

是德科技 了解示波器的基本原理

应用指南



本应用指南简要介绍示波器的基本原理，让您了解什么是示波器，以及如何操作示波器。我们将会探讨示波器的应用，并概括介绍其基本的测量和性能特征。本文还将介绍不同类型的探头，并讨论它们的优缺点。

引言

电子技术在我们的生活中无所不在。每天都有上百万人使用电子产品，例如手机、电视和计算机。随着电子技术的进步，这些产品的工作速度也变得越来越快。如今，大多数电子产品都采用了高速数字技术。

工程师们应当能够精确地设计和测试他们在高速数字产品中所使用的元器件。他们在设计和测试元器件时所使用的仪器必须特别适合处理高速和高频的特性才行，而示波器正好是这样的一种仪器。

示波器是一种功能强大的工具，在设计和测试电子器件方面很有用。它们在您判定系统器件是否正常方面扮演极为重要的角色，而且还能帮助您确定新设计的元器件是否按照预想的方式进行工作。示波器的功能远比数字万用表更强大，因为它们可以使您观察电子信号的实际情况。

示波器的应用极为广泛，包括通用电子测试、工业自动化、汽车、大学的研究实验室以及航空航天 / 国防产业等。许多公司都依赖示波器来查找缺陷，从而制造出质量过硬的产品。

目录

简介	2
电子信号	3
波形特性	3
波形	4
模拟信号与数字信号的比较	5
什么是示波器， 您为什么需要它？	6
信号完整性	6
示波器的外观	7
示波器的用途	8
示波器的类型	9
示波器的使用范围	12
基本的示波器控制与测量	12
基本的前面板控制	12
功能键	15
基本测量	16
基本的运算功能	17
重要的示波器性能特性	18
带宽	18
通道	18
采样率	19
存储深度	20
波形捕获率	21
连通性	21
示波器探头	22
负载效应	22
无源探头	22
有源探头	22
电流探头	23
探头附件	23
结论	23

电子信号

示波器的主要用途是显示电子信号。通过观察示波器上显示的信号，您可以确定电子系统的某个元器件是否在正常工作。因此，要想了解示波器的工作方式，必须先要了解信号的基本原理。

波形特性

电子信号会以波形或脉冲的形式出现。波形的基本特性包括：

幅度

在工程应用中经常使用的幅度定义主要有两个。第一种通常称为峰值幅度，定义为干扰信号的最大位移量。第二种是均方根（RMS）幅度。要计算波形的 RMS 电压，必须将波形值平方并求出平均电压，然后再求平方根。

对正弦波来说，RMS 幅度等于峰值幅度的 0.707 倍。

相移

相移是指两个其他条件都相同的波形之间的水平位移量，以度或弧度为单位。正弦波的周期以 360 度来表示。因此，如果两个正弦波相差半个周期，那么它们的相对相移就是 180 度。

周期

波形的周期是指波形重复出现一次所花费的时间，以秒为单位。

频率

每个周期性波形都有一个频率。频率是指波形在一秒内重复出现的次数（如果您使用 Hz 为单位）。频率与周期互为倒数。

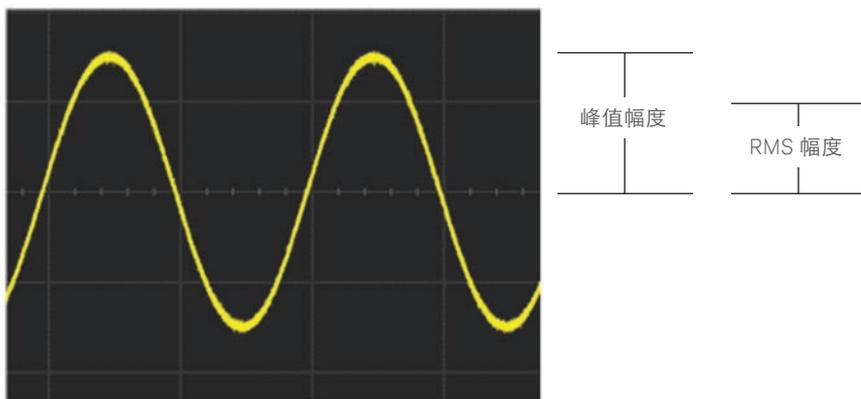


图 1. 正弦波的峰值幅度和 RMS 幅度

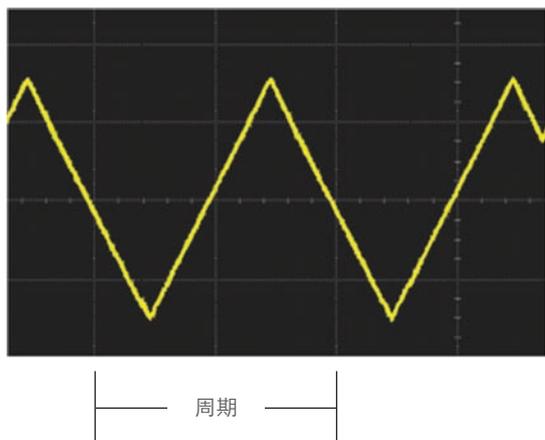


图 2. 三角波的周期

电子信号 (续)

波形

波形是指波的形状或图像。波形可以提供许多有关信号的信息，例如，它可以告诉您电压是否突然发生改变、呈线性变化或保持不变。标准的波形有很多种，本节仅介绍您最常遇到的几种。

正弦波

正弦波通常与交流 (AC) 电源有关，例如您屋内的电源插座。正弦波的峰值幅度并非一直恒定，如果峰值幅度会随时间不断地下降，我们就称这种波形为阻尼正弦波。

方波 / 矩形波

方波会在两个不同的值之间周期性地跳动，因此在高点和低点部分的长度会相等。矩形波不同的地方在于高、低点部分的长度并不相等。

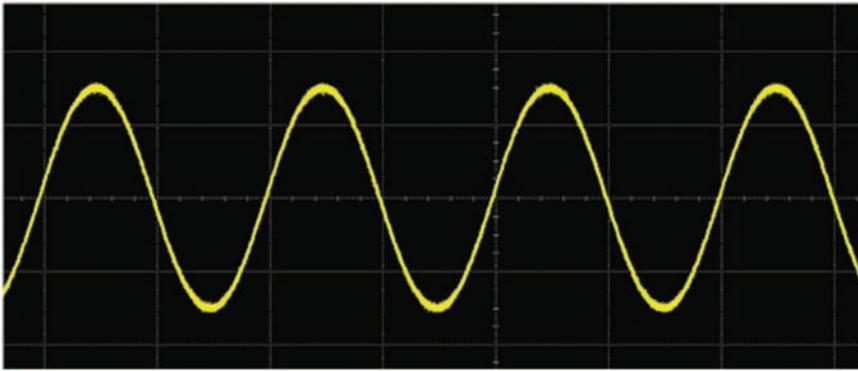


图 3. 正弦波

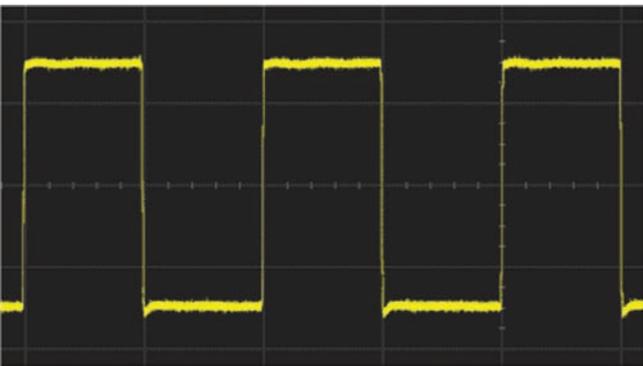


图 4. 方波

电子信号 (续)

