

什么是示波器

概念

示波器是形象地显示信号幅度随时间变化的波形显示仪器，是一种综合的信号特性测试仪，是电子测量仪器的基本种类。

示波器概述

用途

电压表，电流表，功率计
频率计，相位计
脉冲特性，阻尼振荡

应用

电子，电力，电工
压力，振动，声，光，热，磁

对象

高校实验室，研发单位，生产企业，维修团体

示波器类型

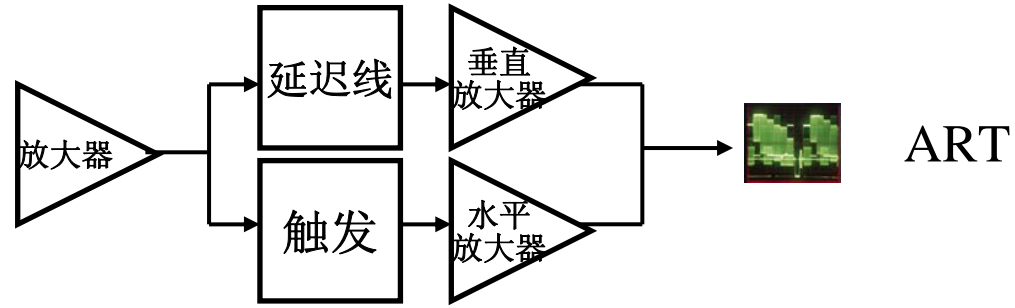
示波器概述

- 模拟示波器
- 数字存储示波器
- 虚拟数字示波器
- 数字荧光示波器
- 采样示波器

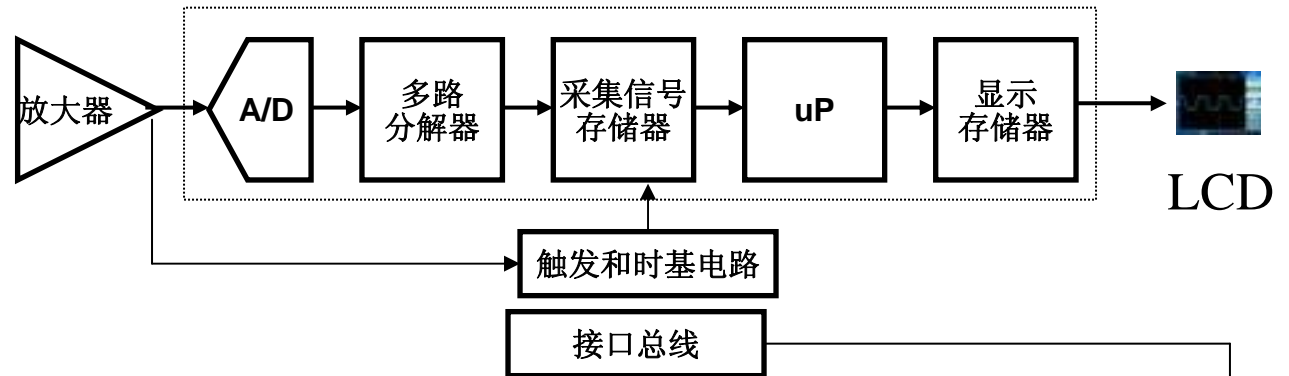
示波器原理结构

示波器概述

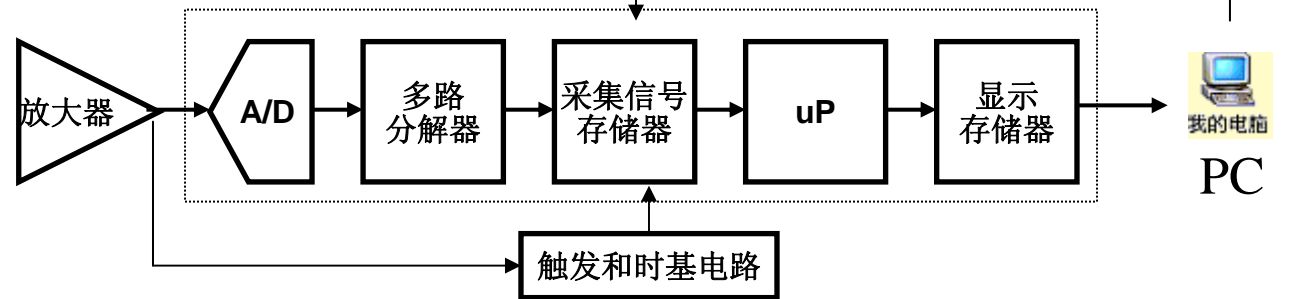
模拟示波器



数字示波器



虚拟示波器



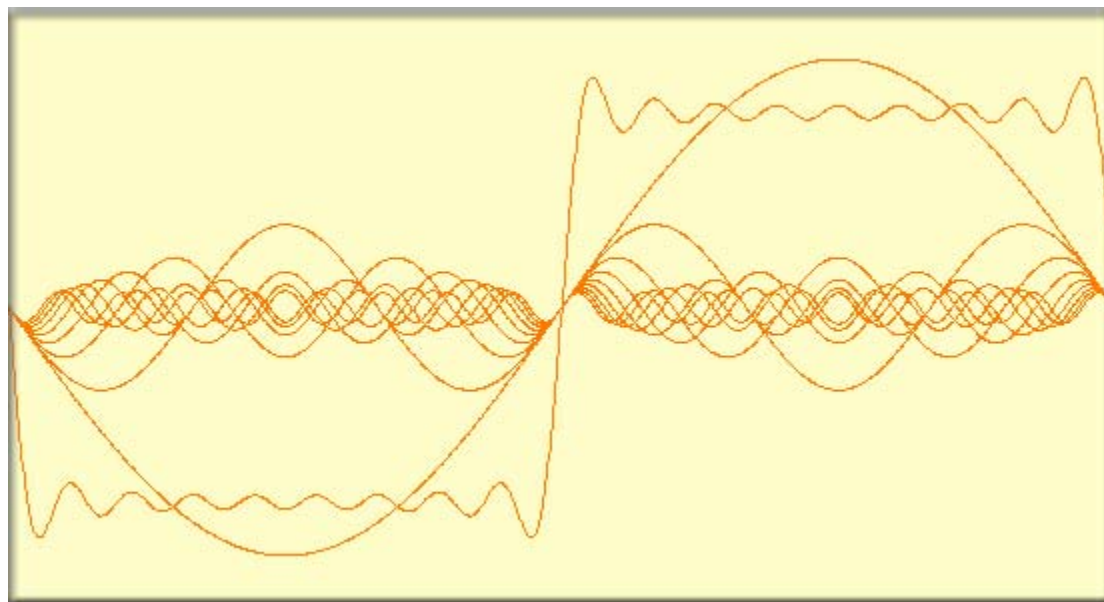
反映信号特性

示波器概述

- 信号的时间和电压值
- 振荡信号的频率
- 信号所代表电路的“变化部分”
- 信号的特定部分相对于其他部分的发生频率
- 是否存在故障部件使信号产生失真
- 信号的直流值（DC）和交流值（AC）
- 信号的噪声值和噪声是否随时间变化

第二章 示波器发展过程

示波器发展过程波



几个重要阶段

示波器发展过程

- 初期主要为模拟示波器

廿世纪四十年代是电子示波器兴起的时代，雷达和电视的开发需要性能良好的波形观察工具，泰克成功开发带宽10MHz的同步示波器，这是近代示波器的基础

- 中期数字示波器独领风骚

进入九十年代，数字示波器除了提高带宽到1GHz以上，更重要的是它的全面性能超越模拟示波器。出现所谓数字示波器模拟化的现象，换句话说，尽量吸收模拟示波器的优点，使数字示波器更好用

- 数字示波器要有模拟功能

数字示波器作出模拟效果，克服数字示波器的缺陷

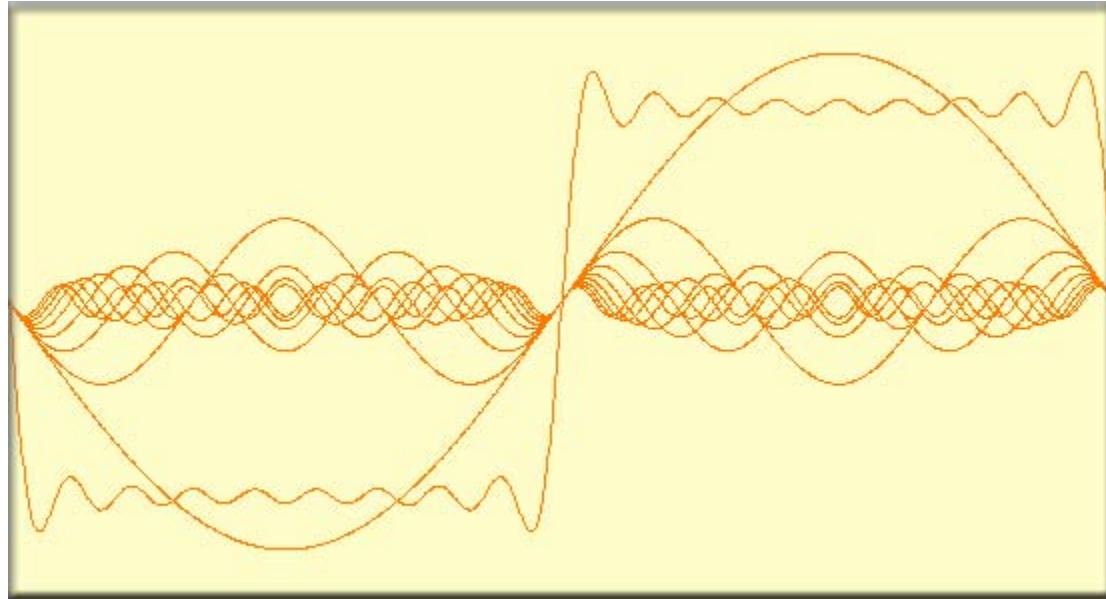
- 数字荧光示波器

数字荧光示波器（DPO）为示波器系列增加了一种新的类型，能实时显示、存贮和分析复杂信号的三维信号信息：幅度、时间和整个时间的幅度分布。

- 数字采样示波器

第三章 波

波



几种典型的波

几种典型的波：

正弦波

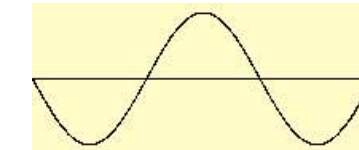
方波和矩形波

三角波和锯齿波

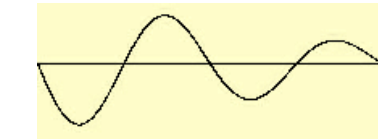
阶跃波和脉冲波

调幅波和调频波

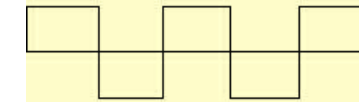
波



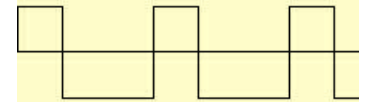
正弦波



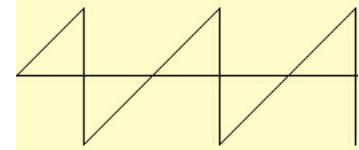
衰减的正弦波



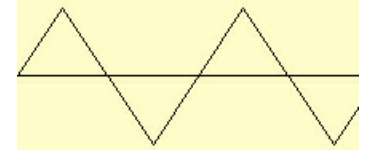
方波



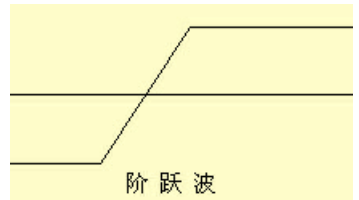
矩形波



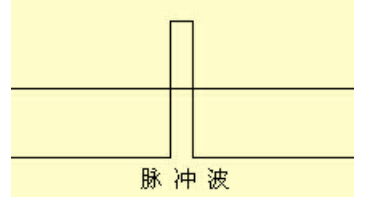
锯齿波



三角波



阶跃波



脉冲波



调频波



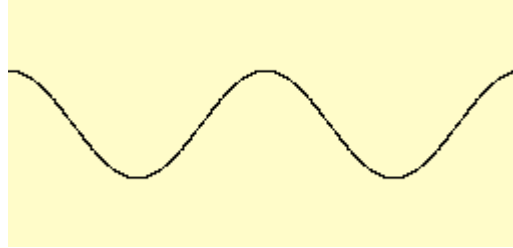
调幅波

调幅波

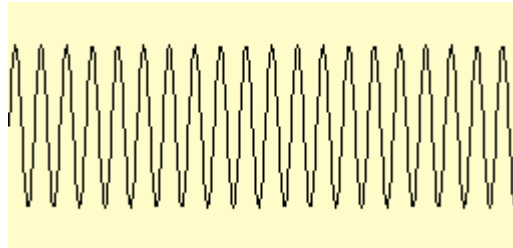
调幅又程为振幅调制。它是用调幅信号去控制高频载波的振幅V，使其随调制信号的变化而变化。

波

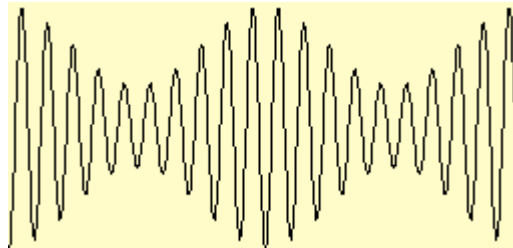
调幅波



载波



调制波



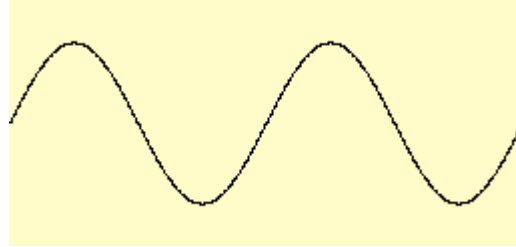
$$F(t) = E(1 + m \cos \Omega t) \cos \omega t$$

