \phi = D(\text{div}) \times 2\pi / DT$

(2) “光标测量法”-大多数示波器没有此功能。



虽然示波器的牌号、型号、品种繁多，但其基本组成和功能却大同小异，本文介绍通用示波器的使用方法。

一、面板介绍

1. 亮度和聚焦旋钮

亮度调节旋钮用于调节光迹的亮度（有些示波器称为“辉度”），使用时应使亮度适当，若过亮，容易损坏示波管。聚焦调节旋钮用于调节光迹的聚焦（粗细）程度，使用时以图形清晰为佳。

2. 信号输入通道

常用示波器多为双踪示波器，有两个输入通道，分别为通道 1（CH1）和通道 2（CH2），可分别接上示波器探头，再将示波器外壳

接地，探针插至待测部位进行测量。

3. 通道选择键（垂直方式选择）

常用示波器有五个通道选择键：

(1) **CH1**：通道 1 单独显示；

(2) **CH2**：通道 2 单独显示；

(3) **ALT**：两通道交替显示；

(4) **CHOP**：两通道断续显示，用于扫描速度较慢时双踪显示；

(5) **ADD**：两通道的信号叠加。维修中以选择通道 1 或通道 2 为多。

4. 垂直灵敏度调节旋钮

调节垂直偏转灵敏度，应根据输入信号的幅度调节旋钮的位置，将该旋钮指示的数值（如 0.5V/div ，表示垂直方向每格幅度为 0.5V ）乘以被测信号在屏幕垂直方向所占格数，即得出该被测信号的幅度。

5. 垂直移动调节旋钮

用于调节被测信号光迹在屏幕垂直方向的位置。

6. 水平扫描调节旋钮

调节水平速度，应根据输入信号的频率调节旋钮的位置，将该旋钮指示数值（如 0.5ms/div ，表示水平方向每格时间为 0.5ms ），乘以被测信号一个周期占有格数，即得出该信号的周期，也可以换算成频率。

7. 水平位置调节旋钮

用于调节被测信号光迹在屏幕水平方向的位置。

8. 触发方式选择

示波器通常有四种触发方式：

(1) 常态 (**NORM**)：无信号时，屏幕上无显示；有信号时，与电平控制配合显示稳定波形；

(2) 自动 (**AUTO**)：无信号时，屏幕上显示光迹；有信号时与电平控制配合显示稳定的波形；

(3) 电视场 (**TV**)：用于显示电视场信号；

(4) 峰值自动 (**P-P AUTO**)：无信号时，屏幕上显示光迹；有信号时，无需调节电平即能获得稳定波形显示。该方式只有部分示波器（例如 **CALTEK** 卡尔泰克 **CA8000** 系列示波器）中采用。

9. 触发源选择

示波器触发源有内触发源和外触发源两种。如果选择外触发源，那么触发信号应从外触发源输入端输入，家电维修中很少采用这种方式。如果选择内触发源，一般选择通道 **1 (CH1)** 或通道 **2 (CH2)**，应根据输入信号通道选择，如果输入信号通道选择为通道 **1**，则内触发源也应选择通道 **1**。

二、测量方法

1. 幅度和频率的测量方法（以测试示波器的校准信号为例）

(1) 将示波器探头插入通道 **1** 插孔，并将探头上的衰减置于 "**1**" 档；

(2) 将通道选择置于 **CH1**，耦合方式置于 **DC** 档；

(3) 将探头探针插入校准信号源小孔内，此时示波器屏幕出现光迹；

(4) 调节垂直旋钮和水平旋钮，使屏幕显示的波形图稳定，并将垂直微调和水平微调置于校准位置；

(5) 读出波形图在垂直方向所占格数，乘以垂直衰减旋钮的指示数值，得到校准信号的幅度；

(6) 读出波形每个周期在水平方向所占格数，乘以水平扫描旋钮的指示数值，得到校准信号的周期（周期的倒数为频率）；

(7) 一般校准信号的频率为 **1kHz**，幅度为 **0.5V**，用以校准示波器内部扫描振荡器频率，如果不正常，应调节示波器（内部）相应电位器，直至相符为止。

