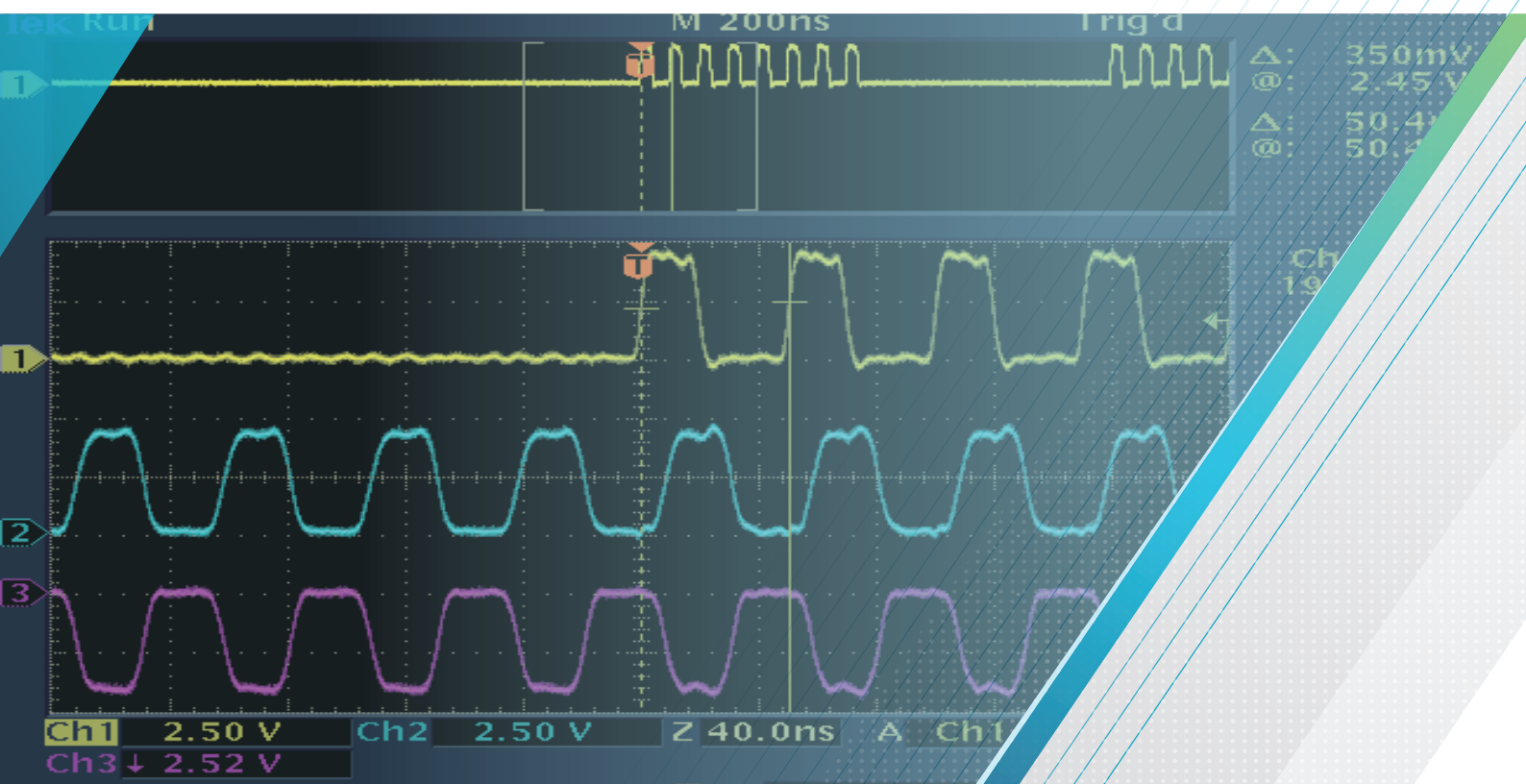


# 深入了解示波器

入门手册



## 目录

引言.....	4	示波器的系统和控制功能.....	19 – 32
信号完整性.....	5 – 6	垂直系统和控制功能.....	20
信号完整性的意义.....	5	位置和伏特/格.....	20
为什么信号完整性是一个问题?.....	5	输入耦合.....	20
观察数字信号的模拟原源.....	6	带宽限制.....	20
示波器.....	7 – 12	带宽增强.....	21
了解波形和波形测量.....	7	水平系统和控制功能.....	21
波的类型.....	8	采集控制功能.....	21
正弦波.....	9	采集模式.....	21
方波和矩形波.....	9	常用水平控制功能.....	21
锯齿波和三角波.....	9	采集模式类型.....	22
阶跃和脉冲形状.....	9	启动和停止采集系统.....	22
周期信号和非周期信号.....	9	采样.....	23
同步信号和异步信号.....	9	采样控制功能.....	23
复合波.....	10	实时采样方法.....	23
波形测量.....	11	等效时间采样方法.....	25
频率和周期.....	11	位置和秒/格.....	27
电压.....	11	时基选择.....	27
幅度.....	11	缩放/卷动.....	27
相位.....	11	搜索.....	27
使用数字示波器测量波形.....	12	XY模式.....	27
示波器的类型.....	13 – 18	Z轴.....	27
数字存储示波器.....	13	XYZ模式与DPO及XYZ记录显示.....	27
数字荧光示波器.....	15	触发系统和控制功能.....	28
混合域示波器.....	17	触发位置.....	30
混合信号示波器.....	17	触发电平和斜率.....	30
数字采样示波器.....	18	触发模式.....	31
		触发耦合.....	31
		触发释抑.....	31
		显示系统和控制功能.....	32
		其它示波器控制功能.....	32
		数学运算和测量数据运算.....	32
		数字定时和状态采集.....	32

完整的测量系统.....	33 – 36	运行示波器.....	44 – 45
探头.....	33	正确接地.....	44
无源探头.....	34	设置控制功能.....	44
有源探头和差分探头.....	35	校准仪器.....	45
逻辑探头.....	35	连接探头.....	45
专用探头.....	36	补偿探头.....	45
探头附件.....	36	示波器测量技术.....	47 – 48
性能术语和考虑因素.....	36 – 43	电压测量.....	47
带宽.....	36	时间和频率测量.....	48
上升时间.....	37	脉宽和上升时间测量.....	48
采样率.....	38	相移测量.....	49
波形捕获速率.....	39	其它测量技术.....	49
记录长度.....	39	书面练习.....	50 – 55
触发功能.....	40	第一部分	
有效位.....	40	A: 术语练习.....	50
频响.....	40	B: 应用练习.....	51
垂直灵敏度.....	40	第二部分	
扫描速度.....	40	A: 术语练.....	52
增益精度.....	40	B: 应用练习.....	53
水平精度(时基).....	40	参考答案.....	55
垂直分辨率(模数转换器).....	40	术语表.....	56 – 59
定时分辨率 (MSO).....	41		
连接能力.....	41		
扩展能力.....	41		
简便易用性.....	43		

## 引言

不管是海浪、地震、音爆、爆炸、声音通过空气传播、还是人体运动的自然频率，自然界都以正弦波的形式运动。能量、振动粒子及其它看不见的力分散在我们的物理空间中。即使是光线(部分是粒子、部分是波)也有基础频率，可以作为色彩进行观察。

**传感器可以把这些力转换成电信号，然后可以使用示波器观察和分析这些信号。通过使用示波器，科学家、工程师、教育工作者等等可以“看到”随时间变化的事件。**

对设计、制造或维修电子设备的任何人来说，示波器都是一种不可或缺的工具。在当前快节奏的世界中，工程师需要最优秀的工具，来迅速准确地解决面临的测量挑战。作为工程师的眼睛，示波器在迎接当前棘手的测量挑战方面至关重要。

示波器的用途并不仅限于电子领域。在安装适当的传感器时示波器可以测量各类现象。传感器是一种针对物理激励生成电信号的器件，如声音、机械压力、压力、光或热。麦克风就是一种传感器，它把声音转换成电信号。图1说明了示波器可以采集的科学数据实例。

从物理学家到维修技师，每个人都离不开示波器。汽车工程师使用示波器，把来自传感器的模拟数据与来自发动机控制单元的串行数据关联起来。医学研究人员使用示波器测量脑电波。示波器的用途可以说是无穷无尽的。

在了解本入门手册中介绍的概念后，您可以初步了解示波器基础知识和工作原理。

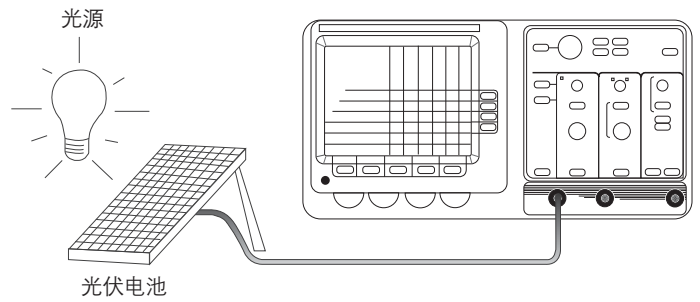


图1. 示波器采集的科学数据实例。

本入门手册后面的术语表提供了用户不熟悉的术语定义。本入门手册还提供了与示波器原理和控制功能有关的词汇表和多选书面练习，可以作为实用的教学辅助资料使用。阅读本入门手册的读者不需有数学或电子知识。

在阅读本入门手册之后，您将能够：

- 描述示波器的工作方式
- 描述各种示波器之间的差异
- 描述电气波形类型
- 了解基本示波器控制功能
- 进行简单的测量

示波器随机附带的手册将提供与怎样在工作中使用示波器有关的更具体的信息。部分示波器制造商还提供大量的应用指南，帮助您在专用测量中优化示波器。

## 信号完整性

### 信号完整性的意义

对任何优秀的示波器系统来说，准确重建波形的能力都是关键，这种能力称为信号完整性。示波器类似于一台摄像机，它捕获信号图像，然后可以观察和解释信号图像。信号完整性的核心有两个关键问题：

- 在拍摄时，拍到的是不是实际发生事件的准确图像？
- 图像清楚还是模糊？
- 每秒可以拍摄多少张这么准确的图片？

示波器不同的系统和性能功能结合在一起，影响着其提供最高信号完整性的能力。探头也影响着测量系统的信号完整性。

信号完整性影响着许多电子设计学科。但直到几年前，它对数字设计人员来说还不是什么大问题。设计人员可以依赖逻辑电路，像布尔电路一样操作。当时，有噪声的、不确定的信号发生在高速电路中，RF设计人员还不用担心这些问题。数字系统开关速度慢，信号以可预测的方式稳定。

此后，处理器的时钟速率提高了几个量级。三维图像、视频和服务器I/O等计算机应用需要大量的带宽。当前大部分电信设备都基于数字方式，类似地要求大规模的带宽。数字高清电视也不例外。当前一代微处理器设备以高达2GS/s、3GS/s、甚至5GS/s（千兆样点/秒）的速率处理数据，某些DDR3存储设备则使用2 GHz以上的时钟及上升时间为35 ps的数据信号。

重要的是，速度的提高一直渗透到汽车、消费电子、机械控制装置及各类应用使用的常用IC器件。

在以20MHz时钟速率运行的处理器中，信号的上升时间与800 MHz处理器中的信号类似。设计人员已经超越了性能门限，事实上，几乎每种设计都是高速设计。

如果没有某些预防性措施，高速问题可能会钻进其它传统数字设计中。如果电路经历间歇性故障，或在极端电压和温度时遇到错误，那么可能存在某些隐藏的信号完整性问题。这些问题会影响产品开发周期、产品可靠性、EMI合规性、等等。这些高速问题还可能会影响系统中串行数据流的完整性，要求某种方法，把数据中的特定码型与高速波形中观察到的特点关联起来。

### 为什么信号完整性是一个问题？

让我们看一下当前数字设计中信号劣化的部分具体成因。为什么现在这些问题比过去几年盛行得多了呢？

答案是速度。在“低速的旧时代”，保持可以接受的数字信号完整性只需注意细节就可以了，比如时钟分配、信号路径设计、噪声余量、负荷影响、传输线效应、总线端接、解耦和配电。所有这些规则仍然适用，但是……

今天，总线周期时间比20年前快了1000倍！过去需要几微秒的事务处理现在只需要几纳秒。为实现这种改进，边沿速度也已经加快，其比20年前快了100倍。

这一切还好。然而，某些实际物理状况使得电路板技术不能跟上发展步伐。芯片间总线的传播时间在过去几十年中几乎一直没有变化。当然，其尺寸已经缩小，但仍需要为IC器件、连接器、无源器件、当然还有总线轨迹本身提供电路板空间。这些空间汇聚成距离，而距离则意味着时间，这正是速度的天敌。

必需指出的是，数字信号的边沿速度 - 上升时间承载的频率成分可以高于其重复速率表明的频率。基于这一原因，某些设计人员故意寻求上升时间相对“较慢”的IC器件。

集总电路模型一直是预测电路中信号特点使用的大多数计算的依据。但是，在边沿速度比信号路径延迟快4-6倍时，简单的集总模型将不再适用。

在使用边沿速率不到4-6纳秒的信号驱动时，不管周期速率是多少，长仅6英寸的电路板轨迹变成了传输线。事实上，其创建了新的信号路径。这些无形连接并没有画在示意图上，然而却为信号提供了以不可预测的方式相互影响的手段。

**有时候，即使是探头/仪器组合引入的错误也可能给被测信号带来重大影响。但是，通过对实测值应用“平方和的均方根”公式，可以确定被测器件是否接近上升时间/下降时间故障。此外，最新的示波器工具采用专用滤波技术，反嵌测量系统对信号的影响，显示边沿时间及其它信号特点。**

同时，预计的信号路径并没有以预计的方式工作。地平面和电压层(如上述信号轨迹)变成电感，工作方式类似于传输线，电源解耦的效果大大降低。EMI上升，因为边沿速度越快，相对于总线长度产生的波长越短，串扰越高。

此外，快速边沿速度要求整体更高的生成电流。更高的电流一般会导致地电平弹跳，特别是在一次开关多个信号的宽总线上。而且，更高的电流会提高辐射的磁能量及串扰。

### 观察数字信号的模拟原源

这些特点有哪些共同点呢？它们都是典型的模拟现象。为解决信号完整性问题，数字设计人员需要步入模拟领域。为迈出这一步，他们需要工具能够显示数字信号和模拟信号怎样相互影响。

数字错误通常源于模拟信号完整性问题。为追踪数字问题的成因，通常必需打开示波器，示波器可以显示波形细节、边沿和噪声，可以检测和显示瞬态信号，可以帮助您精确地测量定时关系，如建立时间和保持时间。通过触发并行或串行数据流中的具体码型，显示在时间上与指定事件对应的模拟信号，现代示波器可以帮助简化调试过程。

了解示波器内部的每个系统及怎样应用这些系统，有助于有效地应用示波器，处理具体的测量挑战。

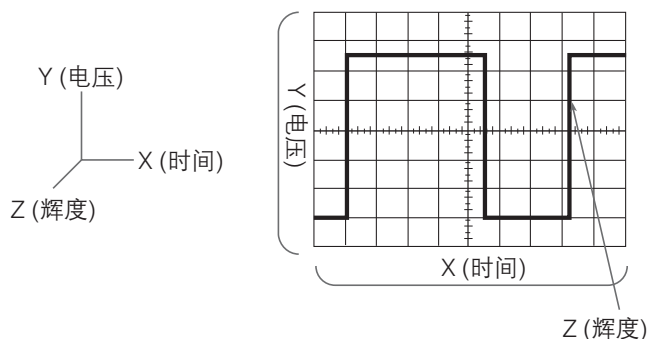


图2. 显示的波形的X、Y和Z成分。

## 示波器

什么是示波器？示波器怎样工作？本节将解答这些基本问题。

示波器基本上是一种图形显示设备，它绘制一个电信号的图形。在大多数应用中，这个图形显示信号怎样随时间变化，其中竖轴(Y)表示电压，横轴(X)表示时间。显示辉度或亮度有时称为Z轴，如图2所示。在DPO示波器中，Z轴可以用显示颜色等级表示，如图3所示。

这个简单的图形可以告诉您与信号有关的许多东西，如：

- 信号的时间值和电压值
- 振荡信号的频率
- 信号表示的电路的“运动部件”
- 信号特定部分相对于其它部分发生的频率
- 有故障的元件是否会使信号失真
- 多少信号是直流(DC)？多少信号是交流(AC)？
- 多少信号是噪声？噪声是否随时间变化？

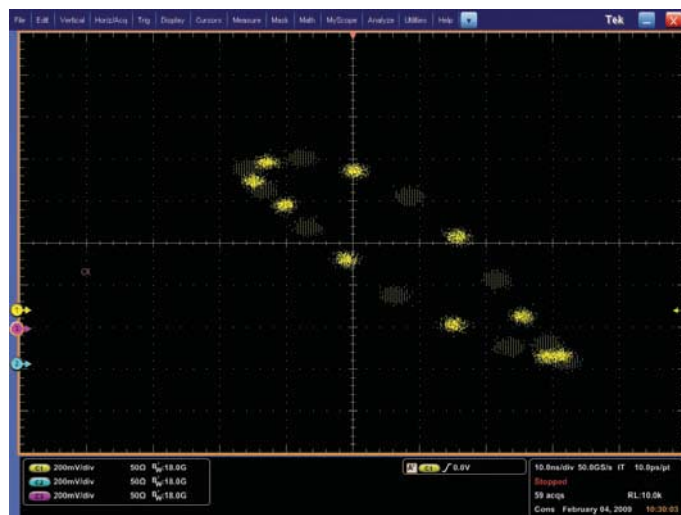


图3. 两个偏置时钟码型，支持Z轴辉度等级。

## 了解波形和波形测量

波是随时间推移重复出现的码型的通用术语，比如声波、脑电波、海浪和电压波都是重复的码型。示波器测量电压波。如前所述，传感器可以把物理现象(如振动或温度)或电气现象(如电流或功率)转换成电压。波的一个周期是重复波的组成部分。波形是波的图形表示。电压波形在横轴上显示时间，在竖轴上显示电压。

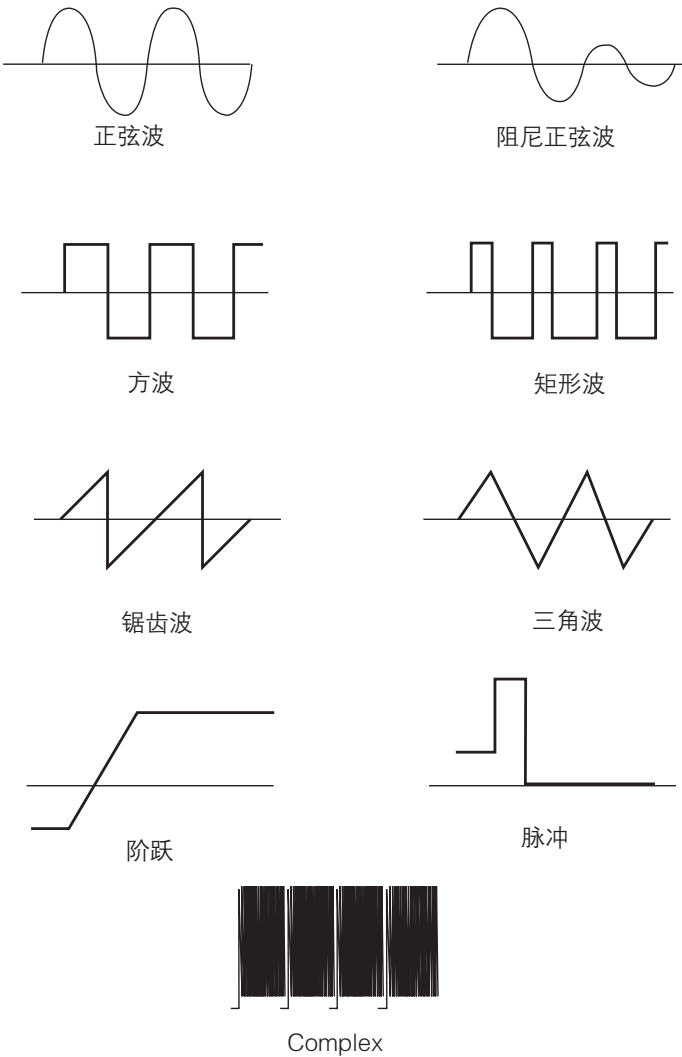


图4. 常见的波形。

波形形状揭示了信号的大量信息。在任何时候，在您看到波形高度变化时，您就知道电压已经变化。在任何时候，在有一条平坦的横线时，您就知道在这段时间内没有任何变化。平直的对角线表示线性变化，表示电压以稳定的速率上升或下降。波形上的锐角表明突然变化。图4显示了常见的波形，图5显示了常见波形的来源。

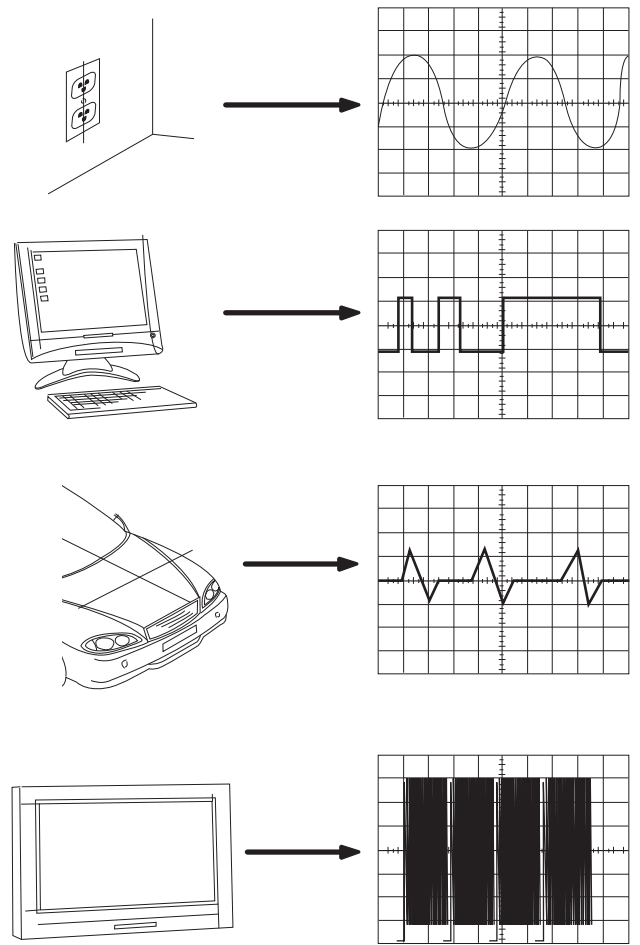


图5. 常见波形的来源。

### 波的类型

您可以把大多数波分成下面几类：

- 正弦波
- 方波和矩形波
- 锯齿波和三角波
- 阶跃和脉冲形状
- 周期信号和非周期信号
- 同步信号和异步信号
- 复合波



## 正弦波

基于多种原因，正弦波是基础波形。它拥有和谐的数学特点，在三角形教学中，您可能已经学过同样的正弦形状。墙上插座中的电压以正弦波形式变化。信号发生器的振荡器电路生成的信号通常是正弦波。大多数AC电源生成正弦波。(AC表示交流，当然电压也会交替。DC表示直流，意味着稳定的电流和电压，如电池生成的电流和电压。)

