

电学预科实验

一、示波器和信号发生器的使用

【实验简介】

不论是海浪、地震、声音，还是人体内的心跳等，从某种程度上讲，自然界是以波的形式运动。借助传感器的使用，这些波动可以通过示波器显示出来。严格地讲，示波器是用来直接显示、观察和测量电压波形及其参量的电子仪器。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），它们的动态过程均可用示波器来观察和测量。现代示波器的频率响应可从直流至 GHz；它可观察连续信号，也能捕捉到单个的快速脉冲信号并将它储存起来，供仔细分析研究，它还能直接测量电压、时间、频率等各种参量。示波器是用途极为广泛的一种通用现代测量工具。信号发生器可以提供各种波形的电压信号。在现代电子测量过程中，有时需要信号发生器提供激励信号，与示波器一起完成测量任务。本实验主要利用示波器观察并测量由信号发生器产生的波形；旨在使同学们学会示波器和信号发生器的基本操作。

【实验目的】

1. 了解示波器显示波形的原理；
2. 学会示波器和信号发生器的使用方法；
3. 学会用示波器测电压、时间[间隔]（频率、周期、相位差）。

【实验仪器与用具】

数字存储示波器（rigol DS1102E, rigol MSO1104Z, rigol MSO2302A, 鼎阳 SDS1104X-E, Tektronix MSO2022B）、模拟示波器（绿杨 YB4328）、信号发生器（rigol DG1022U, rigol DG4162）、信号电路板（rigol DS1000D-TK）、其它。

【实验原理】

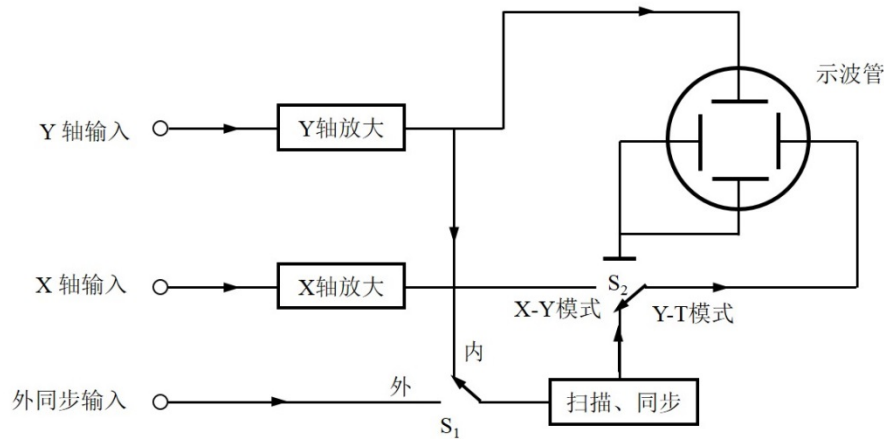
1. 示波原理

示波器分为模拟示波器和数字存储示波器。

早期的示波器为模拟示波器。它的原理如图 1 所示。它主要由三部分组成：阴极射线管，放大系统，触发、同步系统。电压信号经 Y 轴放大器放大后加到示波管的偏转板上，当示波器选择 Y-T 模式时，扫描、同步系统产生一个锯齿波电压加到 X 偏转板上，此时示波管上就能显示出输入电压的波形。

示波管结构如图 2 所示。阴极被加热发射出大量电子，经聚焦加热后高速轰击荧光屏，发

出荧光。在电子束路径两旁设置两对平行板电极，改变加在其上的电压，可控制电子束的运动。垂直方向的一对电极为水平（或 X）偏转板，简称横偏板。水平方向的一对平行板电极为垂直



（或 Y）偏转板，简称纵偏板。若加在平行板上的电压 u （单位 V）使电子束沿纵

图 1 模拟示波器工作框图。 S_1 为同步选择开关， S_2 为显示模式开关。

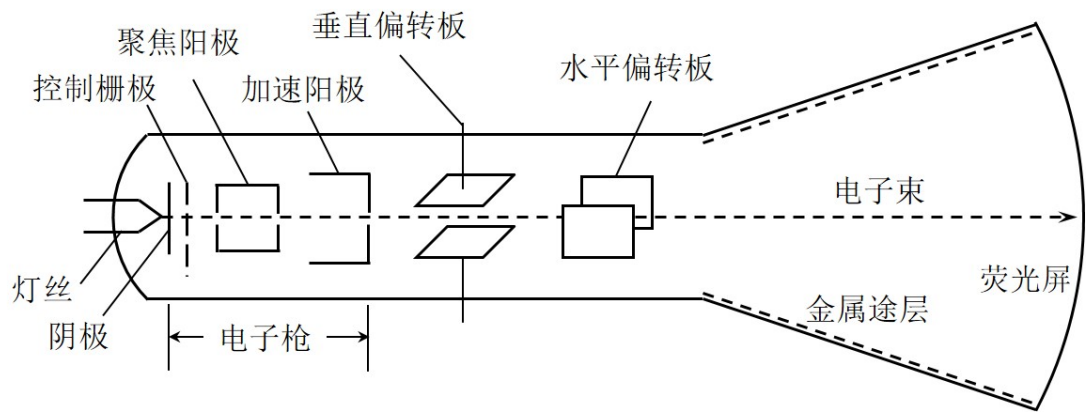


图 2 示波管结构

向（或横向）偏转 y （单位格），则定义 u/y 为偏转因数，记作 K 。因此，使电子束偏转 y 的电压可表示为： $u = Ky$ 。利用此式，可以测量出被测信号的电压值。

若仅在横偏板上加周期性变化的电压 $u_x(t)$ ，则电子束（或光点）沿水平方向作往返运动。电子束的这种周而复始的往返运动称为扫描。若 $u_x(t)$ 是如图 3 所示的周期为 T_s 的线性锯齿波电压，则电子束的水平位移 $x \propto u_x \propto t$ ，即位移和时间成线性关系。若在横偏板上加的扫描电压，致使电子束在周期 T （单位为 s）内沿水平方向位移 L （单位为格），则 T/L 为每格扫描时间，记作 t_0 。即 $T = t_0 L$ 。

