

高速测量需要相应的记录长度



目前高速串行总线一致性测试和验证工作的现状之一就是，对捕获的信号进行分析的需求大量增加。眼图、抖动分析、调制和时钟测量以及各种信号质量测量等技术要求都在影响着示波器。高性能的示波器不仅要能进行捕获还要能够进行分析（以高取样速率采集的详细信号数据）。

同样重要的是，要记录的时间量（以时钟周期、码流位数或单位间隔来表示）也在增多。记录长度不足的示波器可能无法准确有效地传达结果，或者效率不高，或者甚至根本无法实现。

取样速率、时间和记录长度

在前面板之后，在数字存储示波器（DSO）体系结构中包括了捕获系统（含触发器）、显示系统和存储器。此存储器存储捕获过程中累积的取样点。存储器的容量当然是有限的，目前带宽最大的示波器的存储器深度是从 250K（25 万点）到 64M（6400 万点）。

专有的体系结构的不同选择决定了存储器的最终大小。有些示波器系统将重要的高速元件，如 A/D、信号分离器、存储器，集成在单一个芯片上。由于太多功能在分享芯片空间，因此这种方法限制了高速存储器的深度。使用此体系结构的仪器可以用较慢的“外部”存储器补充小的高速存储器，“外部”存储器不能以高取样速率存储数据。

另一种方法是，使用可获得的最快的半导体技术〔尤其是硅锗（SiGe）〕集成示波器的“前端”，并使用专用的高速取样存储器。此体系结构可以同时支持示波器的最大取样速率、带宽和记录长度，并且取样存储器不受硅空间因素的制约。Tektronix TDS6000C 系列采用了此配置，提供存储器深度可达 64M，且访问的仪器取样速率为 40 GS/s 的高速取样速率。

此存储器记录的是一个时间段发生的事件，因此它实际存储的是“时间”。使用 DSO 捕获信号时，取样速率和存储时间成反比例关系。也就是说：如果提高取样速率（即更频繁地取样），存储器将会更快填满。根据奈奎斯特定律（Nyquist）原理，随着测量的信号频率增加，取样速率也需要提高^{*1}。

为便于讨论起见，我们假定有这样一个存储器，其存储容量为 1000000（1M）点；这个容量小于多数实验室示波器，但足以说明此概念。如果以每秒 100000 个样本的速率捕获 50 kHz 的信号，那么，存储器将在 10 秒后填满。

接下来，假定将取样速率提高到每秒 1000000 个样本（1 MS/s）。这个速度足以正确地捕获频率为 500 kHz 的信号。对于这个新的取样速率，存储器仅用 1 秒便可填满。

现在，再将原始的采样频率乘以 40000。取样速率变为每秒 400 亿个样本，这是采用目前最快的串行传输标准所需的范围。难以想像 1M 存储器会得出一个什么样的时间结果！该存储器仅可存储 25 微秒的信号数据，对受观察的信号频率来说微不足道。

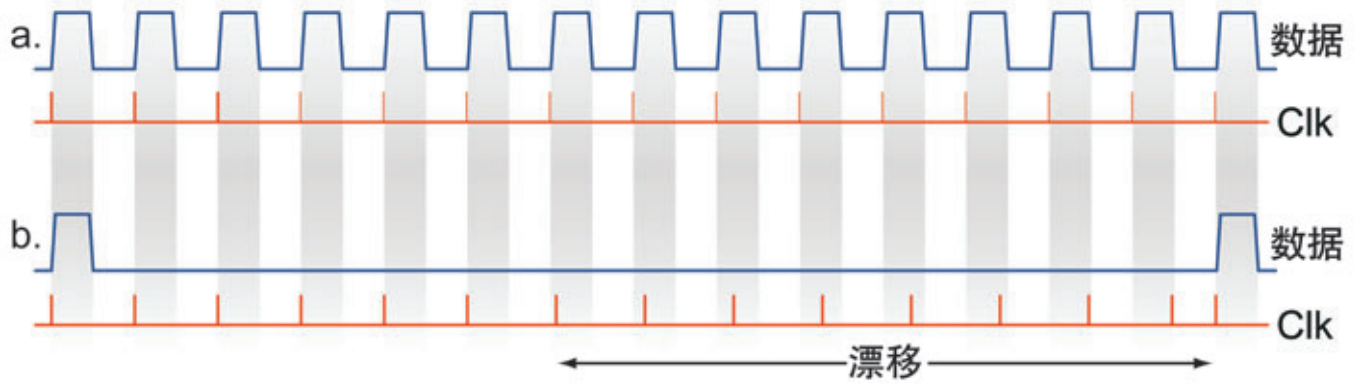
伪随机位流对示波器的速度和深度提出了更高要求

对采用串行总线技术（如 SATA II 和 PCI Express）的设备，其严格的验证和故障排除测量取决于存储长数据码型的能力。这意味着需要充足的存储器深度。

这种情形的一个示例是 PRBS2^x-1 码型。该伪随机位流（PRBS）工具主要通过一个完整的二进制值序列进行循环，其中总数可以是 2 的任意次幂（从 2⁷ 到 2³¹）。如果短码型足以摹拟 8b/10b 编码中出现的值范围，则有时可使用 PRBS2⁷-1。