阻尼正弦波是电路中可能会看到的一个特例，它会振荡，但随着时间推移而逐渐减小。

## 方波和矩形波

方波是另一种常见的波形。基本上，方波是一种以定期间隔开关(或变高和变低)的电压。它是放大器测试使用的标准波，好的放大器会以最小的失真提高方波的幅度。电视、广播和计算机电路通常在定时信号中使用方波。

矩形波与方波类似，但高低的时间间隔长度不等。在分析数字电路时，矩形波特别重要。

## 锯齿波和三角波

锯齿波和三角波来自为线性控制电压设计的电路，如模拟示波器的水平扫描或电视的光栅扫描。这些波电压电平之间的跳变会以恒定速率变化。这些跳变称为斜波。

## 阶跃和脉冲形状

发生很少或非定期发生的信号(如阶跃和脉冲)称为单次信号或瞬态信号。阶跃表示电压突然变化，与打开电源开关时看到的电压变化类似。

脉冲表示电压突然变化，与打开电源开关、然后再关上电源开关时看到的电压变化类似。脉冲可能表示经过计算机电路传送的一比特信息，也可能是电路中的一个毛刺或缺陷。一起传送的脉冲集会构成一个脉冲串。计算机中的数字器件使用脉冲互相通信。这些脉冲可以采取串行数据流的形式，也可以使用多条信号线，表示并行数据总线中的值。脉冲在X射线、雷达和通信设备中也十分常见。

## 周期信号和非周期信号

重复的信号称为周期信号，一直变化的信号则称为非周期信号。静态照片可以比作周期信号，而动画则相当于非周期信号。

## 同步信号和异步信号

在两个信号之间存在定时关系时，这些信号称为同步信号。计算机内部的时钟、数据和地址信号都是同步信号。

异步信号用来描述之间不存在定时关系的信号。由于触摸计算机键盘上的键这种操作与计算机内部的时钟之间没有时间相关，因此这些操作被视为异步信号。

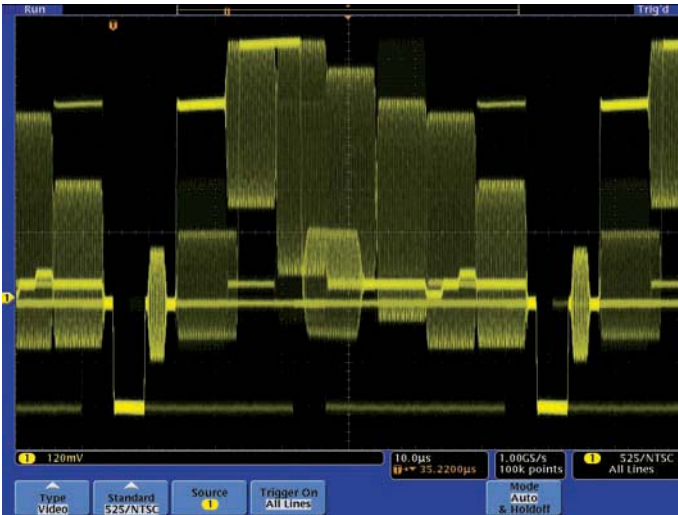


图6. NTSC合成视频信号是一种复合波实例。

### 复合波

某些波形把正弦波、方波、阶跃和脉冲的特点结合在一起，得到复杂的波形。信号信息嵌入的形式可以是幅度、相位和/或频率变化。例如，尽管图6中的信号是普通的合成视频信号，但它由嵌入到低频包络中的多个高频波形周期组成。

在这个实例中，通常最为重要的是要了解阶跃之间的相对电平和定时关系。为观察这个信号，您需要一台示波器，捕获低频包络，采取辉度等级方式混合到高频波中，从而可以作为目视解释的图像，看到整体组合。数字荧光示波器最适合观察复合波，如视频信号，如图6所示。其显示画面提供了必要的发生频率信息或辉度等级，这对了解波形实际操作至关重要。



图7. 622 Mb/s串行数据眼图。

某些示波器允许以特定方式显示特定的复合波形类型。例如，电信数据可以显示为眼图或星座图。

电信数字数据信号可以在示波器上显示为特殊类型的波形，称为眼图。眼图这一名称源于波形类似于一串眼睛，如图7所示。在来自接收机的数字数据被采样，并应用到垂直输入时，会生成眼图，同时数据速率用来触发水平扫描。眼图显示一个比特或一个单位间隔的数据，所有可能的边沿跳变和状态都叠加在一个全面的视图中。

星座图表示数字调制方案调制的信号，如正交幅度调制或相移键控。

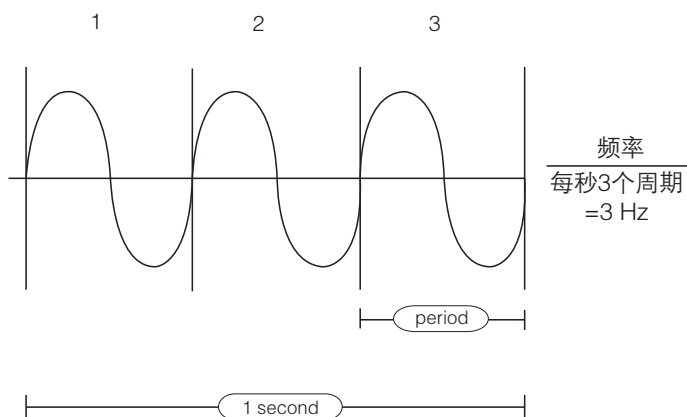


图8. 正弦波的频率和周期。

### 波形测量

许多术语用来描述使用示波器可以进行的测量类型。本节介绍了部分最常用的测量和术语。

#### 频率和周期

如果信号重复，那么它就有频率。频率用赫兹(Hz)表示，等于信号本身在一秒钟内重复的次数，称为每秒周期数。重复的信号还有周期，即信号完成一个周期所需的时间。周期和频率是倒数关系，因此频率=1/周期，周期=1/频率。例如，图8中的正弦波的频率是3 Hz，周期是1/3秒。

#### 电压

电压是电路中两点之间的电位量或信号强度。通常情况下，其中一个点是接地或零伏，但并非一直是。您可能要测量波形从最大峰值到最小峰值的电压，这称为峰峰值电压。

#### 幅度

幅度指电路中两点之间的电压量。幅度通常指从接地或零伏测得的信号的最大电压。图9所示的波形的幅度为1 V，峰峰值电压为2 V。

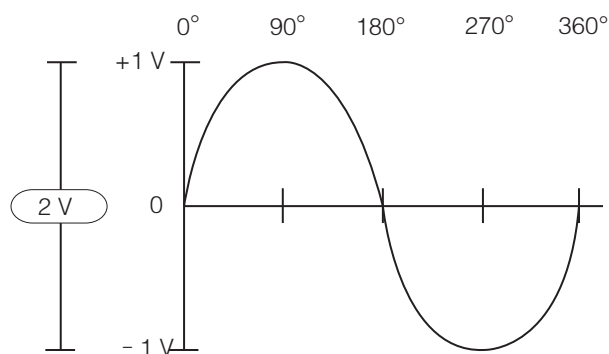


图9. 正弦波的幅度和度。

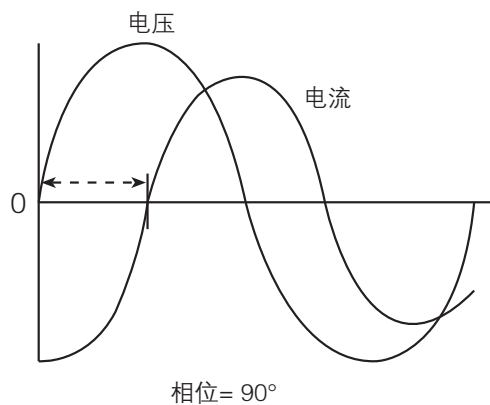


图10. 相移。

#### 相位

观察正弦波最适合解释相位。正弦波的电压电平基于循环运动。由于一个圆有360°，所以一个正弦波的周期有360°，如图9所示。在想描述周期经过多少量时，您可以使用度描述正弦波的相角。

相移描述了两个类似信号之间的定时差。图10中标为“current”（电流）的波形与标为“voltage”（电压）的波形异相90°，因为这两个波在周期中到达类似点相距一个周期的1/4 ( $360^\circ / 4 = 90^\circ$ )。相移在电子器件中十分常用。

### 使用数字示波器进行波形测量

现代数字示波器拥有多种功能，可以更简便地进行波形测量。它们有前面板按钮和/或基于屏幕的菜单，您可以使用这些按钮或菜单，选择全自动测量，包括幅度、周期、上升/下降时间、等等。许多数字仪器还提供中间值和RMS计算、占空比和其它数学运算。自动测量作为屏幕上字母数字读数显示。一般来说，这些读数要比直接格线解释获得的数据更准确。

#### 全自动波形测量实例：

- |         |         |         |
|---------|---------|---------|
| ■ 周期    | ■ 占空比+  | ■ 高     |
| ■ 频率    | ■ 占空比-  | ■ 低     |
| ■ 宽度+   | ■ 延迟    | ■ 最小    |
| ■ 宽度-   | ■ 相位    | ■ 最大    |
| ■ 上升时间  | ■ 突发宽度  | ■ 过冲+   |
| ■ 下降时间  | ■ 峰峰值   | ■ 过冲-   |
| ■ 幅度    | ■ 平均值   | ■ RMS   |
| ■ 消光比   | ■ 周期平均值 | ■ 周期RMS |
| ■ 平均光功率 | ■ 周期面积  | ■ 抖动    |

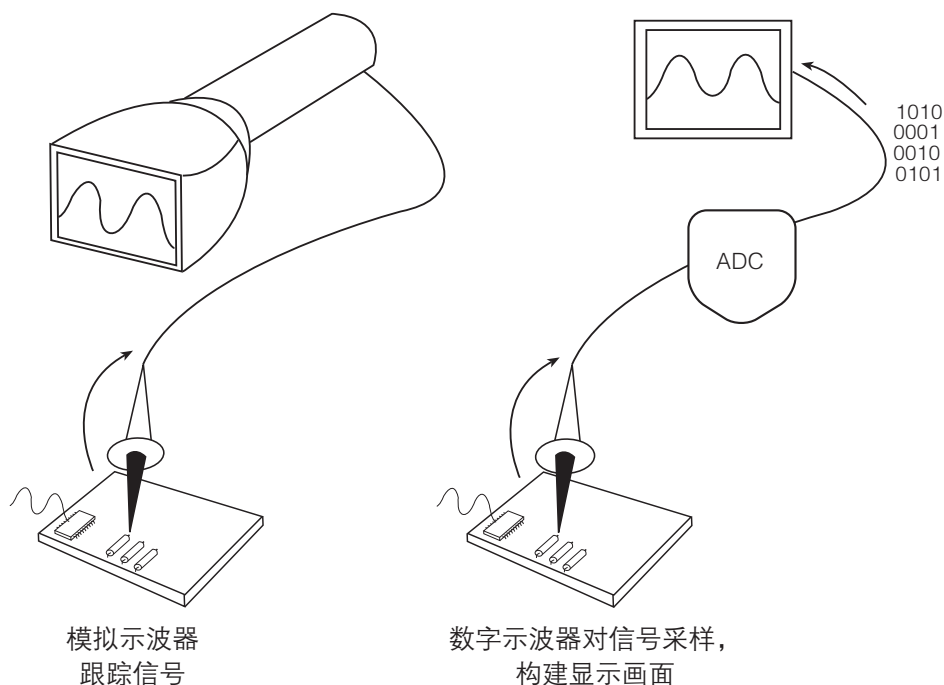


图11. 模拟示波器跟踪信号，数字示波器对信号采样，构建显示画面。

## 示波器的类型

电子设备可以分成两类：模拟设备和数字设备。模拟设备适用于连续变化的电压，数字设备则适用于表示电压样点的离散的二进制数字。传统留声机是一种模拟设备，而唱片播放机则是一种数字设备。

示波器可以按类似方式分类，分成模拟示波器和数字示波器。与模拟示波器相比，数字示波器采用模数转换器(ADC)，把测得的电压转换成数字信息。它作为一串样点采集波形，然后存储这些样点，直到累积足够的样点，描述波形。然后，数字示波器会重组波形，显示在屏幕上，如图11所示。

数字示波器可以分成数字存储示波器(DSOs)、数字荧光示波器(DPOs)、混合信号示波器(MSOs)和数字采样示波器。

数字方法意味着示波器可以以相应的稳定性和亮度和清晰度显示范围内的任何频率。对重复的信号，数字示波器的

带宽与示波器前端器件的模拟带宽有关，通常称为-3 dB点。对单次和瞬态事件，如脉冲和阶跃，带宽会受到示波器的采样率限制。如需详细信息，请参阅“性能术语和考虑因素”下的采样率部分。

## 数字存储示波器

传统数字示波器称为数字存储示波器(DSO)。其显示一般依赖光栅类屏幕，而不是老式模拟示波器中的发光荧光。

数字存储示波器(DSO)可以捕获和观察可能只发生一次的事件，称为瞬态信号。由于波形信息以数字形式存在，作为一串存储的二进制值，因此可以在示波器内部或使用外部计算机分析、归档、打印及以其它方式处理这些波形信息。波形不需要是连续的；在信号消失时，甚至可以显示这些波形。与模拟示波器不同，数字存储示波器提供永久的信号存储功能及全面的波形处理功能。然而，DSO一般没有实时辉度等级，因此，它们不能表示实时信号中变化的辉度。

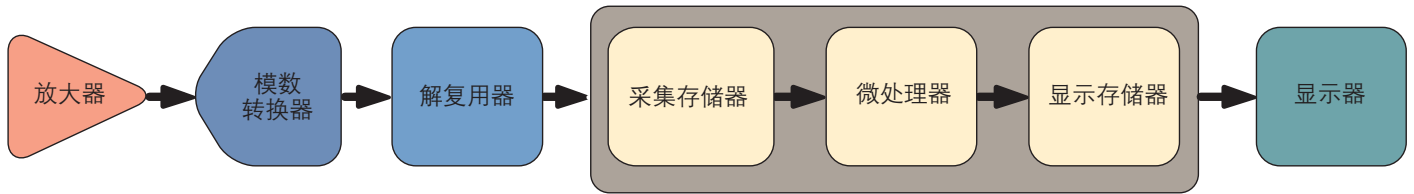


图12. 数字存储示波器(DSO)的串行处理结构。

构成DSO的部分系统与模拟示波器中类似。但是，DSO包含额外的数据处理子系统，用来收集和显示整个波形的数据。DSO采用串行处理结构，在屏幕上捕获和显示信号，如图12所示。下面介绍一下这种串行处理结构。

### 串行处理结构

与模拟示波器类似，DSO的第一个(输入)阶段是垂直放大器。垂直控制功能允许在这个阶段调节幅度和位置范围。然后，水平系统中的模数转换器(ADC)在离散的时点上对信号采样，把这些时点上的电压转换成数字值，称为样点。这个过程称为信号数字化。

水平系统的采样时钟决定着ADC采样的频次。这一速率称为采样率，用每秒样点数(S/s)表示。来自ADC的样点作为波形点存储在采集存储器中。多个样点可能会构成一个波形点。多个波形点结合在一起，构成一条波形记录。创建波形记录使用的波形点数量称为记录长度。触发系统决定着记录的开始点和结束点。

DSO的信号路径包括一个微处理器，实测信号经过这个微处理器传送到显示器上。这个微处理器处理信号，协调显示活动，管理前面板控制功能，等等。然后信号传送通过显示存储器，显示在示波器屏幕上。

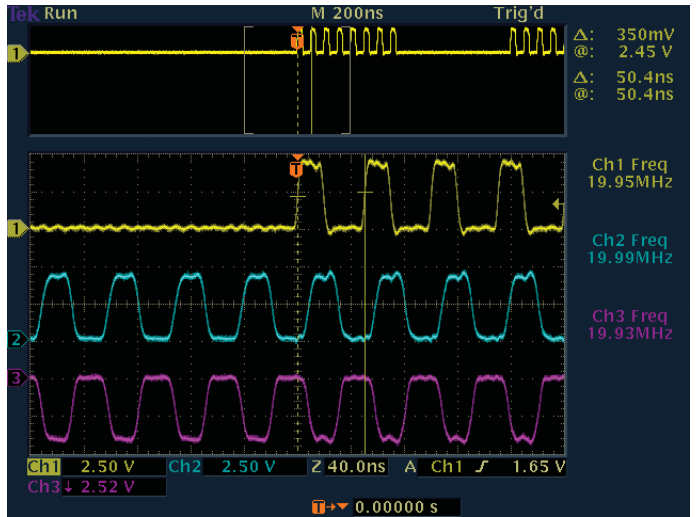


图13. 数字存储示波器在多条通道中提供高速单次采集功能，提高了捕获难检毛刺和瞬态事件的可能性。

示波器的功能，可能会对样点进行额外的处理，增强显示。还可能会提供预触发功能，可以看到触发点前面的事件。当前大多数数字示波器还可以选择自动参数测量，简化了测量过程。

如图13所示，DSO在单次多通道仪器中提供了非常高的性能。DSO特别适合重复率低的应用或单次高速多通道设计应用。在实际数字设计环境中，工程师通常同时考察四个或四个以上的信号，使得DSO成为关键仪器。

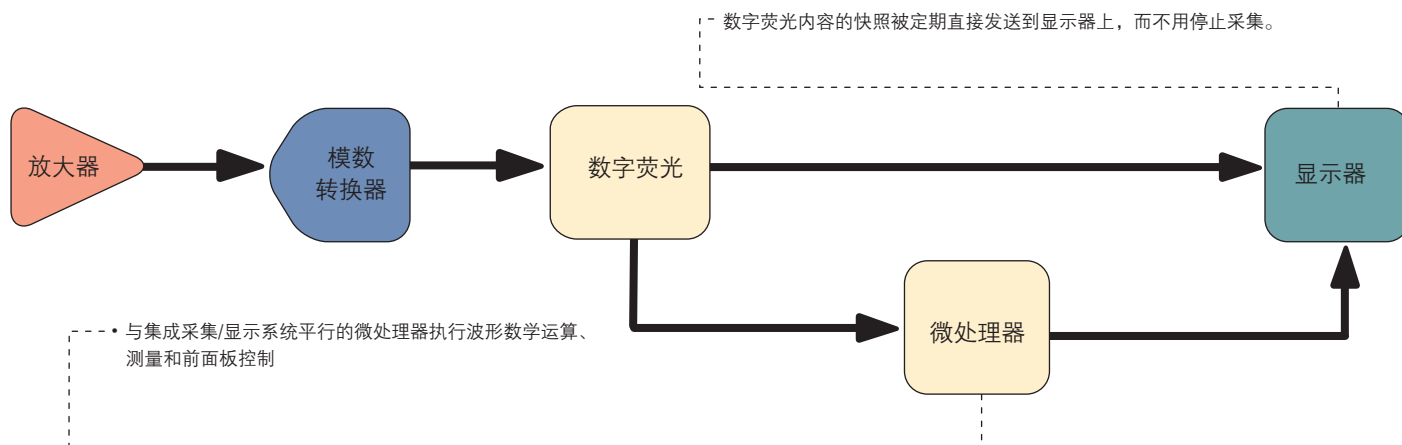


图14. 数字荧光示波器(DPO)的并行处理结构。

## 数字荧光示波器

数字荧光示波器(DPO)提供了一种新的示波器结构方法。通过这种结构，DPO可以提供独特的采集和显示功能，准确地重建信号。

DSO采用串行处理结构捕获、显示和分析信号，DPO则采用并行处理结构执行这些功能，如图14所示。DPO结构要求使用独特的ASIC硬件采集波形图像，提供高波形捕获速率，实现更高的信号查看水平。这种性能提高了看到数字系统中发生的瞬态事件的概率，如欠幅脉冲、毛刺和跳变错误，实现了进一步的分析功能。下面介绍了这种并行处理结构。

### 并行处理结构

DPO的第一个(输入)阶段与模拟示波器类似，也是垂直放大器，第二个阶段与DSO类似，是一个ADC。但是，在模数转换之后，DPO与前几代产品有着明显的差别。

对任何示波器来说，不管是模拟示波器、DSO还是DPO，总有一个触发释抑时间，在这段时间内，仪器处理最新采集的数据，复位系统，等待下一个触发事件。在这段时间内，示波器看不见所有信号活动。看到偶发事件或低重复率事件的概率会随着触发释抑的时间提高而下降。

应该指出的是，只看显示更新速率，是不可能确定捕获概率的。如果您只依赖更新速率，那么很容易错误地认为，示波器正在捕获与波形有关的所有信息，但事实上却没有。

数字存储示波器以串行方式处理捕获的波形。在这个过程中，微处理器的速度是瓶颈，因为它限制着波形捕获速率。DPO把数字化的波形数据光栅化到数字荧光数据库中。每1/30秒(大约和人眼能够感受到的速度一样)，存储在数据库中的信号图像快照会通过管线直接传送到显示系统。这种波形数据直接光栅化及从数据库直接拷贝到显示存储器，消除了其它结构中固有的数据处理瓶颈。其结果，增强了“实时”显示更新功能。它实时捕获信号细节、间歇性事件及信号的动态特点。DPO的微处理器与这个集成采集系统并行工作，实现显示管理、测量自动化和仪器控制，从而不会影响示波器的采集速度。