在纵偏板上加周期为 T_Y 的被观察（如正弦波）信号 $u_Y(t)$ ，在横偏板上加周期为 T_s 的线性锯齿波扫描电压 $u_X(t)$ 时，后者使 Y 方向振动沿 X 方向扫开，由于 x 与时间 t 成正比，我们在屏上看到的的就是被观察（如正弦波）信号 $u_Y(t)$ 。示波器的这种工作模式称为 Y-T 模式。

当每次锯齿波的扫描起始点准确地落到被测信号的同一相位时，显示屏上每次扫出完全相

同的波形，即扫描信号与被测信号达到同步，称为扫描同步，此时我们在屏上看到的是一幅稳定的波形。若每次扫描起始点位于非同相位点，于是每次扫出的波形不重复，其结果是屏上波形不

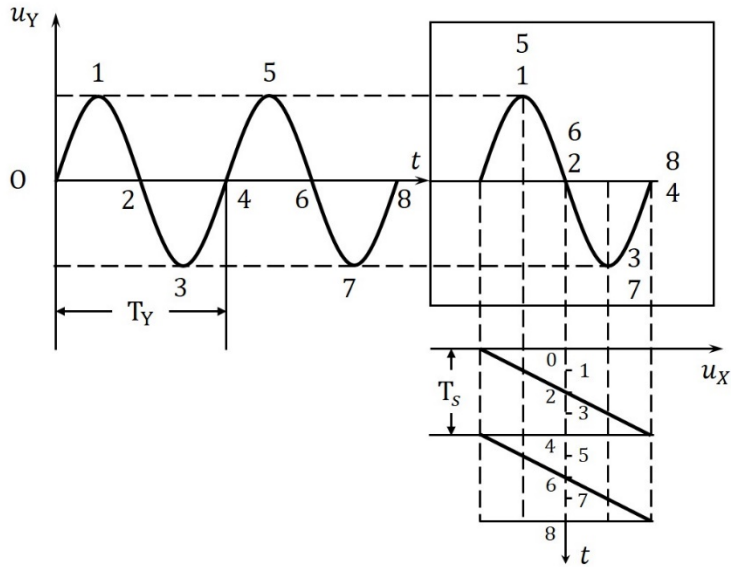
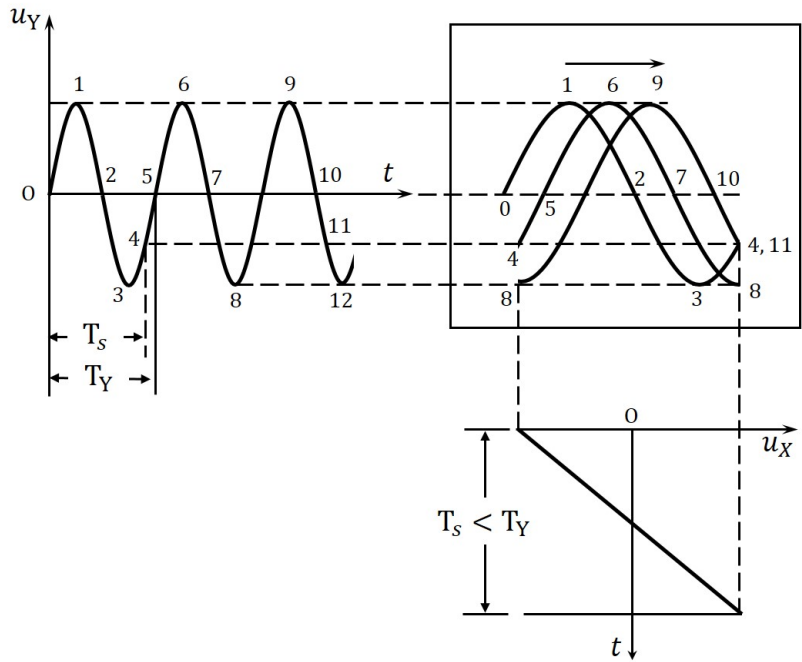


图 3 扫描原理

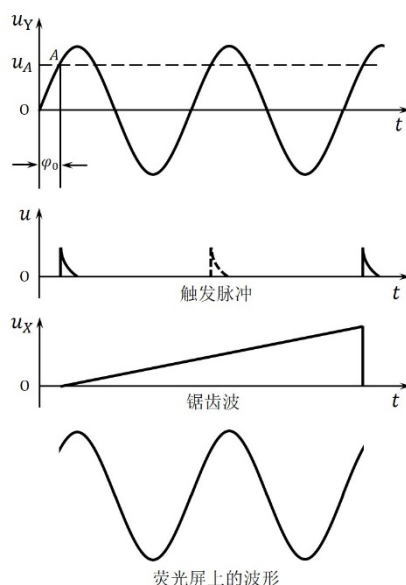


断地在移动（向左或向右），无法观察到稳定的波形，如图 4 所示。

图 4 扫描不同步，图像不稳定。

示波器内有扫描同步电路来实现扫描同步的目的。其原理如下。扫描电路平时不扫描，处于等待状态，只有当外界给某一触发信号时它才开始按一定的速度产生一个锯齿波，扫描结束后它又处于等待状态，当又一个触发信号来到时它又以同样的速度再扫描一次，如此不断地重复。由示波器框图 1 可见，当用内同步时，此触发信号来自被测信号，被测信号经放大后一路送至纵偏板另一路送至触发电路，当信号电平达到某一选定的触发电平时（如图 5 中的 u_A 电平），触

发电路输出一触发脉冲启动扫描电路，使其开始扫描。在锯齿波扫描期间它不受其它触发脉冲的任何影响直至扫描结束。因为每一个触发脉冲产生于同一触发电平，即对于被测信号的同一相位（ φ_0 ）点，于是每次扫出的波形完全重合，屏幕上显示的是稳定的波形，实现了同步的目的。改变所选定的触发电平，也就改变了同相位点（ φ_0 ）的位置，屏幕上波形的起点位置也将变化。当设定的触发电平大于被测信号的峰值时将不能产生触发信号，屏幕上将看不到任何波