调频波

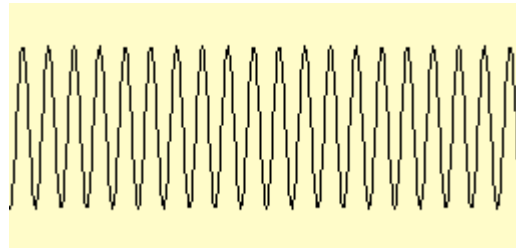
调频又称频率调制。它是用调制信号去控制高频载波信号的角频率，使其随调制信号变化而变化。

波

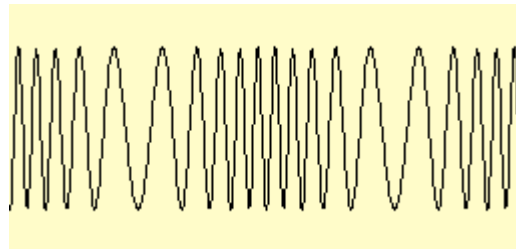
调幅波



载波



调制波



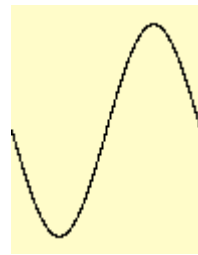
$$F(t) = E \cos(\omega t + m \sin \Omega t)$$

波的组成

正弦波是波形的基本组成，任何非正弦波都可视为是基波和无数不同频率的谐波分量组成。

例如：方波是由基波以及3, 5, 7, 9.....次谐波分量递加而成。

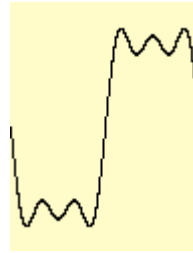
波



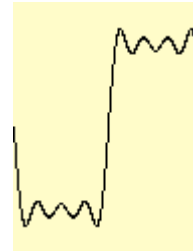
1次 (基波)
(2500次)



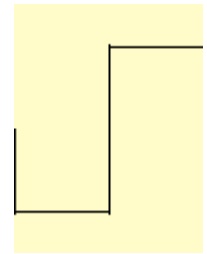
3次



5次



7次



方波

$$F(x) = 2E/\pi (\sin(\omega t) + 1/3\sin(3\omega t) + 1/5\sin(5\omega t) + 1/7\sin(7\omega t) + \dots)$$

对于非正弦波由最小值过渡到最大值的时间越短，所含的谐波分量也就越多，波形所含谐波的频率也越高。

对于脉冲波占空比越小，波形所含谐波就越多，谐波频率分量也越高。

波形的主要谐波分量

由于任何非正弦波都可视为无数正弦波组成，因此谐波分量的多少将直接影响波形的形状。为保证波形不失真，考虑按基波幅度的**10%**以上谐波为影响波形的重要因素选择示波器带宽。

波

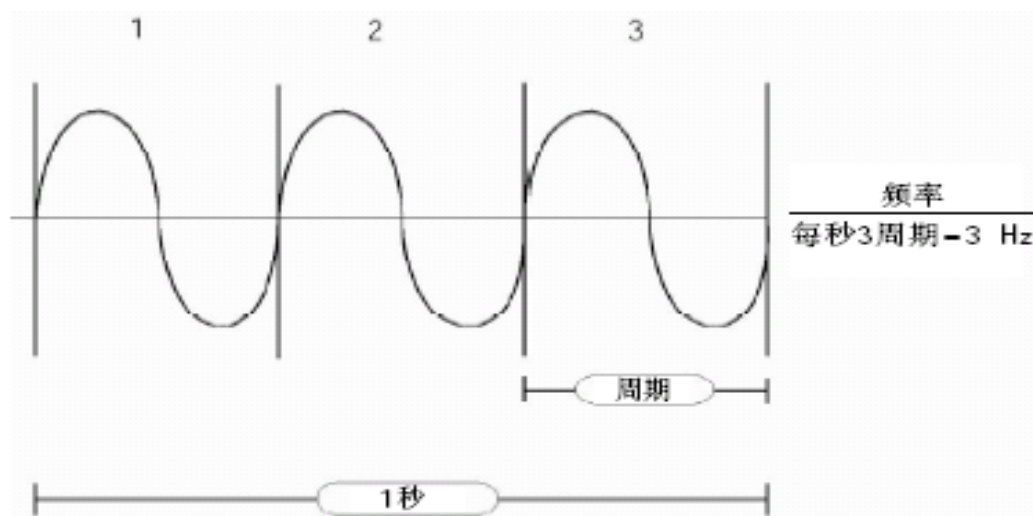
正弦波	无谐波分量
方波	1:9
三角波	1:3
脉冲波（占空比 50% ）	1:9
脉冲波（占空比 25% ）	1:14
脉冲波（占空比 10% ）	1:26

波形的测量频率和周期

频率和周期

不断重复的信号具有频率特性。频率的单位是赫兹（Hz），表示一秒时间内信号重复的次数。成为周期每秒。重复信号也具有周期特性，即信号完成一个循环所需要的时间量。周期和频率互为倒数关系，即 $1/\text{周期}$ 等于频率，同理 $1/\text{频率}$ 等于周期。

波



波形的测量电压

电压

电压是电路两点间的电势能或信号强度。有时把地线或零电压作为参考点。如果测量的是波形从最高峰值到最低峰值的电压值，则称为电压的峰值-峰值。有效值是峰峰值的0.707倍。

波

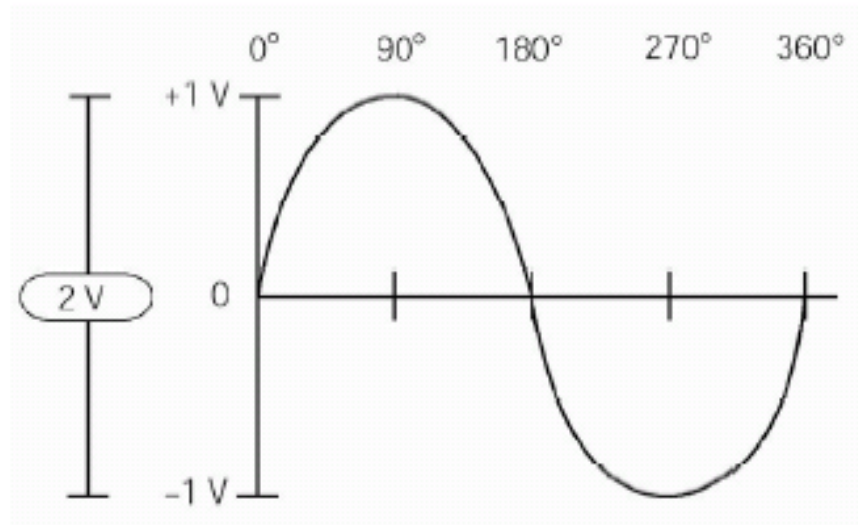
我们平时说的220V市电，是有效值。

波形的测量幅度

幅度

幅度是指电路两点间电压量。幅度通常指被测信号以地或零电压为参考时的最大电压。如图所示的波形的幅度为1V，而电压的峰值-峰值为2V。

波

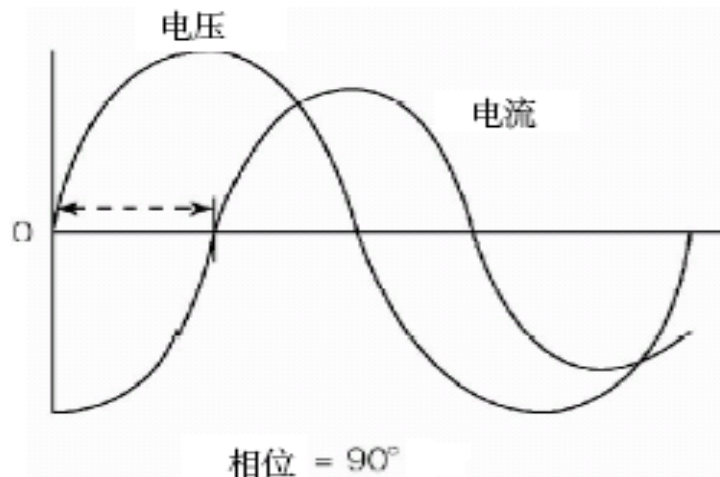


波形的测量相位

相位

参照正弦波很容易理解相位。正弦波的电压值是基于圆形运动的。一个圆的度数是 360° ，而正弦波的一个周期也是 360° 。为描述经过的周期数，可以参照正弦波的相位的角度。相移用来描述两个不同相似信号在时间上的差值。图中，标号为“电流”的波形比标号为“电压”的波形超前 90° ，因为两者到达同一点刚好相差 $1/4$ 周（ $360^\circ/4 = 90^\circ$ ）。在电子学中，相移比较普遍。