DPO忠实地仿真模拟示波器的最佳显示属性，用三个维度显示信号：时间、幅度和幅度在时间上的分布，而且所有信息都是实时显示的。

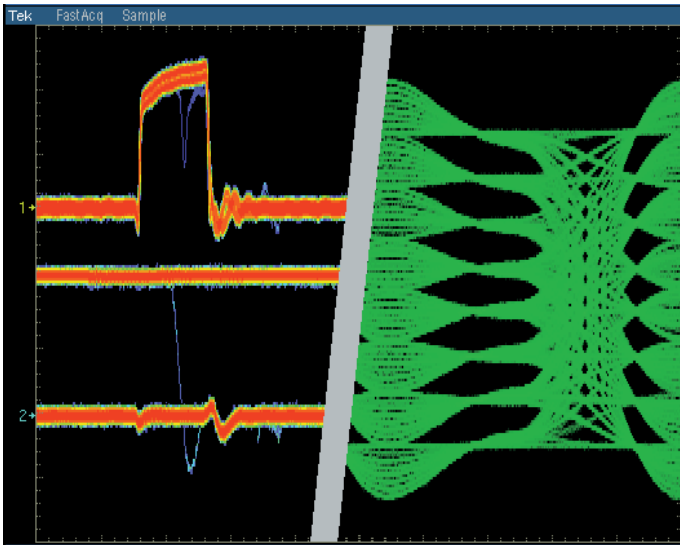


图15. 某些DPO可以在几秒钟内采集数百万个波形，明显提高捕获间歇性难检事件的概率，揭示动态信号特点。

与模拟示波器依赖化学荧光不同，DPO采用纯电子数字荧光，其实际上是一个连续更新的数据库。对示波器显示画面中的每一个像素，这个数据库有一个单独的信息“单元”。每次在捕获波形时，换句话说，每次在示波器触发时，它都映射到数字荧光数据库的单元中。表示屏幕位置、波形接触的每个单元都会使用辉度信息加强，而其它单元则不会。这样，辉度信息会在波形最经常传送的单元中累积。

在数字荧光数据库输送到示波器的显示器时，显示器会揭示加强的波形区域，且与每个点上的信号发生频率成比例，这在很大程度上与模拟示波器的辉度等级特点类似。DPO还允许作为对比颜色在显示器上显示发生频率变化的信息，这一点不同于模拟示波器。在DPO中，可以很容易看到几乎每次触发都发生的波形与每100次触发才发生一次的波形之间的差别。

数字荧光示波器(DPOs)扫清了模拟示波器技术与数字示波器技术之间的障碍。它们都同样适合实时观察高频和低频、重复波形、瞬态信号及信号变化。只有DPO实时提供了Z (辉度)轴，而传统DSO中则没有这个轴。

DPO特别适合在多种应用需要最通用的设计和调试工具的客户，如图15所示。DPO多用于高级分析、通信模板测试、间歇性信号的数字调试、重复的数字设计和定时应用。



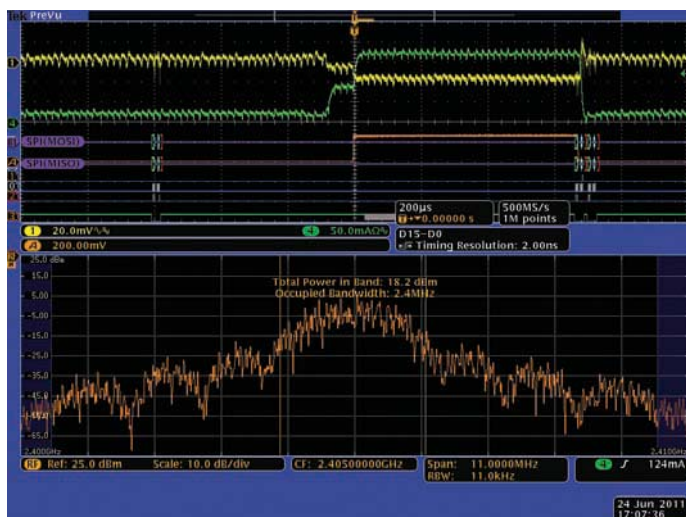


图16. Zigbee无线电的微处理器PI (MOSI)和(MISO)控制线的时间相关显示，测量到无线电IC的漏极电流和电压及启动期间的频谱。

### 混合域示波器

混合域示波器(MDO)把RF频谱分析仪与MSO或DPO结合在一起，实现从数字域、模拟域到RF域的信号相关视图。例如，MDO可以查看嵌入式设计内部协议、状态逻辑、模拟信号和RF信号的时间相关显示，大大缩短获得信息所需的时间，降低跨域事件之间的测量不确定度。

了解嵌入式RF设计内部微处理器命令与RF事件之间的时间延迟简化了测试设置，可以在工作台上完成复杂的测量。对嵌入式无线电，如图16所示的Zigbee设计，您可以触发RF事件启动，观察微处理器控制器解码的SPI控制线的命令行时延、启动过程中的漏极电流和电压以及发生的任何频谱事件。您现在可以在一个画面中，以时间相关的方式观察无线电的所有域：协议(数字)、模拟和RF。

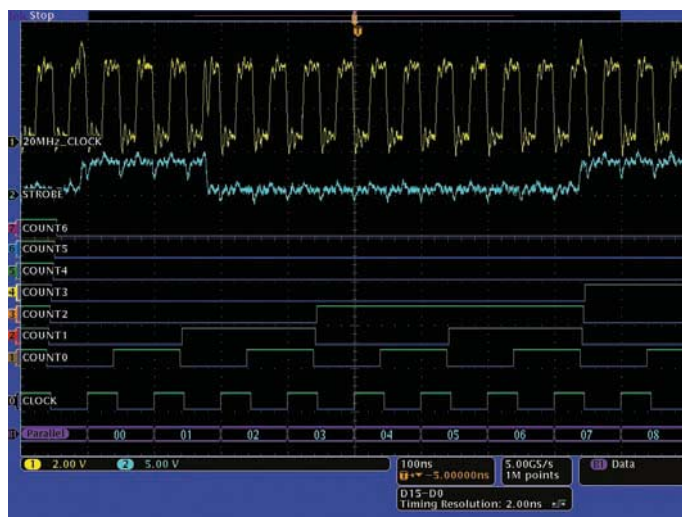


图17. MSO提供了16条集成数字通道，能够观察和分析时间相关的模拟信号和数字信号。

### 混合信号示波器

混合信号示波器(MSO)把DPO的性能与16通道逻辑分析仪的基本功能结合起来，包括并行/串行总线协议解码和触发。MSO的数字通道把数字信号视作逻辑值高或逻辑值低，就像数字电路观察信号一样。也就是说，只要振铃、过冲和地电平弹跳没有导致逻辑跳变，那么这些模拟特点对MSO就不成问题。与逻辑分析仪一样，MSO使用门限电压，确定信号是逻辑值高还是逻辑值低。

在使用强大的数字触发、高分辨率采集功能和分析工具迅速调试数字电路方面，MSO是首选的工具。通过分析信号的模拟表示和数字表示，可以更迅速地确定许多数字问题的根本原因，如图17所示，使得MSO特别适合检验和调试数字电路。

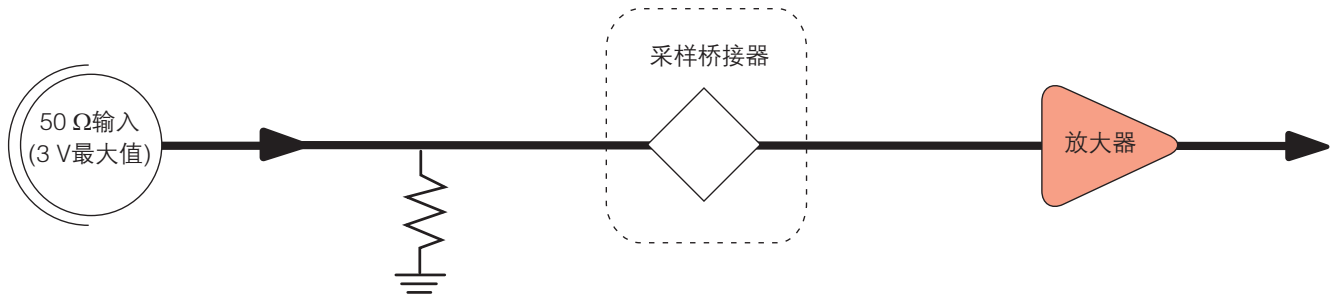


图18. 数字荧光示波器(DPO)的并行处理结构。

### 数字采样示波器

与数字存储示波器和数字荧光示波器结构相比，在数字采样示波器的结构中，衰减器/放大器和采样桥接器的位置颠倒，如图18所示。它先对输入信号采样，然后执行衰减或放大。然后在采样桥接器后面，可以使用低带宽放大器，因为信号已经被转采样门转换成较低的频率，从而大大提高仪器带宽。

然而，这种高带宽的代价是采样示波器的动态范围有限。由于采样门前面没有衰减器/放大器。因此没有工具对输入定标。采样桥接器必须能够在任何时间处理输入的整个动态范围。因此，大多数采样示波器的动态范围限定在大约  $1V_{p-p}$ 。而数字存储示波器和数字荧光示波器则可以处理  $50 - 100 V$ 。

此外，保护二极管不能放在采样桥接器的前面，因为这会限制带宽。这把采样示波器的安全输入电压限定在大约  $3V$ ，相比之下，其它示波器上的安全输入电压为  $500 V$ 。

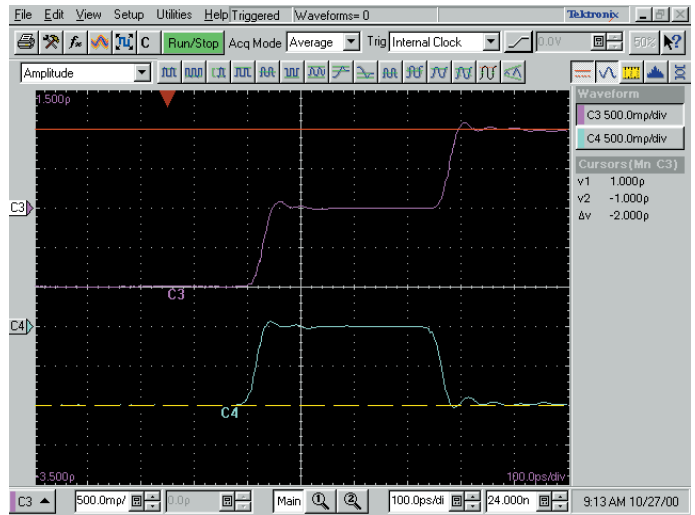


图19. 数字采样示波器的时域反射计(TDR)显示。

在测量高频信号时，DSO或DPO可能不能在一次扫描中采集足够的样点。在准确地捕获频率成分远远高于示波器采样率的信号时，数字采样示波器提供了理想的工具，如图19所示。这种示波器测量信号的速度要比任何其它示波器快一个量级。对重复信号，它实现的带宽和高速定时要比其它示波器高10倍。市场上提供了带宽高达  $80GHz$  的顺序等效时间采样示波器。

## 示波器的系统和控制功能

本节简要介绍模拟示波器和数字示波器上的基本系统和控制功能。某些控制功能在模拟示波器和数字示波器之间是不同的，您的示波器可能拥有本文没有提到的其它控制功能。

基本示波器由四种不同的系统组成：垂直系统、水平系统、触发系统和显示系统。通过了解每个系统，您可以有效运用示波器，处理特定的测量挑战。回忆一下，每个系统都会影响示波器准确重建信号的能力。

示波器的前面板分成三个主要区域，分别标为垂直、水平和触发。您的示波器可能会有其它区域，具体视示波器型号和类型而定。在阅读本节时，看看您能否确定图20中的这些前面板区域，在示波器上能否找到这些区域。

在使用示波器时，您需要调节三个基本设置，适应输入信号：

- 垂直：信号的衰减或放大程度。使用伏特/格控制功能，把信号幅度调节到所需的量程。
- 水平：时基。使用秒/格控制功能，设置屏幕中水平方向表示的每格时间数量。
- 触发：触发示波器。使用触发电平稳定重复的信号，或触发单个事件。



图20. 示波器的前面板控制功能区域。

常用的垂直控制功能包括：

- 端接
  - 1M $\Omega$
  - 50 $\Omega$
- 耦合
  - DC
  - AC
  - GND
- 带宽
  - 限制
  - 增强
- 位置
- 偏置
- 颠倒 - 开/关
- 标度
  - 固定步长
  - 可变

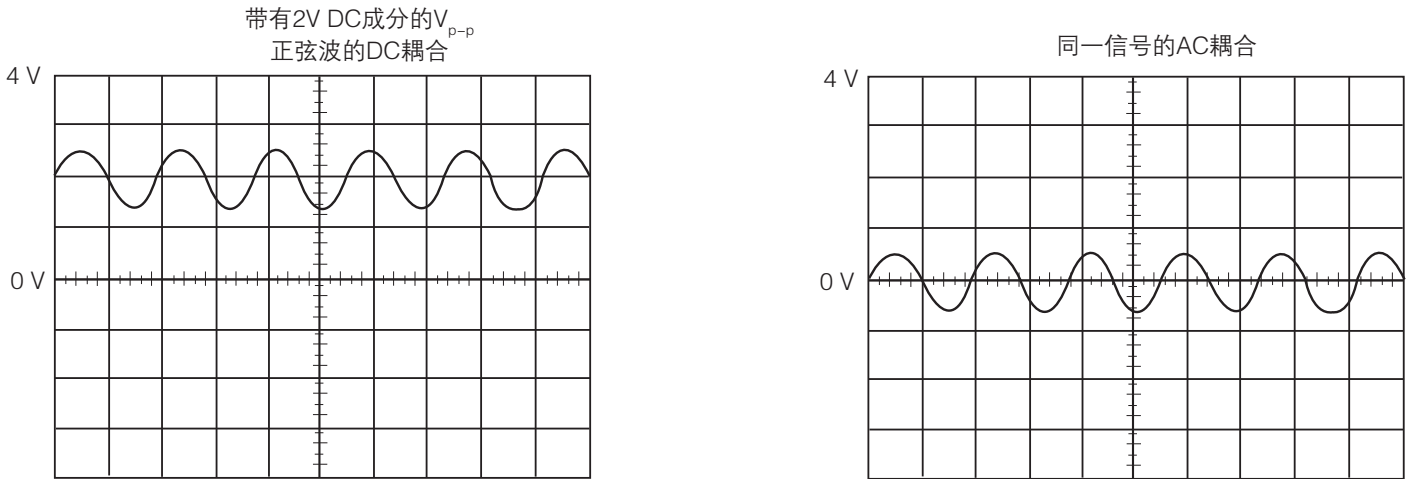


图21. AC和DC输入耦合。

### 垂直系统和控制功能

可以使用垂直控制功能，在垂直方向定位和定标波形，设置输入耦合，调节其它信号条件。

### 位置和伏特/格

垂直位置控制功能允许在屏幕上想要的的具体位置上下移动波形。

伏特/格设置(通常写作volts/div)是一个在屏幕上改变波形尺寸的标度因数。如果volts/div设置为5 V，那么每8个竖格表示5 V，整个屏幕从下到上能够显示40 V，其中假设一个格线有8个大格。如果设置是0.5 volts/div，那么屏幕从下到上能够显示4 V，依此类推。在屏幕上可以显示的最大电压是volts/div设置乘以竖格数量。注意，使用的探头(1X或10X)也会影响标度因数。如果示波器没有这种运算功能，那么必须把volts/div标度除以探头的衰减因数。

通常情况下，volts/div标度拥有可变增益或精细增益控制功能，把显示的信号定标为特定数量的格。可以使用这个控制功能，协助进行上升时间测量。

### 输入耦合

耦合指把电信号从一条电路连接到另一条电路使用的方法。在这种情况下，输入耦合是从测试电路到示波器的连接。耦合可以设置成DC、AC或接地。DC耦合显示输入信号的所有信息。AC耦合封锁信号的DC成分，因此可以看到以零伏为中心的波形。图21说明了这种差异。AC耦合设置适合用于整个信号(交流 + 直流)对volts/div设置太大的情况。

接地设置把输入信号从垂直系统断开，让您看到零伏位于屏幕上哪个地方。在接地输入耦合和自动触发模式下，您在屏幕上会看到一条横线，这条横线表示零伏。从DC切换到接地、然后再切换回去，增益可以方便地测量相对于接地的信号电压电平。

### 带宽限制

大多数示波器有一条电路，限制示波器的带宽。通过限制带宽，可以降低显示的波形上有时出现的噪声，得到更干净的信号画面。注意，在消除噪声的同时，带宽限制还会降低或消除高频信号成分。

## 带宽增强

某些示波器可能会提供DSP任意平衡滤波器，可以用来改善示波器通道响应。这个滤波器扩展了带宽，使示波器通道频响平坦化，改善相位线性度，在通道之间提供更好的匹配度。它还会降低上升时间，改善时域阶跃响应。

## 水平系统和控制功能

示波器的水平系统与输入信号采集关系最为密切，这里要考虑的因素包括采样率和记录长度。水平控制功能用来在水平方向定位和定标波形。

## 采集控制功能

数字示波器拥有设置功能，允许控制采集系统怎样处理信号。在阅读本说明时，看一下数字示波器上的采集选项。图22显示了采集菜单实例。

## 采集模式

采集模式控制着怎样从样点中生成波形点。样点是直接从模数转换器(ADC)中导出的数字值。采样间隔指这些样点之间的时间。波形点是存储器中存储的、显示构建波形的数字值。波形点之间的时间值差称为波形间隔。

常用的水平控制功能包括：

- 时基
- XY
- 标度
- 轨迹分隔
- 记录长度
- 分辨率
- 采样率
- 触发位置
- 缩放/卷动
- 搜索

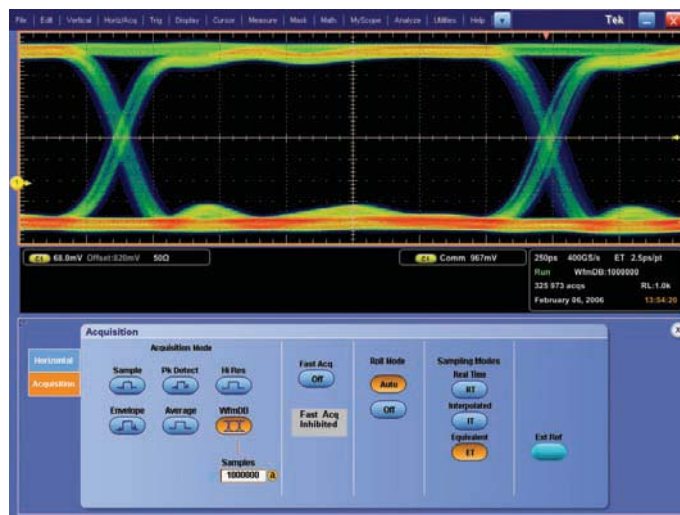


图22. 采集菜单实例。

采样间隔和波形间隔可以相同，也可以不同。因此存在着多种不同的采集模式，其中一个波形点由多个顺序采集的样点组成。

此外，可以从多次采集获得的复合样点中创建波形点，这提供了另一套采集模式。下面介绍了最常用的采集模式。

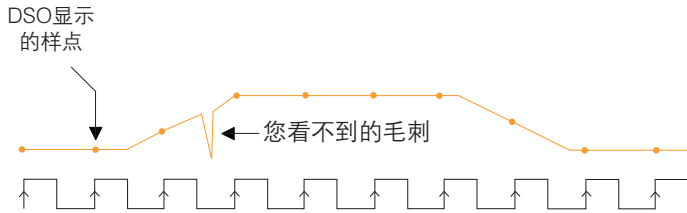


图23. 采样率随时基变化；时基设置越慢，采样率越慢。某些数字示波器提供峰值检测模式，以较低的扫描速度捕获快速瞬态信号。

### 采集模式的类型

- 采样模式：这是最简单的采集模式。通过在每个波形间隔期间保存一个样点，示波器生成一个波形点。
- 峰值检测模式：示波器保存两个波形间隔期间获得的最小值样点和最大值样点，使用这些样点作为两个对应的波形点。即使在时基设置非常低(低速时基设置意味着长波形间隔)时，峰值检测模式的数字示波器仍很快的采样率运行ADC，能够捕获采样模式下波形点之间发生的快速信号变化，如图23所示。峰值检测模式特别适合观察时间上相距很远的窄脉冲，如图24所示。
- Hi-Res模式：与峰值检测一样，在ADC的采样率超过时基设置要求时，Hi-Res模式可以获得更多的信息。在这种情况下，在一个波形间隔内部获得的多个样点被平均，生成一个波形点。其结果，可以降低噪声，改善低速信号的分辨率。Hi-Res模式较平均模式的优势在于，即使在单次事件上，仍可以使用Hi-Res模式。
- 包络模式：包络模式与峰值检测模式类似。但是，在包络模式下，来自多个采集的最小波形点和最大波形点结合在一起，构成一个波形，显示min/max随时间累积情况。峰值检测模式通常用来采集组合构成包络波形的记录。



图24. 峰值检测模式使得示波器能够捕获非常短的瞬态异常信号。

- 平均模式：在平均模式下，示波器像采样模式一样，在每个波形间隔期间保存一个样点。但是，它平均来自多个连续采集的波形点，生成最后显示的波形。平均模式可以降低噪声，而又不会损失带宽，但要求重复的信号。
- 波形数据库模式：在波形数据库模式下，示波器累积一个波形数据库，波形数据库提供由幅度、时间和数量组成的三维阵列。

### 启动和停止采集系统

数字示波器最大的优势之一是能够存储波形，以后再查看波形。为此，前面板上通常有一个或多个按钮，可以启动和停止采集系统，从而可以在方便时分析波形。此外，您可能希望示波器在一个采集完成后或在一个记录集合已经转换成包络或平均波形后自动停止采集。这一功能通常称为单一扫描或单一序列，其控制功能通常会和其它采集控制功能或触发控制功能一起提供。

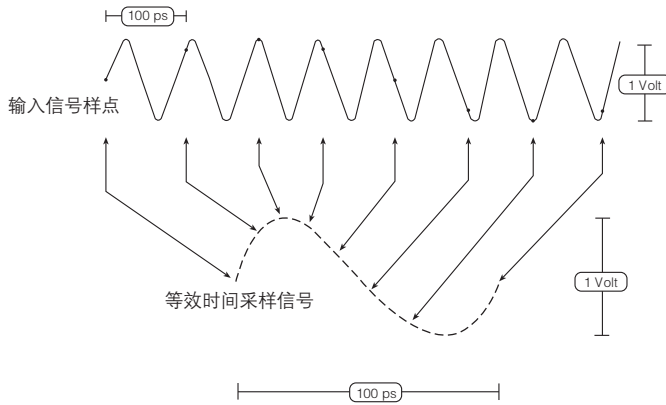


图25. 基本采样，显示了插补把样点连接起来，生成一个连续的波形。

### 采样

采样是把输入的一个部分转换成许多离散的电气值，以进行存储、处理和/或显示的过程。每个样点的幅度等于信号采样时点上输入信号的幅度。

采样类似于拍照。每个快照都对应波形上的某个时点。然后，可以按相应的顺序排列这些快照，以重建输入信号。

在数字示波器中，在显示画面上重建由样点组成的阵列，其中竖轴是实测幅度，横轴是时间，如图25所示。

图25中的输入波形在屏幕上表现为一串点。如果这些点相距很大，很难理解为一个波形，可以使用称为内插的过程把这些点连接起来。内插使用直线或矢量把点连接起来。有大量的内插方法，可以用来准确地表示连续的输入信号。