形。

图 5 触发扫描原理

下面介绍数字存储示波器。

从用途看，数字存储示波器和模拟示波器一样，用于显示作为时间函数的电压波形（即 Y-T 模式）或两个函数之间的关系（即 X-Y 模式），但两者的工作原理有本质的差异。模拟示波器的输入信号经过放大直接加到显示器的偏转板上来显示波形，在信号频率很低时显示屏上显示的是一个亮点在慢慢地移动，看不到一个完整的波形，当信号消失时显示屏上的波形也随即消失。数字存储示波器是对输入信号先进行取样和模-数转换，将输入的模拟信号转换为数字量并存储在存储器内，示波器内的微处理器则将存储器内的数字信号转换成可视波形。由于它的存储功能，数字存储示波器特别适合捕获和显示单脉冲信号，当然它也能稳定地显示周期信号，但它不像模拟示波器那样不间断地连续扫描。由于数字存储示波器将波形变成了数字形式，因而可方便地进行各种数学运算。它优越的性能使其在测量领域得到广泛的应用。

数字存储示波器的原理如图 6 所示。它的输入电路与模拟示波器相似。前置放大器的输出信号由跟踪/存储或取样/存储电路进行取样，并由 A/D 转换器数字化，A/D 转换后信号变为数字形式存入到存储器。取样时钟驱动 A/D 转换器、取样器和存储器，使他们协调地工作。波形存储后，由微处理器将波形变为可视图形。数字存储示波器时基电路的功能与模拟示波器有很大

的差别，它不产生锯齿波电压，它用一个频率精度很高的晶体振荡器来度量触发信号和取样的时钟之间的时间差，微处理器据此来确定取样信号在显示屏上的位置。

数字存储示波器的另一个功能是能捕捉触发前的信号，显示屏中心所对应的是触发位置，右边是触发后的波形，左边是触发前的波形。模拟示波器只能观察触发后的波形。

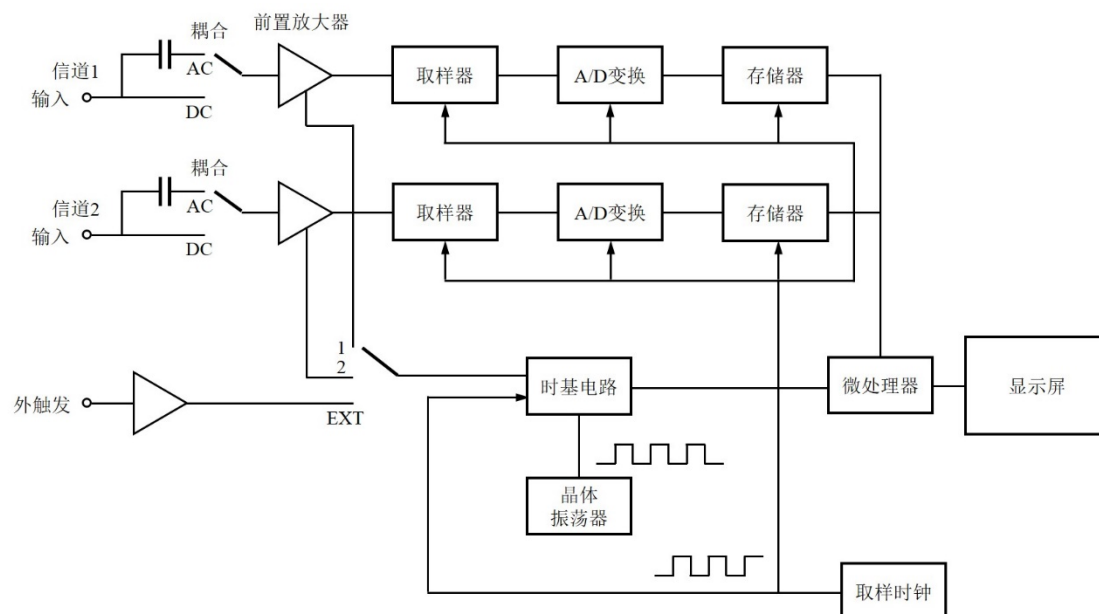


图 6 数字存储示波器工作原理图

2. 示波测量

用示波器可以测量电压、时间（间隔）、频率、相位差等。下面将介绍：示波测量电压、测量时间，观测李萨如（Lissajous，或 李沙育）图形。

（1）示波测量电压

只要量出被测波形任何两点的垂直距离 Δy 就可知该两点间的电压差 $\Delta u_Y = K\Delta y$ ，其中 K 为偏转因数。若被测电压为简谐波，则只要量出电压波形峰-峰的间距 Δy 就可知其电压的有效值： $u_e = \frac{u_{pp}}{2\sqrt{2}} = \frac{K\Delta y}{2\sqrt{2}}$ 。其中 u_{pp} 为电压的峰-峰值。

（2）测量时间（间隔）

用示波器可直观地测定时间（间隔）。在屏幕上，信号某两点之间的时间间隔 Δt ，等于该两点水平间距 l 乘以观测时的每格扫描时间 t_0 ，即： $\Delta t = lt_0$ 。

若观测的两点，正好是周期性信号相邻的两个同相位点，且间距为 L （单位：格），则其周期： $T = Lt_0$ 。

同频率的两个简谐信号之间的相位差为： $\varphi = \Delta t \cdot \frac{360^\circ}{T}$ 。其中 Δt 为两信号的对应同相位点间的时间间隔， T 为它们的周期。

(3) 观测李萨如图形

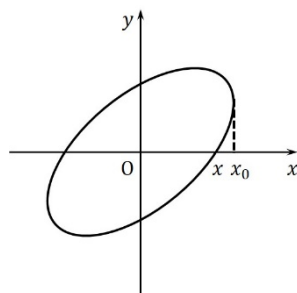


图 7 X-Y 模式

示波器除了有 Y-T 模式[显示 $y(t)$ 的波形], 还有 X-Y 模式, 它能显示 $y(x)$ 的函数关系。在 X-Y 工作模式时, 示波器的扫描部分停止工作, 将放大的 X 信号直接接到 X 偏转板即可。举个最简单的例子, 将频率相同、相位差为 φ 的两个正弦信号分别输入 Y 轴和 X 轴, 这是个典型的椭圆方程, 示波器上显示如图 7 所示的图形, 两个正弦信号之间的相位差为: $\varphi = \arcsin(\frac{x}{x_0})$, 式中 x 是椭圆在 x 轴的截距, x_0 是 x 方向的最大值。当两者同相位时, $\varphi = 0$, $x = 0$, 椭圆退化为一直线。