波

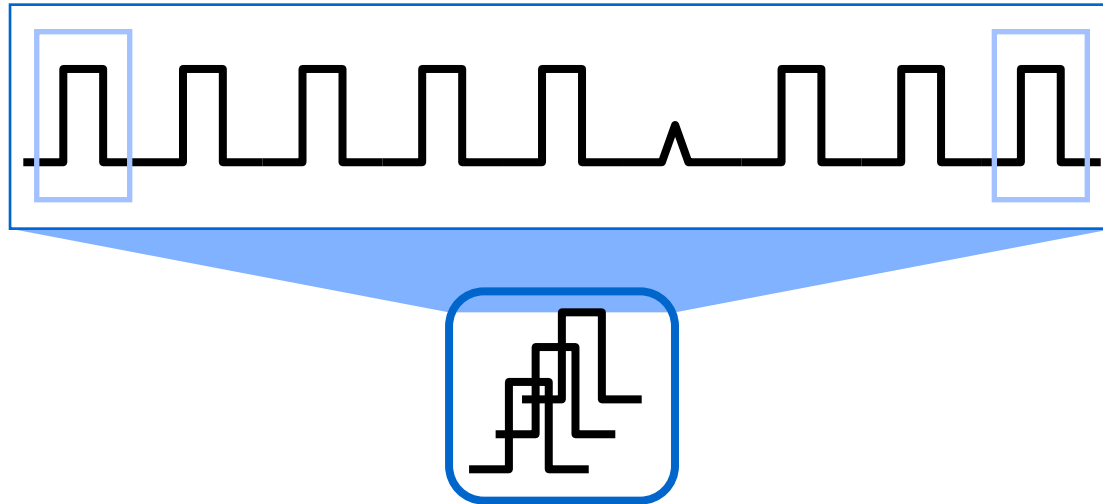


波形的捕获

波形捕获率也就是波形刷新率，已经成为考核一台示波器的重要参数之一；

对于示波器来说，波形捕获率高，就能够组织更大数据量的波形质量信息，尤其是在动态复杂信号和隐藏在正常信号下的异常波形的捕获方面，有着特别的作用。

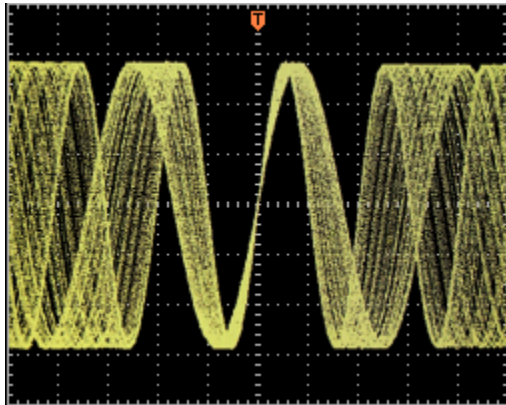
波



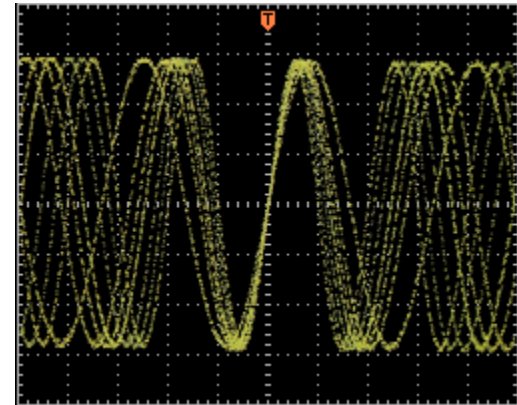
波形的刷新率

高达每秒**1K**以上的刷新率

波



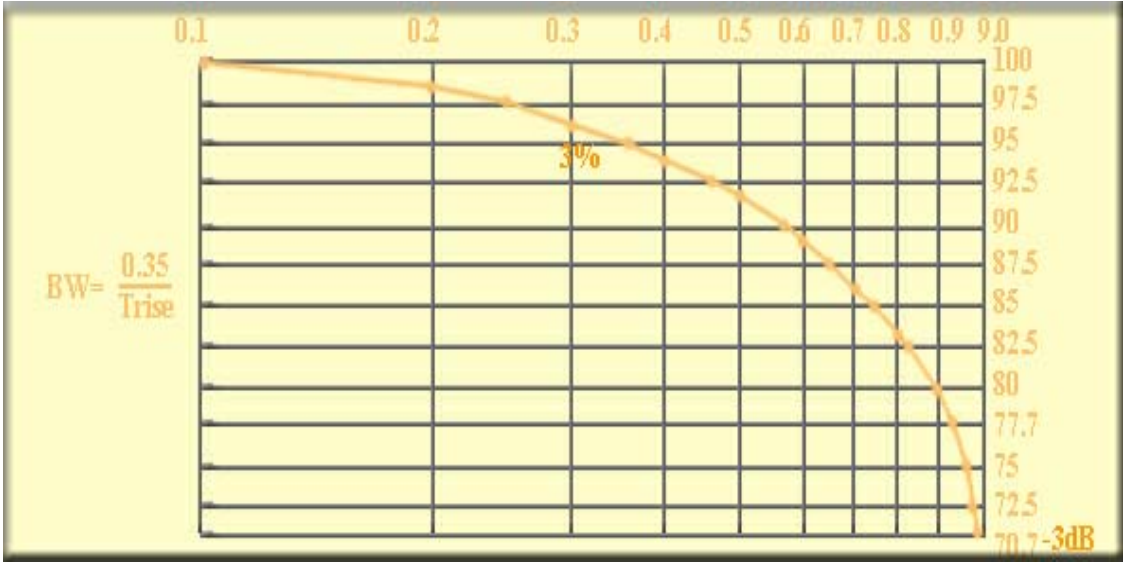
1000/s 以上的刷新率



100/s – 200/s 的刷新率

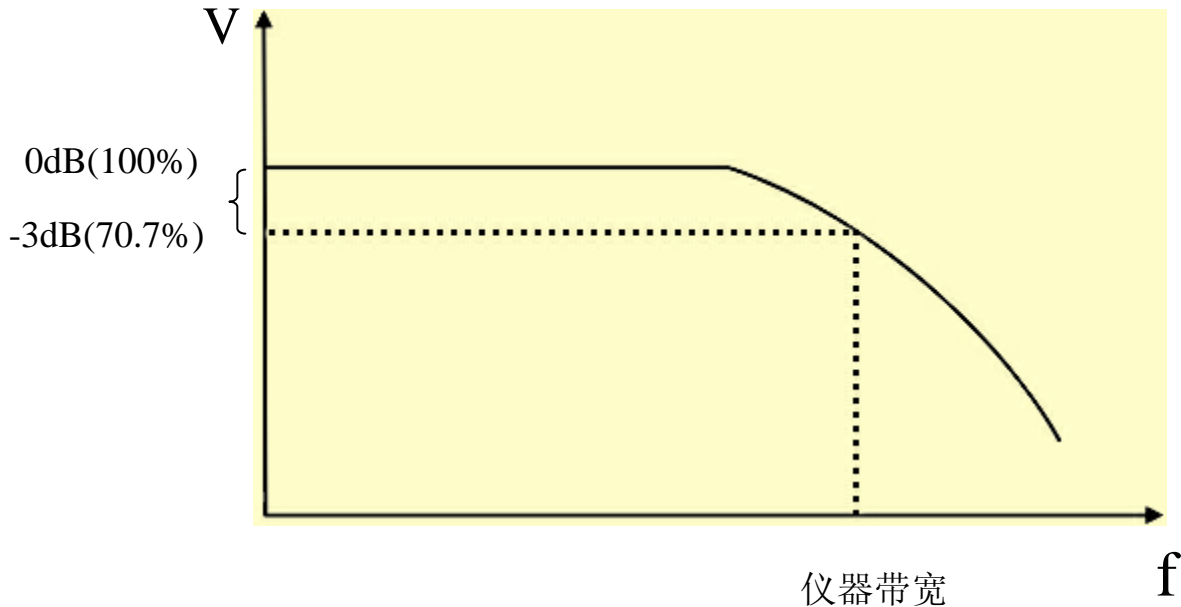
第四章 示波器带宽

示波器带宽



数字示波器带宽也称为模拟带宽，指示波器前端输入放大器的带宽，相当于一个低通滤波。定义为在幅频特性曲线中，随正弦波频率的增加，信号的幅度下降到**3dB(70.7%)**，此时的频率点称为示波器的带宽。

示波器带宽



幅频特性曲线

带宽对波形的影响

在波形的的主要谐波分量中提到过，如果要对波形进行准确测量应该让示波器的带宽大于波形的的主要谐波分量。因此对于正弦波可以要求示波器的带宽大于波形的频率，但是对应非正弦波则要求示波器的带宽大于波形的最大主要谐波频率。

示波器带宽

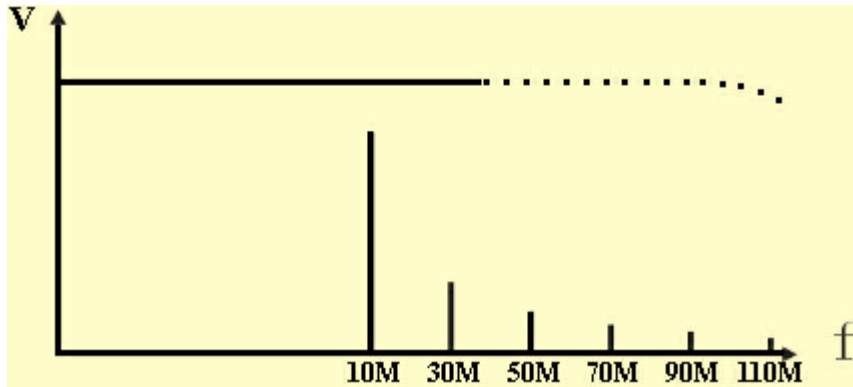
对于带宽带来的波形影响具体表现在以下两方面：

- ① 由于低带宽导致的主要谐波分量消失，使原本规则的波形呈圆弧状接近正弦波。
- ② 低带宽给波形的上升时间和幅度的测量带来较大的误差。

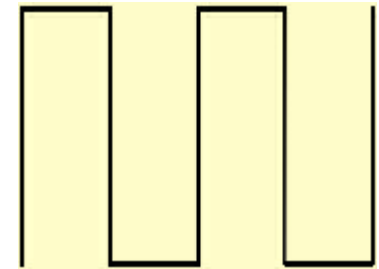
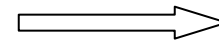
带宽对波形的影响

下列图示为一个**10MHz**的方波在**200MHz**带宽和**10MHz**带宽示波器上的显示效果图。

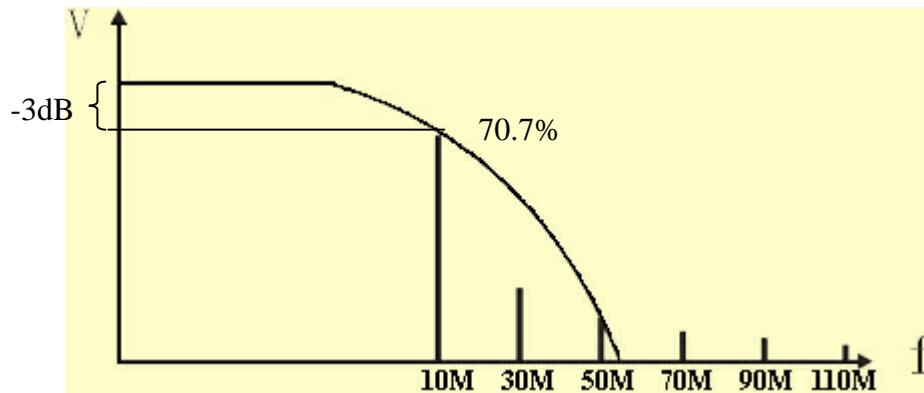
示波器带宽



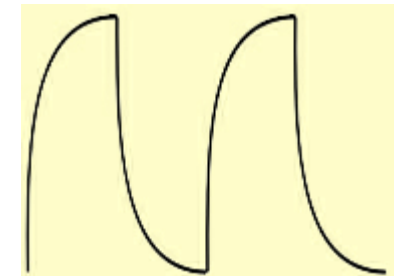
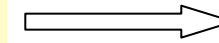
200M带宽



正确



10M带宽



失真

数字滤波

滤波包括模拟滤波和数字滤波，其作用是通过率除某个频率范围的谐波分量，从而使观测的波形更加完美。

模拟滤波主要通过硬件来完成滤波目的。数字滤波是指对采样的一组数据通过数学运算达成滤波的目的。

示波器带宽

低通：滤除高于设定频率上限的谐波分量。带宽限制就是一个**20MHz**的低通模拟滤波器；示波器本身的带宽就也是一个低通滤波器。

高通：率除低于设定频率下限的谐波分量。

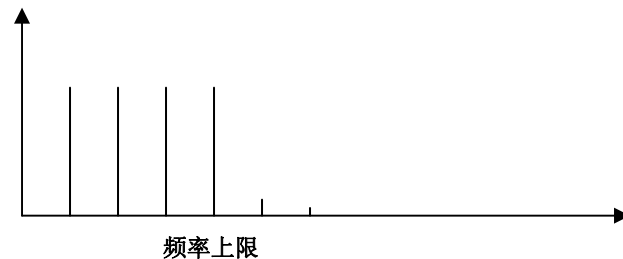
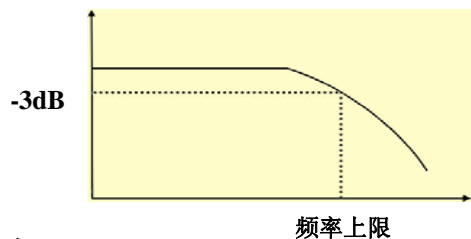
带通：率除频率上限和频率下限之外的谐波分量。

带阻：率除频率上限和频率下限之间的谐波分量。

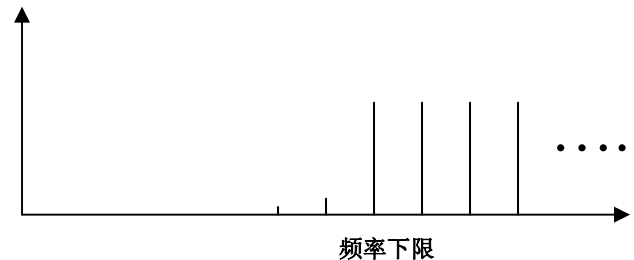
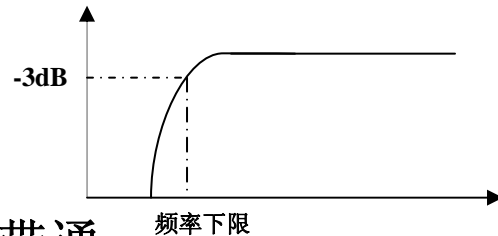
数字滤波幅频特性

示波器带宽

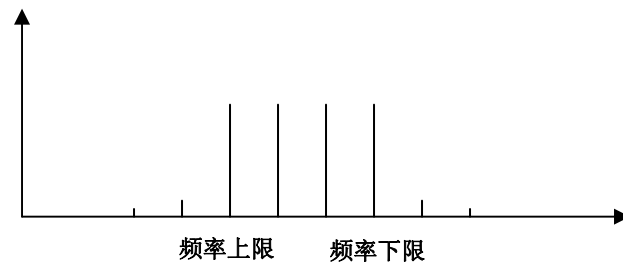
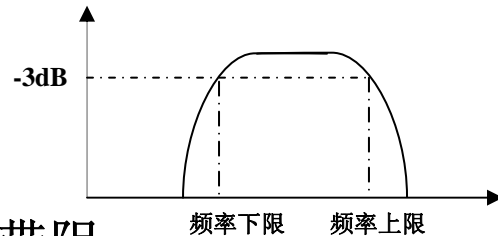
① 低通



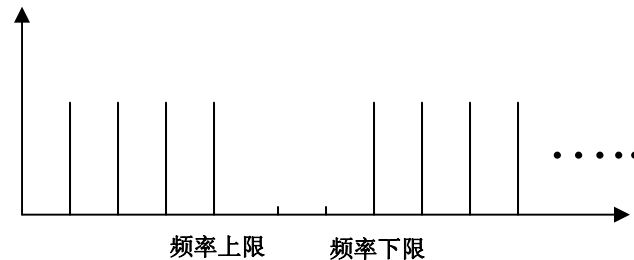
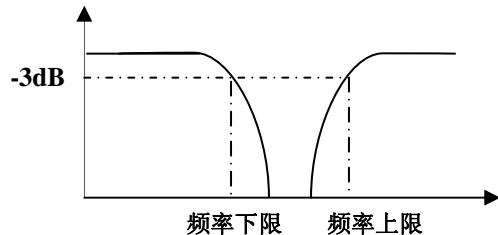
② 高通