三角波 / 锯齿波

在三角波中，电压会随着时间呈线性变化。它的信号边沿称为斜波，这是因为其波形会斜升或斜降到某个电压。由于锯齿波前面或后面的信号沿会随着时间产生线性的电压响应，所以看起来与三角波类似。但对面的信号沿几乎是立即下降的。

脉冲

脉冲是指突然出现在固定电压中的干扰，就像在一个房间中突然打开电灯，然后迅速熄灭电灯的情形。一连串的脉冲被称为脉冲串。延续前面的比喻，这就好比不断重复快速开灯与关灯的动作一样。

脉冲是信号中常见的毛刺或错误波形。如果信号只传送一条信息，那么脉冲也可看作是一个波形。

复合波

波形也可以是以上各种波形的混合。它们不一定要具备周期性，而且可以是非常复杂的波形。

模拟信号与数字信号的比较

模拟信号代表给定范围内的任意值。您不妨想象一下模拟时钟，时针每隔 12 个

小时旋转 1 周。在此期间，时针一直不断移动，不会出现读值跳动或不连续的情形。现在将它与数字时钟比较一下。数字时钟仅显示小时和分钟，因此是以分钟作为间隔时间。它会一下子从 11:54 跳至 11:55。数字信号同样具备离散和量化的特性。通常，离散信号具有两个可能的值（高或低，1 或 0 等），因此信号会在这两个可能的值之间上下跳动。

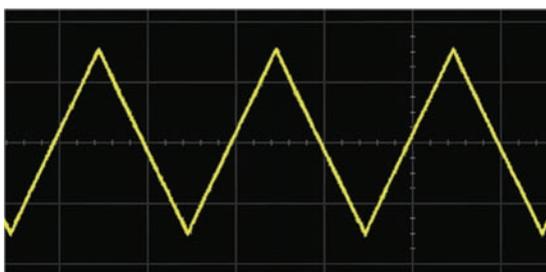


图 5. 三角波

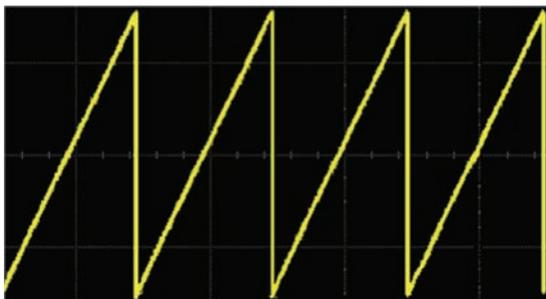


图 6. 锯齿波

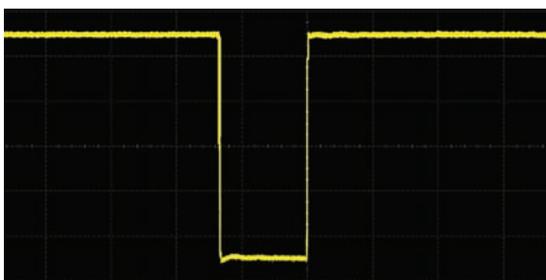


图 7. 脉冲

什么是示波器，您为什么需要它？

信号完整性

示波器的主要用途是精确地显示电子信号。因此，信号完整性显得非常重要。信号完整性是指示波器重建波形并且精确显示原始信号的能力。由于在示波器的波形不同于真实信号时，测试毫无意义，所以信号完整性低的示波器是没有价值的。但

是，无论示波器的性能有多高也无法完全再现真实信号。这是因为当您把示波器连接到电路时，示波器就会变成电路的一部分。换言之会有一些负载效应产生。仪器制造商虽然尽力将负载效应降至最低，但就某种程度而言它们仍然会存在。

什么是示波器，您为什么需要它？（续）

示波器的外观

一般，现代示波器的外观与图 8 中的示波器相似。然而示波器种类繁多，您的示波器看起来或许会与之不尽相同。尽管如此，大多数示波器都具备一些基本特性。多数示波器的前面板大致可分为几个区域：通道输入、显示屏、水平控制、垂直控制以及触发控制。如果您的示波器未配备 Microsoft Windows 操作系统，那么它很可能会提供一组功能键，用于控制屏幕上的菜单。

您可以通过通道输入接头（即插入到探头的连接器）把信号发送到示波器中。显示屏是用来显示这些信号的屏幕。水平和垂直控制区域包含了一些旋钮和按键，可用于控制在显示屏上的信号的水平轴（通常表示时间）和垂直轴（通常表示电压）。触发控制支持您对示波器进行设置，确定在何种条件下时基可以执行采集任务。

示波器的后面板如图 9 所示。

如图所示，许多示波器都拥有与个人计算机相同的连通性，包括光盘驱动器、CD-RW 驱动器、DVD-RW 驱动器、USB 端口、串行端口，以及外部显示器、鼠标和键盘输入等。

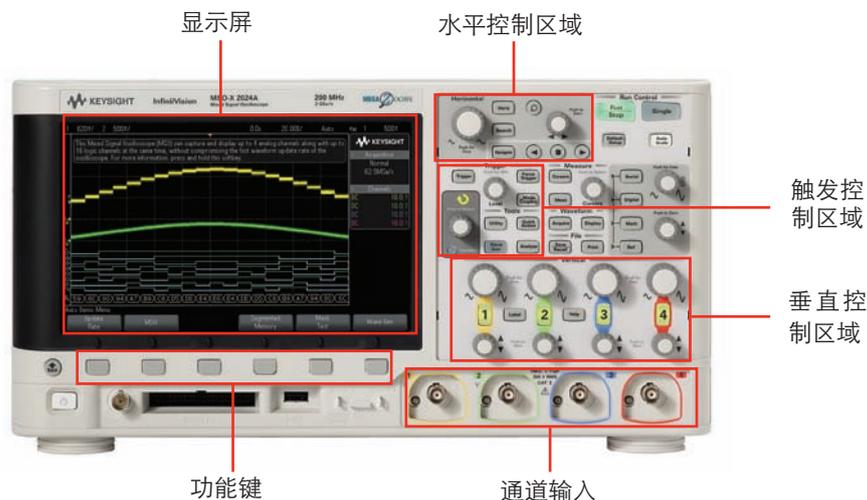


图 8. Keysight InfiniiVision 2000 X 系列示波器的前面板



图 9. Keysight Infiniium 9000 系列示波器的后面板

什么是示波器，您为什么需要它？（续）

示波器的用途

示波器是一种测试与测量仪器，可显示某个变量与另一个变量之间的关系。例如，它可以在显示屏上绘制一个电压（y 轴）—时间（x 轴）图。图 10 显示了一个图表示例。如果您需要测试某个电子器件是否正常工作，这项功能会很有用。如果您知道移除该器件之后信号的波形会发生什么变化，您就可以利用示波器来查看这个器件是否在输出正确的信号。请注意，x 轴和 y 轴会以网格线分成一些格子。您可以利用这种网格线执行手动测量，但新型示波器能够自动执行大多数的测量，并且得到更精确的结果。