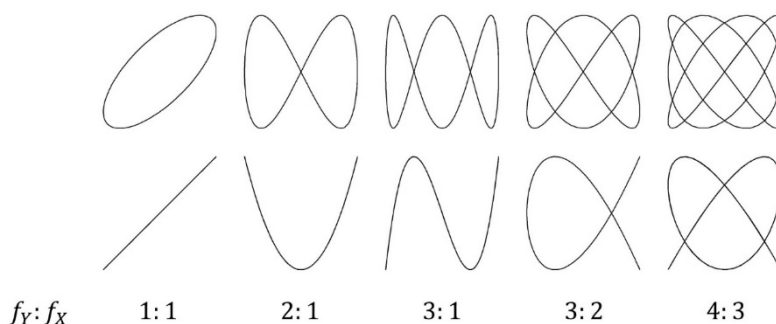


图 8 李萨如图

若 X、Y 偏转板上分别加频率为 f_x 、 f_y 的两个简谐波信息, 示波器屏上将显示两个正交谐振的合成振动图形。这种图形称为李萨如图形。其形状随两个信号的频率和相位差的不同而不同 (参见图 8)。如果两个谐振动的频率比为简单整数比 $m:n$ ($m = 1, 2, 3, \dots; n = 1, 2, 3, \dots$), 且两信号间相位差 φ 恒定不变时, 屏上会显示稳定的李萨如图形。根据李萨如图形的形状可以确定两信号的频率比为 $f_y: f_x = m:n$, 其中 m 为水平线与图形相交的点数, n 为垂直线与图形相交的点数。若其中一个频率已知, 则可确定另一个频率。

3. 信号发生器与示波器的阻抗设置

可以认为信号发生器内部固定串联一个 $50\ \Omega$ 的电阻, 这个电阻恒定不变, 如图 9 所示。当设置信号发生器负载阻抗, 并且维持信号源显示的幅值不变时, 真正发生变化的是发出的信号幅值。假设设置的信号幅值为 V , 设置的负载阻抗为 R , 实际产生的信号幅值用 U 表示, 有 $\frac{U}{R+50} = \frac{V}{R}$, 即 $U = V \left(1 + \frac{50}{R}\right)$ 。用 r 表示负载电阻的实际阻抗, 那么负载电阻上信号的实际幅值为: $u =$

$\frac{U}{50+r} \cdot r = \frac{V(1+\frac{50}{R})}{(1+\frac{50}{r})}$ 。如果电路阻抗匹配，即设定的负载阻抗和实际负载电阻相等 ($R=r$)。可以算出负载电阻上信号的幅值就是 V ，与信号发生器里的设置相同。如果阻抗不匹配 ($R \neq r$)，负载电阻上信号的幅值与信号发生器里的设置值 V 不同。

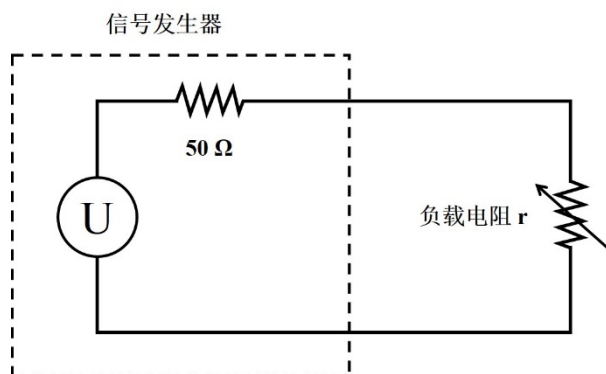


图 9 信号发生器和负载电路示意图

本实验中所用的信号发生器 (DG4162) 的负载阻抗设置有 $50\ \Omega$ 和高阻抗两种选项。当选 $50\ \Omega$ 负载阻抗，而实际负载阻抗无穷大或为 $1\ \text{M}\Omega$ 时，负载上的幅值为设置幅值的 2 倍。如果信号发生器中设置的负载阻抗为高阻抗，而实际负载为 $50\ \Omega$ 时，负载上的信号幅值为设置的信号幅值的一半。

示波器本身具有输入阻抗。本实验中有的示波器 (MSO1104) 只有一种 $1\ \text{M}\Omega$ 的输入阻抗，有的示波器 (MSO2302A) 有 $50\ \Omega$ 和 $1\ \text{M}\Omega$ 两种输入阻抗可供选择。 $1\ \text{M}\Omega$ 的输入阻抗设置，主要用于测量低频信号和电压大的信号。 $50\ \Omega$ 的输入阻抗设置，主要用于测量高频信号，但不能用于测量大电压。这是由于大电压在 $50\ \Omega$ 上的功耗较大。

为什么示波器会采用 $50\ \Omega$ 的阻抗？这首先需要了解高频电信号在传输线中的传播。电信号是以电磁波的形式在传输线中传播的。当频率较高时，波长变短，传输线的尺寸将不再远小于电磁波的波长，因此需要考虑波的特性。光在传输介质发生改变时会发生反射，电信号也一样。反射会造成信号失真。为了不让反射发生，需要均匀的传输线。同轴线就是其中的一种，它的介质均匀，任何一点横截面几何结构相同，这样就可以保证电信号不会在传输线内发生反射。但传输线终究要把信号传给负载。为了避免信号在传输线终点的反射，需要保证瞬时阻抗不变。瞬时阻抗就是电信号在传输线上某一点所受的阻抗，均匀传输线的瞬时阻抗是纯阻性的，与频率无关，只与传输线的几何结构和填充材料有关，所以又叫做特性阻抗。给负载并联一个电阻，让总阻值和传输线特性阻抗相等，这样信号就不会反射。此外，在源端串入一个电阻，使其与信号源的输出电阻相加等于传输线的特性阻抗，同样可以减少信号的反射。特性阻抗大小会影响信号传输功率、传输损耗、串扰等电气性能，而其板材和几何结构又影响制造成本，这种情况只能找一个折中值。而 $50\ \Omega$ 正是同轴线的传输功率、传输损耗以及制造成本的一个最佳平衡点。所以大多数高速信号都会采用 $50\ \Omega$ 特性阻抗系统，形成标准并沿用至今，成为使用最广泛的一