③ 带通



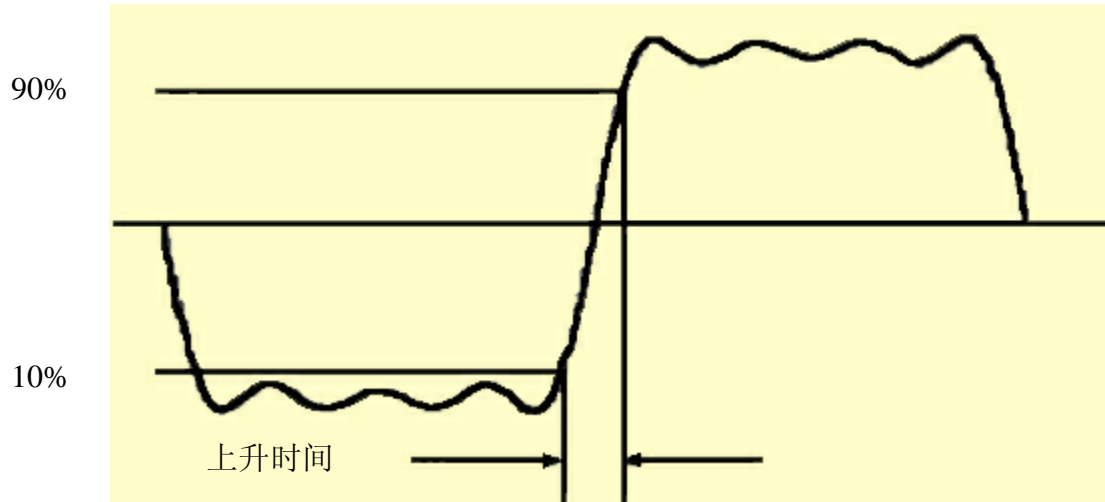
④ 带阻



带宽与上升时间

上升时间通常定义为信号从上升跳变沿的**10%**到**90%**的时间长度。

示波器带宽



示波器的上升时间则与其带宽有直接关系，其关系式如下：

$$T_{\text{上升}} = 0.35 / \text{示波器带宽 (1GHZ以下)}$$

带宽与上升时间

示波器带宽

例：一个100Mhz方波上升时间为3.5ns的信号，使用100Mhz的示波器系统进行测量，根据上述公式计算显示信号与被测信号的误差为：

$$100\text{Mhz示波器上升时间} = 350 / 100\text{Mhz} = 3.5\text{ns}$$

$$\text{仪器显示的信号上升时间} = \sqrt{3.5\text{ns}^2 + 3.5\text{ns}^2} = 4.95\text{ns}$$

$$\text{测量误差} = (4.95\text{ns} - 3.5\text{ns}) / 3.5\text{ns} = 0.414 = 41\%$$

改善和提高测量精度只能提高示波器系统带宽，如选择比信号上升时间高5倍的示波器，测量误差为：500Mhz示波器系统上升时间为 = 350 / 500Mhz =

$$0.7\text{ns}$$

$$\text{仪器显示的信号上升时间} = \sqrt{3.5\text{ns}^2 + 0.7\text{ns}^2} = 3.569\text{ns}$$

$$\text{测量误差} = (3.569\text{ns} - 3.5\text{ns}) / 3.5\text{ns} = 0.0198 = 2\%$$

(选择示波器的5倍法则)

带宽与最高频率

5 倍准则 (The 5 times rule)

示波器所需带宽 = 被测信号的最高频率成分 \times 5

示波器带宽

测定示波器带宽的方法：在具体操作中准确表征信号幅度，并运用5倍准则。使用五倍准则选定的示波器的测量误差将不会超过+/-2%，对今天的操作来说已经足够。然而，随着信号速率的增加，这个经验准则将不再适用。记住，带宽越高，再现的信号就越准确

探头对波形的影响

探头和示波器共同组成一个测量系统，探头的带宽和上升时间关系到整个测量系统的带宽和上升时间。

$$RT(\text{上升时间}) = 0.35/BW$$

$$BW_{\text{系统}} = \sqrt{BW_{\text{示波器}}^2 + BW_{\text{探头}}^2}$$

$$RT_{\text{系统}} = \sqrt{RT_{\text{示波器}}^2 + RT_{\text{探头}}^2}$$

$$RT_{\text{测量}} = \sqrt{RT_{\text{系统}}^2 + RT_{\text{信号}}^2}$$

$$\text{误差 (RT)} = (RT_{\text{信号}} - RT_{\text{测量}}) / RT_{\text{信号}}$$

号

示波器带宽

由上式可知，当探头带宽过低时（低于示波器的带宽）将影响到整个测量系统的带宽，从而影响信号的一些测量参数的精确度。

在实际测量高频信号时，为保证测量的精确度，需将探头设置**10X**，原因是**1X**时探头的带宽只有**6MHz**。

带宽限制

示波器带宽

大多数示波器中存在限制示波器带宽的电路。限制带宽后，可以减少显示波形中不时出现的噪声，显示的波形会显得更为清晰。请注意，在消除噪声的同时，带宽限制同样会减少或消除高频信号成分。

第五章

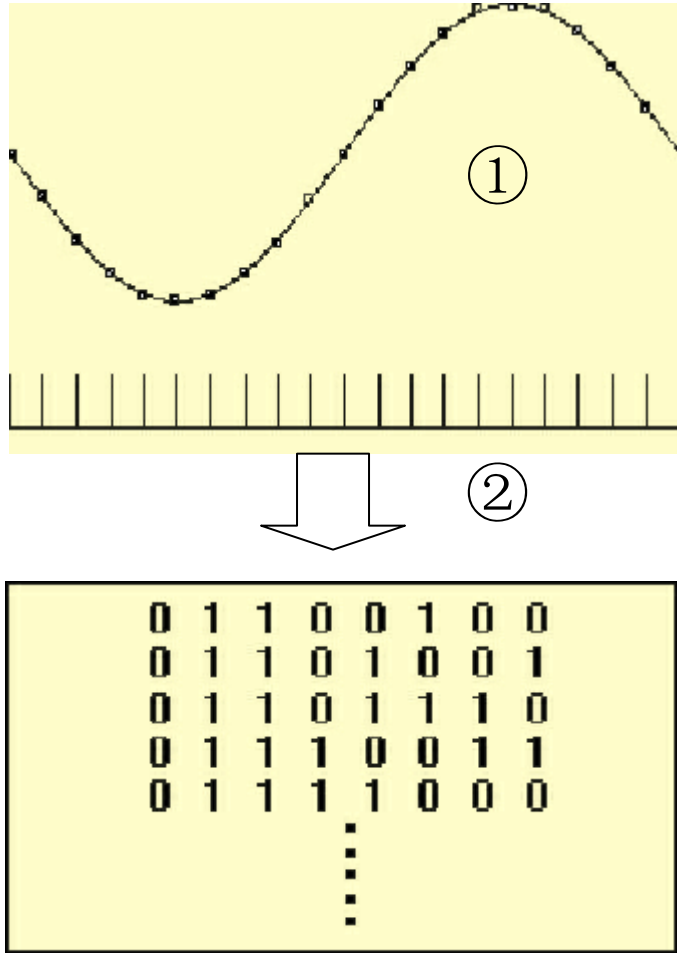
采样原理

采样



采样过程

采样



① 等间隔进行采样及A/D转换

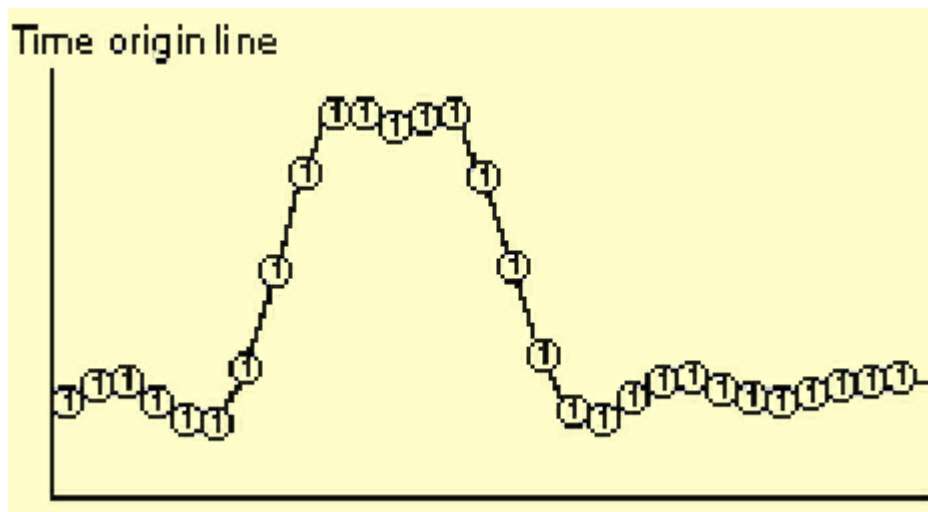
② 顺序存储采样数据

③ 读取采样数据以构建波形

实时采样

实时采样在一次触发事件期间捕获所有用于重建波形的样本点，它要求采样率至少为被测波形最高频率分量的5倍。

采样

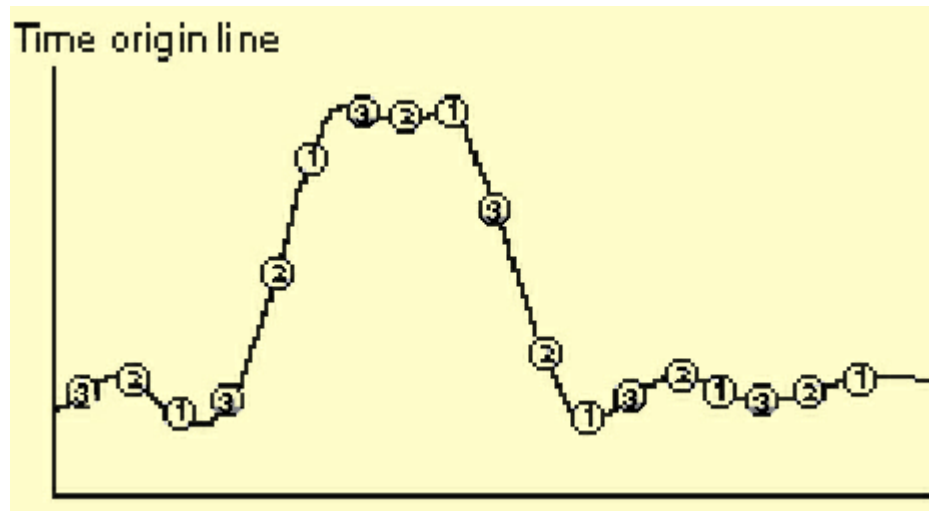


如上图所示，① 表示第一次触发所采样的数据点，并且一次就完成一个采样过程。

等效采样

等效采样是在多个触发事件上捕捉样本点，要求输入的波形为重复波形。对于每个触发事件示波器会捕捉多个样本点，并把它们与原已捕捉的样本点组合到一起。

采样



如上图所示，①②③ 第1，2，3次触发事件所采样的数据点，1，2，3次触发相互间隔错开。

等效采样

可以通过低采样率实现对高频重复信号的采样。

可以达到高采样率采样。

不可对非周期信号进行等效采样。（进行单次触发时得设置采样方式为实时采样）

实时采样

不仅是重复信号，对于非重复性信号非常适合。

对高频信号，如果采样率不够得进行正弦内插。

结合上述特点，可根据实际信号选择合适的采样方式以更完美的观测信号。

波形重建

波形重建的方法主要是指波形再现的插值算法。

线性内插：在相邻采样点直接连接上直线，局限于直边缘信号。

正弦内插： $(\text{Sin}X/x)$ 利用曲线来连接样点，通用性更强。它利用数学处理，在实际样点间隔中运算出结果。这种方法弯曲信号波形，使之产生比纯方波和脉冲更为现实的普通波形。 $\sin x/x$ 正弦内插发复现信号。

采样

结合上述特点，可根据实际信号选择合适的采样方式以更完美的观测信号。

采样方式

采样方式包括普通、平均、峰值检测、包络、模拟等多种方式，其各有自身特点和作用方式。

普通是最常用的一种采样方式。它是指示波器直接通过采样点来构建波形。

平均是指示波器通过对多次触发采样点进行算术平均后再构建波形，其作用是消除波形中一些随机噪声。

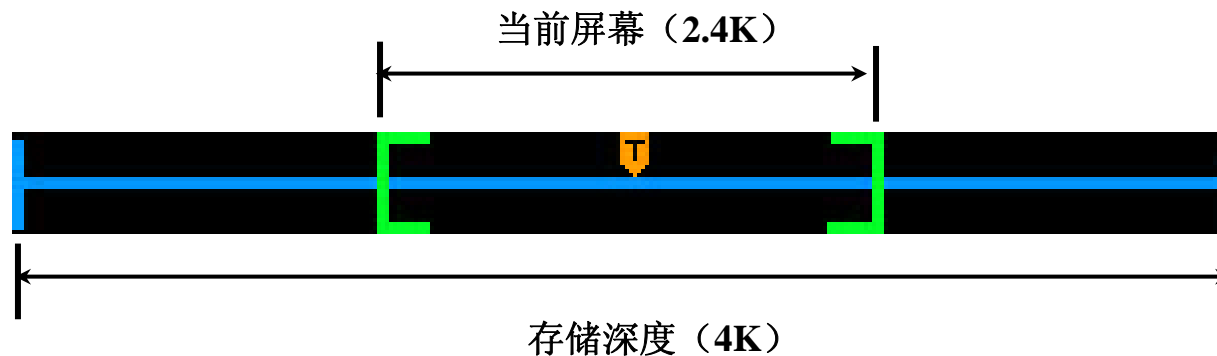
峰值检测是指示波器即使在低时基档位时，也以高采样率进行采样，其主要作用是捕捉低频信号中夹杂的高频分量，以及防止波形混淆。