### 采样控制功能

某些数字示波器可以选择采样方法：实时采样或等效时间采样。这些示波器提供的采集控制功能可以选择采集信号使用的采样方法。注意，这一选择与低速时基设置没有关系，只在ADC不能以足够快的速度采样，用一遍中的波形点填充记录时，才会有影响。视进行的测量类型，每种采样方法不同的优势。

现代示波器一般提供控制功能，用户可以选择三种水平时基工作模式。如果您只是探测信号，想与实时信号交互，您可以使用自动或交互默认模式，这种模式提供了实时程度最高的显示更新速率。如果您想实现精确测量和最高的实时采样率，为您提供最高的测量精度，那么您可以使用恒定采样率模式。这种模式将保持最高采样率，提供好的实时分辨率。最后一种模式称为手动模式，因为它保证直接独立控制采样率和记录长度。

### 实时采样方法

实时采样特别适合频率范围不到示波器最大采样率一半的信号。这里，示波器可以在波形一次“扫描”中采集超过足够量的点，构建准确的画面，如图26所示。实时采样是使用示波器捕获快速、单次、瞬态信号的唯一方式。

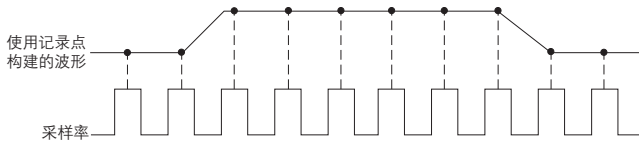


图26. 实时采样方法。

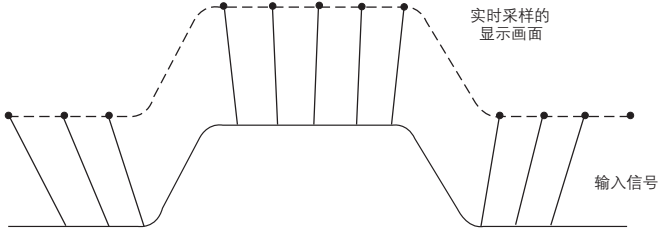


图27. 为实时捕获这个10 ns脉冲，采样率必须足够高，以准确地定义边沿。

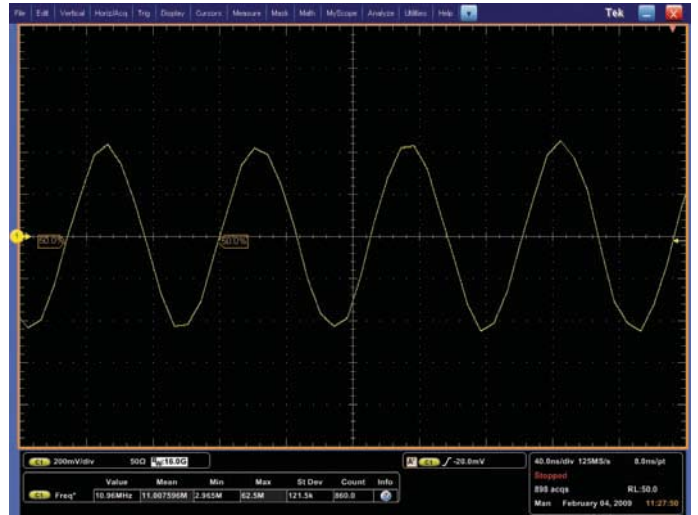


图28. 100 MHz正弦波采样不足引发假信号效应。

实时采样给数字示波器带来了最大的挑战，因为需要采样率，准确地数字化高频瞬态事件，如图27所示。这些事件只发生一次，必须在发生的同一时段采样。

如果采样率没有足够快，高频成分会“向下折叠到”较低频率中，在显示画面中引起假信号，如图28所示。此外，在数字化后，存储波形要求的高速存储器进一步提高了实时采样的复杂程度。如需与准确检定高频成分所需采样率和记录长度有关的进一步细节，请参阅“性能术语和考虑因素”中的“采样率和记录长度”部分。

支持实时采样和内插技术的数字示波器获得可以显示的离散的信号样点。但是，很难观察用点表示的信号，特别是可能只有几个点表示信号的高频部分。为协助观察信号，数字示波器一般提供内插显示模式。

简而言之，内插“把多个点连接起来”，因此能够准确显示每个周期只采样几次的信号。通过使用实时采样及内插技术，示波器在实时模式下把一遍中信号的多个样点连接起来，使用内插填充空白。内插是基于少量点估计波形形状的一种处理技



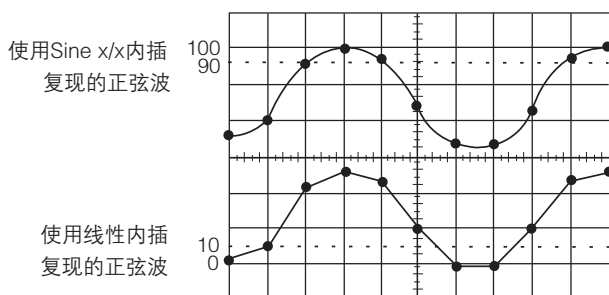


图29. 线性内插和sin x/x内插。

线性内插使用直线连接样点。这种方法限于重建直边信号，如图29所示，其更适宜于方波。

sin x/x内插用途更加广泛，用曲线连接样点，如图29所示。Sin x/x内插是一种数学运算过程，在这个过程中，其计算样点，填充实际样点之间的时间。这种内插形式更适宜于曲线的、不规则的信号形状，这些信号形状在实际世界中要远比纯粹的方波和脉冲常见得多。因此，在采样率是系统带宽3-5倍的应用中，首选方法是sin x/x内插。

#### 等效时间采样方法

在测量高频信号时，示波器可能会在一次扫描中收集足够的样点。可以使用等效时间采样，准确地采集频率超过示波器频率一半的信号，如图30所示。

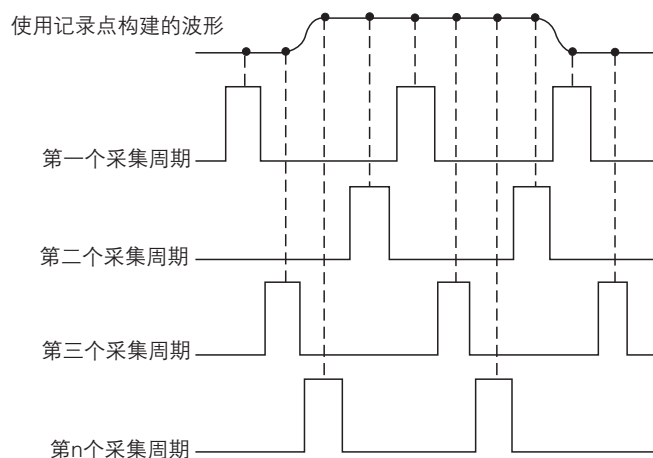


图30. 某些示波器使用等效时间采样技术，捕获和显示非常快的重复信号。

等效时间数字化器(采样器)基于这样的事实，大多数自然发生的事件和人为事件都是重复的。等效时间采样从每次重复中捕获少量信息，构建重复的信号画面。波形像一串灯一直慢慢汇聚，一个接一个地亮起。这允许示波器准确地捕获其频率成分远远高于示波器采样率的信号。

等效时间采样方法有两种：随机方法和顺序方法。每种方法都有自己的优点。随机等效时间采样允许显示触发点前面的输入信号，而不用使用延迟线路。顺序等效时间采样提供的时间分辨率和精度则要高得多。这两种方法都要求输入信号是重复的。

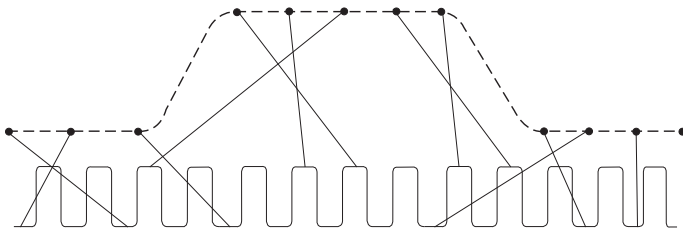


图31. 在随机等效时间采样中，采样时钟与输入信号和触发异步运行。

### 随机等效时间采样

随机等效时间数字化器(采样器)采用内部时钟，内部时钟相对于输入信号和信号触发异步运行，如图31所示。它连续采集样点，与触发位置无关，并基于采样和触发之间的时间差显示样点。尽管样点在时间上是顺序采集的，但它们相对于触发是随机的，因此称为“随机”等效时间采样。在示波器屏幕上显示时，样点沿着波形随机出现。

能够采集和显示触发点前面的样点是这种采样技术的主要优势，而不需要外部预触发信号或延迟线。视采样率和显示的时间窗口，随机采样可能还能够在每个触发的事件中采集一个以上的样点。但是，在更快的扫描速度下，采集窗口会变窄，直到数字化器不能在每次触发时采样。正是在这些更快的扫描速度上，通常可以进行非常精确的定时测量，也正是在这里，顺序等效时间采样器杰出的时间分辨率也最能奏效。随机等效时间采样的带宽限制对顺序时间采样较小。

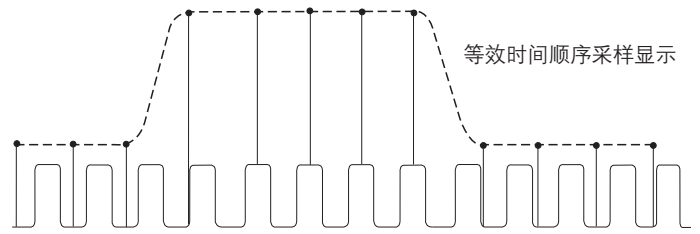


图32. 在顺序等效时间采样中，在一定的延迟后，会为每个识别的触发采集一个样点，这个时间延迟在每个周期后递增。

### 顺序等效时间采样

顺序等效时间采样器每次触发采集一个样点，独立于时间/格设置或扫描速度，如图32所示。在检测到触发时，将在非常短、但精心定义的延迟后采集样点。在下次触发发生时，会在这个延迟中增加一个小的时间增量( $\Delta t$ )，数字化器采集另一个样点。这个过程重复多次，在每个前一采集中增加“ $\Delta t$ ”，直到时间窗口被填满。在示波器屏幕上显示时，样点沿着波形从左到右顺序出现。

从技术上讲，生成非常短、非常精确的“ $\Delta t$ ”要比随机采样器要求的准确地测量样点相对于触发点的垂直位置和水平位置更容易。这种精确测量的延迟为顺序采样器提供了无可比拟的时间分辨率。在顺序采样中，样点是检测到触发电平后获得的，因此如果没有模拟延迟线，将不能显示触发点，这进而可能会降低仪器的带宽。如果能提供外部预触发，那么带宽将不受影响。

## 位置和秒/格

水平位置控制功能左右移动波形，把波形移动到屏幕上想要的位置。

秒/格设置(通常写作sec/div)允许选择在屏幕上绘制波形的速率(也称为时基设置或扫描速度)。这个设置是标度因数。如果设置是1 ms，那么每个横格代表1 ms，屏幕总宽度代表10 ms或10格。改变sec/div设置可以观察输入信号更长及更短的时间间隔。

与垂直volts/div标度一样，水平sec/div标度可以有可变动时，允许在离散的设置之间设置水平时间标度。

## 时基选择

示波器有一个时基，通常称为主时基。许多示波器还有称为延迟时基的时基，这个时基带有扫描，可以相对于主时基扫描预先确定的时间启动(或触发启动)扫描。使用延迟的时基扫描可以更清楚地观察事件，看到仅使用主时基扫描看不到事件。

延迟时基要求设置时间延迟，可能要使用延迟触发模式和本入门手册中没有介绍的其它设置。如需了解怎样使用这些功能，请参阅示波器随附手册。

## 缩放/卷动

示波器可能有专用水平放大设置，允许在屏幕上显示放大后的波形区域。某些示波器在缩放功能基础上增加了卷动功能。这种功能使用旋钮，调节缩放因数或标度，在波形

## 搜索

某些示波器提供搜索和标记功能，可以在长采集数据中迅速移动，查找用户自定义事件。

## XY模式

大多数示波器有XY模式，可以在横轴上显示输入信号，而不是时基。这种操作模式开启了全新的相移测量技术领域，详细信息请参阅本入门手册“测量技术”一节。

## Z轴

数字荧光示波器(DPO)拥有高显示采样密度，天生就能捕获辉度信息。通过辉度轴(Z轴)，DPO能够提供类似于模拟示波器的三维实时画面。在DPO上观察波形曲线时，您会看到加亮的区域，这是信号发生频次最多的区域。这个画面可以简便地把基本信号形状与一段时间只发生一次的瞬态信号分开，基本信号的亮度会更高。Z轴的应用之一是把专用定时信号输入到单独的Z输入中，在波形中以已知间隔生成高亮度显示的“标记”点。

## XYZ模式及DPO和XYZ记录显示

某些DPO可以使用Z输入，生成带有辉度等级的XY画面。在这种情况下，DPO在Z输入上采样瞬时数据值，使用该值判定特定的波形部分。一旦拥有限定的样点，这些样点可以累积，得到辉度等级XYZ画面。XYZ模式特别适合显示无线通信设备测试中常用的极坐标码型，如星座图。显示XYZ数据的另一种方法是XYZ记录显示。这种模式使用的数据来自采集存储器，而不是DPO数据库。

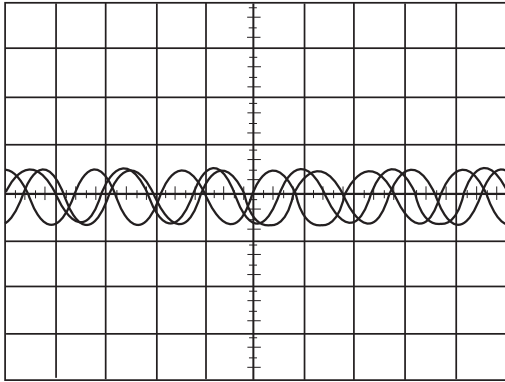


图33. 没有触发的显示画面。

### 触发系统和控制功能

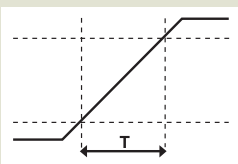
示波器的触发功能在正确的信号点同步水平扫描，这对清楚地检定信号至关重要。触发控制功能可以稳定重复的波形，捕获单次波形。通过重复显示输入信号的同一部分，触发使重复的波形能够稳定地显示在示波器显示屏上。如果每次扫描都从信号上不同位置开始，那么可以想象屏幕上有多乱，如图33所示。

模拟示波器和数字示波器提供的边沿触发是基本的、也是最常用的触发类型。除模拟示波器和数字示波器提供的门限触发外，许多数字示波器提供了模拟仪器没有提供的多种专用触发设置。这些触发对进入信号的特定条件作出响应，可以简便地检测比本应宽度窄的脉冲。单纯使用电压门限触发，是不可能检测到这种情况的。

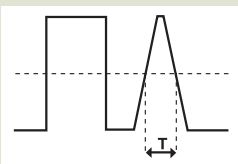
高级触发控制功能可以隔离关心的特定事件，优化示波器的采样率和记录长度。某些示波器中的高级触发功能提供了选择度非常高的控制能力。您可以触发幅度定义的脉冲(如欠幅脉冲)、时间限定脉冲(脉宽、毛刺、转换速率、建立时间和保持时间、超时)以及逻辑状态或码型描绘的脉冲(逻辑触发)。

其它高级触发功能包括：

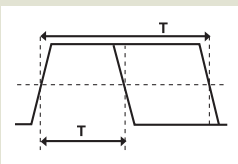
- **码型锁定触发：**码型锁定触发在NRZ串行码型触发中增加了一个新的维度，使示波器能够以杰出的时基精度同步采集长串行测试码型。码型锁定触发可以用来从长串行数据码型中消除随机抖动。可以考察特定位跳变的影响，可以在模板测试中使用平均功能。
- **串行码型触发：**串行码型触发可以用来调试串行结构。它触发NRZ串行数据流的串行码型，内置时钟恢复，把物理层和链路层的事件关联起来。仪器可以恢复时钟信号，识别跳变，允许为串行码型触发设置所需编码字，捕获数据。
- **A触发和B触发：**某些触发系统只在一个事件(A事件)上提供多种触发类型，延迟触发(B事件)选择限于边沿类型触发，在B事件没有发生时，通常没有复位触发顺序的途径。现代示波器可以在A触发和B触发上提供完整的一套高级触发类型，支持逻辑限定，控制什么时候查找这些事件，复位触发，在指定时间、状态或跳变之后再次开始触发顺序，从而可以捕获最复杂的信号中的事件。
- **搜索和标记触发：**硬件触发一次监视一种事件类型，但搜索可以同时扫描多个事件类型。例如，可以扫描多条通道上的建立时间或保持时间违规。搜索可以放置单独的标记，表明满足搜索标准的事件。
- **触发校正：**由于触发系统和数据采集系统分享不同的路径，因此触发位置和采集的数据之间本身有一定的时间延迟，进而导致偏移和触发动抖。通过触发校正系统，仪器会调节触发位置，补偿触发路径与数据采集路径之间存在的延迟差。这几乎可以消除触发点上的任何触发动抖。在这种模式下，触发点可以作为测量参考点使用。



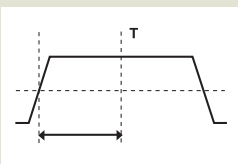
**转换速率触发。**转换速率比预计速度或所需速度快的高频信号可能会发出令人讨厌的能量。转换速率触发超越了传统的边沿触发，增加了时间元素，可以选择性地触发快速边沿或低速边沿。



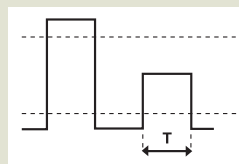
**毛刺触发。**毛刺触发允许在其短于或长于用户自定义的时间门限时触发数字脉冲。这种触发控制功能可以考察偶发毛刺的原因及其对其它信号的影响。



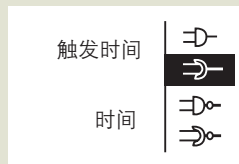
**脉宽触发。**通过使用脉宽，可以无限期地监测信号，在时长(脉宽)超出允许极限的脉冲第一次发生时触发采集。



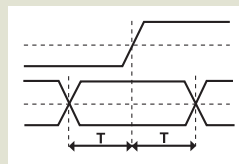
**超时触发。**通过基于指定的经过时间触发采集，超时触发可以触发事件，而不用等待触发脉冲结束。



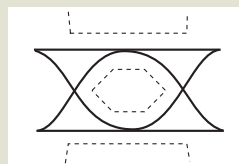
**欠幅脉冲触发。**欠幅脉冲触发允许捕获和考察越过一个逻辑门限、但没有同时越过两个逻辑门限的脉冲。



**逻辑触发。**逻辑触发可以触发可用的输入通道的任意逻辑组合，特别适合检验数字逻辑操作。



**建立时间和保持时间触发。**只有建立时间和保持时间触发可以确定性地捕捉其它触发模式几乎必然漏掉的单次建立时间和保持时间违规。在同步数据信号未能满足建立时间和保持时间指标时，这种触发模式可以简便地捕获特定信号质量和定时细节。



**通信触发。**这些触发模式在某些示波器型号选配，满足了采集各种信号交替反转码(AMI)、传号反转码(CMI)和非归零(NRZ)通信信号的需求。

- **特定标准信号串行触发(I<sup>2</sup>C、CAN、LIN、等等)** - 某些示波器能够触发标准串行数据信号中的特定信号类型，如CAN、LIN、I<sup>2</sup>C、SPI、等等。当前许多示波器还提供了这些信号类型的解码功能。
- **并行总线触发：**一次可以定义和显示多条并行总线，简便地观察解码后的并行总线数据随时间变化。通过指定哪些通道是时钟、哪些通道是数据线，您可以在某些示波器上生成并行总线显示画面，自动解码总线内容。通过使用并行总线触发，可以简化捕获和分析，节约大量的时间。

某些示波器选配的触发控制功能也是为考察通信信号专门设计的。图34更详细地介绍了部分常用触发类型。某些示波器提供的直观的用户界面可以迅速设置触发参数，同时可以灵活地进行测试设置，最大限度地提高您的工作效率。