示波器的功用不只是绘制电压—时间图。示波器提供多个输入（也称通道），每个通道都能独立工作。因此，您可以将通道 1 连接到某个器件，并将通道 2 连接到另一个器件。随后，示波器可以绘出通道 1 与通道 2 分别测得的电压之间的比较图。该模式称为示波器的 XY 模式，适用于绘制 I-V 图或 Lissajous 图。根据 Lissajous 图的形状可以得知两个信号之间的相位差与频率比。图 11 显示了 Lissajous 图及其代表的相位差 / 频率比。

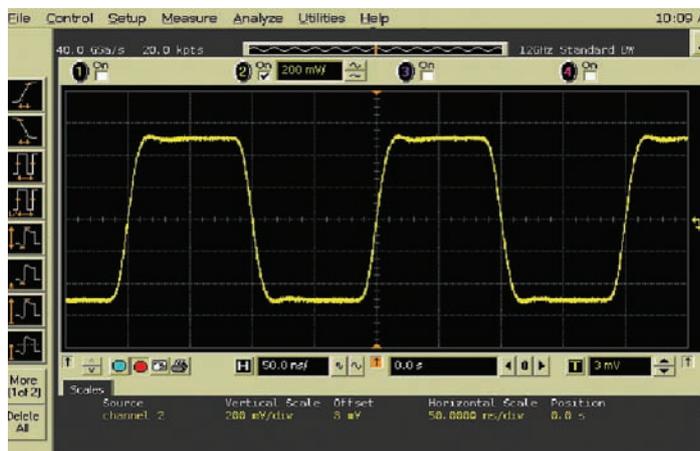


图 10. 在示波器上显示的方波的电压 - 时间图

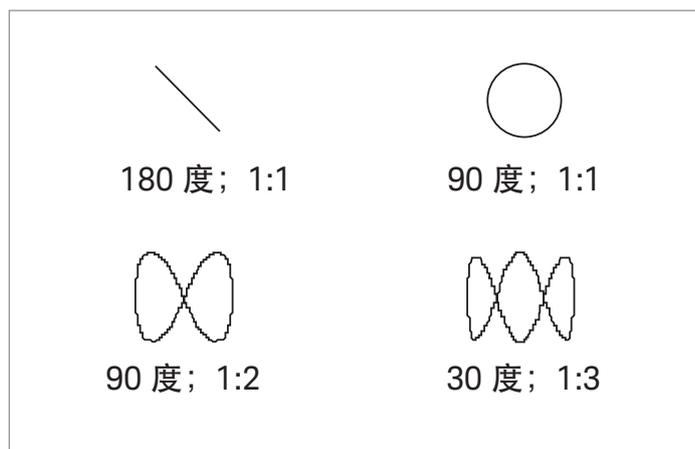


图 11. Lissajous 图形

什么是示波器，您为什么需要它？（续）

示波器的类型

模拟示波器

第一种是模拟示波器，它使用阴极射线管来显示波形。屏幕上涂有荧光物质，只要被电子束集中就会发光。当连续的荧光点亮起时，您可以看到信号的重现图形。为了使示波器稳定地显示波形，必须使用触发。当显示屏上的整个波形迹线完成时，示波器会等到特定的事件发生后（例如，上升沿超过某个电压值）再次开始显示迹线。未经触发的显示画面是没有用处的，因为它显示的波形并不稳定（同样适用于下面将会讨论的 DSO 和 MSO 示波器）。

模拟示波器非常实用，因为荧光点会继续发光一段时间而不会马上消失。您可以在几个彼此重叠的示波器迹线上看到信号的毛刺或不规则性。由于当电子束击中屏幕时便会显示波形，所以显示信号的亮度与实际信号的亮度有关。这使显示屏与三维显示屏类似（换句话说，x 轴代表时间，y 轴代表电压，而 z 轴则代表亮度）。

模拟示波器的不足之处是无法使显示画面“固定”，从而使波形停留较长的时间。当荧光物质不再发光时，该部分的信号也随之消失。此外，您无法自动执行波形测量，必须使用显示屏上的网格线进行手动测量。电子束在进行水平扫描和垂直扫描时存在一个速度上限，这会导致模拟示波器可显示的信号类型也十分有限。尽管模拟示波器目前还拥有不少用户，但其销量大不如前。数字示波器已经成为用户的主流选择。

数字存储示波器（DSO）

数字存储示波器（通常称为 DSO）是为了弥补模拟示波器的诸多不足而发明的。DSO 输入一个信号，并通过模数转换器将其数字化。图 12 显示了是德科技数字示波器采用的一种 DSO 体系结构。

衰减器会调整波形。垂直放大器会在波形传到模数转换器（ADC）时做进一步的调整。ADC 会对收到的信号进行采样和数字转换，随后将这个数据存入存储器中。触发器会寻找触发事件，而时基会调整示波器的时间显示。在示波器显示信号之前，微处理器系统可以执行您指定的其他后期处理任务。

数据以数字形式表示，可使示波器执行各种波形测量。信号可以无限期地存放在存储器中，也可打印或通过闪存、LAN、USB 或 DVD-RW 传输到计算机中。事实上，您还能通过软件提供的虚拟前面板在计算机上控制和监测示波器。