包络是指在采样间隔内，同时存储波形的最大和最小值，以便于察看波形的变化和抖动。

模拟是指通过数学运算，以颜色表示屏幕上某一点波形出现的概率，以显示模拟示波器的显示效果。

存储深度

存储深度是指在波形存储器中存储波形样本的数量。



采样

存储深度与采样的联系：

$$\text{波形存储时间} = \text{存储深度} / \text{采样率}$$

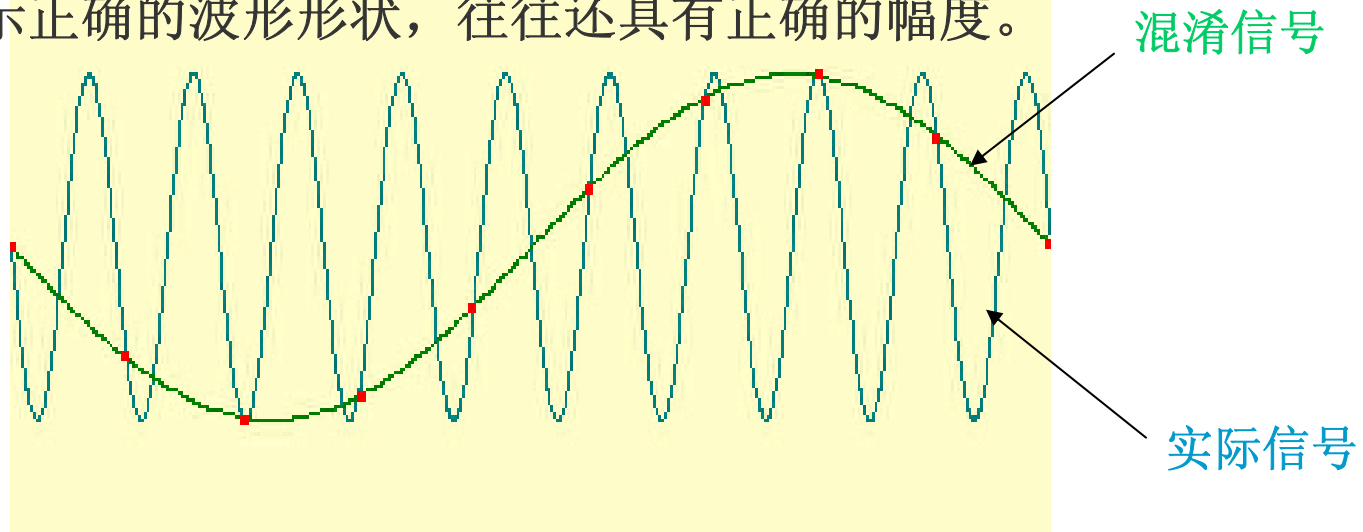
从上式可以看出波形存储时间与采样率成反比关系，存储深度固定的情况下，采样率越高（时基档位越高），存储的时间越短

混淆

混淆是指当采样率低于实际信号最高频率2倍（耐奎斯特频率）时所出现的一种现象。

如下图，由于采样率低于实际信号的频率，导致结果采集的波形频率低于实际信号频率。这种信号频率与实际信号不同，它却能表示正确的波形形状，往往还具有正确的幅度。

采样

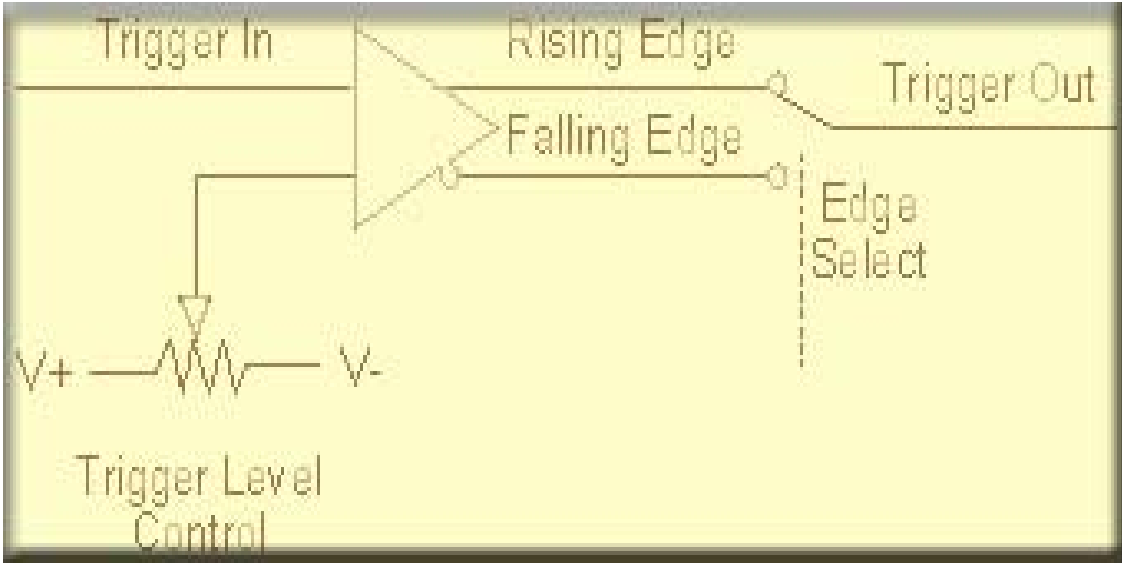


抑制混淆的方法：

- ① 打开混淆抑制。
- ② 手动较小时基，提高采样率。

第六章 触发

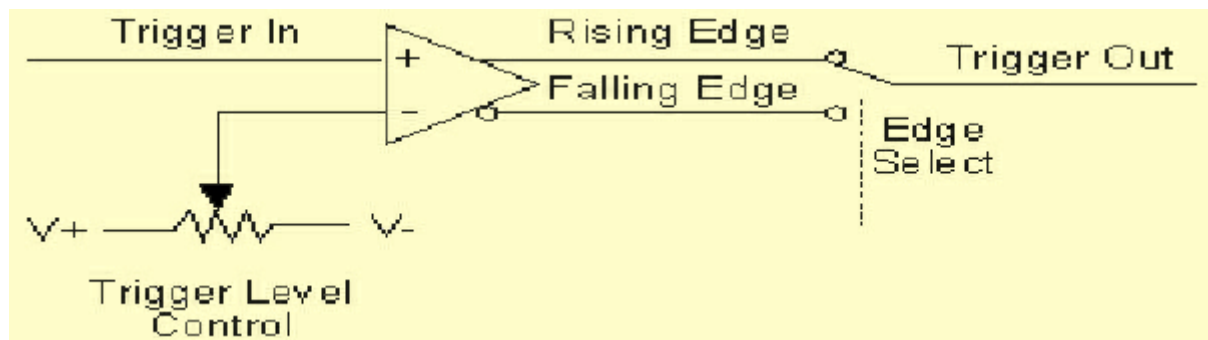
示波器的触发



触发电路的作用就是保证每次时基扫描或采集的时候，都从输入信号上与定义的相同的触发条件开始，这样每一次扫描或采集的波形就同步，可以每次捕获的波形相重叠，从而显示稳定的波形，或保证单次信号的捕获

- 触发是使重复信号稳定显示
- 对单次信号进行捕获
- 对重复信号中的异常波形和单次事件中的特殊波形进行隔离捕获

示波器的触发电路主要用于帮助对所要的波形进行定位。根据不同的信号特征和测量目的，可以选择不同的触发类型。但是，最常用的还是边沿触发：



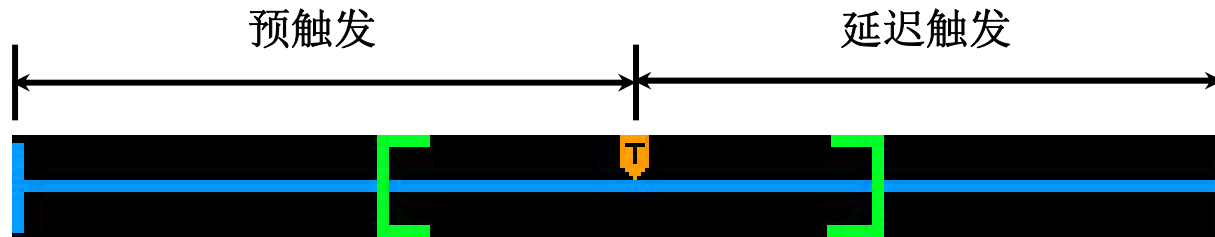
波形进入触发比较器的正输入端，在这里与另一个输入端上的触发电平电压进行比较。触发比较器有上升沿输出和下降沿输出。当您的波形的上升沿穿越触发电平时，上升沿比较器输出变为高，而下降沿输出变为低。当波形的下降沿穿越触发电平时，上升沿输出变为低，而下降沿输出变为高。示波器使用您选择的输出作为触发输出。

触发位置

示波器的触发

数字示波器的一个最显著特点在于它容许用户观看触发位置之前的事件，其称之为预触发。这是因为数据被连续地存储到内存中，直到触发事件发生，并且采样数据达到存储深度一次触发结束为止。

触发点之后的数据称之为延迟触发。同时可以变更触发位置，以改变延迟触发和预触发的数据长度。



- **自动**：即使没有触发，自动模式也能引起示波器的扫描。如果没有信号的输入，示波器中的定时器触发扫描。有信号显示信号，没有信号显示水平基线。
- **普通**：当输入信号不能满足触发条件时，不扫描，示波器没有任何显示。只有当输入信号满足设置的触发点条件时，才进行扫描，并将最后捕获到的信号冻结显示在屏幕上。如符合触发条件，再次进行捕获，清除上次信号，保留冻结此次的波形。
- **单次**：当输入的单次信号满足触发条件时，进行捕获（扫描），将波形存储和显示在屏幕上。此时再有信号输入示波器不予理会。需要进行再次捕获必须进行单次设置。

注：在实际应用中，采用普通触发模式即使触发以很慢的速率发生，也能观测感兴趣的内容。对低重复的信号捕获是非常有意义

由于示波器的输入信号经放大器分两路，一路进入**A/D**采样器；一路到触发电路，形成触发信号。

触发耦合是触发信号与触发电路的耦合方式，就像垂直系统输入一样，可为触发信号选择各种耦合方式。正确的选择触发耦合可使示波器稳定触发。耦合方式：

DC耦合：触发信号直接连到触发电路

交流耦合：触发源通过一个串联的电容连到触发电路起到隔直作用

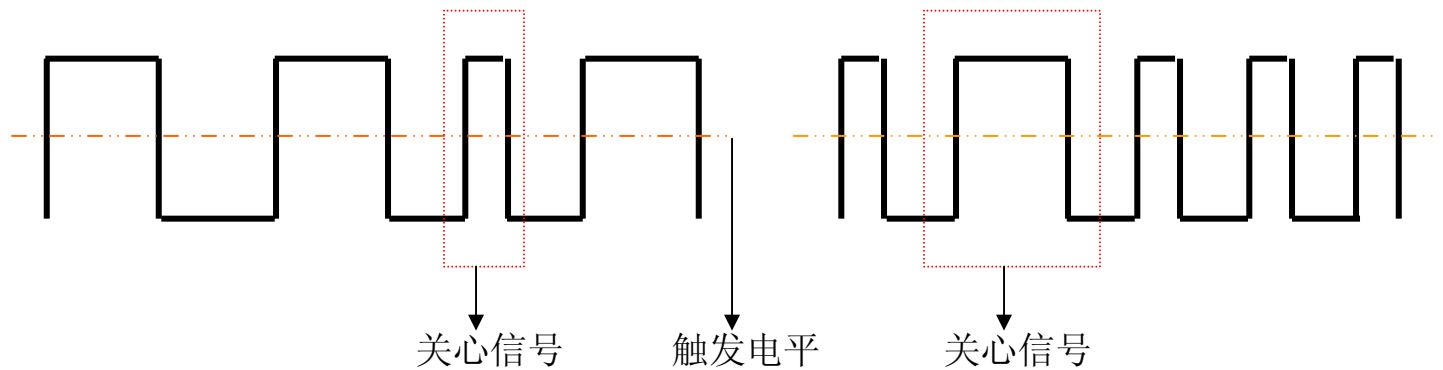
HF抑制：使触发信号通过低通滤波器以抑制高频分量，这意味即使一个低频信号中包含很多高频噪声，仍能使其按低频信号触发。

LF抑制：使触发源信号通过一个高通滤波器以抑制其低频成分。这意味即使一个高频信号中包含很多低频噪声，仍能使其按低频信号触发。这对于显示包含很多电源交流信号时情况是很有用处的。

脉宽触发

脉宽触发是让示波器通过寻找波形中比其它脉冲宽、窄或相等的脉冲来确认脉冲宽度触发。

示波器的触发

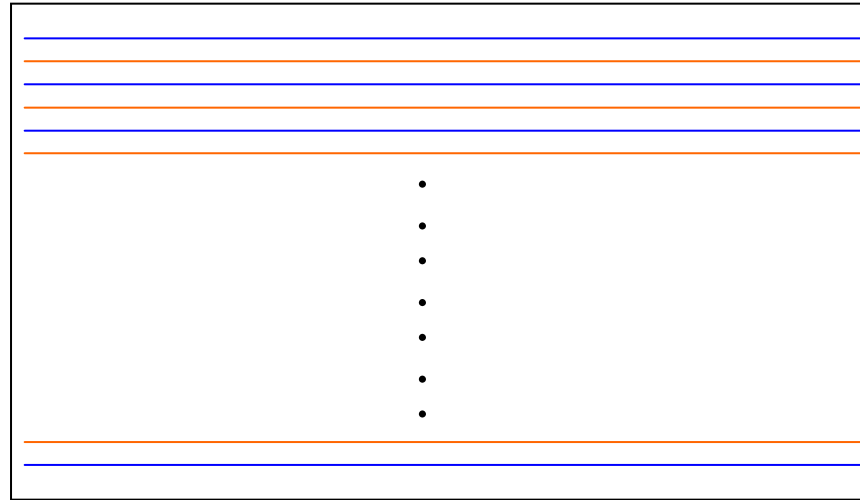


如上图，由于信号在波形的沿上都具有触发点，如果采用正常的边沿触发方式将无法准确捕捉到关心的异常脉宽的信号。

采用脉宽触发功能，监视脉冲宽度，通过与设置脉宽进行比较（>、<、=），达到捕捉异常脉冲的功能。

有 4 种电视 (TV) 触发工作方式: 525 (NTSC或PAL-M)、625 (PAL或SECAM)、875 (High Definition Zenith 标准) 和用户自定义标准。