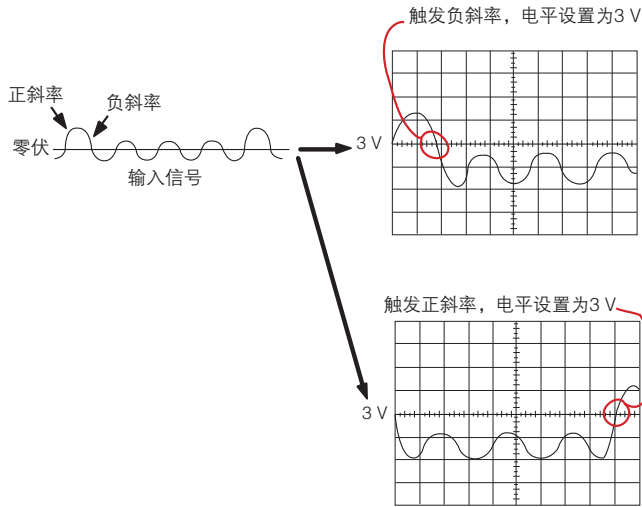


图35. 正斜率触发和负斜率触发。

### 触发位置

水平触发位置控制功能只在数字示波器上提供。触发位置控制功能可能位于示波器水平控制区域。它实际上表示的是触发在波形记录中的位置。

通过改变水平触发位置，可以捕获触发事件前的信号操作，这称为预触发观察功能。因此，它决定着触发点前面和后面可以观察的信号的长度。

数字示波器可以提供预触发观察功能，因为它们一直处理输入信号，而不管是否收到触发。稳定的数据流流经示波器；触发只是告诉示波器在存储器中保存当前数据。

相比之下，模拟示波器只在收到触发后才显示信号，也就是在CRT上写入数据。因此，模拟示波器没有提供预触发观察功能，垂直系统中的延迟线提供少量预触发的除外。

预触发观察功能提供了重要的调试辅助工具。如果问题间歇发生，您可以触发问题，记录导致问题的事件，可能会找到问题的原因。

### 触发电平和斜率

触发电平和斜率控制功能提供了基本触发点定义，确定怎样显示波形，如图35所示。

触发电路作为比较器操作。您可以在比较器的一个输入上选择斜率和电压电平。在另一个比较器输入上的触发信号与设置匹配时，示波器会生成触发。

斜率控制功能确定触发点是在信号的上升沿上，还是在信号的下降沿上。上升沿是正斜率，下降沿是负斜率。电平控制功能确定触发点发生在边沿上哪个位置。

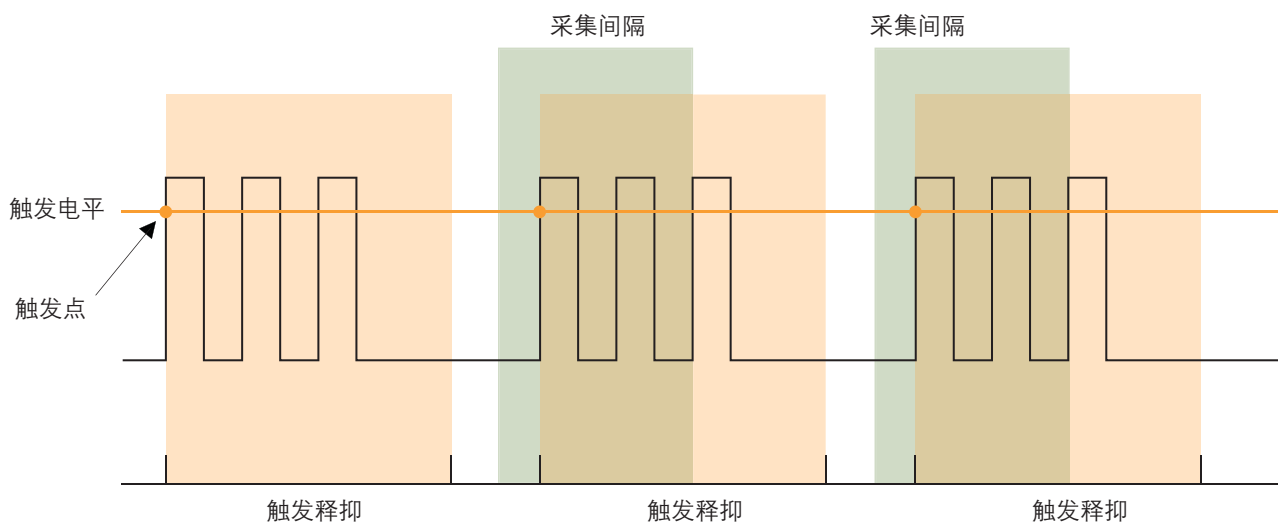
### 触发源

示波器不一定要触发显示的信号。多个触发源可以触发扫描：

- 任意输入通道
- 应用到输入通道中的信号之外的外部来源
- 电源信号
- 示波器从一条或多条输入通道内部定义的信号

在大多数时间内，您可以把示波器设置成触发显示的通道。某些示波器提供了一个触发输出，为另一台仪器提供触发信号。

示波器可以使用交替触发源，不管其是否显示，因此应注意不要在显示通道2时无意触发通道1。



New triggers are not recognized during the holdoff time.

图36. 触发释抑。

### 触发模式

触发模式决定着示波器是否根据信号条件绘制波形。常用的触发模式包括正常触发模式和自动触发模式。

在正常模式下，只有在输入到达设置的触发点时，示波器才会扫描；否则(在模拟示波器上)，屏幕是空白的，或(在数字示波器上)冻结在最后采集的波形上。正常模式可能会迷失方向，因为如果电平控制功能调节不当，您起初可能看不到信号。

即使在没有触发时，自动模式仍会导致示波器扫描信号。如果不存在信号，示波器里的定时器会触发扫描。这保证在信号没有导致触发时显示画面不会消失。

在实践中，您可能要同时使用这两种模式：正常模式，因为它可以只观察关心的信号，即使触发发生速率较慢；自动模式，因为它要求的调节较少。

许多示波器还包括单一扫描专用模式、视频信号触发或自动设置触发电平功能。

### 触发耦合

正如可以为垂直系统选择AC耦合或DC耦合一样，您可以为触发信号选择耦合类型。

除AC和DC耦合外，示波器可能还有高频抑制、低频抑制及噪声抑制触发耦合功能。这些专用设置适合从触发信号中消除噪声，防止假触发。

### 触发释抑

使示波器触发信号的正确部分有时要求大量的技巧。许多示波器拥有专用功能，可以更轻松地完成这一任务。

触发释抑是有效触发后可以调节的一段时间周期，在此期间，示波器不能触发。这种功能适用于触发复杂的波形形状，以便示波器只触发合格的触发点。图36显示了怎样使用触发释抑帮助创建实用的显示画面。

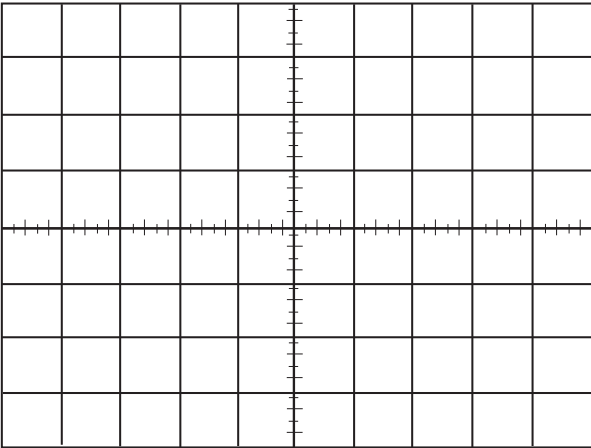


图37. 示波器格线。

### 显示系统和控制功能

示波器的前面板包括显示屏、旋钮、按钮、开关和指示灯，用来控制信号采集和显示。如本节前面所述，前面板控制功能通常分成垂直区域、水平区域和触发区域。前面板还包括输入连接器。

看一下示波器显示画面。注意屏幕上的格线标记，这些标记生成格线。每条竖线和横线构成一个大格。格线通常采用8 x 10格或10 x 10格的布局模式。示波器控制功能上的标签(如volts/div和sec/div)一直指大格。中心水平格线和垂直格线上的对号(如图37所示)称为小格。许多示波器在屏幕上显示每个竖格表示多少伏特，每个横格表示多少秒。

### 其它示波器控制功能

#### 数学运算和测量运算

示波器可能还有运算功能，允许把几个波形加在一起，创建新的波形画面。模拟示波器把信号组合在一起，数字示波器则以数学方式生成新的波形。另一种数学运算是几个波形相减。在模拟示波器中，在一个信号上使用倒置函数，然后使用加法运算，可以进行减法运算。数字示波器一般提供减法运算。图38说明了把两个不同信号组合在一起产生的第三个波形。

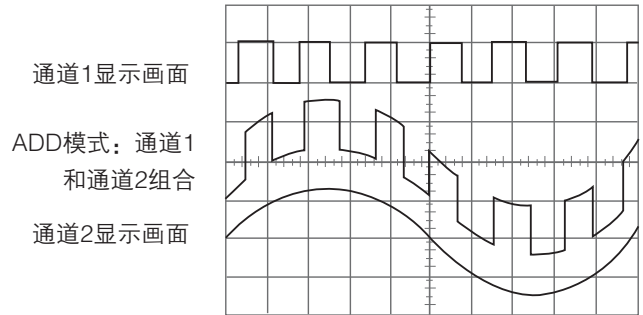


图38. 增加通道。

数字示波器利用内部处理器的处理能力，提供了许多高级数学运算功能：乘法、除法、积分、快速傅立叶变换、等等。这种高级信号处理功能还可以执行其它功能，如插入滤波器模块，其可以用来在被测器件上反嵌夹具的特点，或实现拥有所需频响的滤波器模块，如低通滤波器。处理模块非常灵活，并不是专用的，但其可以作为任意滤波器操作，如用来模拟预加重/去加重方式。

### 数字定时和状态采集

混合信号示波器提供的数字通道实现了与逻辑分析仪类似的采集功能。主要的数字采集技术有两种。第一种技术是定时采集，MSO以MSO采样率确定的、间隔均匀的时间对数字信号采样。在每个样点上，MSO存储信号的逻辑状态，生成信号的定时图。第二种数字采集技术是状态采集。状态采集规定了数字信号逻辑状态有效稳定的特定时间。这在同步时钟输入数字电路中很常见。时钟信号规定了信号状态有效的的时间。例如，对上升沿时钟输入的D-Flip-Flop，输入信号稳定时间在时钟上升沿周围。对上升沿时钟输入的D-Flip-Flop，输出信号稳定时间在时钟下降沿周围。由于同步电路的时钟周期可能并不是固定的，因此状态采集之间的时间可能并像定时采集中那样均匀。



混合信号示波器的数字通道采集信号的方式与逻辑分析仪在定时采集模式下采集信号的方式类似。然后，MSO把定时采集数据解码成时钟输入总线画面，以及与逻辑分析仪状态采集画面类似的事件表，在调试过程中为您提供重要的信息。

上面我们介绍了入门人员需要了解的基本示波器控制功能。示波器对各种功能可能还有其它控制功能，其中可能包括：

- 自动参数测量
- 测量光标
- 用于数学运算或数据输入的小键盘
- 打印功能
- 把示波器连接到计算机上或直接连接到互联网上的接口

您可以查看为您提供的其它选项，阅读示波器手册，进一步了解其它控制功能。

## 完整的测量系统

### 探头

即使是最先进的仪器，其精度也取决于输入仪器的数据。探头功能与示波器相结合，作为测量系统的一部分操作。精密测量始于探头尖端。与示波器和被测器件(DUT)紧密配合的探头不仅可以把信号干净地带入示波器，还可以放大和保持信号，实现最高的信号完整性和测量精度。

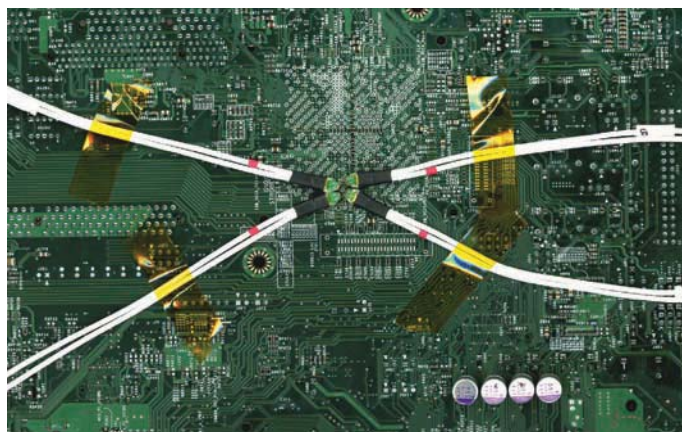


图39. 密集的器件和系统要求小型探头。

为保证准确地重建信号，在选择与示波器配套使用的探头时，应尽量选择超过信号带宽五倍的探头。

探头实际上变成了电路的一部分，引入了电阻、电容和电感负荷，不可避免地会改变测量。为实现最准确的结果，我们的目标是选择负荷最低的探头。探头与示波器的理想组合，将使这种负荷降到最低，使您能够利用示波器的所有处理能力、特性和功能。

在连接中要考虑的另一个因素是探头的外形。小型探头可以更简便地接入当前密集封装的电路，如图39所示。

下面简要介绍了探头类型。如需进一步了解整体测量系统的基本组成部分，请参阅《泰克探头基础知识》入门手册。



图40. 带附件的典型无源探头。

### 无源探头

为测量典型信号和电压电平，无源探头以经济的价格提供了杰出的易用性和多种测量功能。无源电压探头与电流探头配套使用，为测量电源提供了理想的解决方案。

大多数无源探头拥有某种衰减因数，如10X、100X、等等。按照惯例，衰减因数(如10X衰减器探头的衰减因数)在因数后面有一个X。相比之下，放大因数(如X10)则在前面有一个X。

与1X探头相比，10X (读作“10倍”)衰减器探头降低了电路负荷，是一种完美的通用无源探头。信号源频率越高，阻抗越高，电路负荷影响越大，因此在选择探头前，一定要分析这些信号/探头负荷交互。10X衰减器探头改善了测量精度，同时也把示波器输入上的信号幅度降低了10倍。

由于它衰减信号，因此10X衰减器探头很难观察小于10毫伏峰峰值的信号。1X探头与10X衰减器探头类似，但没有衰减电路。由于没有这条电路，被测电路会引入更多的干扰。

可以使用10X衰减器探头作为通用探头，但保留1X探头，测量低速度、低幅度信号。某些探头拥有方便的功能，探头尖端可以在1X和10X衰减之间方便地切换。如果探头有这种功能，在进行测量前要先确认使用的设置是否正确。

许多示波器可以自动检测使用的是1X探头还是10X探头，并相应地调节屏幕读数。但在某些示波器中，必须设置正在使用的探头类型，或在伏特/格控制功能中读出正确的1X或10X标记。

10X衰减器探头的工作方式是均衡探头的电气属性与示波器的电气属性。在使用10X衰减器探头前，必需为特定示波器调节这一均衡。这种调节称为探头补偿，本入门手册“运行示波器”一节更详细地进行了介绍。

无源探头(如图40所示)提供了完美的通用探测解决方案。但是，通常无源探头不能准确地测量拥有超快速上升时间的信号，可能会给灵敏的电路带来过高的负荷。信号时钟速率和边沿速度稳步提高，需要速度更高、负荷效应更低的探头。在测量高速信号和/或差分信号时，高速有源探头和差分探头提供了理想的解决方案。

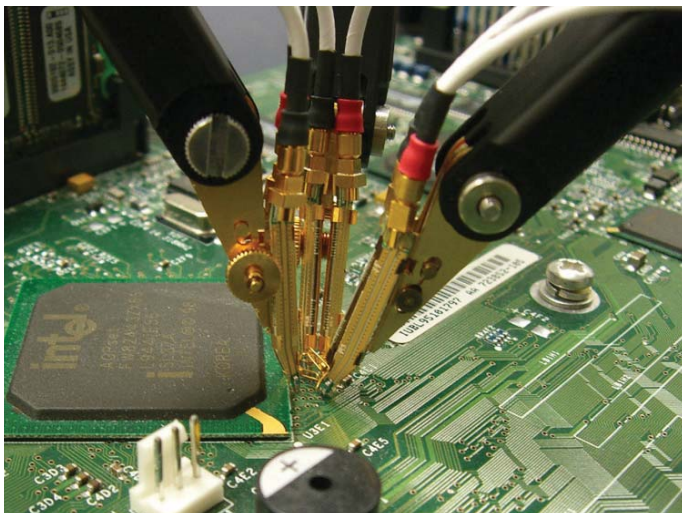


图41. 在测量当前计算机总线和数据传输线中的快速时钟和边沿时，高性能探头至关重要。

### 有源探头和差分探头

信号速度不断提高及逻辑家族电压不断降低，使得设计人员很难实现准确的测量结果。信号保真度和设备负荷是关键问题。在这么高的速度上，完整的测量解决方案包括高速、高保真探测解决方案，以与示波器的性能相匹配，如图41所示。

有源和差分探头采用专门研制的集成电路，在示波器接入和传输过程中保留信号，保证信号完整性。为测量快速上升时间的信号，高速有源探头或差分探头将提供更准确的结果，如图42所示。

较新的探头类型能够使用一个设置，获得三种测量，而不用调节探头尖端连接。这些探头可以从同一个探头设置中，进行差分测量、单端测量和共模测量。

### 逻辑探头

图43所示的逻辑探头提供了两个8通道适配夹。每条通道末端有一个探头尖端，带有嵌入式接地，简化了与被测器件的连接。每个适配夹第一条通道上的同轴电缆颜色为蓝

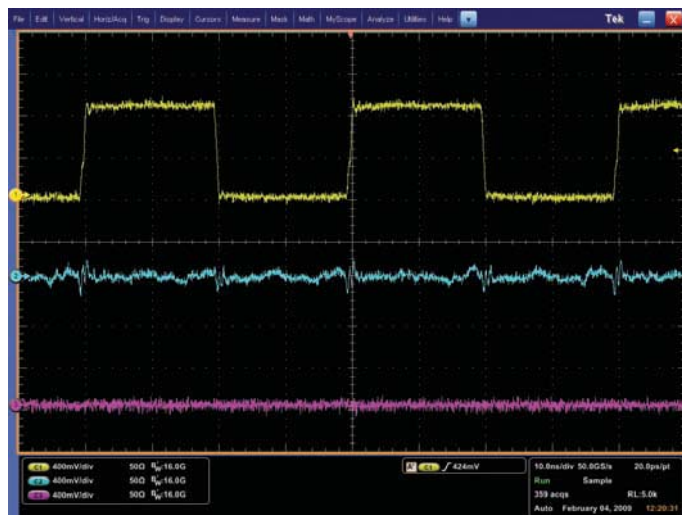


图42. 差分探头可以把当前快速低压应用中的共模噪声与关心的信号成分分开，这一点尤为重要，因为数字信号正不断下降到低于集成电路中典型噪声门限的水平。



图43. 混合信号示波器(MSO)逻辑探头简化了与器件的数字连接。

色，识别起来非常简便。常用接地采用车用连接器样式，可以简便地制作定制接地，连接到被测器件上。在连接到方形引脚时，您可以使用适配器，连接到探头头部，与探头尖端齐平延长探头接地，从而可以连接到头部。这些探头提供了杰出的电气特点及最低的电容负荷。

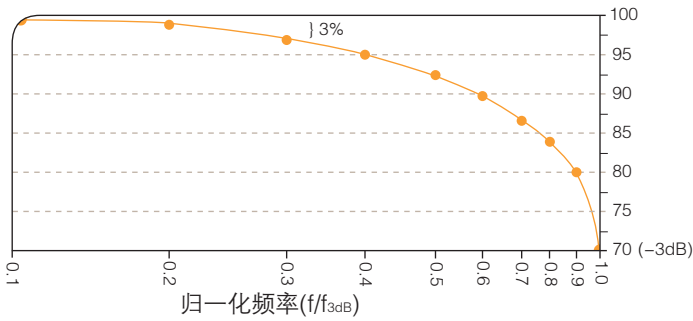


图44. 示波器带宽是正弦曲线输入信号被衰减到信号实际幅度70.7%的频率，称为-3 dB点。

### 专用探头

除上面提到的探头类型外，还有许多其它专用探头和探测系统，包括电流探头、高压探头、光学探头、等等。

### 探头附件

许多现代示波器提供了输入内置的专用自动功能及配对的探头连接器。在智能探头接口中，把探头连接到仪器上时，会把探头的衰减因数通知示波器，然后示波器会确定画面量程，从而可以在屏幕上把探头的衰减表示为读数。某些探头接口还识别探头类型，即无源探头、有源探头或电流探头。接口可以作为探头的DC电源使用。有源探头有自己的放大器和缓冲电路，要求DC电源。

另外还提供了地线和探头尖端附件，在测量高速信号时改善信号完整性。地线适配器在探头尖端与到DUT的地线连接之间提供了灵活的间距，同时从探头尖端到DUT保持非常短的地线长度。

如需进一步了解探头和探头附件，请参阅《泰克探头基础知识》入门手册。

### 性能术语和考虑因素

如前所述，示波器类似于一架摄像机，捕获我们可以观察和理解的信号图像。快门速度、光线条件、孔径和胶片的ASA等级，都会影响摄像机清楚准确地捕获图像的能力。

与示波器基本系统一样，示波器的性能考虑因素明显影响着其实现要求的信号完整性的能力。

学习新技能通常要学习新的术语表，在学习怎样使用示波器时也不例外。本节介绍了部分实用的测量和示波器性能术语。这些术语用来描述为应用选择正确的示波器至关重要的指标。了解这些术语将帮助您评估示波器，并与其它型号的示波器作出比较。

### 带宽

带宽决定着示波器测量信号的基本能力。在信号频率提高时，示波器准确显示信号的能力会下降。这个指标表明了示波器能够准确测量的频率范围。

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的频率，称为 -3 dB点，这一术语基于对数标度，如图44所示。

如果没有充足的带宽，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。如果没有充足的带宽，示波器的所有功能和浮华都没有任何意义。

为确定准确检定特定应用中信号幅度所需的示波器带宽，应采用“五倍法则”。

$$\text{示波器带宽} \geq (\text{信号的最高频率成分} \times 5)$$

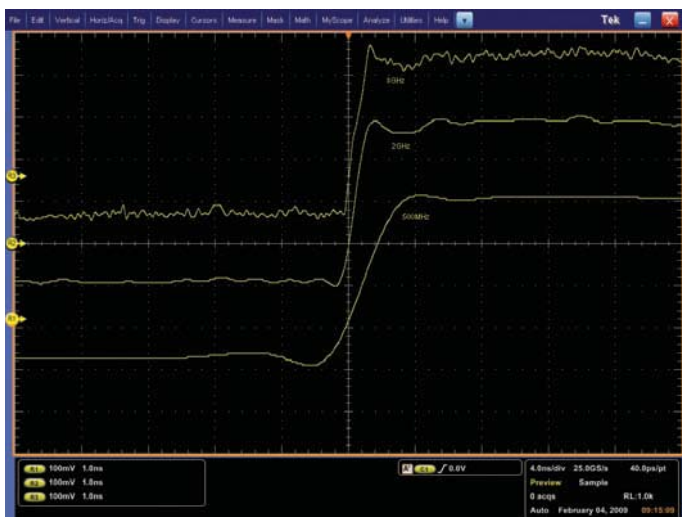


图45. 带宽越高，信号复现精度越高。如图所示，这是250 MHz、1 GHz和4 GHz三种带宽水平下捕获的信号。

使用五倍法则选择的示波器将在测量中提供小于 $\pm 2\%$ 的误差，这对当前应用一般足够了。但是，随着信号速度提高，这一经验法则可能实现不了。要记住，带宽越高，可能实现的信号复现精度就越高，如图45所示。

某些示波器通过数字信号处理，提供了一种增强带宽的方法。可以使用DSP任意均衡滤波器，改善示波器通道响应。这个滤波器扩大了带宽，使示波器通道频响平坦化，改善相位线性度，在通道之间实现更好的匹配程度。它还降低了上升时间，改善了时域阶跃响应。