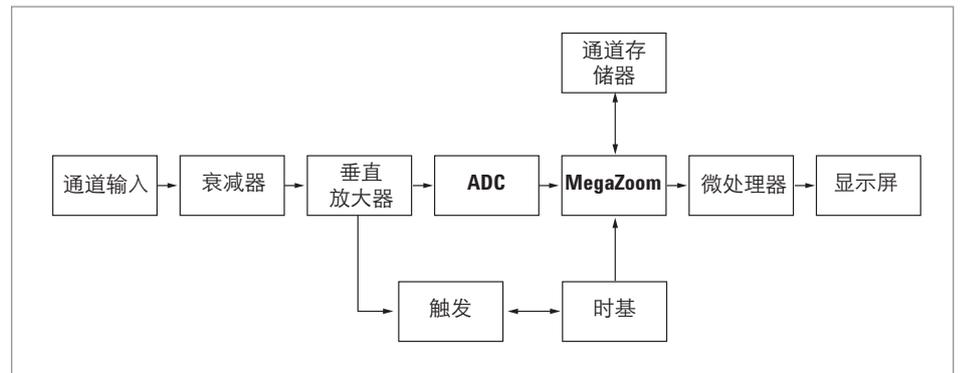


图 12. 数字示波器的体系结构

什么是示波器，您为什么需要它？（续）

混合信号示波器（MSO）

DSO 的输入信号属于模拟信号，通过数模转换器将其数字化。随着数字电路技术的蓬勃发展，同时监测模拟信号与数字信号变得越来越重要。鉴于此，示波器厂商着手生产能够触发和显示模拟与数字信号的混合信号示波器。这类仪器通常具备少数几个模拟通道（2 或 4）和更多的数字通道（参见图 13）。

混合信号示波器的优点是可以触发任意组合的模拟与数字信号，并且显示以相同时基进行关联的所有信号。

便携式 / 手持式示波器

顾名思义，便携式示波器是指外形小巧、利于随身携带的示波器。如果您需要在许多地点或实验室的不同工作台之间移动示波器，那么便携式示波器就是您的最佳选择。图 14 显示了 Keysight InfiniiVision X 系列便携式示波器。

便携式示波器的优点是轻便易携带，可快速打开和关闭，易于使用。它们的性能通常不如大型示波器全面，但 Keysight InfiniiVision 2000 和 3000 X 系列扭转了这一劣势。它们不仅具备便携式示波器的便携性与易用性，还拥有足够强大的功能，能够应对目前大多数的调试需求（带宽高达 6 GHz）。

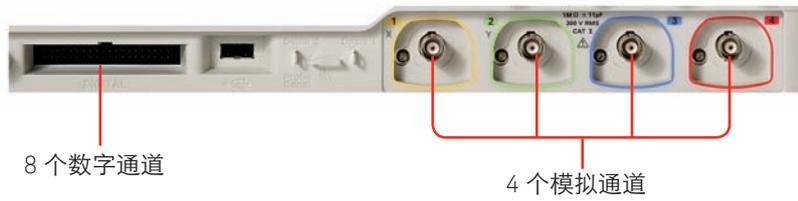


图 13. 混合信号示波器的前面板输入提供了 4 个模拟通道和 8 个数字通道



图 14. Keysight InfiniiVision 2000 X 系列便携式示波器

什么是示波器，您为什么需要它？（续）

示波器的类型

经济型示波器

经济型示波器的价位适中，但其性能逊于高性能示波器。这类示波器常用于大学的实验室中，主要优势就是低价位。您可以适中的价格买到非常实用的示波器。

高性能示波器

高性能示波器可提供最佳的性能。当用户需要高带宽、快速采样率和更新速率、较大存储器深度以及广泛的测量功能时，通常会选择这种示波器。图 15 显示了 Keysight Infiniium 90000A 系列高性能示波器。

高性能示波器的主要优势是支持您适当地分析各种信号，提供多种应用软件和工具，使分析现有技术变得简单而快速。它的劣势主要是在它的价格和体积上。

示波器的使用范围

凡是需要测试或应用电子信号的公司几乎都会用到示波器。因此，示波器的应用范围极为广泛：

- 汽车技术人员通过示波器来诊断汽车的电气问题。
- 大学实验室使用示波器向学生教授电子知识。
- 全球各地的研究组都拥有示波器。
- 手机制造商使用示波器来测试信号的完整性。
- 军事和航空航天行业使用示波器来测试雷达通信系统。
- 研发工程师使用示波器来测试和设计新的技术。
- 示波器也可用于一致性测试。例如，用于确保 USB 和 HDMI 的输出符合某些标准。

示波器的用途十分广泛，以上只是其中的几种。它的确是一种功能强大的通用仪器。

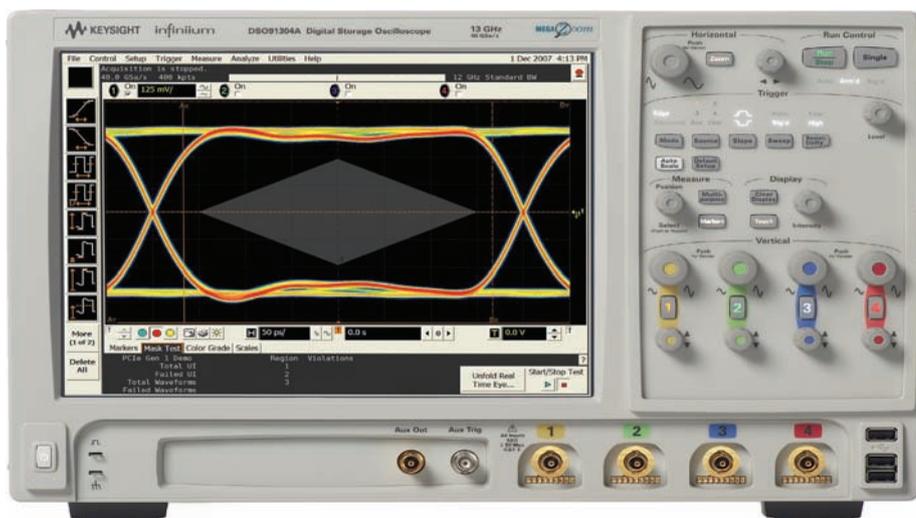


图 15.Keysight Infiniium 90000A 系列示波器

基本的示波器控制与测量

基本的前面板控制

通常，您必须使用前面板上的旋钮和按键来操作示波器。除了前面板上提供的控制机构以外，许多高端示波器现在还配有操作系统，因此可以像计算机一样来操作。您可以为示波器连接鼠标和键盘，并使用鼠标通过显示屏上的下拉式菜单和按键来调整控制。此外，有些示波器还配有触摸屏，只需通过触笔或指尖就能访问菜单。

开始之前 ...