示波器的触发

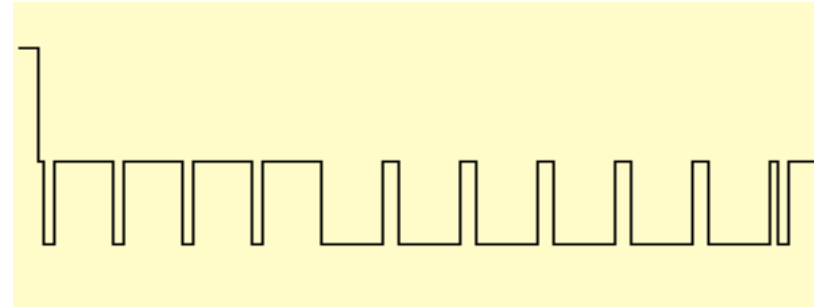
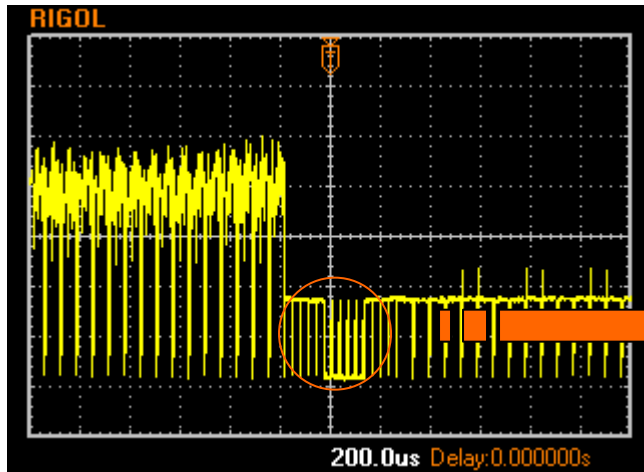


上图表示一帧的视频信号，黄色代表奇数行信号，蓝色代表偶数行。所有奇数行组成一个奇数场，偶数行组成偶数场，并且在奇偶场的开头有一个场同步，作为判断奇偶场的条件。

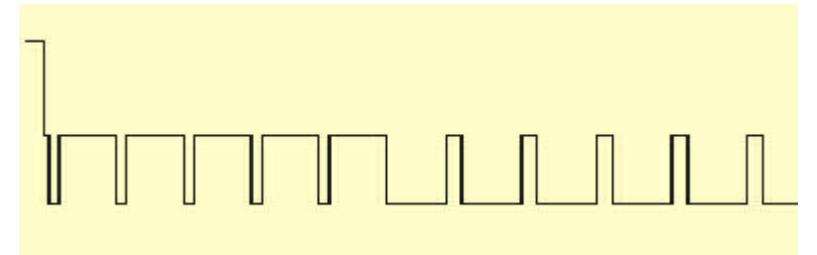
视频触发一场

视频触发用于捕获电视设备中复杂的电视（TV）波形。触发电路检测波形的垂直间距，并在触发前判断信号是否满足奇数或偶数场同步信号标准。

示波器的触发



奇数场同步信号

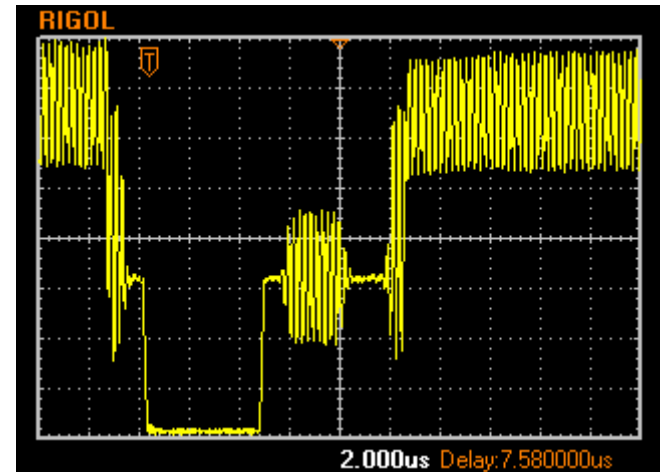
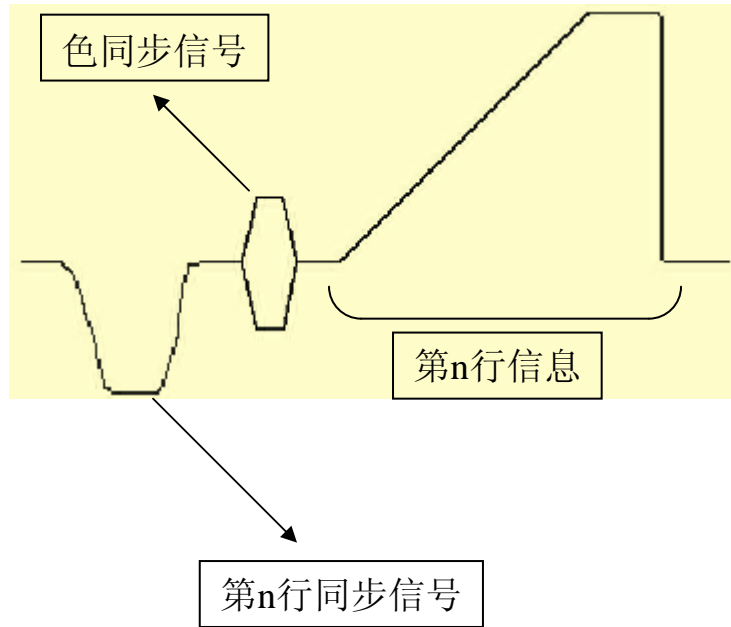


偶数场同步信号

视频触发一行

触发电路检测波形的垂直间距，并在触发前以视频场同步为基准对您选择的视频行进行计数，使示波器稳定触发于指定视频行。

示波器的触发

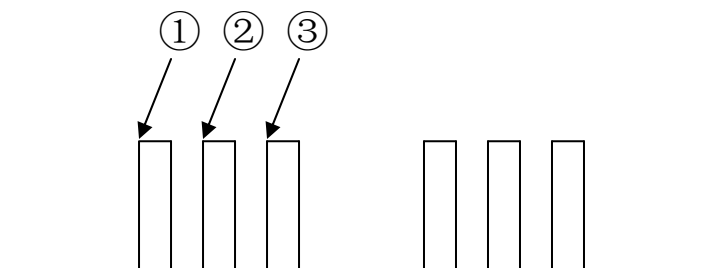


视频信息就是由视频标准个数个上述行组成的。

触发释抑

一组序列脉冲在采用正常的边沿触发方式下，由于每次触发时，触发点位于不同脉冲的上升沿上，因此波形显示混乱。

示波器的触发

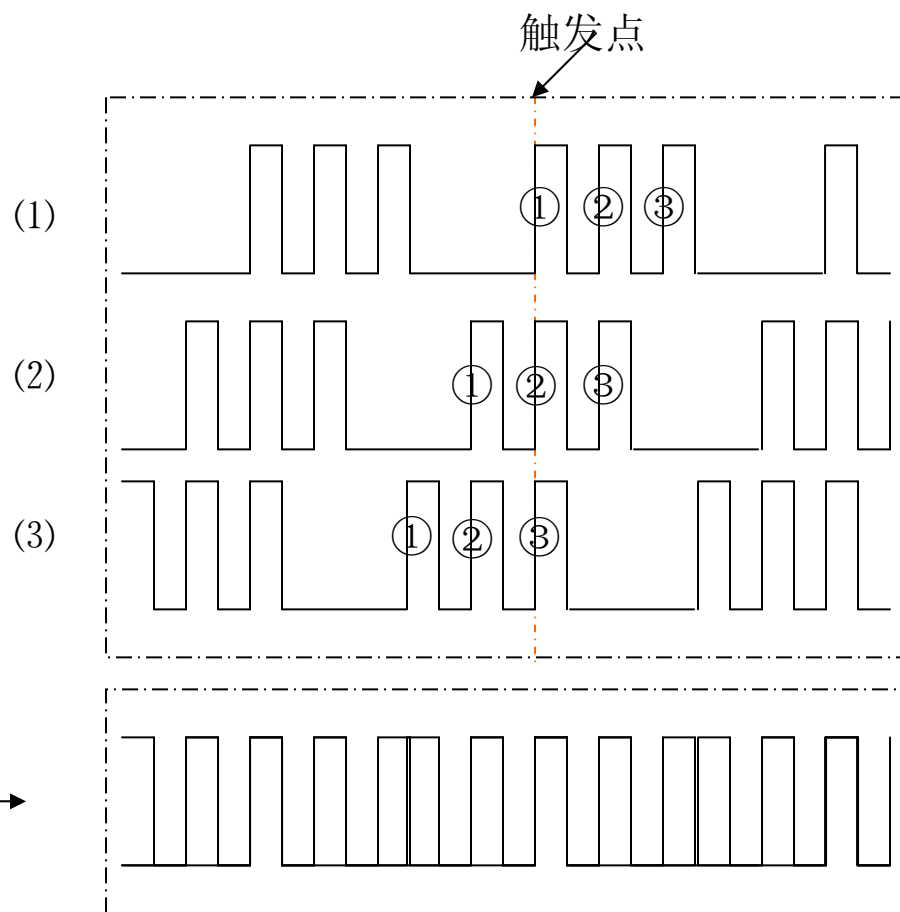


一组脉冲序列

①, ②, ③分别表示不同的触发点。

(1), (2), (3)分别对应①, ②, ③不同触发点所采集的波形。

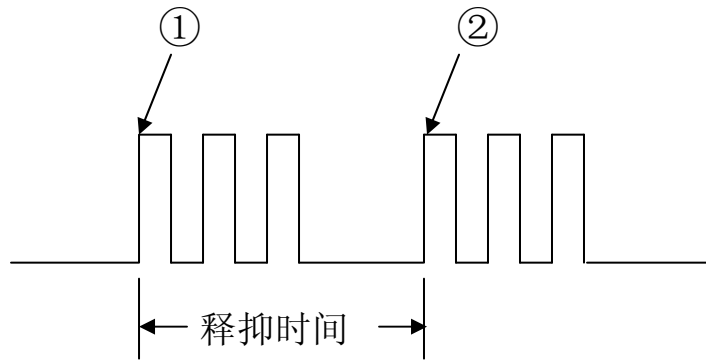
正常触发的显示效果图



触发释抑

触发释抑通过控制释抑时间——触发电路重新启动的时间，可使复杂的波形稳定显示。如下图，使用触发释抑让触发点总是位于脉冲序列的某个同一脉冲上。

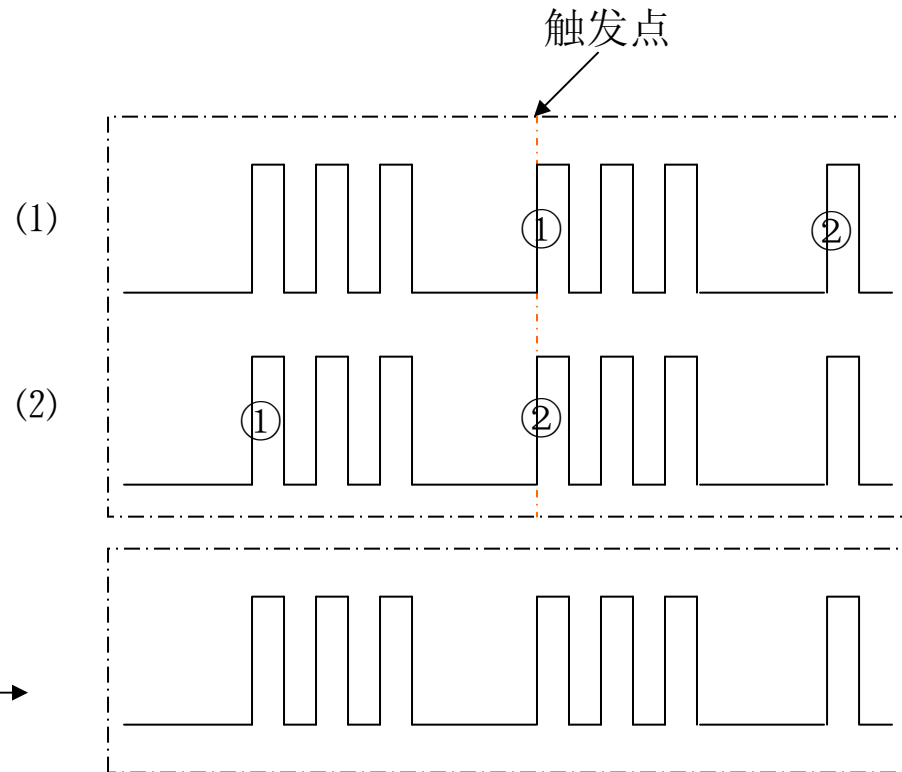
示波器的触发



①, ②分别表示不同的触发点。

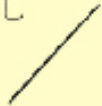





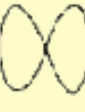


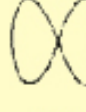

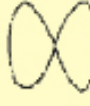

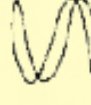
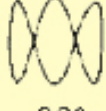
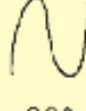
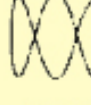

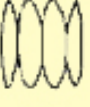

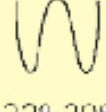
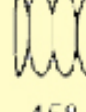
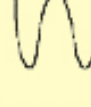
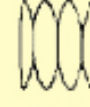
(1), (2)分别对应①, ②不同触发点所采集的波形。