### 上升时间

在数字领域中，上升时间测量至关重要。在预计测量数字信号时，如脉冲和阶跃，上升时间可能是更适合的性能考虑因素。如图46所示，示波器必须有充足的上升时间，才能准确捕获迅速跳变的细节。

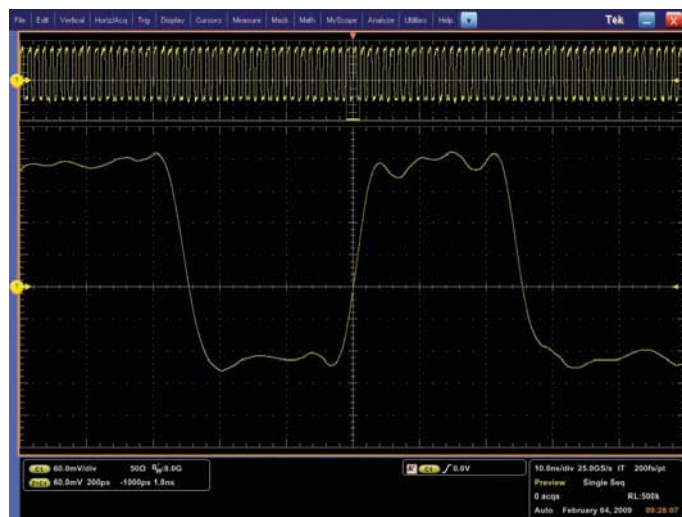


图46. 检定高速数字信号的上升时间。

上升时间描述了示波器的实用频率范围。可以使用下面的公式，计算信号类型要求的示波器上升时间：

$$\text{示波器上升时间} \leq (\text{信号最快的上升时间} \times 1/5)$$

注意，这个选择示波器上升时间的依据与带宽选择依据类似。在带宽中，由于当前信号拥有超高速率，并不能一直实现这种经验法则。注意，示波器上升时间越快，捕获快速跳变关键细节的精度越高。

在某些应用中，您可能只知道信号的上升时间。有一个常数，可以把示波器的带宽和上升时间关联起来，公式如下：

$$\text{带宽} = (K / \text{上升时间})$$

其中k是位于0.35和0.45之间的值，具体视示波器频响曲线形状和脉冲上升时间响应的形状而定。带宽 $< 1$  GHz的示波器的k值一般为0.35，带宽 $> 1$  GHz的示波器k值通常在0.40和0.45之间。

逻辑家族	典型信号上升时间	计算得出的信号带宽
TTL	2 ns	175 MHz
CMOS	1.5 ns	230 MHz
GTL	1 ns	350 MHz
LVDS	400 ps	875 MHz
ECL	100 ps	3.5 GHz
GaAs	40 ps	8.75 GHz

图47. 某些逻辑家族产生的上升时间本身要比其它逻辑家族快。

某些逻辑家族本身产生的上升时间要快于其它逻辑家族，如图47所示。

### 采样率

采样率用样点/秒(S/s)表示，指数字示波器获得信号快照或样点的频度，与摄像机的帧数类似。示波器采样速度越快(即采样率越高)，分辨率及显示的波形细节越高，丢失关键信息或事件的可能性越小，如图48所示。当需要在较长的时间周期内观察缓慢变化的信号时，最低采样率可能也非常重要。一般来说，显示的采样率会随着水平标度控制所作的变化而变化，以在显示的波形记录中保持恒定数量的波形点。

怎样计算采样率要求呢？计算方法视测量的波形类型及示波器使用的信号重建方法而有所不同。

为准确地重建信号，避免假信号，内奎斯特定理指出，信号采样速度至少是其最高频率成分的两倍。然而，这一定理假设记录长度无穷大及连续信号。由于没有一台示波器能够提供无穷大的记录长度，根据定义，毛刺也不是连续的，所以采样率仅为最高频率成分的两倍通常是不够的。

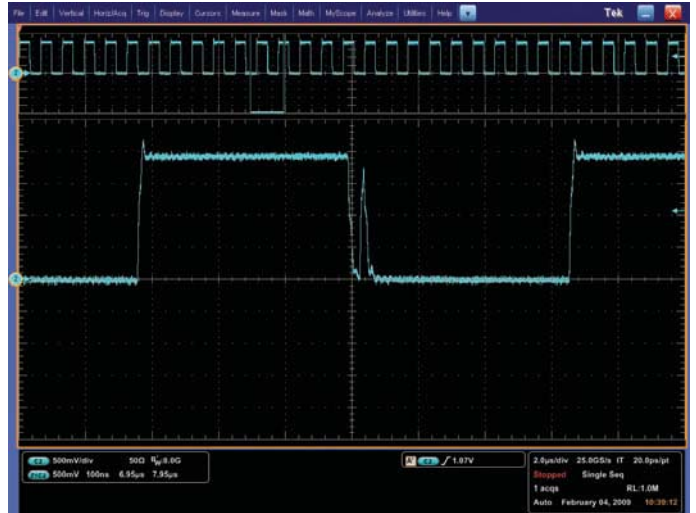


图48. 采样率越高，信号分辨率越好，保证您将看到间歇性事件。

在实践中，准确重建信号取决于采样率及填充样点间间隔使用的内插方法。某些示波器允许选择在测量正弦曲线信号时使用 $\sin(x)/x$ 内插，在测量方波、脉冲和其它信号类型时使用线性内插。

为使用 $\sin(x)/x$ 内插准确地重建信号，示波器的采样率至少应该是信号最高频率成分的2.5倍。在使用线性内插时，采样率至少应该是最高频率信号成分的10倍。

采样率在10 GS/s及带宽在3+ GHz的某些测量系统已经进行优化，可以以五倍的带宽过采样，捕获非常快速的单次事件和瞬态事件。

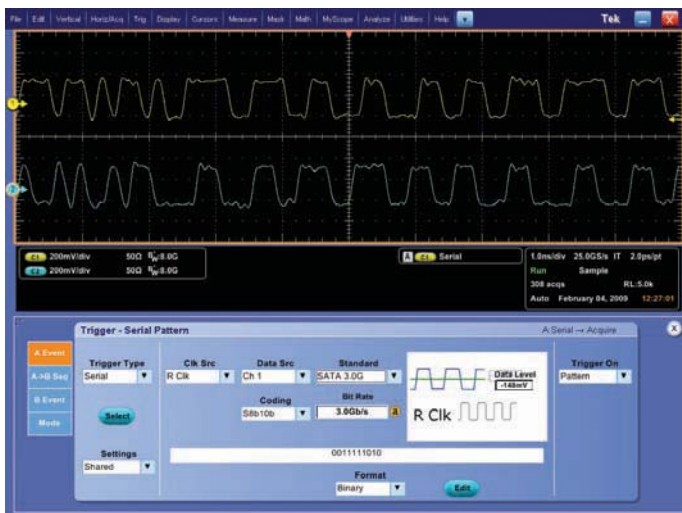


图49. DPO为不重复的高速多通道数字设计应用提供了理想的解决方案。

### 波形捕获速率

所有示波器都会眨眼睛。也就是说，它们会每秒睁开眼睛多少次，来捕获信号，其间则会闭上眼睛。这就是波形捕获速率，用波形/秒(wfms/s)表示。采样率表明了示波器在一个波形或周期内对输入信号采样的频次，波形捕获速率则是指示波器采集波形的速度有多快。

视波器类型和性能水平，波形捕获速率变化很大。波形捕获速率高的示波器可以明显更好地观察信号特点，大幅度提高示波器迅速捕获瞬态异常信号的概率，如抖动、欠幅脉冲、毛刺和跳变误差。

数字存储示波器(DSO)采用串行处理结构，捕获速率为10 – 5,000 wfms/s。某些DSO提供了专用模式，把多个捕获突发传送到长存储器中，在很长的处理死区时间后提供临时更高的波形捕获速率，但这会降低捕获偶发间歇性事件的概率。

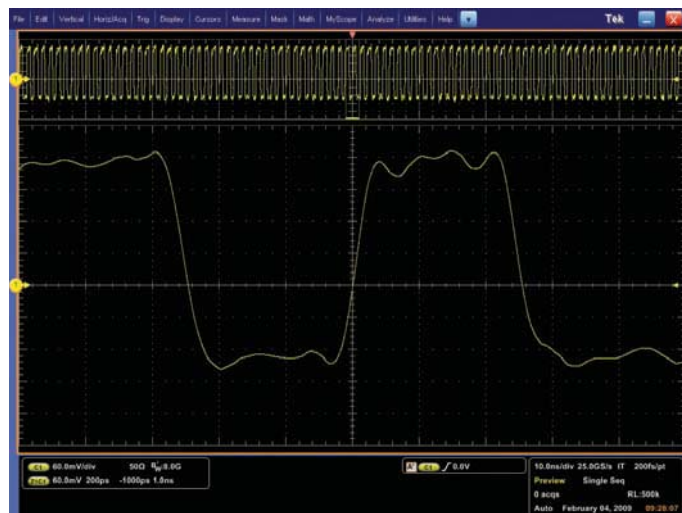


图50. DPO可以有效观察信号特点，它提供了高得多的波形捕获速率和三维显示功能，使其成为多种应用最佳的通用设计和调试工具。

大多数数字荧光示波器(DPO)采用并行处理结构，提供高得多的波形捕获速率。如图49所示，某些DPO可以在一秒钟内采集几百万个波形，明显提高捕获间歇性难检事件的概率，更迅速地看到信号中的问题。此外，DPO能够实时采集和显示信号特点的三个维度：幅度、时间及幅度在时间上的分布，可以有效地观察信号特点，如图50所示。

### 记录长度

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，因此波形时长(时间)与示波器的采样率成反比。

$$\text{时间间隔} = \text{记录长度} / \text{采样率}$$

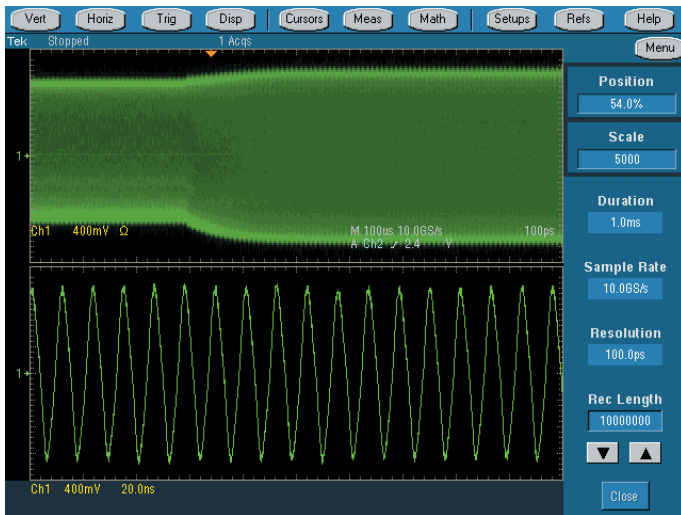


图51. 捕获这个85 MHz被调制载波的高频细节要求高分辨率采样(100 ps)。观察信号的整个调制包络要求长时间周期(1 ms)。通过使用长记录长度(10 MB)，示波器可以同时显示这两者。

现代示波器允许选择记录长度，优化应用所需的细节水平。如果您要分析异常稳定的正弦曲线信号，您可能只需要500点的记录长度，但如果要隔离复杂的数字数据流中的定时异常事件，您可能需要100万点以上的记录长度，如图51所示。

### 触发功能

示波器的触发功能在正确的信号点上同步水平扫描，这对清楚地检定信号至关重要。触发控制功能允许稳定重复的波形，捕获单次波形。

如需进一步了解触发功能，请参阅“性能术语和考虑因素”中的“触发”一节。

### 有效位

有效位是一个衡量数字示波器准确重建正弦波信号形状能力的指标。这个指标把示波器的实际误差与理论上“理想的”数字化器进行比较。由于实际误差包括噪声和失真，因此必须指定信号的频率和幅度。

## 频响

单纯的带宽并不足以保证示波器能够准确地捕获高频信号。示波器设计的目标是特定类型的频响：最大平坦包络延迟(MFED)。这种类型的频响提供了完美的脉冲保真度及最低的过冲和振铃。由于数字示波器由实际放大器、衰减器、ADC、互连和继电器组成，因此MFED响应是唯一能够实现的目标。脉冲保真度因示波器型号和制造商变化很大。

### 垂直灵敏度

垂直灵敏度表示垂直放大器可以放大弱信号的程度，通常用每格毫伏(mV)表示。通用示波器检测到的最小电压一般为屏幕上每个竖格1 mV。

### 扫描速度

扫描速度表示轨迹以多快的速度扫描通过示波器屏幕，使您能够看到精细的细节。示波器的扫描速度用每格时间(秒)表示。

### 增益精度

增益精度表示垂直系统衰减或放大信号的精度，通常用百分比误差表示。

### 水平精度(时基)

水平或时基精度表示水平系统显示信号定时的精度，通常用百分比误差表示。

### 垂直分辨率(模数转换器)

ADC及数字示波器的垂直分辨率表示其把输入电压转换成数字值的精度。垂直分辨率用位数表示。计算技术可以改善有效分辨率，hi-res采集模式是一个很好的例子。



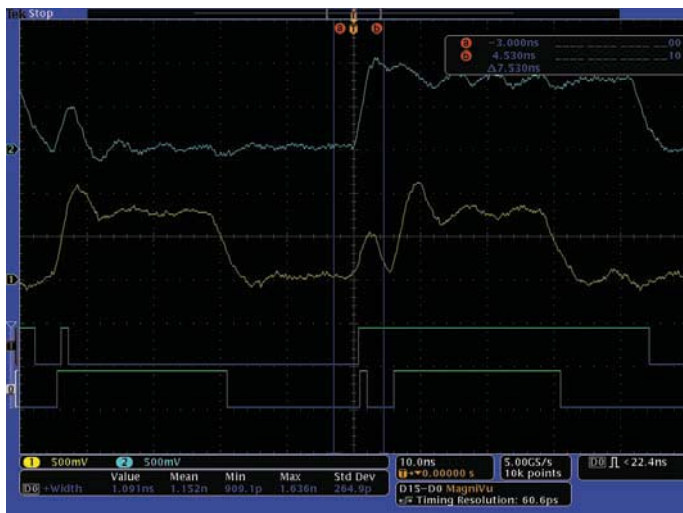


图52. MSO提供了16条集成数字通道，可以观察和分析时间相关的模拟信号和数字信号。高速定时采集提供了更高的分辨率，可以揭示毛刺之类的窄事件。

### 定时分辨率 (MSO)

捕获数字信号使用的定时分辨率是一个重要的MSO采集指标。采集信号的定时分辨率越好，测量信号变化时间的精度越高。例如，500 MS/s采集速率的定时分辨率是2 ns，采集的信号边沿不确定度是2 ns。较小的60.6 ps的定时分辨率(16.5 GS/s)会把信号边沿不确定度降低到60.6 ps，捕获变化速度更快的信号。

某些MSO在内部采集数字信号，同时支持两种采集。第一种采集使用标准定时分辨率，第二种采集使用高速分辨率。标准分辨率用于较长的记录长度，高速定时采集则在关心的窄点周围提供更高的分辨率，如图52所示。

### 连接能力

分析测量结果的需求仍是首要目标。需要简便频繁地存档和共享信息和测量结果的重要程度也在不断增长。示波器连接能力提供了高级分析功能，简化了测量结果的存档和共享。如图53所示，标准接口(GPIB, RS-232, USB, 以太网)和网络通信模块使得部分示波器能够提供大量的一系列功能和控制能力。

某些高级示波器还允许：

- 在示波器上创建、编辑和共享文件，所有这一切都在特定环境中运行的仪器上完成



图53. 当前的示波器提供了广泛的一系列通信接口，如标配Centronics端口及选配以太网/RS-232、GPIB/RS-232和VGA/RS-232模块。其前面板上甚至还有一个USB端口(画面中没有显示)。



图54. 分析软件包是为满足当前高速数字设计人员的抖动和眼图测量需求专门设计的。

- 访问网络打印和文件共享资源
- 访问Windows桌面
- 运行第三方分析和文件管理软件
- 链接到网络上
- 上网
- 收发邮件

### 扩展能力

示波器应能够在需求变化时满足您的需要。某些示波器允许：

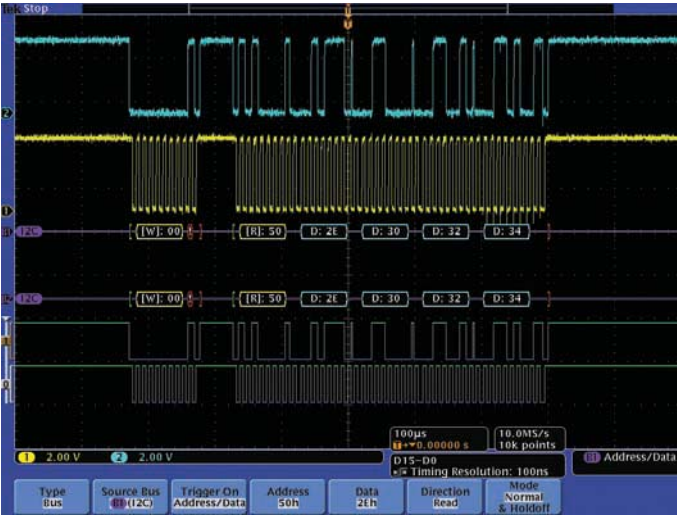


图55. 自动触发、解码和搜索串行数据包上下文加快了串行总线分析速度。

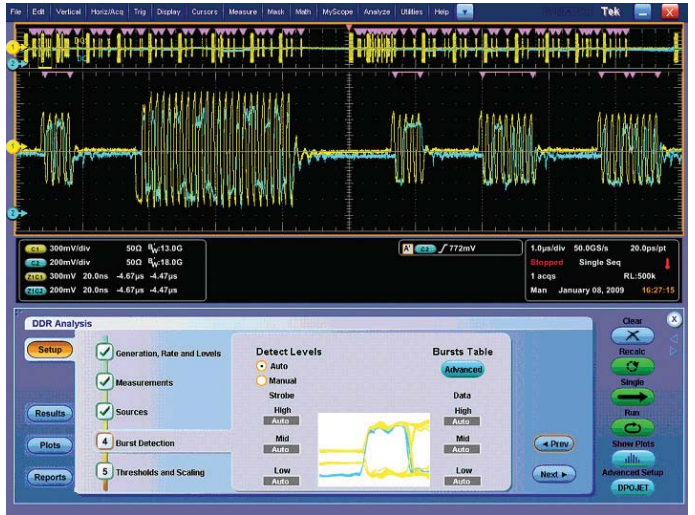


图57. 高级DDR分析工具自动完成复杂的存储任务，如把读/写突发分开及执行JEDEC测量。

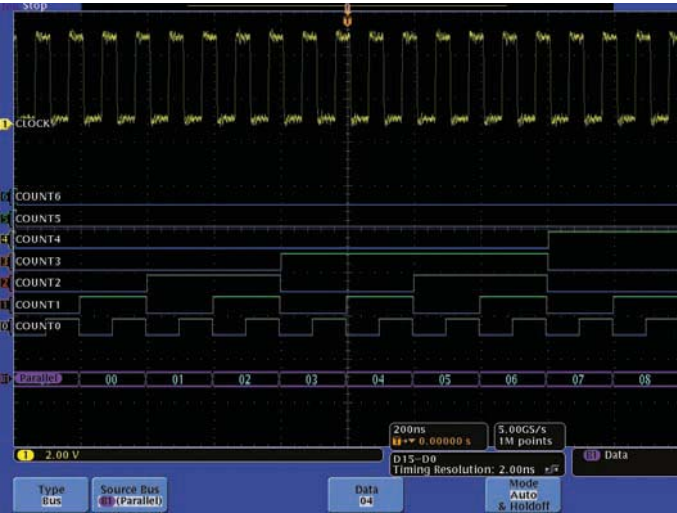


图56. 自动触发、解码和搜索时钟输入或非时钟输入并行总线数据。

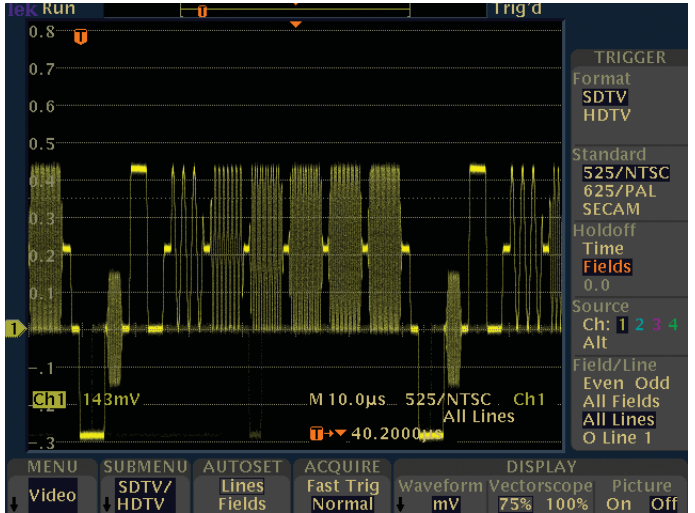


图58. 视频应用模块使得示波器成为快速的、揭示一切细节的视频调试工具。

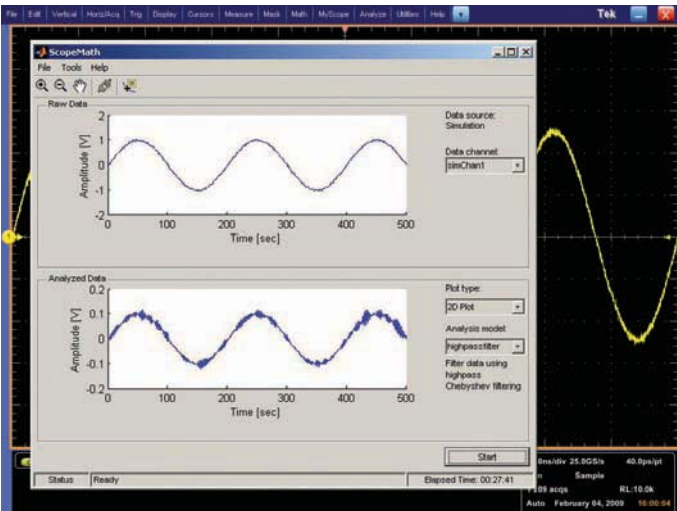


图59. 高级分析和工作效率软件(如MATLAB®)可以安装在基于Windows的示波器中，实现本地信号分析。

- 在通道中增加存储器，分析更长的记录长度
- 增加专用测量功能
- 使用全套探头和模块，补充示波器的处理能力
- 与流行的第三方分析和工作效率Windows兼容软件一起使用
- 增加附件，如蓄电池和机架安装件