当您第一次使用示波器时，请先检查您要使用的输入通道是否已经打开。然后找到并按下 [Default Settings]，使示波器恢复到默认状态。接着再按下 [Autoscale] 键，自动设定垂直和水平刻度，以便在显示屏上完美地呈现波形。以此作为起点，然后再做些必要的调整。如果您无法追踪到波形或在显示波形方面出现困难，请重复以上步骤。大部分示波器的前面板都至少包括四个主要区域：垂直和水平控制，触发控制以及输入控制。

垂直控制

示波器的垂直控制结构通常集中在一个标示为 Vertical 的区域内，这些控制结构可以让您调整显示屏的垂直刻度。例如，其中有一个控制机构可以指定显示屏网格的 y 轴上的每格（刻度）电压。您可以通过降低每格电压来放大显示波形，或提高每格电压来缩小显示波形。另外还有一个控制机构可以调整波形的垂直偏移，它可以让整个波形在显示屏上往上或往下平移。图 16 是 Keysight InfiniiVision 2000 X 系列示波器的垂直控制区域。

水平控制

示波器的水平控制机构通常集中在在前面板上标示为 Horizontal 的区域。这些控制机构可以让您调整显示屏的水平刻度。其中有一个控制机构可以指定 x 轴的每格时间。同样，只要减少每格时间，您就可以放大显示较窄时间范围内的波形。另外还有一个控制机构可调整水平延迟（偏置），它可以让您扫描一个时间范围。图 17 是 Keysight InfiniiVision 2000 X 系列示波器的水平控制区域。



图 16. Keysight InfiniiVision 2000 X 系列示波器前面板上的垂直控制区域



图 17. Keysight InfiniiVision 2000 X 系列示波器前面板上的水平控制区域

基本的示波器控制与测量 (续)

触发控制

如前所述，在您的信号上进行触发有助于显示一个稳定、可用的波形，并使您可以查看感兴趣的波形部分。触发控制可使您选择垂直触发电平（例如您希望示波器触发时所在的电压）和不同的触发功能。常见的触发类型包括：

边沿触发

边沿触发是最常见的一种触发模式。当电压越过某个阈值时，触发就会发生。您可以选择在上升沿或下降沿触发。图 18 是在上升沿触发的图形显示。

毛刺触发

在毛刺触发模式下，当事件或脉冲宽度大于或小于指定的时间长度时就会进行触发。这项功能对于发现随机毛刺或错误非常有用。如果这些毛刺不常出现，可能会很难看到，但只要使用毛刺触发您就可以捕获到许多这类错误。图 19 是 Keysight InfiniiVision 6000 系列示波器捕获到的一个偶发毛刺。

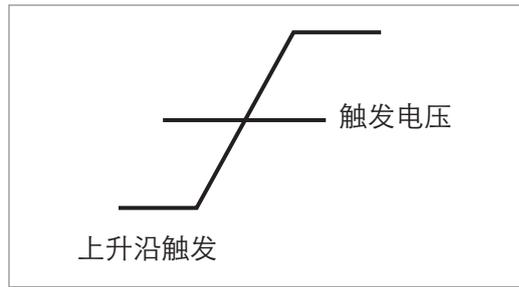


图 18. 当您在上升沿进行触发时，只要达到阈值，示波器就会进行触发

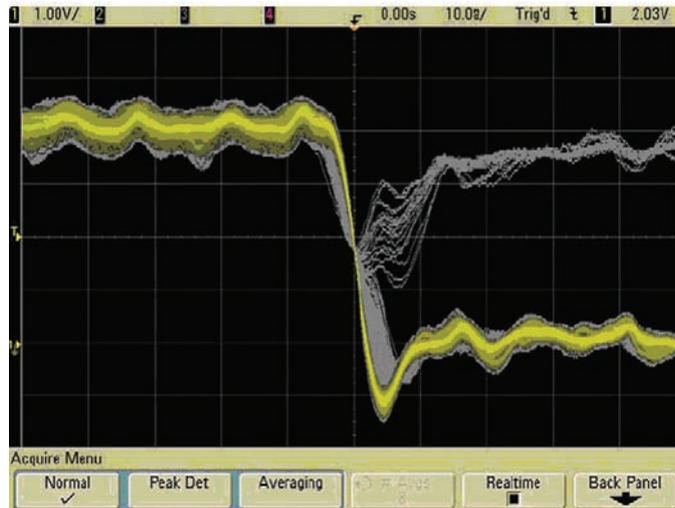


图 19. Keysight InfiniiVision 6000 系列示波器捕获到的一个偶发毛刺。

基本的示波器控制与测量 (续)

脉冲宽度触发

当您寻找特定脉冲宽度时，脉冲宽度触发与毛刺触发类似。但这项触发功能更普遍，因为您可以在任何指定宽度的脉冲上触发，并可选择想要在脉冲的哪个极性（负或正）上触发。您也可以设定触发的水平位置，以观察触发前后所发生的事。例如，您可以执行毛刺触发来找出错误，然后查看触发前的信号以了解造成毛刺的原因。如果将水平延迟设置为 0，则触发事件将会以水平方向出现在屏幕中间。在触发之前发生的事件会出现在屏幕的左边，在触发之后立即发生的事件会出现在右边。您也可以设置触发耦合，以及想要触发的输入信号源。您不一定非得在您的信号上触发，而是还可以在相关的信号上触发。图 20 是示波器前面板的触发控制区域。

输入控制

示波器通常提供 2 或 4 个模拟通道。这些通道会加以编号，而且每个通道通常会对应一个相关的按键，供您打开或关闭通道。另外，您还可以选择指定的交流或直流耦合。如果选择直流耦合，则输入整个信号。反之，交流耦合会阻隔直流分量，并将波形的中心设在大约 0 V（接地）。此外，您还可以通过选择键为每个通道指定探头阻抗。您也可以通过输入控制机构选择采样类型。信号的采样有两种基本的方法：

实时采样

实时采样会对波形进行频繁的采样，因此在每次采集时都能捕获到完整的波形图像。借助实时采样功能，当前的一些高性能示波器能够单次捕获高达 33-GHz 带宽的信号。

等效时间采样

等效时间采样必须历经多次采集才能建立波形。它会在第一次采集时采样信号的某个部分，在第二次采集时采样另一部分，依此类推。随后它会将所有的信息结合在一起以重建波形。等效时间采样适用于高频信号，这些信号对实时采样来说速度太快 (>33 GHz)。



图 20. Keysight InfiniiVision 2000 X 系列示波器前面板上的触发控制区域

基本的示波器控制与测量 (续)

功能键

您可以在未配备 Windows 操作系统的示波器上找到一些功能键 (如图 8 所示), 利用这些功能键来访问示波器显示屏上的菜单系统。图 21 列举了按下功能键时弹出的一种快捷菜单。该菜单用于选择触发模式。您可以连续按动多功能键以切换不同的选项, 或者利用前面板上的旋转变到您想要的选项。

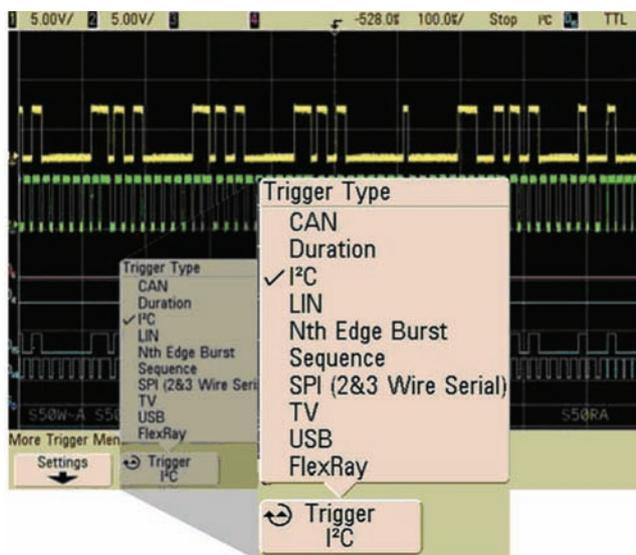


图 21. 在触发菜单下, 按下功能键时出现的 Trigger Type (触发类型) 菜单。

基本的示波器控制与测量 (续)