种阻抗标准。因此，示波器上采用 50Ω 的阻抗是为了减少信号的反射，另外还可以使得测量出的信号受负载效应影响最小，使测量更准确。

4. 示波器探头的使用

探头的使用扩展了示波器的应用范围，使示波器可以在线测试和分析被测电路。使用探头时应注意到探头有负载效应，会影响被测信号和被测电路，它作为测量系统的一部分，会直接影响到信号的测量结果。因此在使用前应选择合适的探头，并设置它的电气特性与示波器匹配。

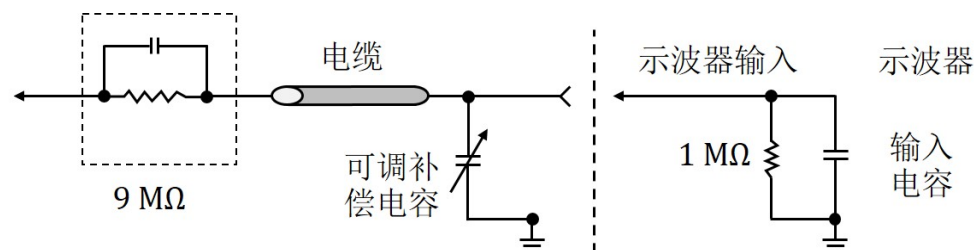


图 10 带补偿的高阻无源探头原理

示波器的探头按照是否需要给它供电，可分为无源探头和有源探头。

带补偿的高阻无源探头是最常用的无源探头，一般示波器标配的都是此类探头。此类探头具备较高的输入阻抗，因此负载效应较小；有可调的补偿电容，以匹配示波器的输入；具备较高的动态范围，可以测试较大幅度的信号；通用性好。但是不足之处是输入电容过大，带宽较低（一般 500 MHz 以内）。当接上示波器时，一般需要调节电容值，与示波器输入电容匹配。其原理如图 10 所示。

下面介绍补偿探头的操作步骤。



图 11 探头补偿调节

在首次将探头与任一输入通道连接时，进行此项调节，使探头与输入通道匹配。未经补偿或补偿偏差的探头会导致测量误差或错误。若调整探头补偿，请按如下步骤进行：

(1) 将示波器中探头菜单衰减系数设定为 10X ，将探头上的开关设定为 10X ，并将示波器探头与通道 1 连接。将探头端部与探头补偿器的信号输出连接器相连，基准导线夹与探头补偿器的地线连接器相连，打开通道 1，然后按下 AUTO 键。注意设置示波器中的探头衰减系数为相同的值。此衰减系数将改变仪器的垂直档位比例，以使得测量结果正确反映被测信号的电平。

(2) 检查所显示波形的形状。

(3) 如必要，用非金属质地的改锥调整探头上的可变电容，直到屏幕显示的波形如图 11 中的“补偿正确”。

(4) 必要时，重复以上步骤。

5. 与示波器相关的常用术语

下面介绍几个与数字示波器性能相关的常用术语。

带宽：带宽这个指标决定了示波器能够准确测量的频率范围。在信号频率提高时，示波器显示信号的能力会下降。示波器带宽是指正弦曲线输入信号被衰减到信号真实幅度 70.7% (-3dB) 的频率。如果没有足够的带宽，示波器将不能解析高频变化，幅度将失真，边沿将消失，细节将丢失。为确定能准确测量某信号的示波器带宽，应采用“五倍法则”，即示波器的带宽应大于待测信号最高频率成分的 5 倍。使用五倍法则选择的示波器将在测量中提供小于 2% 的误差，这对一般应用足够了。

采样率：采样率用样点/秒 (S/s 或 Sa/s) 表示，指示波器获得信号样点的频度，示波器采样速度越快 (即采样率越高)，分辨率或显示的波形细节越高，丢失关键信息或事件的可能性越小。

记录长度 (或存储深度)：记录长度用构成一条完整的波形记录的点数表示。决定着每条通道可以捕获的数据量。由于示波器只能存储有限数量的样点，因此存储的波形时长 (时间) 与示波器的采样率成反比，即，时间间隔 = 记录长度 / 采样率。

【实验内容】

1. 调出稳定波形

(1) 由信号发生器产生一个频率为 1 KHz，峰峰值电压 $V_{pp}=4\text{ V}$ 的正弦波信号，由 CH1 通道输出到示波器的 CH1 通道。点击示波器上的 AUTO 键，使显示出清晰稳定的波形。调节垂直控制 (VERTICAL) 和水平控制 (HORIZONTAL) 区域中的 Scale 和 Position 旋钮，观察显示的图像有何变化。调节触发区域的触发电平 (LEVEL) 旋钮，观察图像有何变化。当触发电平超过信号电压最大值时，观察图像是否稳定。改变信号参数，观察图像变化。

将调出的清晰稳定波形以图像和 CSV 两种格式存储。按下前面板上的 Storage 按键，选择合适的存储要求。注意将参数一并存储。存储 CSV 格式数据时，在“数据长度” (或数据来源) 一栏选择“屏幕”，不要选“内存” (因为存储“内存”可能需要几十分钟的时间)。

(2) 由信号发生器产生一个频率为 1 KHz，峰峰值电压 $V_{pp}=4\text{ V}$ 的方波 (然后三角波) 信号，由 CH1 通道输出到示波器的 CH1 通道。调节波形参数，观察波形变化。

(3) 由信号发生器产生两个频率为 1 KHz，峰峰值电压 $V_{pp}=4\text{ V}$ 的正弦波信号，经示波器显示出来。改变 CH2 的相位，观察图像的变化。改变 CH2 的频率为 2 KHz, 3 KHz, 4 KHz 时，这两路信号能否同时在示波器上显示出稳定的波形？当 CH2 频率为 1.3 KHz, 2.3 KHz 时，两个信号能否同时稳定地显示出来？将触发源由 CH1 变为 CH2，比较显示的波形情况有何变化？试解释为什么？