触发释抑，波形稳定显示



李萨育图形

李萨育图形是以通道1来表示x轴，通道2来表示y，可通过李萨育图形来定性观察两通道之间的相位差。下表列出图形与相位的关系：

X:Y 频率比	相移					
1:1	 0°	 45°	 90°	 180°	 270°	 360°
1:2	 0°	 22° 30°	 45°	 90°	 135°	 180°
1:3	 0°	 15°	 30°	 60°	 90°	 120°
1:4	 0°	 11° 15°	 22° 30°	 45°	 67° 30°	 90°

李萨育图形

测量相位差的另一种方法：通过自动测量两通的延迟 ÷ 波形频率 × 2π 。

FFT的基本原理

使用示波器在时域中观察和测量波形，其中垂直轴为幅度，而水平轴为时间。对绝大多数波形来说，这是最好的观察方法。但有时您还想了解波形的频率含量。于是提出了傅立叶变化建立时域和频域的数学相关关系：

$$V(f) = \int_{-\infty}^{\infty} v(t) e^{j2\pi ft} dt \quad (\text{连续})$$

$$X_k = \sum_{i=0}^{N-1} x_i e^{-j2\pi ik/N} \quad (\text{离散})$$

上式是一个DFT，需要大量的数学运算，速度很慢。从而出现FFT数学算法，两者差别如下：

DFT	N^2
FFT	$N \log_2 N$

选择窗函数

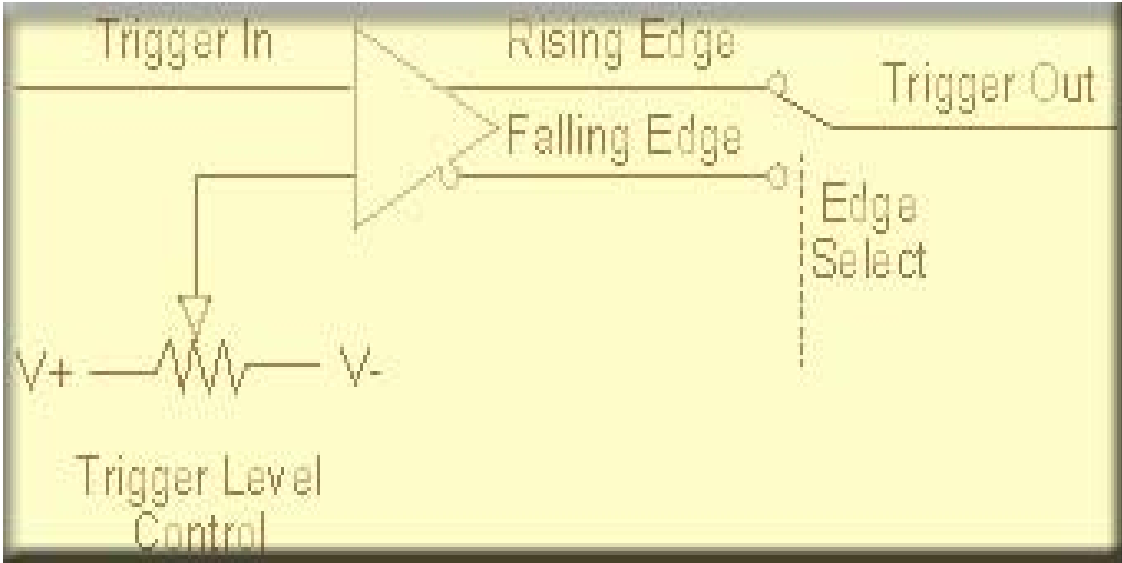
绝大多数测量都要求使用窗函数，如 Hanning 或 Rectangular 窗函数。它们都适合典型的频率分析测量。选择这两种窗函数要在频率分辨率和幅度准确度间进行权衡。

快速傅立叶变换

窗	优点	缺点
Hanning	频率分辨率较好	幅度准确度较差
Hamming	幅度准确度较好	频率分辨率较差
Rectangle	频率分辨率最好	幅度准确度最差
Blackman	副值分辨率最好	频率分辨率最差

第七章 探头

示波器的探头



理想的探头

探头是在一个测试点或信号源和一台示波器之间做的物理及电路的连接，探头对于被测回路，必须有最小的影响，同时对想要测量地信号应保证足够的保真度。

探头

在理想世界中，理想的探头将提供下列关键的属性：连接简单和便利
绝对的信号保真度零信号源极负载完全的噪音抗扰性

实际上，一根 100 MHz 探头或示波器被设计为在高至 100 MHz 的频率范围内进行测量。在信号频率高于指定带宽时进行测量会导致不可预知的测量结果。为了合理精确地测量脉冲上升或下降时间，探头和示波器的上升时间之和应该是 3~5 倍快于被测脉冲

动态范围限制

所有的探头应该有不应该超过的高电压安全限制。

对于无源探头来说，这个限制能从几百伏特延伸到几千伏特。然而，对于有源探头，最大的安全电压限制经常是几十伏特。

探头

为了避免个人安全上的危险及潜在的损坏探头的危险，知道被测量的电压范围及需要使用的探头的电压限制，是明智的选择。

一根 1X 探头（1 倍增益探头），它的动态测量范围同示波器一样。对于上面的例子，这将是 4mV 到 40V 范围内的信号测量。但是，如果你需要测量一个超过 40V 的信号时该怎么办？你可以通过使用一个衰减探头，从而扩展示波器的动态范围至更高的高电压。例如一根 10X 探头，将扩展动态测量范围至 40 mV 到 400V。它衰减输入信号 10 倍，有效地在增大了示波器的测量范围。

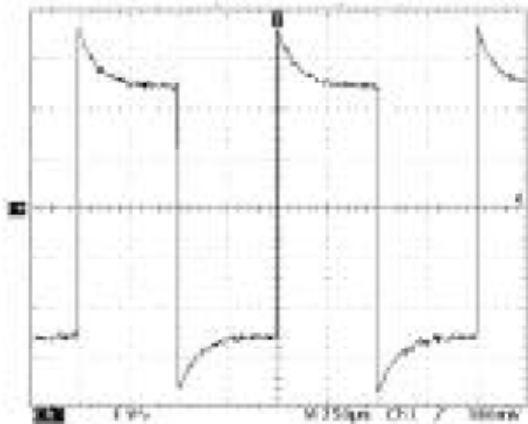
补偿你的探头

大多数探头被设计为匹配特定的示波器的输入电路。然而，不同的示波器之间有细微的变化，甚至在同一示波器的不同的输入通道之间也有。为了处理这一问题，许多探头，特别是衰减探头（10X 和 100X 探头），有内建的补偿网络。

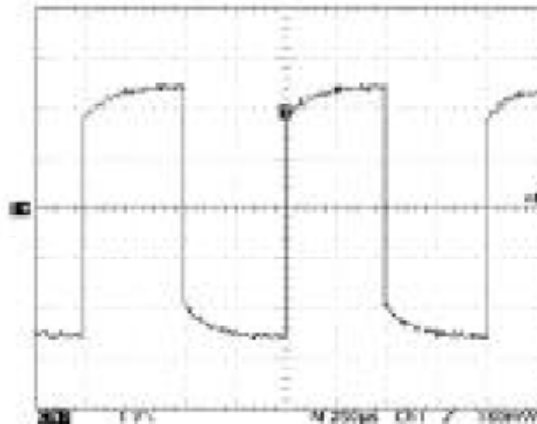
探头

探头补偿，遵循下列过程：

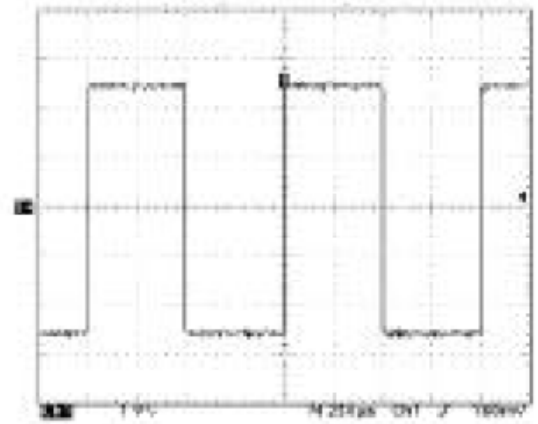
1. 把探头接入示波器。
2. 把探头尖接入示波器前面板上的探头补偿测试点。
3. 使用探头自带的调整工具或其他无感调节工具，来调节补偿网络，从而获得一个标准波形，这一波形应当具有平直的顶部，不能有过冲及圆弧



a. 过补偿。



b. 欠补偿。



c. 适当补偿。

- 无源电压探头

无源探头由电线和接头组成，并且，当需要补偿或衰减时，还有电阻器与电容器。探头没有有源的部件-晶体管或放大器，并且不需供电给探头。常用无源探头的最大测量的电压大约在400~500 伏特附近(直流+ 交流峰值)。

探头



- 有源电压探头

有源探头通常包含有源器件，例如晶体管。通常，有源设备是一只场效应晶体管（FET）有源的场效应管探头一般具有从500兆赫至高达4GHz的带宽。有源探头的线性动态范围通常是从±0.6V到±10V。