2. 示波器应用举例（以测量 788 手机 13MHz 时钟脉冲为例）

手机中的 **13MHz** 时钟信号正常是开机的必要条件，因此维修时要经常测量有无 **13MHz** 时钟信号。步骤如下：

(1) 打开示波器，调节亮度和聚焦旋钮，使屏幕上显示一条亮度适中、聚焦良好的水平亮线；

(2) 按上述方法校准好示波器，然后将耦合方式置于 **AC** 档；

(3) 将示波器探头的接地夹夹在手机电路板的接地点，探针插到 **788** 手机 **CPU** 第脚；

(4) 接通手机电源，按开机键，调节垂直扫描水和水平扫描旋钮，观察屏幕上是否出现稳定的波形，如果没有，一般说明没有 **13MHz** 信号。

一、示波器的作用

示波器是一种用途很广的电子测量仪器。利用它可以测出电信号的一系列参数，如信号电压（或电流）的幅度、周期（或频率）、相位等。

二、示波器的原理简述

通用示波器的结构包括垂直放大、水平放大、扫描、触发、示波管及电源等六个部分，方框图如图 1 所示。

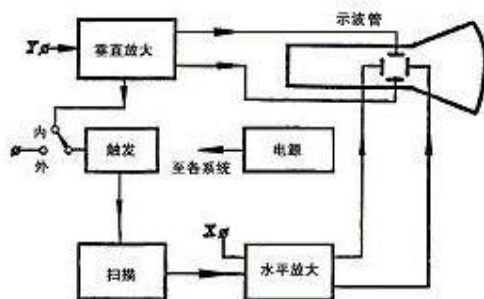


图 1 示波器结构方框图

矿石收音机
www.crystalradio.cn

图 1 示波器结构方框图

现将各部分的主要作用简述如下：

1. 电子示波管

如图 2.1.2 所示,它主要由电子枪、偏转系统、荧光屏三部分组成。电子枪包括灯丝、阴极、栅极和阳极。偏转系统包括 Y 轴偏转板和 X 轴偏转板两部分,它们能将电子枪发射出来的电子束,按照加于偏转板上的电压信号作出相应的偏移。荧光屏是位于示波管顶端涂有

荧光物质的透明玻璃屏，当电子枪发射出来的电子束轰击到屏时，荧光屏被击中的点上会发光。

2. 水平(X)、垂直(Y)放大器

电子示波管的灵敏度比较低，假如偏转板上没有足够的控制电压，就不能明显地观察到光点的移位。为了保证有足够的偏转电压，必须设置放大器将被观察的电信号加以放大。

3. 扫描发生器

它的作用是形成一线性电压模拟时间轴，以展示被观察的电信号随时间而变化的情况。

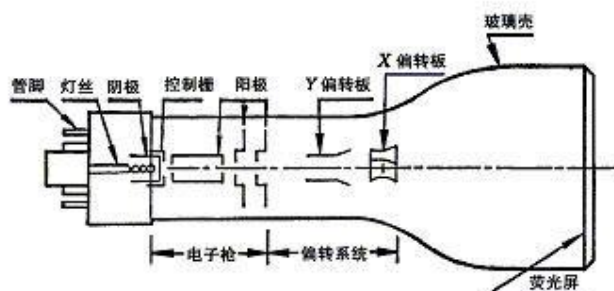


图 2 电子示波管结构图

矿石收音机
www.crystalradio.cn

图 2 电子示波管结构图

4. 波形的形成

在正常情况下，荧光屏光点的相对移位是和输入到示波器 X 轴或 Y 轴上的电压成正比的。例如，一正弦信号电压 $U_y = \sin \omega t$ ，如图 2.1.3(a) 所示。图中 Y 轴表示电压的大小，X 轴表示时间，现把 U_y 送至示波器的 Y 轴偏转板上，荧光屏上看到的是一根竖着的直线。这可以从图 2.1.3 中来理解：当 t_0 时，Y 轴偏转板上的电压 U_y 为零，光

点无偏移地停在荧光屏 0 点处。当 t_1 时, U_y 正向增大, 光点偏移至 A 点。 t_2 时, U_y 达到正向最大值, 光点偏移至 B 点。 t_3 时, U_y 下降, 但仍然是正电压, 光点回到 A 点。 t_4 时, 电压为零, 光点回到原点。可见, 光点移动距离与所加电压成正比, 故可用来测量电压幅值。