2. 电压、时间间隔和频率的测量

调节信号发生器，使其输出一定幅值、频率分别为 100 Hz 和 5 KHz 的正弦波信号。输入示波器，调出稳定波形。

(1) 利用示波器屏幕上的标尺测量信号的周期、频率、电压峰-峰值和有效值。

(2) 利用测量功能（示波器前面板上的“Measure”键）测量同一信号的周期、频率、电压峰-峰值和有效值，并与（1）的测量结果进行比较。

3. 波形的运算

将示波器 CH1 输入 $V_{pp}=5\text{ V}$ ，频率为 1 KHz 的正弦波信号，CH2 通道输入同等幅值、频率为 3 KHz 的正弦波。利用控制面板上的“MATH”按键，将两路波形相加，观察相加后的波形。将 CH2 的信号频率改为 5 KHz、10 KHz 后，观察相加后的波形。

4. 观测李萨如图形

选择示波器的 X-Y 模式（“HORIZONTAL”区域，“Menu”按键，“时基”），示波器 CH1 和 CH2 通道中分别接入 $V_{pp}=5\text{ V}$ ，频率分别为（1 KHz， 1 KHz）、（1 KHz， 2 KHz）、（1 KHz， 3 KHz）、（2 KHz， 3 KHz）的信号，观察李萨如图形。改变 CH2 的相位，观察图形的变化。画出（CH1， CH2）频率分别为（1 KHz， 4 KHz）、（2 KHz， 5 KHz）的李萨如图形。

5. 信号发生器与示波器的阻抗设置

改变信号发生器与示波器的阻抗，50 Ω 和高阻（或 1 M Ω ），观察在各种阻抗组合下，示波器显示的幅值与信号发生器中设置的幅值是否相同。

6. 探头的使用

利用示波器的探头测量信号板上的正弦，三角波等信号。测量前，确认探头补偿正确。注意设置示波器通道的探头衰减系数与探头本身的衰减系数保持一致。

【参考文献】

- [1] 吕斯骅，段家祗，张朝晖。新编基础物理实验。北京：高等教育出版社，2013。
- [2] 孙灯亮。数字示波器原理和应用。上海：上海交通大学出版社，2012。
- [3] 《深入了解示波器》，www.tektronix.com/oscilloscopes
- [4] DS1000E, DS1000D 系列数字示波器用户手册。RIGOL Technologies, Inc., 2008。
- [5] 廖承恩。微波技术基础。西安：西安电子科技大学出版社，2011。

二 万用表和直流电源的使用

【目的要求】

- 1、学会正确的使用万用表和直流电源；
- 2、学会用万用表测电阻、电压、电容和判断二极管的极性
- 3、理解直流电源的恒压模式和恒流模式的意义；
- 4、学会用直流电源测二极管的伏安特性，用示波器观察直流电源的纹波；

【实验简介】

万用表和直流电源是实验里必备的常用测试设备。万用表常用于判断电路是否短路或者断路，判断二极管的极性，测试电路中元器件两端的电压，用于故障的排除和电路的搭建。直流电源用于电子元器件的供电，电源的好坏会直接影响到元器件的工作状态。二极管的伏安特性、半导体材料的霍尔效应、超导材料的电阻测试等都需要精密电源。反应电源质量好坏的核心指标就是电源的纹波，纹波越小，电源的波动越小。

【实验仪器与用具】

示波器一台，万用表(Fluke 17B+，优利德 UT39A)、电源（HZDH DH1715A， rigol DP832， rigol DP711）、功率电阻。

关于电源的详细信息可参考课程网站资源区上传的设备手册。

【实验原理】

1. 数字万用表的原理

万用表测量电压、电流和电阻功能都是通过转换电路部分实现的，而电流、电阻的测量都是基于电压的测量，也就是说数字万用表是在数字直流电压表的基础上扩展而成的。转换器将随时间连续变化的模拟电压量变换成数字量，再由电子计数器对数字量进行计数得到测量结果，再由译码显示电路将测量结果显示出来。逻辑控制电路的协调工作，在时钟的作用下按顺序完成整个测量过程。

2. 数字万用表的关键指标：分辨率，测量精度

分辨率是判断一块表测量结果的好坏。了解一块表的分辨率，你就可以知道是否可以看到被测量信号的微小变化。例如，如果数字多用表在 4V 范围内的分辨率是 1mV，那么在测量 1V 的信号时，你就可以看到 1mV（1/1000 伏特）的微小变化。

精度就是指在特定的使用环境下，出现的最大允许误差。换句话说，精度就是用来表明数字多用表的测量值与被测信号的实际值的接近程度。对于数字多用表来说，精度通常使用读数的百分数表示。例如，1%的读数精度的含义是：数字多用表的显示是 100.0V 时，实际的电压可能会在 99.0V~101.0V 之间。在详细说明书中可能会有特定数值加到基本精度中。它的含义就是，对显示的最右端进行变换要加的字数。在前面的例子中，精度可能会标为 $\pm(1\%+2)$ 。因此，如果万用表的读数是 100.0V，实际的电压会在 98.8V~101.2V 之间。

3. 数字万用表的使用

本实验中要学习使用的数字万用表型号是 Fluke 17B，见下图所示，其它不同厂家不同型号的万用表使用方法类似。



图 1： 数字万用表

数字万用表的基本功能是用来测试直流电压、交流电压、电阻、电流、电容以及二极管的特性，测试时插入正确的接线端口，选择正确的测试档位，黄色的多功能转换键还可以切换不同的功能。

4. 直流电源的基本原理

直流电源的作用就是将 220V 的市电转换成所需要的直流电，常用的直流电压为 5V，12V，24V，28V，48V 等。直流电源根据获得直流的方式一般分为开关电源和线性电源。开关电源通过电容和电感的充放电进行整流，控制二极管的开关来获得所需的电压值，优点是理想状态下没有功率损耗，转换效率高，缺点是会引入开关噪声，纹波较高。线性电源是先通过变压器降压至所需的电压后，然后利用半导体的线性工作区间进行整流，优点是纹波小，缺点是效率偏低。