基本测量

数字示波器可以支持您执行广泛的波形测量，测量的复杂程度和范围取决于示波器的功能组合。图 22 是 Keysight 8000 系列示波器的空白屏面。请注意，在屏幕的最左边有一排测量按键 / 图标，使用鼠标将这些图标拖曳到波形上，示波器便可计算出测量结果。这些图标非常直观地显示了可以执行哪一种测量计算，因此用起来非常方便。

许多示波器都会提供以下的基本测量：

峰峰值电压

这项测量可以计算单个波形周期内的高低电压之间的电压差。

电压有效值 (RMS 电压)

这项测量计算波形的 RMS 电压，该值可进一步用来计算功率。



图 22. Keysight 示波器的空白屏面

上升时间

这项测量旨在计算信号从低电压上升到高电压所花的时间。通常是计算波形从峰峰值电压的 10% 变到 90% 所用的时间。

脉宽

在进行正脉宽测量时，计算脉冲宽度的方法是，计算波形从峰峰值电压的 50% 上升到最大电压再回落到 50% 所需的时间。负脉宽测量则是计算波形从峰峰值电压的 50% 降到最小电压再回到 50% 所需的时间。

周期

这项测量旨在计算波形的周期。

频率

这项测量旨在计算波形的频率。

以上是许多示波器都会提供的测量项目，但大多数示波器所能执行的测量并不限于此。

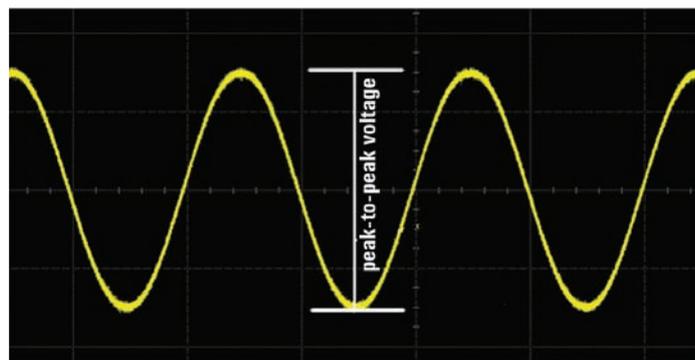


图 23. 峰峰值电压

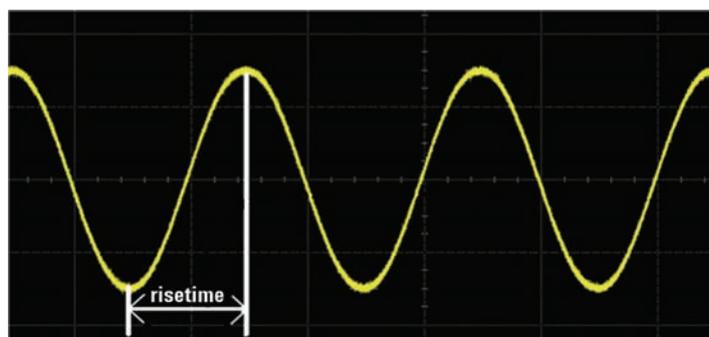


图 24. 上升时间示例 (显示峰峰值电压从 0% 到 100% 所需的时间，而不是通常设置的 10% 到 90%)

基本的示波器控制与测量（续）

基本的运算功能

除了前面讨论的测量功能以外，您还可以针对您的波形执行许多数学运算，包括：
包括：

傅立叶变换

通过傅立叶变换可以知道信号由哪些频率组成。

绝对值

此项运算功能可以帮助显示波形的绝对值（以电压值表示）。

积分

这个功能可以计算波形的积分。

加减运算

您可以利用加减运算将多个波形相加或相减，并示出运算结果所产生的信号。

再次强调，以上只是示波器所提供的一小部分测量与运算功能。

重要的示波器性能特性

示波器的许多特性都会明显影响仪器的性能，进而决定您对设备做出准确测试的能力。本节介绍这些最基本的特性，也会帮助您熟悉示波器的术语，并说明如何明智地挑选最符合您需求的示波器。

带宽

带宽是示波器的一项最重要特性，因为它表示了示波器在频域内的具体范围。换言之，带宽决定了您能够准确显示与测试的信号范围（以频率表示）。带宽以赫兹为测量单位。没有足够的带宽，您的示波器将无法准确再现真实的信号。例如，您可能会发现信号的幅度是错的、信号边沿并不稳定或有波形细节丢失。示波器带宽是指将信号衰减 3 dB 时的最低频率。我们也可以从另外一个角度来解释带宽：如果您在示波器中输入一个纯正弦波，当显示的幅度达到真实信号幅度的 70.7% 时的最小频率即为带宽。

有关示波器带宽的详细信息，请参见应用指南《为您的应用评测示波器带宽》。

通道

通道是指示波器的独立输入。示波器通道的数量介于 2 到 20 个之间，通常是 2 或 4 个。通道所传送的信号类型也不尽相同。有些示波器只具有模拟通道（这些仪器称为 DSO——数字信号示波器），另一些示波器同时具有模拟通道和数字通道，称为混合信号示波器（MSO）。例如，Keysight InfiniiVision 系列 MSO 提供 20 个通道，其中 16 个是数字通道，4 个是模拟通道。

请确保有足够的通道供应用使用。如果您只有两个通道，但必须同时显示 4 个信号，显然会出问题。

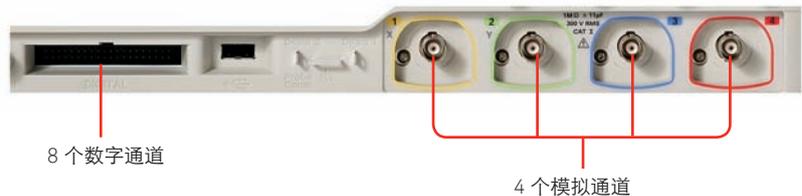


图 25. Keysight MSO 2000 系列示波器上的模拟和数字通道

重要的示波器性能特性（续）

采样率

示波器的采样率是指每秒可采集的样本数量。建议您选择采样率至少比带宽大 2.5 倍的示波器，但采样率最好为带宽的 3 倍以上。

在评估示波器制造商所宣传的采样率技术指标时必须谨慎，厂商通常会列出示波器可达到的最大采样率，但这样的采样率通常只有在使用一个通道的情况下才能达到。如果同时使用多个通道，采样率就会下降。因此，请确认在使用多少个通道的情况下，仍可维持厂商所声称的最大采样率。如果示波器的采样率太低，您在示波器上所看到的信号可能不是很精确。例如，假设您想查看一个波形，但示波器的采样率每个周期只能产生两个数据点（图 26）。