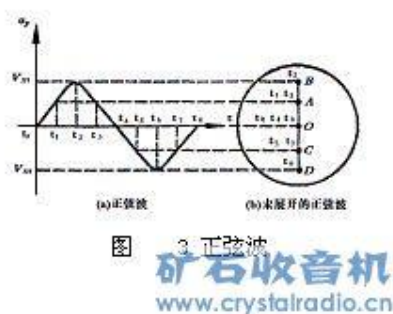


图. 3 正弦波

同理, 在负半周, t_5 、 t_6 、 t_7 、 t_8 各时刻光点相继经过 C、D、C、0 各点。

上述正弦波电压持续加在垂直偏转板上, 光点不断地上下来回移动, 只要移动速度足够快, 利用视觉暂留效应, 在荧光屏上看到的将是一根竖着的直线, 如图 2.1.3(b) 所示。

为了显示正弦波形, 在示波器的水平偏转板上需要加线性变化的锯齿波信号电压。如果 Y 轴偏转板上无信号, 单独在 X 轴偏转板上加锯齿波电压, 则荧光屏上也观测到一条直线, 只是成水平直线, 其形成过程如下:

在 t_1 时, U_x 是负电压, 光点在荧光屏上的 A 点, 此后, 电压直线上升。当 t_2 时, 光点移到 B 点。当 t_3 时, 电压上升到零值, 光点在中心 C

点处。当时，光点移到 D 点。时，电压上升到最大值，光点达到 E 点。然后电压迅速退回到负值，光点也就由 E 点迅速回到 A 点，如此不断反复，荧光屏上可以观察到一条水平直线，如图 4 所示。



图 4 锯齿电压波

图. 4 锯齿电压波

如果将被观察的正弦波电压 U_y 加在 Y 轴偏转板上, 同时又将扫描电压 U_x 加在 X 轴偏转板上, 使正弦波的频率与扫描电压波的重复频率相等, 那么在荧光屏上就能观察到一个完整的正弦波, 如图 2.1.5 所示。其合成过程如下:

在 t_0 时, $U_y = 0$, Y 轴方向无偏移, 而 U_x 为负值, 光点沿 X 轴向右偏移, 位于荧光屏上的 A 点。在 t_1 时, U_y 上升, 光点向上移, 同时 U_x 也上升, 光点又要向右移, 合成结果使光点移至荧光屏上的 B 点。以后, 在 t_2 、 t_3 、 t_4 各时刻, 光点相继沿 C、D、E 各点移

动。t₄ 以后，由于 迅速返回至原始状态，光点将从 E 点迅速返回 A 点。接着正弦波重新开始第二个周期，扫描电压开始第二次扫描，荧光屏上呈现与第一次相重叠的正弦波形。如此不断重复，荧光屏上可观察到一个稳定的正弦波。

上述两者是在频率相同情况下，荧光屏显示出一个周期的正弦波。如果正弦波频率 是扫描波重复频率 的二倍时，即 $f_y=2f_x$ ，则在荧光屏上看到的将是 2 个周期的正弦波，从而可知，当 $= n$ 时，在荧光屏上将呈现出 n 个周期的正弦波。

可以设想，如果 f_y 与 f_x 不是成整数倍的关系（n 不是整数），波形就不能完全重叠。为了解决这个问题，通常是把输入 Y 轴的信号电压作用在扫描发生器上，使扫描频率 f_y 跟随信号频率 f_x 作些微小改变，以保持 f_y 与 f_x 成整数倍关系，这个作用称之为“同步”。现代示波器中经常采用的是“触发同步”，所谓“触发同步”，是当输入 Y 轴的信号电压瞬时值达到一定幅值时，触动扫描发生器，产生一个锯齿波电压。这个锯齿波扫描结束后，扫描发生器将处于等待下次触发信号的状态。可见，扫描电压的起始点与输入信号电压的某一瞬时保持