直流电源的技术指标分为两种：一种是特性指标，包括允许输入电压、输出电压、输出电流及输出电压调节范围等；另一种是质量指标，用来衡量输出直流电压的稳定程度，包括稳压系数（或电压调整率）、输出电阻（或电流调整率）、纹波电压（周围与随机漂移）。使用直流电源时首先要弄清楚电源的电压范围和电流范围是否能满足需求，然后再考虑稳定系数、纹波等是否满足使用需求。

直流电源的工作模式分为恒压输出和恒流输出。恒压输出时电压不随负载电阻的变化而变化，恒流输出时电流不随负载电阻的变化而变化。恒压输出在电流超过设定值后一般自动切换到恒流模式以保护电源，同理，恒流输出在电压超过设定值后会自动切换到恒压模式以保护电

源。例如最大电压为 30V，最大电流为 2A 的电源，当负载为 50Ω 时，可以以 0.5A 的恒流模式工作，但是当设置电流超过 0.6A 时，就自动切换为恒压模式，保证电压不超过 30V。

实验中使用的直流电源为 RIGOL DP832（3 通道）、rigol DP711（单通道）或杭州大华的 DH1715A（2 通道）线性直流电源，其中 DP832 前面板见图 2，操作非常简单，开机之后选择恒压或者恒流模式，设置所需要的电压或者电流值，然后按输出即可。不同厂家不同型号的直流电源使用方式类似。



图 2：直流电源

【实验内容】

1. 万用表的操作

- (1) 用万用表测两手之间的身体电阻。
- (2) 切换万用表到通断模式，将两个表笔短接，听短路时的滴滴声。
- (3) 切换万用表到二极管模式，测二极管的截止电压和电阻，判断二极管的极性。
- (4) 切换万用表到电容模式，测电容器的电容。
- (5) 切换万用表到交流档，测插座的交流电压，**档位选择正确，切莫用手接触表笔端的金属。**

【选作：没有把握的同学可以不做。】

2. 电源的操作

- (1) 将电源采用恒压模式输出 5V，12V，24V，用万用表测试输出的电压值。
- (2) 用恒压模式给二极管供电，记录电压从 0V 升高至 0.3V 时的电压电流曲线，每隔 0.01V 计一组数，测试二极管的伏安特性曲线。（锗二极管的截止电压约 0.3V，硅二极管约 0.7V，如果升高到 0.3V 还没有电流，可以继续增加至 0.7V）

3. 电源的纹波测试（选做）

- (1) 将电源的输出设置为 5V，将示波器的探头校准之后用接地夹子夹住电源输出端子的负极，

探头的钩子钩住电源输出端子的正极。用示波器观测电压是否为 5V。

(2) 将示波器的耦合模式切换到“交流”，阻挡输入信号的直流成分，就可以看到电压的纹波。

(3) 按下“RUN / STOP”键，停止测试之后就可以放大观察纹波，纹波为 5mV 左右，测试纹波的峰峰值 (V_{p-p}) 和均方根值 (V_{rms})。

4. 励磁涌流 (选做)

5. 测量开关电源 (选做)

【注意事项】

此实验涉及用电安全，务必在教师和助教指导下进行。

- 1、实验过程中请勿用手直接接触插头、插座、接线柱、表笔等的金属部分。
- 2、注意万用表、电源和示波器等仪器的量程，不要超量程使用，以免造成设备的损坏。

【思考题】

- 1、调研开关电源和直流电源的区别，各有什么优缺点？
- 2、实验中使用的示波器的分辨率是多少？电源输出的纹波指标是多少？纹波测试的结果是否具有参考意义？

【参考文献】

- [1] 吕斯骅，段家祗。新编基础物理实验，北京：高等教育出版社，2006。
- [2] (美) 霍罗威茨 等著，吴利民 等译。电子学 (第二版)，电子工业出版社，2009。

【附录】

1. 优利德 UT39A/C

简易操作手册见课程网站。



基本功能	量程	精度	
型号		UT39C+	UT39A+
直流电压	400mV/4V/40V/400V/1000V	$\pm(0.7\%+3)$	$\pm(0.7\%+3)$
交流电压	4V/40V/400V/750V	$\pm(1.0\%+3)$	$\pm(1.0\%+3)$
直流电流	400uA/400mA/10A	$\pm(0.8\%+3)$	$\pm(0.8\%+3)$
交流电流	4mA/400mA/10A	$\pm(1.0\%+2)$	$\pm(1.0\%+2)$
电阻	400Ω/4000Ω/40kΩ/400kΩ/4MΩ/40MΩ	$\pm(0.8\%+2)$	$\pm(0.8\%+2)$
电容	4nF/40nF/400nF/4uF/40uF/400uF/4mF/10mF	$\pm(4.0\%+5)$	$\pm(4.0\%+5)$
频率	1MHz	$\pm(0.1\%+4)$	
摄氏温度 (°C)	-40 ~ 1000°C	$\pm(1.0\%+4)$	
华氏温度 (°F)	-40 ~ 1832°F	$\pm(1.5\%+5)$	
特殊功能			
量程选择		手动	手动
显示位数		3999	3999
hFE	电流放大倍数测量	√	√
NCV	非接触式电压检测	√	
二极管测试		√	√
通断测试		√	√
REL	相对值测量	√	√
数据保持		√	√
自动关机		√	√
低压显示		√	√
LCD背光		√	√

2. Fluke 17B+

F17B+



精度指标

精度在校准后一年内适用，工作温度为 18℃ 至 28℃，相对湿度为 0 % 至 75 %。精度规格采用以下形式： $\pm([\text{读数的 } \%] + [\text{MIN 小有效位数字值}])$ 。

交流和直流电压

功能	量程	分辨率	精度
			17B+
交流伏特 (40 Hz ~ 500 Hz)	4.000V 40.00V 400.0V 1000V	0.001V 0.01V 0.1V 1V	1.0%+3
交流毫伏	400.0mV	0.1mV	3.0%+3
直流电压 (毫伏)	400.0mV	0.1mV	1.0%+10
直流电压	4.000V 40.00V 400.0V 1000V	0.001V 0.01V 0.1V 1V	0.5%+3
交流电流 μ A (40Hz-400Hz)	400.0 μ A 4000 μ A	0.1 μ A 1 μ A	1.5%+3
交流电流 mA (40Hz-400Hz)	40.00 mA 400.0 mA	0.01mA 0.1 mA	1.5%+3
交流电流 A (40Hz-400Hz)	4.000 A 10.00 A	0.01mA 0.1 mA	1.5%+3
直流电流 μ A	400.0 μ A 4000 μ A	0.1 μ A 1 μ A	1.5%+3
直流电流 mA	40.00 mA 400.0 mA	0.01mA 0.1 mA	1.5%+3
直流电流 A	4.000 A 10.00 A	0.001 A 0.01 A	1.5%+3