应用模块和软件可以把示波器转换成高度专用的分析工具，能够执行抖动和定时分析、微处理器存储系统检验、通信标准测试、磁盘驱动器测量、视频测量、电源测量等功能。图54 – 图59介绍了部分实例。



图60. 传统的模拟式旋钮控制着位置、标度、辉度、等等，完全满足您的预期。

### 简便易用

示波器应易学易用，帮助用户保持最高效率和生产力。您可以把重点放在设计上，而不是测量工具上。正如没有完全一样的司机一样，也没有完全一样的示波器用户。不管您首选传统仪器界面，还是首选Windows®界面，示波器操作灵活都非常重要。

通过为用户提供多种仪器操作方式，许多示波器在性能和简单性之间实现了平衡。图60中的前面板布局提供了专用垂直控制功能、水平控制功能和触发控制功能。如图61所示，拥有大量图标的图形用户界面可以帮助您了解及直观地使用高级功能。触摸显示器解决了与杂乱的工作台和手推车有关的问题，同时可以进入干净的屏幕上按钮，如图62所示。联机帮助提供了方便的内置参考手册。直观的控制功能允许即使是偶尔使用示波器的用户，仍能象开车一样舒适地驾驭示波器，同时允许全职用户简便地使用示波

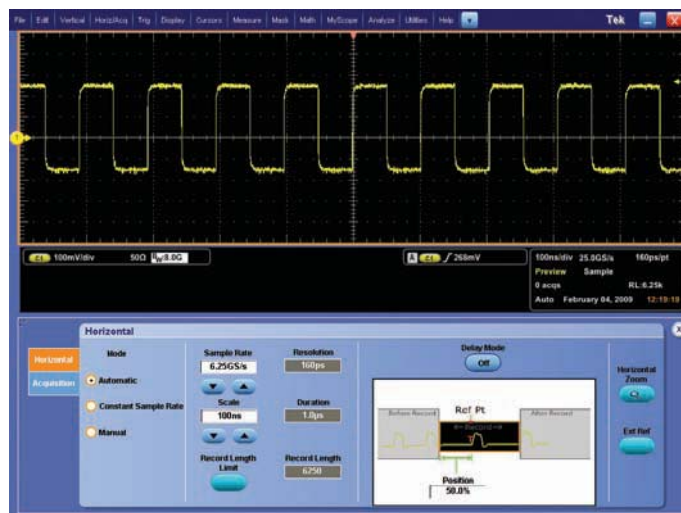


图61. 使用图形控制窗口，满怀信心地、简便地使用最完善的功能。

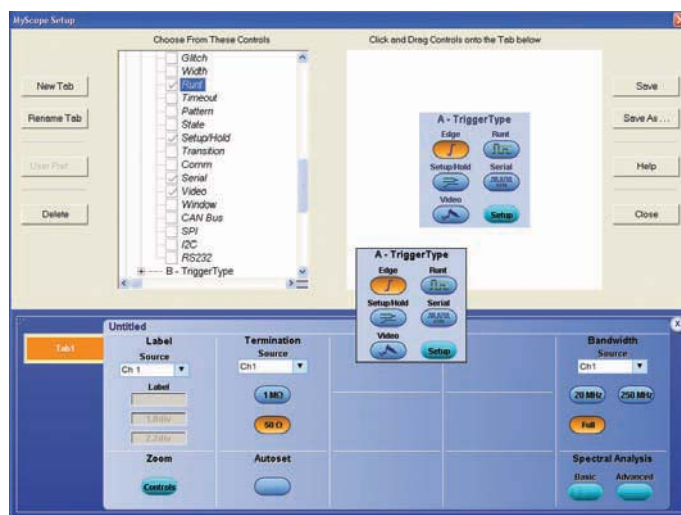


图62. 触感显示屏自然而然地解决了工作台和手推车混乱问题，同时可以使用清楚的屏幕上按钮。

器最先进的功能。此外，许多示波器是便携式的，如图63所示，从而使得示波器能够高效地用于许多不同的工作环境中，包括实验室或现场。



图63. 许多示波器便于携带，可以在许多工作环境中有效利用仪器。

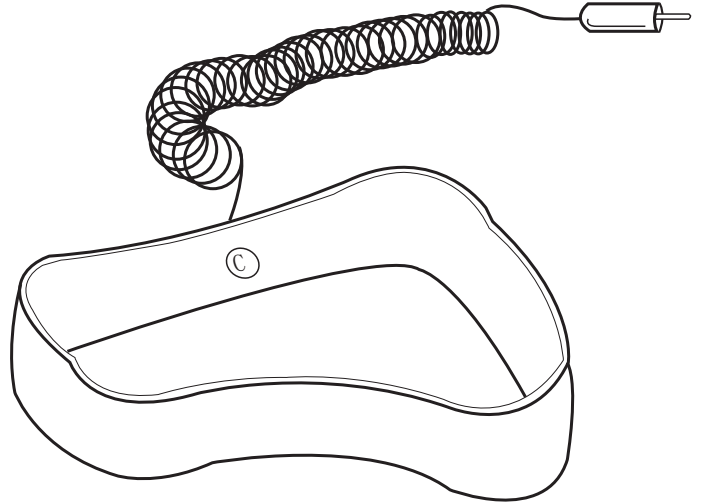


图64. 典型的接地腕带。

## 操作示波器

本节简要介绍怎样设置及开始使用示波器，特别是怎样实现示波器和用户接地、设置示波器控制功能、校准示波器、连接探头、补偿探头。

在设置测量或处理电路时，正确接地是一个重要步骤。示波器正确接地可以防止用户受到电击，用户正确接地可以防止电路受到损坏。

### 正确接地

示波器接地意味着把示波器连接到电气中性的参考点上，如接地。把示波器三头电源线插到连接接地装置的插座上，实现示波器接地。

示波器接地对人身安全是必需的。如果高压接触没有接地的示波器机箱，不管是机箱的哪个部分，包括似乎已经绝缘的旋钮，都会发生电击。而在示波器正确接地时，电流会通过接地路径传送到接地装置上，而不是通过用户身体传送到接地装置上。接地对使用示波器进行准确测量也是必需的。示波器需要与测试的任何电路共享相同的接地。

某些示波器不要求单独连接接地装置。这些示波器已经对机箱和控制功能进行绝缘，可以让用户远离任何可能的电击危险。

如果您正在处理集成电路(ICs)，您还需要让自己接地。集成电路有微小的传导路径，用户身体中积聚的静电可能会损坏这些路径。在地毯上走动或脱下外套、然后触摸集成电路引线，就可能毁掉一块昂贵的集成电路。为解决这个问题，应带上接地腕带，如图64所示。接地腕带可以把人身体中的静电安全地传送到接地装置上。

### 设置控制功能

在插好示波器后，看一下前面板。如前所述，前面板一般分成三个主要区域，分别标为垂直区域、水平区域和触发区域。示波器可能还有其它区域，具体视型号和类型而定。

注意示波器上的输入连接器，在这里连接探头。大多数示波器至少有两条输入通道，每条通道可以在屏幕上显示一个波形。多条通道适合比较波形。如前所述，MSO还有多个数字输入。

某些示波器拥有AUTOSSET和/或DEFAULT按钮，可以一步设置控制功能，适应信号。如果您的示波器没有这种功能，那么最好把控制功能设置到标准位置，然后再进行测量。

把示波器手动设置在标准位置的通用说明如下：

- 把示波器设置成显示通道1
- 把垂直volts/division标度和位置控制功能设置到中档位置
- 关闭可变volts/division
- 关闭所有放大设置
- 把通道1输入耦合设置成DC
- 把触发模式设置成自动触发
- 把触发源设置成通道1
- 把触发释抑旋转到最小或关闭
- 把水平time/division和位置控制功能设置到中档位置
- 调节通道1 volts/division，在不削波或不产生信号失真的情况下，使信号占用10个竖格中尽可能多的格

### 校准仪器

除正确设置示波器外，推荐定期自行校准仪器，以准确地进行测量。如果自上次自我校准以后环境温度变化幅度超过5°C (9°F)，那么就需要进行校准，或者每周校准一次。在示波器菜单中，有时这可以作为“Signal Path Compensation”（信号路径补偿）启动。如需更详细的说明，请参阅示波器随附手册。

### 连接探头

现在，您准备把探头连接到示波器上。如果与示波器匹配好，探头可以发挥示波器的所有处理能力和性能，确保测量的信号的完整性。

测量一个信号要求两条连接：探头尖端连接和接地连接。探头通常带有一个夹子连接装置，用来把探头接地到被测电路上。在实践中，可以把接地夹连接到电路中的已知接地上，如维修的产品的金属机箱，使探头尖端接触电路中的测试点。

### 补偿探头

无源衰减电压探头必须对示波器进行补偿。在使用无源探头前，必需先补偿探头，以使其电气特点与特定示波器均衡。

应该养成每次设置示波器时都补偿探头的习惯。探头调节差会降低测量精度。图65说明了使用补偿不当的探头对1 MHz测试信号的影响。

大多数示波器在前面板的一个端子上提供一个方波参考信号，用来补偿探头。补偿探头的过程通常如下：

- 把探头连接到一条垂直通道上
- 把探头尖端连接到探头补偿信号上，即方波参考信号上
- 把探头接地夹连接到接地上
- 观察方波参考信号
- 正确调节探头，使方波的角是方的

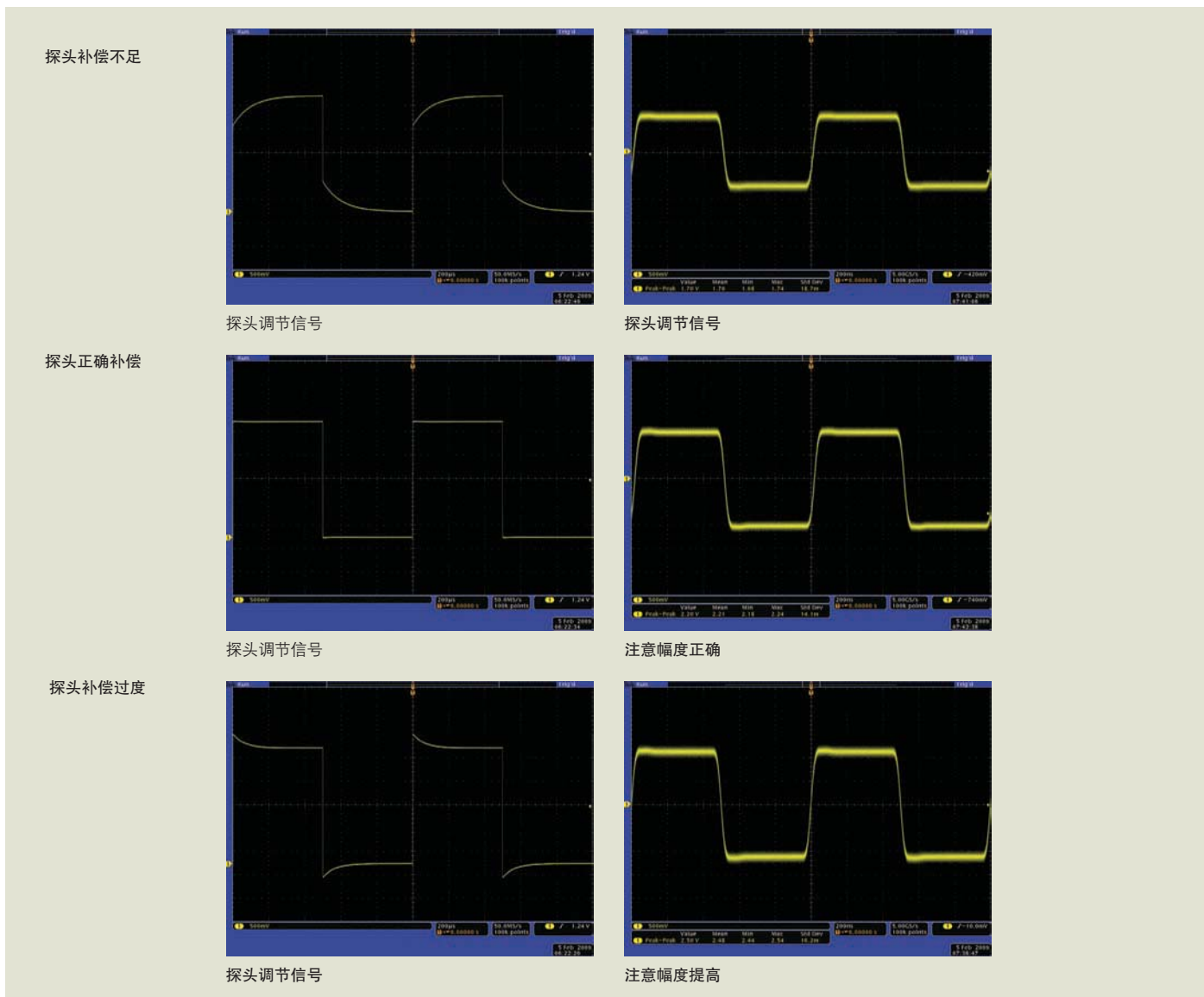


图65. 探头补偿不当的影响。

在补偿探头时，应一直连接要使用的任何配套尖端，把探头连接到打算使用的垂直通道上。这可以保证示波器拥有

与进行测量时同样的电气属性。

## 示波器测量技术

本节介绍基本测量技术。两种最基本的测量是电压测量和时间测量。几乎每种其它测量都基于这两种基本测量技术中的一种。

本节讨论在示波器屏幕上目视测量的方法。这是模拟仪器中常用的一种技术，也可以用来“一目了然地”理解数字示波器画面。

注意，大多数数字示波器包括自动测量工具，简化和加快了常见分析任务，从而改善测量的可靠性和信心。但是，了解怎样进行本节介绍的手动测量，将帮助您了解和检查自动测量。

### 电压测量

电压是电路中两点之间的电位量，用伏特表示。通常这两点中一个点是接地(零伏)，但并不是一直是接地。还可以测量峰峰值电压，即从信号的最大点到信号的最小点。必须注意指明表示的是哪个电压。

示波器主要是一种电压测量设备。一旦测量了电压，其它量只是计算而已。例如，欧姆定律指出，电路中两点之间的电压等于电流乘以电阻。从任意两个量中，都可以使用下面的公式计算出第三个量：

$$\text{电压} = \text{电流} \times \text{电阻}$$

$$\text{电流} = \text{电压} / \text{电阻}$$

$$\text{电阻} = \text{电压} / \text{电流}$$

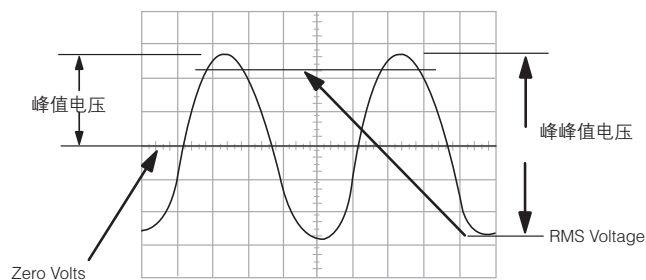


图66. 峰值电压( $V_p$ )和峰峰值电压( $V_{p-p}$ )。

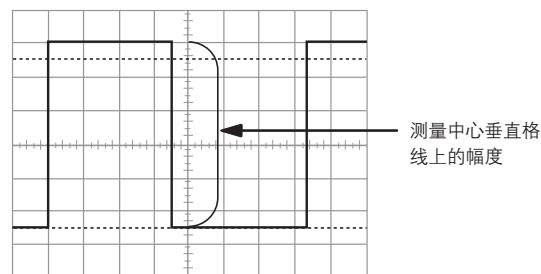


图67. 测量中心垂直格线上的电压。

另一个方便的公式是功率定理，指明DC信号的功率等于电压乘以电流。AC信号的计算比较复杂，但在这里，测量电压是计算其它量的第一步。图66显示了一个峰值电压( $V_p$ )和峰峰值电压( $V_{p-p}$ )。

进行电压测量最基本的方法是计算一个波形在示波器垂直标度上跨越的格数。调节信号，在垂直方向上覆盖大多数显示画面，可以进行最佳的电压测量，如图67所示。使用的显示区域越多，能够读取测量数据的精度越高。

许多示波器带有光标，允许自动进行波形测量，而不必计算格线标记数量。光标是一条简单的可以在显示画面中移动的线。两个水平光标线可以上下移动，括出电压测量中的波形幅度；两条垂直线可以左右移动，用于时间测量。读数显示了其位置上的电压或时间。

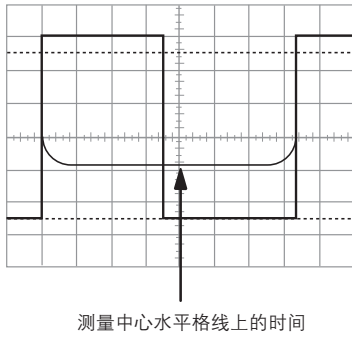


图68. 测量中心水平格线上的时间。

### 时间和频率测量

可以使用示波器的水平标度进行时间测量。时间测量包括测量脉冲的周期和脉宽。频率是周期的倒数，因此如果知道周期，那么用1除以周期，就可以得到频率。与电压测量一样，在把被测信号的部分调节到覆盖显示画面大部分区域时，可以提高时间测量的精度，如图68所示。

### 脉宽和上升时间测量

在许多应用中，脉冲形状细节非常重要。脉冲可能会失真，导致数字电路发生故障，脉冲串中的脉冲定时通常非常重要。

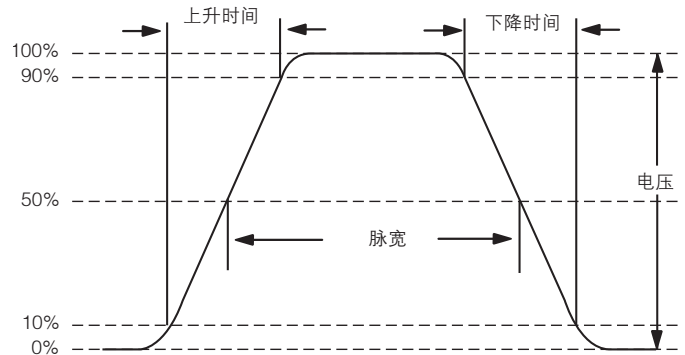


图69. 上升时间和脉宽测量点。

标准脉冲测量是脉冲上升时间和脉宽。上升时间是脉冲从低压变成高压所需的时间量。依据惯例，上升时间是从脉冲全部电压的10%上升到90%的时间。这消除了脉冲跳变角上的任何不规则性。脉宽是脉冲从低到高、然后再回到低所用的时间量。依据惯例，脉宽在全部电压的50%处测得。图69说明了这些测量点。

脉冲测量通常要求微调触发。为成为捕获脉冲的专家，您应该了解怎样使用触发释抑及怎样设置数字示波器捕获触发前数据，如“示波器的系统和控制功能”一节所述。水平放大是测量脉冲使用的另一种实用功能，可以看到快速脉冲的精细细节。



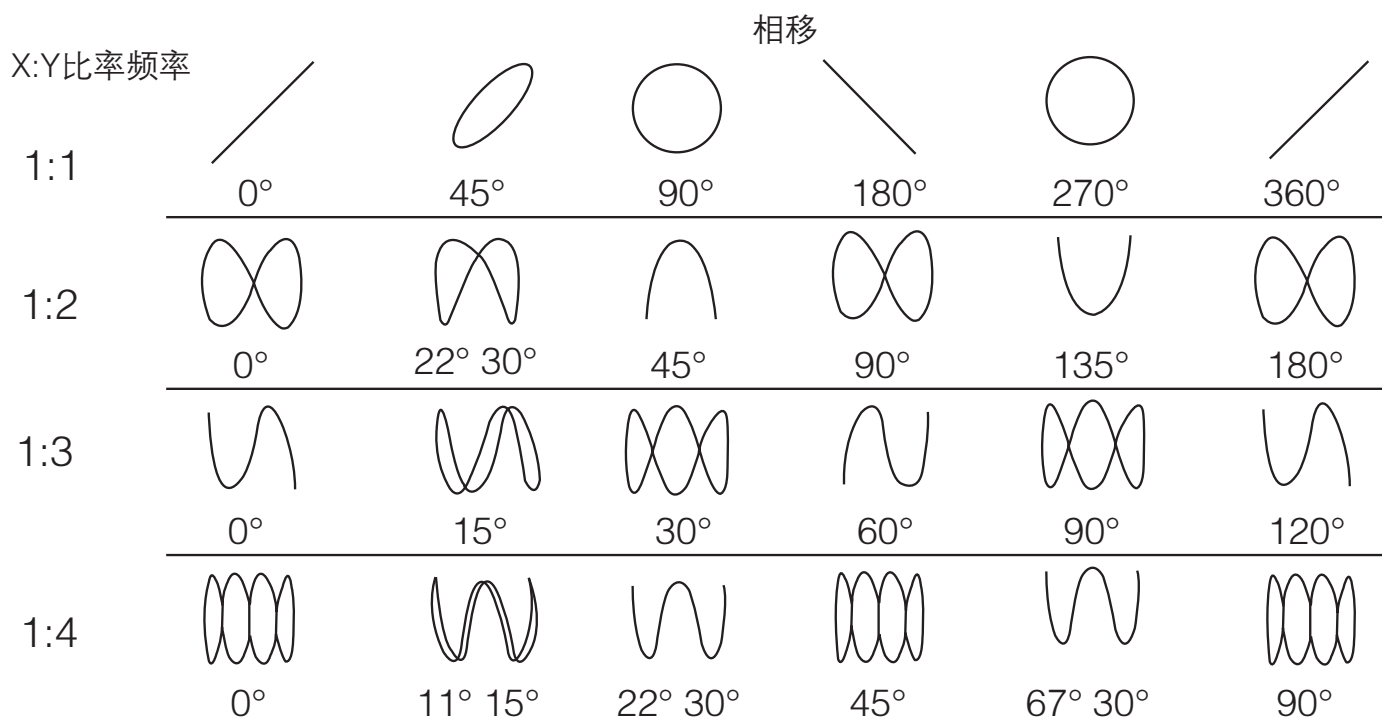


图70. Lissajous码型。

### 相移测量

测量相移、也就是两个一模一样的周期信号之间定时差的方法之一，是使用XY模式。这种测量技术需要把一个信号象往常一样输入垂直系统中，然后把另一个信号输入到水平系统中，称为XY测量，因为X轴和Y轴都跟踪电压。这一排列产生的波形称为Lissajous码型(以法国物理学家Jules Antoine Lissajous的名字命名，读音为LEE-sa-zhoo)。从Lissajous码型形状中，可以区分两个信号的相位差异。还可以区分其频率比。图70显示了各种频率比和相移的Lissajous码型。