现在假设是相同的波形，但是采样率提高为每个周期采样 7 次（图 27）。

显然每秒采集的样本越多，显示的波形就越清晰、准确。如果针对以上的例子持续提高波形的采样率，则采样数据点最终看起来几乎是连续的。事实上，示波器会使用 $\sin(x)/x$ 内插法来填满采样数据点之间的空间。

有关示波器采样率的更多信息，请参见应用指南《评测示波器采样率与采样保真度的关系 -- 如何进行最精确的数字测量》。

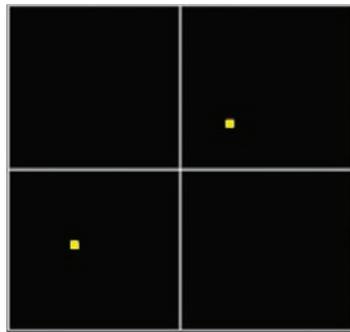


图 26. 采样率每个周期产生 2 个数据点的波形

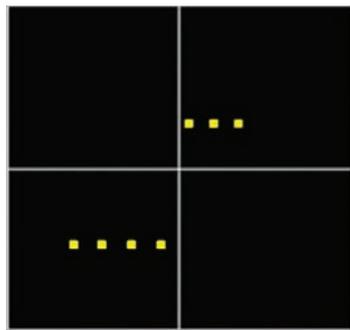


图 27. 采样率每个周期产生 7 个数据点的波形

重要的示波器性能特性 (续)

存储深度

如前所述，数字示波器使用 A/D（模拟 / 数字）转换器对输入的波形进行数字转换，经数字转换的数据会存储到示波器的高速存储器中。存储深度是指可以存储的采样或数据点的数量，也就是可以存储数据的时间长度。

存储深度在示波器的采样率方面扮演着相当重要的角色。在理想条件下，不论示波器如何设置，采样率都应维持不变。但这样的示波器在很大的每格时间（时间 / 格）设置下需要相当大存储器，而其售价将会超出许多客户所能负担的范围。实际上，只要增加时间范围，采样率便会下降。存储器深度至关重要，因为示波器的存储器深度越大，您以全采样速

率来采集波形的时间就越久。我们可以用数学算式来表示：

$$\text{存储器深度} = (\text{采样率}) (\text{显示屏的时间设置范围})$$

因此，如果想在较长的时间范围内显示高分辨率数据点，那么就需要使用深存储器。

确认示波器在最深的存储器深度设置时的性能也很重要。在此模式下示波器的性能通常会急剧下降，因此许多工程师只有在必要的时候才会使用深存储器。

有关设备存储器深度的更多信息，请参见应用指南 *Demystifying Deep Memory Oscilloscopes*。

重要的示波器性能特性（续）

波形捕获率

捕获率是指示波器采集和更新波形显示的速率。虽然肉眼看上去好像示波器正在显示“作用中”的波形，但那是因为更新的速度太快，以致肉眼无法察觉到变化。事实上，每次波形采集之间都会出现一段静寂时间（也称死区时间）（见图 28），此时波形的某个部分并不会显示在示波器上。因此，如果在这段时间出现一些偶发事件或毛刺，您是不会看见的。

显而易见，快速的捕获率非常重要。捕获率越快，意味着死区时间越短，可捕获到偶发事件或毛刺的机率就越高。

例如，您正在显示的信号中，如果每 50,000 个周期出现一次毛刺，而您的示波器的捕获率是每秒 100,000 个波形，那么平均每秒可以有两次捕获到这个毛刺。但如果示波器的捕获率是每秒 800 个波形，那么平均要花一分钟才能捕获到这个毛刺。这将必须等待较长的时间。

在比较不同示波器的更新速率技术指标时必须小心。有些制造商在广告中所声称的更新速率，其实必须是在特殊的采集模式下才能达到。这些采集模式可能会严重限制示波器的性能，例如存储深度、采样率和波形的重建因此，最好能确认示波器在最大更新速率下显示波形时的性能。

示波器连通性

示波器提供了多种连通功能。有些示波器会配备 USB 端口、DVD-RW 光驱、外置硬盘和外部显示器端口等。以上所有的特性都可以帮助您更容易地使用示波器和传输数据。有些示波器还会配备操作系统，让您的示波器像个人计算机一样运行。在连接了外部显示器、鼠标和键盘后，您就可以像把示波器嵌入到电脑中一样来查看示波器的显示画面和进行控制操作。在许多情况下，您也可以通过 USB 或 LAN 连接，将数据从示波器传送到 PC。

良好的连通性特性可节省大量宝贵的时间，协助您更轻松地完成工作。例如，您可以迅速而完整地将数据传送到笔记本电脑，或与不同地点的同事分享数据。您也可以通过对示波器进行远程控制。在很多情况下，用户都需要高效地传输数据，因此购买具备出色连通特性的示波器才是明智的投资。

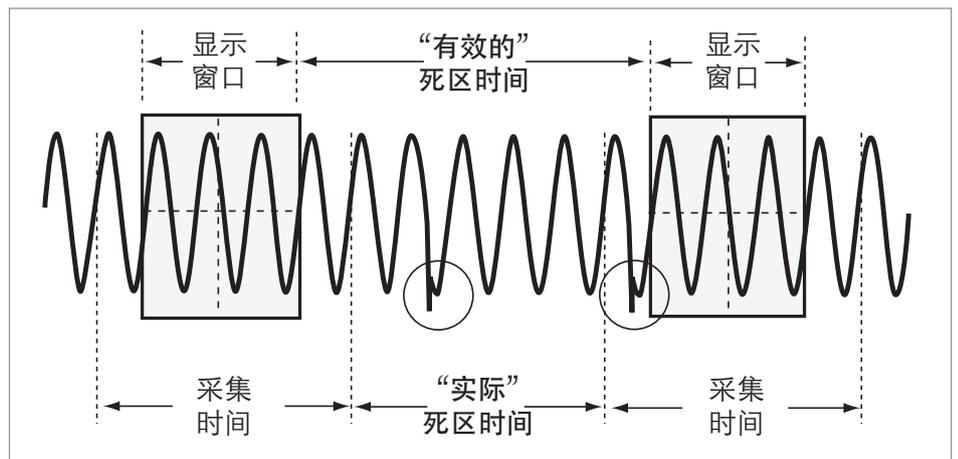


图 28. 静寂时间（死区时间）示意图圆圈指出的偶发事件将不显示

示波器探头

示波器决定着显示信号和分析信号的准确程度，而用来连接示波器与被测件（DUT）的探头则与信号完整性息息相关。如果您使用的是 1 GHz 的示波器，但探头却只支持 500 MHz 的带宽，那么您将无法充分利用示波器的带宽。本节讨论探头的类型及每种探头所适合的应用。