同步，保证了波形的稳定。

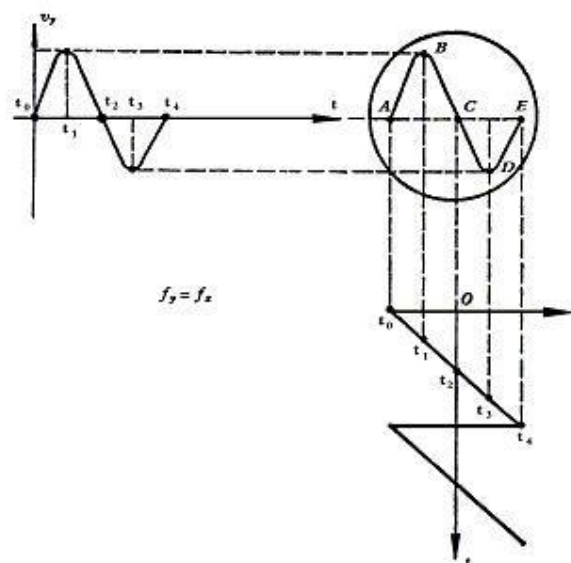


图. 5 单周波的合成过程

矿石收音机
www.crystalradio.cn

图. 5 单周波的合成过程

三、实验仪器设备

名称	参考型号	数量	用途
示波器	COS5020B	1	观察信号波形
低频信号发生器	XD2	1	信号源
晶体管毫伏表	DA16B	1	测电压（有效值）

四、练习内容及方法

1. 按示波器说明书要求（参阅 6.4 有关示波器的使用说明）认清示波器各控制旋钮的位置和作用。开启电源，调节辉度、聚焦、水平和垂直移位，将同步极性开关、扫描（电压） t/cm 和电平、稳定

度等旋钮置于适当位置，使荧光屏上呈现一条清晰的水平线。反复练习上述操作，以求熟练。

2. 电压测量

(1) 测量前校准。校准要求和方法因使用不同的示波器而各不相同，具体步骤请参阅 6.4 中的有关说明。

(2) 交流电压 V_{p-p} 测量

① 将示波器的耦合选择开关置“AC”。低频信号发生器输出电压为 0.2V（有效值），频率为 $f=1\text{kHz}$ 的音频信号，送入 Y 轴。

② 根据被测信号的幅度和频率，合理选择 Y 轴衰减和 X 轴时基档级开关，并调节电平旋钮，使波形稳定如图 6 所示。

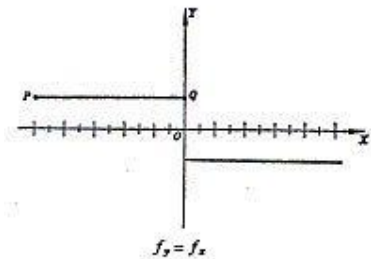


图 6 Y 轴灵敏度 X 轴时基校准

矿石收音机
www.crystalradio.cn

图. 6 Y 轴灵敏度 X 轴时基校准

③ 读出被测信号 V_{p-p}

例：如果荧光屏上波形的峰-峰值为 $D\text{div}$ (设 $D=3$)，Y 轴灵敏度为 0.02V/div ，则测得

$$\begin{aligned} V_{p-p} &= 0.02\text{V/div} \times D\text{div} = 0.02D(\text{V}) \\ &= 0.2 \times 3(\text{V}) = 0.6(\text{V}) \end{aligned}$$

式中 $0.02V/div$ 是示波器无衰减的灵敏度, 即每格代表 $20mv$; D 为被测量信号在 Y 轴方向峰-峰之间距离, 单位为格 (即 div)。

④令低频信号发生器输出电压分别为 $1v, 2v, 3v, 4v, 5v$, $f = 1KHZ$, 测量其相应的电压峰-峰值 V_{p-p} 。并填入表 2.1.1

表 2.1.1

输出电压 (v)	1	2	3	4	5
D (div)					
A (v/div)					
V_{p-p}					

⑤用示波器测量低频信号发生器的幅频特性曲线

测量时, 先将低频信号发生器输出衰减置于 $0dB$ 档, 在输出信号频率为 $1KHZ$ 的情况下, 调节输出微调电位器, 使低频信号发生器的指示电压表的指针指在中间, 然后保持输出微调电位器不变。改变低频信号发生器的输出频率, 使其分别为 $20HZ, 50HZ, 100HZ, 200HZ, 1kHz, 1.5kHz, 2.5kHz, 5kHz, 10kHz, \dots$, 用示波器测出相应的电压 V_{p-p} , 同时记下相应的低频信号发生器电表指示值 V_e (有效值), 填入表 2.1.2 中, 从而绘出幅频特性曲线: $V_{p-p} \sim \log f$ 及 $V_e \sim \log f$