- 差分探头

差分信号是相互作为参考，而不是以地为参考

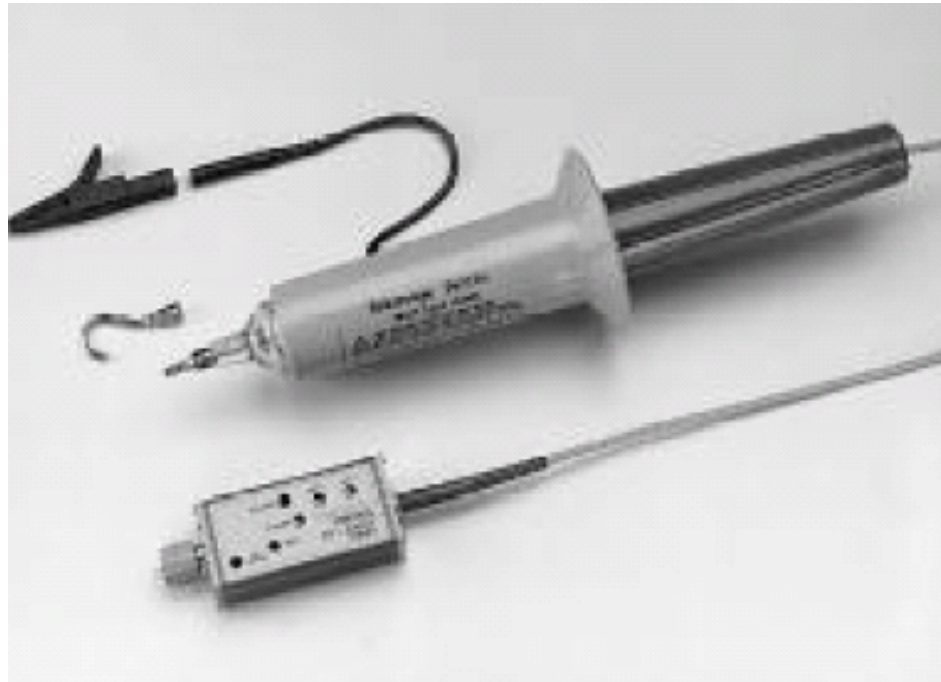
- 高压探头

我们可以定义高压为：任一超过典型通用的10X 无源探头安全使用的电压。

另一方面，高压探头能测量的电压最大高达 20, 000 伏特。

探头

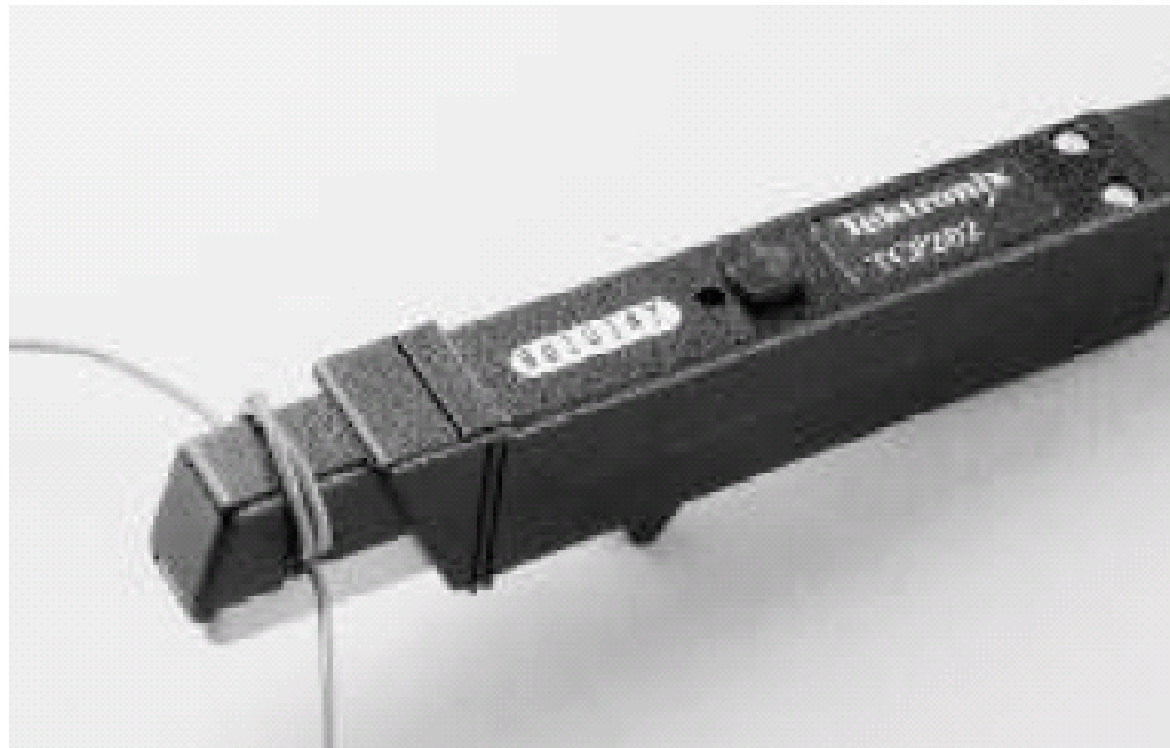
如图：20kV直流电，40KV脉冲，带宽75兆HZ



- 电流探头

电流通过导线引起导线周围电磁场的形成。电流探头感应这一场的强度，并且转换为电压信号由示波器测量

探头



- 光电探头

光电探头就是一个光电转换器。在光学一侧，探头的选择必须匹配专用的光学连接器和被测量设备的光纤类型或光学模式。在电学一侧，遵循标准的探头与示波器匹配标准。

探头

其他探头类型。

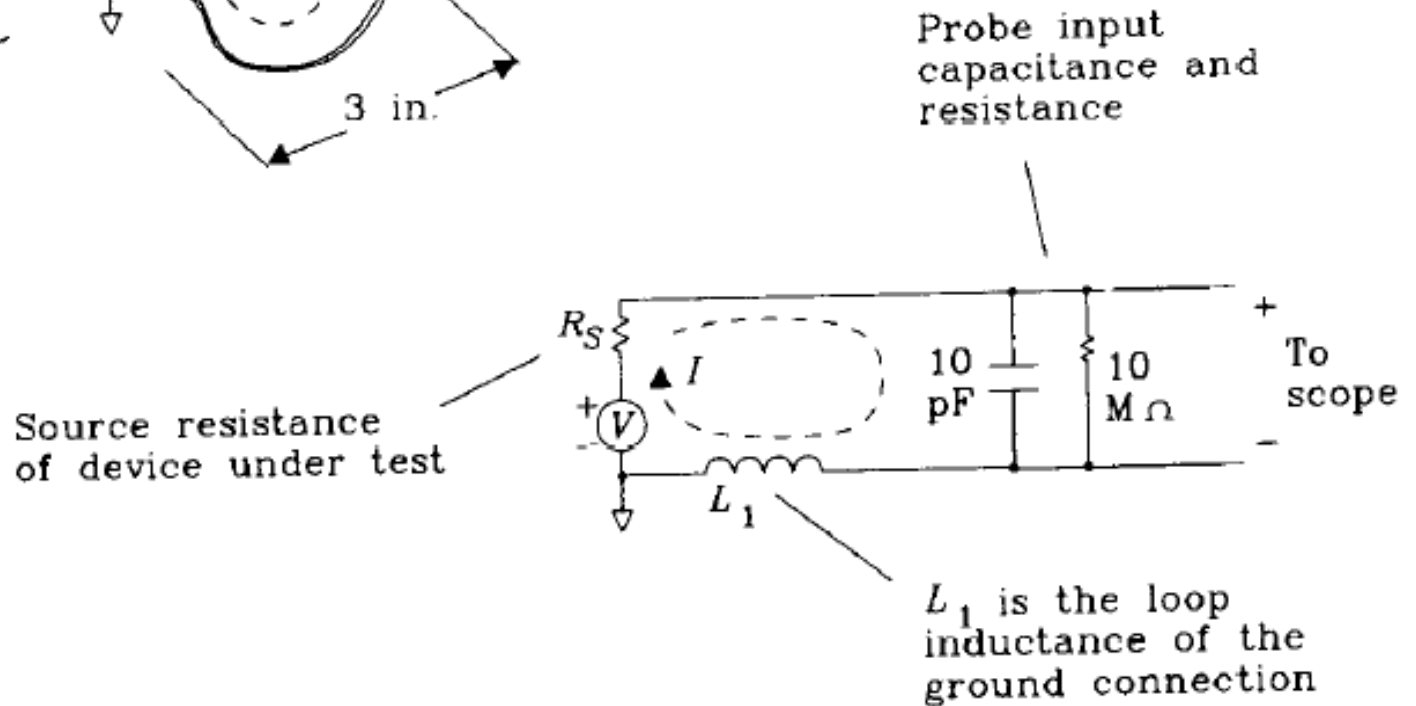
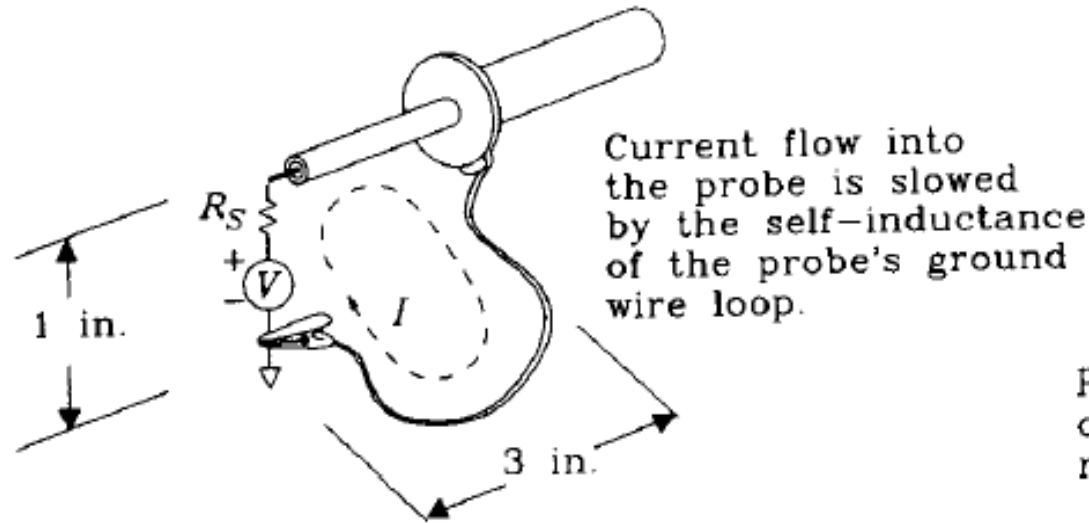
除了上述所列的“标准的”探头类型，也有许多特别的探头及探头系统。包括：

- 抗恶劣环境探头，它被设计为可以超过一个很宽的温度范围内操作。
- 温度探头，它被设计为用来测量器件和热量产生单元的温度。
- 用于探测微距设备如多片模块、混合电路、集成电路等所用的探测站和有探头伸缩臂

探头对电路的影响

地环路自感等效电路

探头



地环路自感的品质因数

- 地环路为RLC环路,其品质因数Q可以按下式计算:

$$Q \approx \frac{(LC)^{1/2}}{R_s}$$

探头

其中 R_s 为信号源输出阻抗.

- 较小的 R_s 将导致在

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

- 处产生较强的谐振,影响截止频率高于 f_r 的信号测量结果

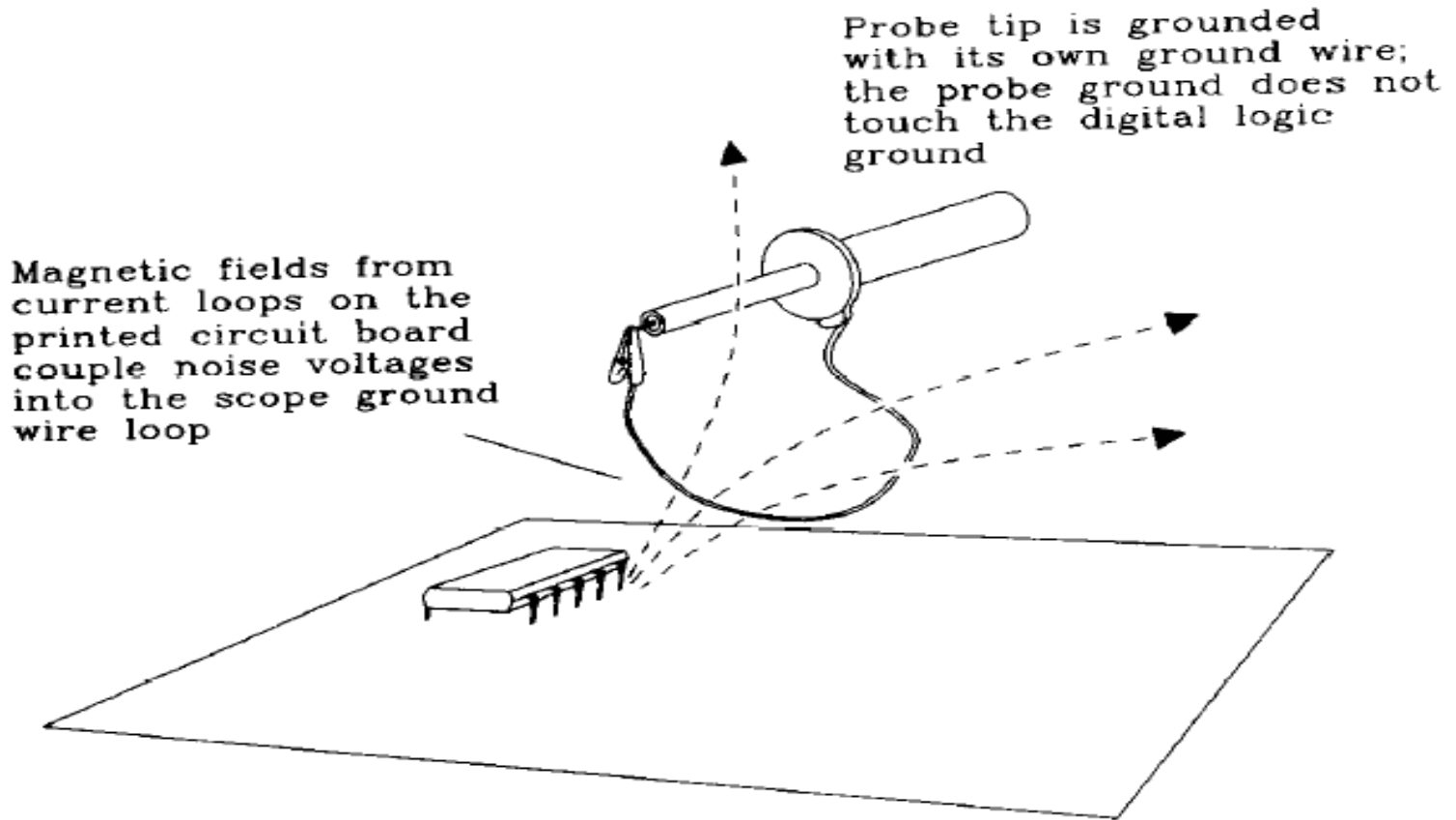
减小地环路自感的方法

- 示波器探头的地环路自感严重影响测量信号上升时间,并可能导致谐振
- 减小地环路面积是减小地环路自感最有效的
探头方法

地环路可用作检测器

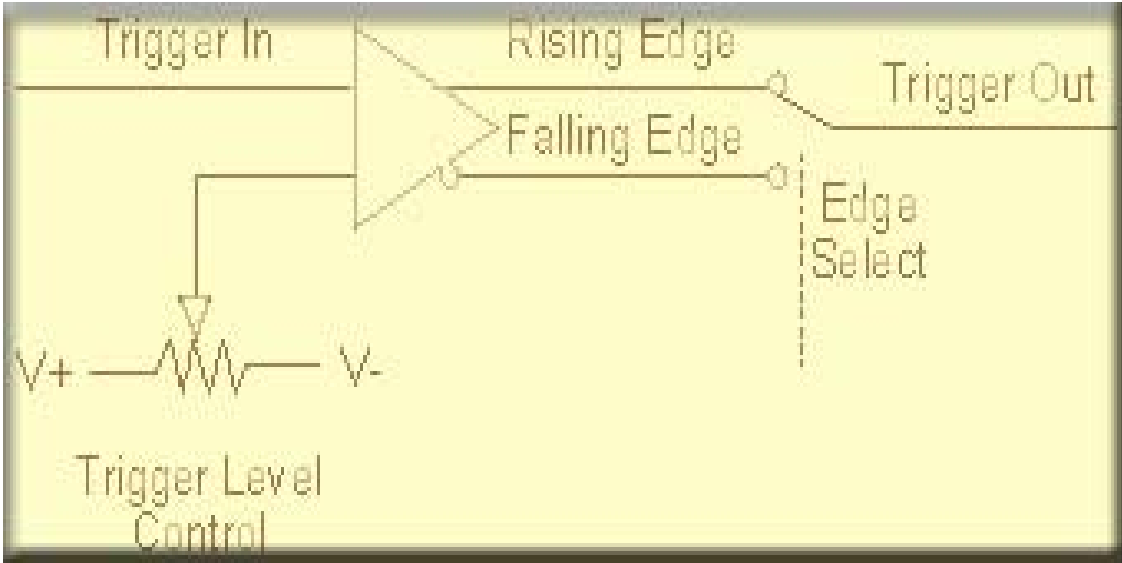
- 地环路可以用作电磁波检测器,以检测电路中电磁辐射源的位置

探头



第八章 接口

示波器的接口



在很多情况下，我们需要把示波器数据传往**PC**机，而在另一些情况下，我们可能希望用**PC**机来对示波器进行控制，这两种情况都要求示波器具有通讯能力，也就是说，示波器必须装有通讯硬件及支持软件，我们称此通讯软硬件为“接口”。

接口

常用的接口有两种

- **RS-232**接口
- 通用接口总线**GPIB**，又称为**IEEE-488**总线