负载

没有任何一个探头可以完美地复制您的信号，因为当您把探头连接到电路上时，探头就会变成该电路的一部分。电路中的部分电能会流经探头，我们称之为负载。负载共有三种：电阻、电容和电感。

电阻负载

电阻负载会造成显示的信号出现错误的幅度，也可能在连接探头时导致故障的电路开始发生作用。探头的电阻最好比信号源电阻大 10 倍以上，以便使幅度降低到 10% 以下。

电容负载

电容负载会导致上升时间变慢，并使带宽变小。为了减少电容负载，探头的带宽至少应是信号带宽的 5 倍。

电感负载

电感负载在您的信号中会以振铃形式出现。它是由探头接地导线的电感效应引起的，因此请尽可能选用最短的导线。

无源探头

无源探头只包含无源器件，不需要使用电源便可运行。这类探头在探测带宽小于 600 MHz 的信号时很有用，一旦超过这个频率，就需使用另一种探头（有源探头）。

无源探头通常价格较低，且兼具易于使用和坚固耐用的特性。它是一种精确的多功能探头。无源探头的种类包括低阻分压探头、补偿探头、高阻分压探头及高压探头。

无源探头通常会产生高电容负载和低电阻负载。

有源探头

使用有源探头时，必须通过电源对探头内部的有源器件供电。有时，探头会通过 USB 电缆连接、外部机箱或示波器主机供电。这类探头使用有源器件来放大或调整信号。有源探头可支持更高的信号带宽，因此很适合高性能的应用。

有源探头的价格要比无源探头高出许多，不但耐用性差，探针也比较重。但这类探头可以提供最佳的电阻和电容负载组合，并可让您测试更高频率的信号。

Keysight InfiniiMax 系列探头属于高性能探头。它们在探针中使用一个阻尼电阻器，可以大幅减少负载效应。此外，它们也提供非常高的带宽。



图 29. 无源探头



图 30. 有源探头

示波器探头（续）

电流探头

电流探头可用来测量流经电路的电流，它们通常体积较大，且带宽有限（100 MHz）。

探头附件

与探头相配套的还有各种不同类型的探针，从可以包裹缆线的粗大型探针，到细如发丝的纤细型的探针应有尽有。有了这些探针，您就可以更轻松接触测试电路或被测件的各个部分。



图 31. 电流探头

结论

在当今的科技领域中，示波器是一种功能强大的工具。它们适用于非常广泛的应用，并且较之于其他的测试与测量工具拥有许多优点。阅读了本应用指南之后，您应该已对示波器的基本原理有了较为清晰的认识。如能再接再厉，阅读一些更高级的专题文章，相信您在以后使用示波器时会更加得心应手。

有关是德科技示波器的更多信息，请访问 www.keysight.com/find/scopes。



是德科技示波器

从 20 MHz 至 > 90 GHz 的多种型号 | 业界领先的技术指标 | 功能强大的应用软件

myKeysight

myKeysight

www.keysight.com/find/mykeysight

个性化视图为您提供最适合自己的信息！



www.axistandard.org

AdvancedTCA® Extensions for Instrumentation and Test (AXIe) 是基于 AdvancedTCA 标准的一种开放标准，将 AdvancedTCA 标准扩展到通用测试半导体测试领域。是德科技是 AXIe 联盟的创始成员。



www.lxistandard.org

局域网扩展仪器 (LXI) 将以以太网和 Web 网络的强大优势引入测试系统中。是德科技是 LXI 联盟的创始成员。



www.pxisa.org

PCI 扩展仪器 (PXI) 模块化仪器提供坚固耐用、基于 PC 的高性能测量与自动化系统。



3 年保修

www.keysight.com/find/ThreeYearWarranty

是德科技卓越的产品可靠性和广泛的 3 年保修服务完美结合，从另一途径帮助您实现业务目标：增强测量信心、降低拥有成本、增强操作方便性。



是德科技保证方案

www.keysight.com/find/AssurancePlans

5 年的周密保护以及持续的巨大预算投入，可确保您的仪器符合规范要求，精确的测量让您可以继续高枕无忧。



www.keysight.com/go/quality

是德科技公司

DEKRA 认证 ISO 9001:2008

质量管理体系

是德科技渠道合作伙伴

www.keysight.com/find/channelpartners

黄金搭档：是德科技的专业测量技术和丰富产品与渠道合作伙伴的便捷 供货渠道完美结合。

www.keysight.com/find/scopes

如欲获得是德科技的产品、应用和服务信息，请与是德科技联系。如欲获得完整的产品列表，请访问：www.keysight.com/find/contactus

是德科技客户服务热线

热线电话: 800-810-0189、400-810-0189

热线传真: 800-820-2816、400-820-3863

电子邮件: tm_asia@keysight.com

是德科技 (中国) 有限公司

北京市朝阳区望京北路 3 号是德科技大厦

电话: 86 010 64396888

传真: 86 010 64390156

邮编: 100102

是德科技 (成都) 有限公司

成都市高新区南部园区天府四街 116 号

电话: 86 28 83108888

传真: 86 28 85330931

邮编: 610041

是德科技香港有限公司

香港北角电器道 169 号康宏汇 25 楼

电话: 852 31977777

传真: 852 25069233

上海分公司

上海市虹口区四川北路 1350 号

利通广场 19 楼

电话: 86 21 26102888

传真: 86 21 26102688

邮编: 200080

深圳分公司

深圳市福田区福华一路 6 号

免税商务大厦裙楼东 3 层 3B-8 单元

电话: 86 755 83079588

传真: 86 755 82763181

邮编: 518048

广州分公司

广州市天河区黄埔大道西 76 号

富力盈隆广场 1307 室

电话: 86 20 38390680

传真: 86 20 38390712

邮编: 510623

西安办事处

西安市碑林区南关正街 88 号

长安国际大厦 D 座 501

电话: 86 29 88861357

传真: 86 29 88861355

邮编: 710068

南京办事处

南京市鼓楼区汉中路 2 号

金陵饭店亚太商务楼 8 层

电话: 86 25 66102588

传真: 86 25 66102641

邮编: 210005

苏州办事处

苏州市工业园区苏华路一号

世纪金融大厦 1611 室

电话: 86 512 62532023

传真: 86 512 62887307

邮编: 215021

武汉办事处

武汉市武昌区中南路 99 号

武汉保利广场 18 楼 A 座

电话: 86 27 87119188

传真: 86 27 87119177

邮编: 430071

上海MSD办事处

上海市虹口区欧阳路 196 号

26 号楼一楼 J+H 单元

电话: 86 21 26102888

传真: 86 21 26102688

邮编: 200083



本文中的产品指标和说明可不经通知而更改

© Keysight Technologies, 2011 – 2014

Published in USA, December 17, 2014

出版号: 5989-8064CHCN

www.keysight.com