表 2.1.2

低频信号发生器 f 信 (Hz)	20	50	100	200	1k
	1.5k	2.5k	5k	10k	...
V_{p-p}					

(V)

Ve

(V)

3. 时间测量

时间测量是指X轴读数, 量程由X轴的时基扫描速度开关"t/div"决定。

(1) 测量前校准

方法与步骤请参阅 6.4 示波器的使用说明。

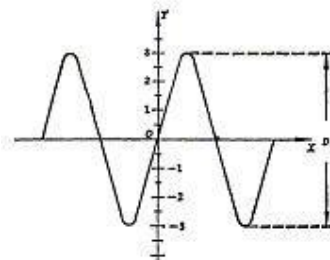


图 7 交流幅度测量

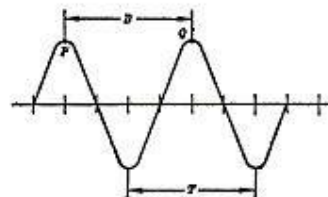


图 8 时间测量

矿石收音机
www.crystalradio.cn

图 7 交流幅度测量

图 8 时间测量

(2) 测量信号波形任意两点间的时间间隔 t 。

将被测信号送入 Y 轴, 调节有关旋钮, 使其在荧光屏上呈现稳定波形, 如图 2.1.8 所示, 然后 测量 P、Q 两点的时间间隔 t 。

- ①. 测出 P、Q 间在屏幕 X 轴上的距离 $B(\text{div})$ 。

②. 记录" t / div "扫描档级指示值, 如为" $A (\text{ms}/\text{div})$ ".

用公式 $t = A (\text{ms}/\text{div}) \times B (\text{div}) = A \times B (\text{ms})$, 计算时间间隔。

例如: 若测得 $B = 5\text{div}$, 而" t / div "指在 $0.1 (\text{ms} / \text{div})$ 时, 则

$$t = 0.1 (\text{ms} / \text{div}) \times 5 (\text{div}) = 0.5 (\text{ms})$$

表明图 2.1.8 中 P、Q 两点间的时间间隔是 0.5 毫秒

4. 频率测量

(1) 用 X 轴时基 (t / div) 测量

利用 $f=1/T$ 关系, 先按时间测量方法, 测出周期 T , 即可求出频率。

根据表 2.1.3 所给数据, 改变低频信号发生器的输出频率分别为 50、100、200、……、分别测量波形中相邻峰-峰 (或谷-谷) 之间在屏幕上的距离 $B (\text{div})$, 并将 B 和 $A(t/\text{div})$ 值填入表表 2.1.3 中, 计算出相应的 T 和 f 校。

(2) 用李沙育法测量

若有二个不同频率的信号, 分别同时加入示波器 X 轴和 Y 轴输入端, 如图 2.1.9 所示。在屏幕上显示的图形将取决于不同频率比及初相如图 2.1.10 和图 2.1.11 所示。

表 2.1.3

低频信号发生器

(Hz)	50	100	200	300	50
--------	----	-----	-----	-----	----

0 1K 5K 10K 15K 20K

一周的间距

B(di v)

A(t/di v)

$T = A(t/di v)$

B(di v)

f 校

=(Hz)

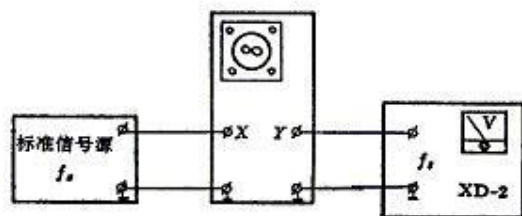


图 9 李沙育法图形法测试仪器连接

图.9 李沙育法图形法测试仪器连接



图 10 频率比为1不同相位差的李沙育法图形

图.10 频率比为 1 不同相位差的李沙育法图形

在李沙育法图中确定频率比值的方法，是在图形中的水平与垂直方向上作两条互相垂直的直线，这两条直线都不通过李沙育法图形中的任何一个交点，设水平线与李沙育法图形的交点数为 n_x ，垂直线与李沙育法图形的交点数为 n_y ，则两个交点数之比与频率比有如下关系