XY测量技术源自模拟示波器。DSO可能很难生成实时XY画面。某些DSO通过累积不同时间触发的数据点，然后作为XY画面显示两条通道，来生成XY图像。

DPO则能够实时采集和显示真正的XY模式图像。DPO还显示加强区域的XYZ图像。与DSO和DPO上的XY画面不同，模拟示波器上的这些画面一般只限于几兆赫的带宽。

### 其它测量技术

本节介绍了基本测量技术。其它测量技术则涉及设置示波器测试装配线上的电气元件、捕获难检的瞬态信号、等等。使用的测量技术取决于应用，前面已经介绍了大量的入门知识。您可以使用示波器实践一下，了解更多信息，您很快就会熟悉示波器的操作。

### 书面练习

本节包含着涵盖本入门手册信息的书面练习，其分成两个部分：第一部分和第二部分，分别包括术语练习和应用练习。请对比自己的答案与本节最后第55页的参考答案，确定自己对本入门手册中的信息掌握情况。

第一部分涵盖了下面几节中介绍的信息：

- 示波器
- 性能术语和考虑因素

第二部分涵盖了下面几节中介绍的信息：

- 示波器的系统和控制功能
- 操作示波器
- 测量技术

### 第一部分A：词汇练习

请把右栏中的定义字母填写到左栏中相应的术语前面。

术语	定义
1. ___ 采集	A 表示电位差的单位。
2. ___ 模拟	B 表明ADC精度的一种性能指标，单位为位。
3. ___ 带宽	C 提到信号周期度数时使用的术语。
4. ___ 数字荧光	D 信号在一秒钟内重复的次数。
5. ___ 频率	E 一个波完成一个周期所需的时间量。
6. ___ 毛刺	F 存储的数字值，表示显示屏特定时点上的信号电压。
7. ___ 周期	G 一种常见的波形形状，有上升沿、宽度和下降沿。
8. ___ 相位	H 表示脉冲上升沿速度的一个性能指标。
9. ___ 脉冲	I 控制扫描定时的示波器电路。
10. ___ 波形点	J 电路中的间歇性尖峰。
11. ___ 上升时间	K 示波器测量的只发生一次的信号。
12. ___ 样点	L 示波器从ADC中采集样点、处理样点、然后把样点存储在存储器中的过程。
13. ___ 数字存储	M 与连续变化的值一起运行的某种东西。
14. ___ 时基	N 实时捕获信号信息三个维度的数字示波器。
15. ___ 瞬态信号	O 拥有串行处理功能的数字示波器。
16. ___ ADC分辨率	P -3 dB点定义的正弦波频率范围。
17. ___ 伏特	Q 来自ADC的用来y计算和显示波形点的原始数据。

## 第一部分B：应用练习

圈出每道题的最佳答案。部分题为多选题。

1. 可以使用示波器：
  - a. 计算信号的频率。
  - b. 找到有故障的电气元件。
  - c. 分析信号细节。
  - d. 上面全都是。
  
2. 模拟示波器与数字示波器的差别是：
  - a. 模拟示波器没有屏幕上菜单。
  - b. 模拟示波器对显示系统直接施加测量电压，而数字示波器则先把电压转换成数字值。
  - c. 模拟示波器测量模拟信号，数字示波器测量数字。
  - d. 模拟示波器没有采集系统。
  
3. 示波器的垂直区域功能如下：
  - a. 使用ADC采集样点。
  - b. 启动水平扫描。
  - c. 让您调节显示器亮度。
  - d. 衰减或放大输入信号。
  
4. 示波器的时基控制功能有：
  - a. 调节垂直标度。
  - b. 显示一天中当前时间。
  - c. 设置屏幕水平宽度表示的时间量。
  - d. 把时钟脉冲发送到探头。
  
5. 在示波器显示屏上：
  - a. 电压是竖轴，时间是横轴。
  - b. 平直的对角线轨迹表示电压以稳定速率变化。
  - c. 平坦的水平轨迹表示电压是恒定的。
  - d. 上面全都是。
  
6. 所有重复波都有下面的特点：
  - a. 用赫兹表示频率。
  - b. 用秒表示周期。
  - c. 用赫兹表示带宽。
  - d. 上面全都是。
  
7. 如果使用示波器探测计算机内部，您可能会发现下面的信号类型：
  - a. 脉冲串。
  - b. 斜波。
  - c. 正弦波。
  - d. 上面全都是。
  
8. 在评估模拟示波器性能时，您可能要考虑的有：
  - a. 带宽。
  - b. 垂直灵敏度。
  - c. ADC分辨率。
  - d. 扫描速度。
  
9. 数字存储示波器(DSO)和数字荧光示波器(DPO)的差别是：
  - a. DSO的带宽更高。
  - b. DPO实时捕获波形信息的三个维度。
  - c. DSO有彩色显示器。
  - d. DSO捕获的信号细节更多。

## 第二部分B：应用练习

圈出每道题的最佳答案。部分题为多选题。

术语	定义
1. ___ 平均模式	A 探头和示波器与被测电路非预计的交互，会使信号失真。
2. ___ 电路负荷	B 把电流连接到大地上的一个导体。
3. ___ 补偿	C 一种采样模式。在这种模式下，数字示波器在信号发生时收集多个样点，然后在必要时使用内插构建显示画面。
4. ___ 耦合	D 一种采样模式。在这种模式下，数字示波器从每次重复中捕获少量信息，构建重复信号的画面。
5. ___ 接地	E 把特定物理量(如声音、压力、应力或光强度)转换成电信号的一种设备。
6. ___ 等效时间	F 把信号注入电路输入的测试设备。
7. ___ 格线	G 数字示波器用来消除显示的信号中的噪声的一种处理技术。
8. ___内插	H 把两条电路连接起来的方法。
9. ___ 实时	I 一种“连点”处理技术，根据采样的少量点估算快速波形形状。
10. ___ 信号发生器	J 屏幕上的格线，用来测量示波器轨迹。
11. ___ 单一扫描	K 一种触发模式，触发扫描一次，然后必须复位，才能接受另一个触发事件。
12. ___ 传感器	L 10X衰减器探头使用的探头调节装置，用来均衡探头的电气特点与示波器的特点。

## 第二部分B：应用练习

圈出每道题的最佳答案。部分题为多选题。

1. 为安全地操作示波器，您应该：

- a. 使用适当的三头电源线把示波器接地。
- b. 学习认识潜在危险的电气器件。
- c. 即使在电源关闭时，仍要避免接触被测电路中暴露的连接。
- d. 上面全都是。

2. 示波器必需接地：

- a. 基于安全原因。
- b. 为进行测量提供一个参考点。
- c. 把轨迹与屏幕的横轴对准。
- d. 上面全都是。

3. 引起电路负荷的原因是：

- a. 输入信号的电压太大。
- b. 探头和示波器与被测电路交互。
- c. 没有补偿10X衰减器探头。
- d. 电路上放的东西太重。

4. 必需补偿探头：

- a. 均衡10X衰减探头与示波器的电气属性。
- b. 防止损坏被测电路。
- c. 改善测量精度。
- d. 上面全都是。

5. 轨迹旋转控制功能用来：

- a. 在屏幕上确定波形量程。
- b. 检测正弦波信号。
- c. 把波形轨迹与模拟示波器屏幕上的横轴对准。
- d. 测量脉宽。

6. 伏特/格控制功能用来：

- a. 在垂直方向确定波形量程。
- b. 在垂直方向定位波形。
- c. 衰减或放大输入信号。
- d. 设置每格表示的伏特数。

7. 设置到接地的垂直输入耦合可以：

- a. 把输入信号从示波器上断开。
- b. 引起自动触发时出现一条横线。
- c. 让您看到零伏在屏幕上什么位置。
- d. 上面全都是。

8. 触发必不可少：

- a. 把重复波形稳定在屏幕上。
- b. 捕获单次波形。
- c. 标记采集的某个点。
- d. 上面全都是。

9. 自动触发模式与正常触发模式的差别是：

- a. 在普通模式下，示波器只扫描一次，然后停止。
- b. 在普通模式下，示波器只在输入信号到达触发点时扫描，否则屏幕为空白。
- c. 即使没有被触发，自动模式仍连续进行示波器扫描。
- d. 上面全都是。

10. 能最有效地降低重复信号中的噪声的采集模式是：

- a. 采样模式。
- b. 峰值检测模式。
- c. 包络模式。
- d. 平均模式。

11. 使用示波器可以进行的两种最基本的测量是：

- a. 时间和频率测量。
- b. 时间和电压测量。
- c. 电压和脉宽测量。
- d. 脉宽和相移测量。

12. 如果volts/division设置在0.5，可以放到屏幕上的最大信号(假设8 x 10格屏幕)是：

- a. 62.5毫伏峰峰值。
- b. 8伏峰峰值。
- c. 4伏峰峰值。
- d. 0.5伏峰峰值。

13. 如果seconds/division设置在0.1 ms，那么屏幕宽度表示的时间量是：

- a. 0.1 ms。
- b. 1 ms。
- c. 1秒。
- d. 0.1 kHz。

14. 依据惯例，脉宽测得位置是：

- a. 脉冲峰峰值(pk-pk)电压的10%处。
- b. 脉冲峰峰值(pk-pk)电压的50%处。
- c. 脉冲峰峰值(pk-pk)电压的90%处。
- d. 脉冲峰峰值(pk-pk)电压的10%和90%处。

15. 把探头连接到测试电路上，但屏幕是空白的。您应该：

- a. 检查屏幕辉度已经打开。
- b. 检查示波器设置成显示探头连接到的通道。
- c. 把触发模式设置成自动触发，因为普通模式会使屏幕变成空白。
- d. 把垂直输入耦合设置成AC，把volts/division设置成最大值，因为大的DC信号可能会移出屏幕顶部或底部。
- e. 检查探头没有短路，确认探头正确接地。
- f. 检查示波器设置成触发使用的输入通道。
- g. 上面全都是。

## 参考答案

本节提供了上一节所有书面练习的答案。

### 第一部分A：术语练习答案

1. L	5. D	9. G	13. O
2. M	6. J	10. F	14. I
3. P	7. E	11. H	15. K
4. N	8. C	12. Q	16. B
			17. A

### 第一部分B：应用练习答案

1. D	3. D	5. D	7. A
2. B,D	4. C	6. A,B	8. A,B,D
			9. B

### 第二部分A：术语练习答案

1. G	4. H	7. J	10. F
2. A	5. B	8. I	11. K
3. L	6. D	9. C	12. E

### 第II部分B：应用练习答案

1. D	5. C	9. B,C	13. B
2. A,B	6. A,C,D	10. D	14. B
3. B	7. D	11. B	15. G
4. A,C	8. D	12. C	

## 术语表

### A

**采集模式** – 控制着怎样从样点中生成波形点的模式。采集模式的类型包括：采样、峰值检测、hi res、包络、平均和波形数据库。

**交流(AC)** – 电流和电压的重复码型随时间变化的信号。也用来表示信号耦合类型。

**放大** – 信号从一个点传送到另一个点的过程中，信号幅度会提高。

**幅度** – 数量幅度或信号强度。在电子器件中，幅度通常指电压或功率。

**模数转换器(ADC)** – 一种数字电子元器件，把电信号转换成离散的二进制值。

**模拟示波器** – 一种仪器，通过把输入信号(调节并放大后)应用到电子束的竖轴上，在水平方向从左到右移动通过阴极射线管(CRT)屏幕，生成一个波形画面。在波束扰动时，喷涂在CRT上的化学荧光生成一条发光的轨迹。

**模拟信号** – 拥有连续可变电压的信号。

**衰减** – 信号在从一个点传送到另一个点的过程中，信号幅度会下降。

**平均** – 数字示波器使用的降低显示的信号中噪声的一种处理技术。

### B

**带宽** – 通常受到 -3 dB限制的一个频率范围。

### C

**电路负荷** – 探头和示波器与被测电路的无意交互，其会使信号失真。

**补偿** – 无源衰减探头的探头调节，以在探头电容与示波器电容之间实现均衡。

**耦合** – 把两条电路连接起来的方法。使用导线连接的电路为直接耦合(DC)，通过电容器或变压器连接的电路为间接(AC)耦合。

**光标** – 一种屏幕上的标记，您可以把这个标记与波形对准，进行更准确的测量。

### D

**延时时基** – 一种带有扫描的时基，可以相对于主时基扫描上预定的时间启动(或被触发启动)。您可以更清楚地看到事件，看到单纯使用主时基扫描看不到事件。

**数字信号** – 电压样点使用离散的二进制数字表示的一种信号。

**数字示波器** – 使用模数转换器(ADC)把实测电压转换成数字信息的一种示波器。数字示波器的类型包括：数字存储示波器、数字荧光示波器、混合信号示波器和数字采样示波器。

**数字荧光示波器(DPO)** – 一种数字示波器，其显示特点模型与模拟示波器密切相关，同时提供传统数字示波器的优势(波形存储、自动测量、等等)。DPO采用并行处理结构，把信号传送到光栅型显示器，实时提供信号特点的辉度等级画面。DPO使用三个维度显示信号：幅度、时间和幅度在时间上的分布。

**数字采样示波器** – 一种数字示波器，采用等效时间采样方法，捕获和显示信号样点，其特别适合准确地捕获频率成分远远高于示波器采样率的信号。

**数字信号处理** – 应用算法改善实测信号精度的技术。

**数字存储示波器(DSO)** – 一种数字示波器，通过数字采样采集信号(使用模数转换器)。它使用串行处理结构控制采集、用户界面和光栅显示。

**数字化** – 水平系统中的模数转换器(ADC)在离散时点对信号采样，然后把信号在这些时点上的电压转换成称为样点的数字值的过程。

**直流(DC)** – 拥有恒定电压和/或电流的信号，也用来指明信号耦合类型。

**格或分度** – 示波器格线上的测量标记，指明重大标记和微小标记。



**E**

**接地** – 把电流连接到大地上的导体。

**有效位** – 衡量数字示波器准确地重建正弦波信号形状的能力的一个指标。这个指标把示波器的实际误差与理论上的“理想”数字化器的误差进行比较。

**包络** – 由多个显示的波形重复期间采集的信号最高点和最低点构成的轮廓。

**等效时间采样** – 一种采样模式，在这种模式下，示波器从每次重复中捕获少量信息，构建重复信号的画面。等效时间采样分成两种：随机等效时间采样和顺序等效时间采样。

**F**

**焦点** – 模拟示波器控制功能，它调节阴极射线管(CRT)电子束，控制显示的锐度。

**频率** – 信号一秒钟内重复的次数，用赫兹表示(每秒周期数)。频率=1/周期。

**频响** – 示波器的频响曲线决定着输入信号与信号频率相关的幅度代表的精度。为获得最大的信号保真度，示波器在整个指定示波器带宽内应该拥有平坦(稳定)的频响。

**G**

**增益精度** – 表示垂直系统衰减或放大信号的精度的指标，通常用百分比误差表示。

**千兆赫(GHz)** – 1,000,000,000赫兹，一种频率单位。

**毛刺** – 电路中间歇性的高速错误。

**格线** – 显示画面上用来测量示波器轨迹的格线。

**接地** –

1. 一条传导连接，电子电路或设备通过这个导体连接到接地上，建立和保持参考电压电平。

2. 电路中的电压参考点。

**H**

**赫兹(Hz)** – 每秒一个周期，是频率的单位。

**水平精度(时基)** – 表示水平系统显示信号定时的精度，通常用百分比误差表示。

**水平扫描** – 导出画出波形的水平系统操作。

**I**

**辉度等级** – 发生频率信息，对了解波形实际状况至关重要。

**内插** – 一种“把多个点连接起来”的处理技术，只根据少量采样点估计快速波形形状。其分成两类：线性内插和 $\sin x/x$ 内插。

**K**

**千赫兹(kHz)** – 1,000赫兹，一种频率单位。

**L**

**负荷** – 探头和示波器与被测电路的无意交互，其会使信号失真。

**逻辑分析仪** – 用来观察多个数字信号逻辑状态随时间变化的仪器。它分析数字数据，可以作为实时软件执行、数据流量值、状态顺序、等等表示数据。

**M**

**兆赫兹(MHz)** – 1,000,000赫兹，一种频率单位。

**兆样点/秒(MS/s)** – 一种采样率单位，等于每秒100万个样点。

**微秒( $\mu$ s)** – 一种时间单位，等于0.000001秒。

**毫秒(ms)** – 一种时间单位，等于0.001秒。

**混合域示波器(MDO)** – 一种数字示波器，把RF频谱分析仪与MSO或DPO结合起来，能够以相关方式观察来自数字域、模拟域和RF域的信号。

**混合信号示波器(MSO)** – 把16通道逻辑分析仪基本功能与4通道数字荧光示波器倍受信赖的性能结合在一起的一种数字示波器。

## N

纳秒(ns) – 一种时间单位，等于0.000000001秒。

噪声 – 电路中不想要的电压或电流。

## O

示波器 – 用来查看电压随时间变化的仪器。示波器一词源自英文单词“oscillate”（振荡），因为示波器通常用来测量振荡电压。

## P

峰值(Vp) – 从零参考点测量的最大电压电平。

峰值检测 – 数字示波器提供了一种采集模式，可以观察其它方式可能会漏掉的信号细节，特别适合查看时间上相距很远的窄脉冲。

峰峰值(Vp-p) – 从信号最大点到最低点测量的电压。

周期 – 一个波完成一个周期所需的时间量。周期=1/频率。

相位 – 从周期开始到下一个周期开始经过的时间量，用度表示。

相移 – 两个相似的信号之间的时间差。

预触发观察 – 数字示波器捕获触发事件前信号情况的能力。用来确定触发点前和触发点后可以看到的信号的长度。

探头 – 一种示波器输入设备，通常有一个指向金属尖端，用来与电路单元实现电气接触；一条引线，用来连接电路的接地参考源；一条软电缆，用来传送信号；以及示波器接地。

脉冲 – 一种常见的波形形状，拥有快速上升沿、宽度和快速下降沿。

脉冲串 – 一起传送的多个脉冲的集合。

脉宽 – 脉冲从低到高、再从高到低所用的时间量，传统上在全部电压的50%处测得。

## R

斜波 – 以恒定速率变化的正弦波电压电平之间的跳变。

光栅 – 一种显示器类型。

实时采样 – 一种采样模式。在这种模式下，示波器从触发的一次采集中收集尽可能多的样点。其特别适合频率范围不到示波器最大采样率一半的信号。

记录长度 – 用来创建信号记录的波形点数。

上升时间 – 脉冲前沿从低值上升到高值所需的时间，一般测量从10%上升到90%所需的时间。

## S

采样 – 把输入信号的一部分转换成离散的电气值，以便通过示波器进行存储、处理和/或显示的过程。它分成两类：实时采样和等效时间采样。

样点 – 来自ADC、用来计算波形点的原始数据。

采样率 – 指数字示波器获得信号样点的频度，单位为样点/秒(S/s)。

传感器 – 把某种物理量(如声音、压力、应力或光亮度)转换成电信号的设备。

信号完整性 – 准确地重建信号，这取决于示波器的系统和性能指标，以及采集信号使用的探头。

信号源 – 用来把信号注入电路输入中的测试设备，然后通过示波器读取电路输出。也称为信号发生器。

**正弦波** – 以数学方式定义的一种常用的曲线波形。

**单次** – 示波器测量的只发生一次的信号(也称为瞬态事件)。

**单一扫描** – 一种触发模式，显示信号在一个触发后的屏幕，然后停止采集。

**斜率** – 图表上或示波器显示屏上垂直距离与水平距离之比。正斜率从左到右提高，负斜率从左到右下降。

**方波** – 由重复的方波形组成的一种常见波形。

**扫描** – 模拟示波器电子束从左到右水平通过CRT屏幕。

**扫描速度** – 同时基。

## T

**时基** – 控制扫描定时的示波器电路。时基由秒/格控制功能设置。

**轨迹** – 电子束运动在CRT上画出的看得见的形状。

**瞬态信号** – 示波器测量的只发生一次的信号(也称为单次事件)。

**触发** – 示波器上参考水平扫描的电路。

**触发释抑** – 一种控制功能，可以调节有效触发后的时间周期，在此期间，示波器不能触发。

**触发电平** – 触发电压启动扫描前触发源信号必须达到的电压电平。

**触发模式** – 在没有检测到触发时决定示波器是否绘制波形的一种模式。常见的触发模式有正常触发和自动触发两种。

**触发斜率** – 在触发电路启动扫描前，触发源信号必须达到的斜率。

## V

**垂直分辨率(模数转换器)** – 表示数字示波器中的模数转换器(ADC)把输入电压转换成数字值的精度，用位表示。许多计算技术(如hi res采集模式)可以改善有效分辨率。

**垂直灵敏度** – 表示垂直放大器放大弱信号的程度，通常用每格毫伏(mV)表示。

**伏特** – 表示电位差的单位。

**电压** – 两点之间的电位差，用伏特表示。

## W

**波** – 随时间推移重复的码型的通用术语。常见类型包括：正弦波，方波，矩形波，锯齿波，三角波，阶跃，脉冲，周期波，非周期波，同步波，异步。

**波形** – 用图形表示随时间变化的电压。

**波形捕获速率** – 指示波器采集波形的速度，用每秒波形数(wfms/s)表示。

**波形点** – 表示信号在特定时点的电压的数字值。波形点从样点中计算得出，存储在存储器中。

**写入速度** – 模拟示波器提供信号从一个点到另一个点移动的可视轨迹的能力。这种能力对拥有快速移动细节的低重复率信号是有限制的，如数字逻辑信号。

**XY模式** – 一种测量技术，这种技术把一个信号以正常方式输入到垂直系统中，把一个信号输入到水平系统中，同时在X轴和Y轴上追踪电压。

## Z

**Z轴** – 示波器上的显示属性，在轨迹形成时显示亮度变化。

从测试项目立项开始

陪伴客户

co-operate from the very beginning  
of your electronic testing project

Misson

Applications  
方案提供商

Software Customize  
软件定制

Instrument Products  
仪器产品

After Sale Service  
永续服务

测试测量仪器综合服务商

零式未来  
Zero Formula

咨询热线-仪器帮帮

400-852-1788