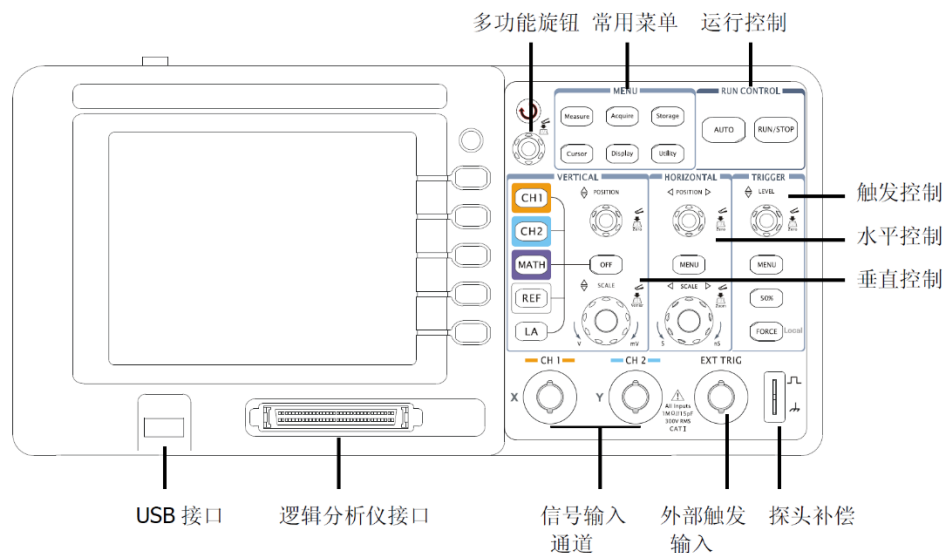
3. rigol DP832



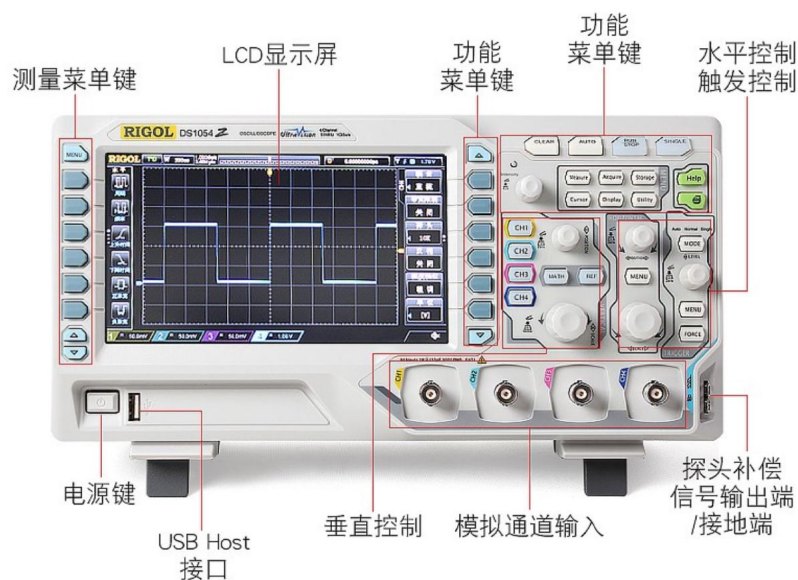
4. rigol DP711



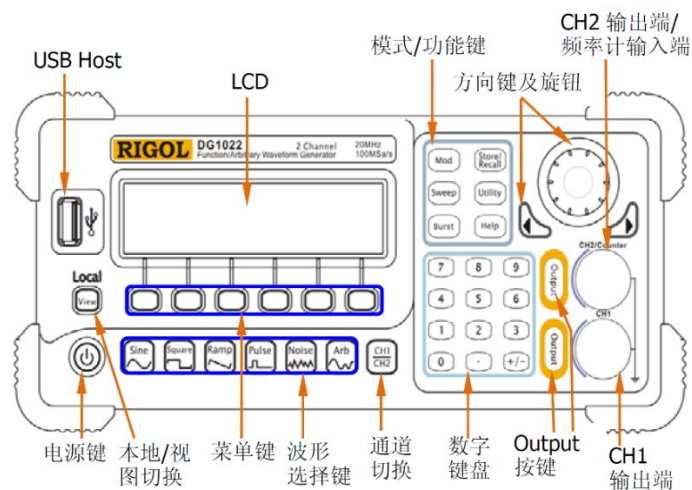
5. rigol 1022E

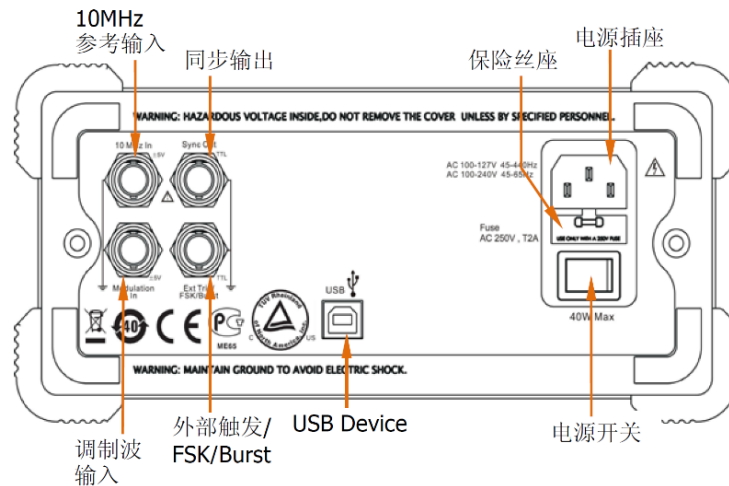


6. rigol 1104Z/1154Z



7. rigol DG1022U





8. rigol DG4162