假设 f_x 是已知的频率，由上式可以确定被测的频率：

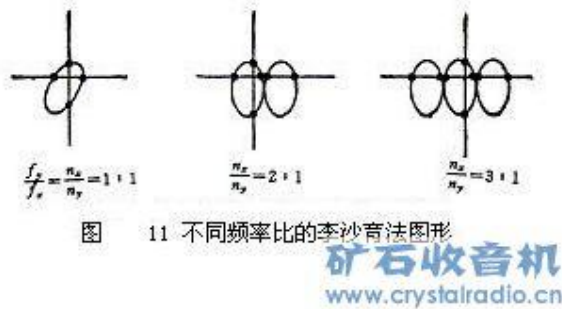


图 11 不同频率比的李沙育法图形

图 11 不同频率比的李沙育法图形

以电源频率为标准从 X 轴输入，将被测频率的信号输入 Y 轴，校
测低频信号发生器的低段频率刻度：

表 2.1.4

低频信号发生器

(Hz)	25(Hz)	50(Hz)	100(Hz)	
	150(Hz)	200(Hz)	250(Hz)	300
(Hz)				
f 校=1/T				
(Hz)				

5. 相位测量

在许多场合下，可利用示波器测量某一电路的相移。例如一正弦
波电流通过一个 RC 电路，测量它的电压与电流之间相位关系。假设
交流电压和电流分别为

则相移

(1) 直接比较法

按图 2 连接电路。同时将 A 端、B 端电压分别送入双踪示波器之
X 轴和 Y 轴，若 A 信号电压在屏幕上显示的周期宽度在 X 轴上刻度为 X
di v 值。读测 A 信号电压与 B 信号电压两个相应特定点 P、P' 的间距

D div, 则两信号电压之间的相移为 $\theta = (D/X) * 360^\circ$

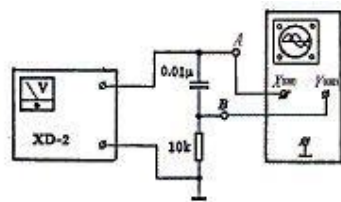


图 12 测相位连接电路
矿石收音机
www.crystalradio.cn

图 12 测相位连接电路

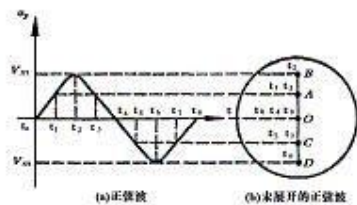


图 13 测量相位差
矿石收音机
www.crystalradio.cn

图 13 测量相位差

如图. 13 所示。

(2) 李沙育图形法

将 A 信号送入 X 轴, B 信号送入 Y 轴, 将时基扫描速度开关 "t/div" 置于 "X-Y" 档, 如图 2. 1. 13 所示。分别控制输入信号幅度及示波器的 V/div 档级, 使图形约占示波器屏幕有效面积的 1/3。若李沙育图形在 X 轴上的截距为 b, 在 X 轴上的最大偏移为 a。则两信号电压之间的相移为

$$\theta = \arcsin(b/a)$$

为了减少测量误差，可按图 14 所示用 $2a$ 、 $2b$ 值计算

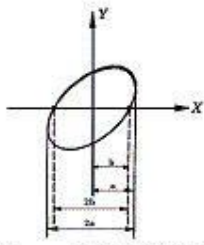


图 14 李沙育法图形

矿石收音机
www.crystalradio.cn

图 14 李沙育法图形

五，总结

1. 总结如何正确使用示波器。
2. 作出低频信号发生器的幅频特性 $V_{p-p} \sim \log$ (或 $V_e \sim \log$) 和频率校正曲线 $f_{\text{信}} \sim f_{\text{校}}$ 。
3. 测出 $F = 1\text{KHz}$ 下的 $R(10\text{K}\Omega)$ 、 $C(0.01\mu\text{F})$ 电路的相移，并与计算值比较。

六、思考题

1. 欲测量信号波形上任意两点间的电压应如何测量？
2. 若被测信号频率远大于示波器锯齿波扫描频率，则示波管屏幕上将呈何波形？反之又如何