PRBS2⁷-1 码型有时用于演示示波器捕获和分析高要求数字码型的能力。但是，PRBS2⁷-1 模式在 20 GS/s 的速率时仅具有 127 位（1016 个存储取样点），因此对示波器的存储器要求极低。

^{*1} Nyquist 理论要求采集系统必须以比取样信号中最高有效频谱（频率）分量快一倍以上的取样速率进行取样，以便避免假波现象（失真的一种形式）。



► 图 1. PRBS23-1 码型的不同状态可以对时钟产生不同的影响。波形 (a) 每单位间隔状态都发生变化，保持嵌入的时钟同步。波形 (b) 是一种最坏的情形，有许多使时钟偏移的连续相同数字。完整的 PRBS23-1 捕获将采集这些状态和其它所有状态，并帮助确认相应的错误。

PRBS23-1 码型传达了遵从 SONET 和 10 GB 以太网等标准的高速串行元素值的实际范围，还传达了未压缩的数字视频值的实际范围。该序列包含 8388607 个二进制值，这个数等于 2^{23} 减去 1。PRBS23-1 码型对被测试设备的要求近似于复杂系统中随机数据的效果。

完备的 NRZ（不归零制）码型包括一长串连续相同的数字（CID），其行为与信号中低频分量类似。尽管有一些捷径，可以依赖较少的“更紧迫的”二进制状态来测试最坏情形的行为，但仍然无法代替实际运行所有可能的数据字二进制组合。这正是 PRBS23-1 模式所做的工作。数字设备供应商^{*2} 已经将此码型推荐为随机 NRZ 数据的优秀代表。

PRBS23-1 码型尤其适于揭示嵌入时钟的偏移趋势。时钟偏移可以是抖动的源，数字系统中随处发生的抖动可能会整体上降低定时容差。

图 1 中的光迹“a”和“b”描述了该情形。这两个波形代表了执行 PRBS23-1 码型时发生的众多二进制状态中的两种（图中没有显示所有位）。光迹“a”是在值 1 和 0 间变化的最好情形。不存在连续相同数字。每个单位间隔都包含一次跃迁，该跃迁可用作嵌入时钟信号的定时基准。

图 1 中的光迹“b”将某个值标识为 CID 位的最大数字（这里为零），其中 CID 位的各端以“1”位为边界的。很明显，这种码型字将不会定期刷新嵌入的时钟。长串的未更改数据不提供同步时的基准边沿。在此循环中，时钟实在太容易发生轻微漂移。成千上万次循环的过程以后，这种漂移会以时间间隔错误或抖动的形式出现。

PRBS23-1 码型推动了对具备存储大量数据的存储能力的示波器的需求。捕获和存储每次触发的整个序列，可以保证能够观察到所有可能的数据组合。缺少任何一点都会漏过某些组合，都可能使异常的时间间隔错误漏过侦测。

当然，码型中每个数据位都需要多个样本来捕获波形，记住这一点很重要；也就是说，存储的样本不同于数据字中的“位”。

^{*2} NRZ 测试码型中的频谱内容，Justin Redd 和 Craig Lyon，（最大集成电路）；EDN 杂志，2004 年 9 月 2 日。

高速测量需要相应的记录长度

► 应用文章

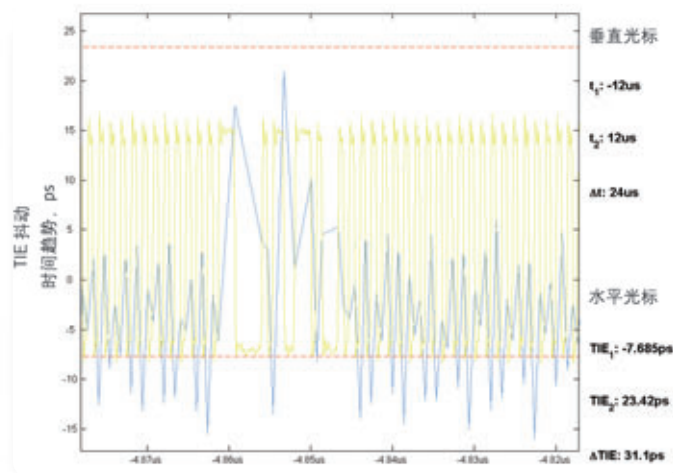
幸运的是，取样速率为 20 GS/s 的示波器适合于在 2.5 Gb/s、3.125 Gb/s 和 5.0 Gb/s 范围内出现的串行技术，最新的 40 GS/s 的仪器还可以处理未来 6.0 Gb/s 及以上的需求。以最大的取样速率运行时，要考虑以下存储器需求：

- 以 3.0 Gb/s 速率运行的 PRBS23-1 码型，可以在大约 2.83 ms 时间内合计传送 8388607 位。取样速率为 20 GS/s 时，该示波器可以存储 5680 万个取样点以呈现数据。
- 以 6.0 Gb/s 速率运行的 PRBS23-1 码型，可在 1.41 ms 时间内合计传送 8388607 位。示波器需要 40 GS/s 的取样速率才能达到最大波形分辨率。为此，需要存储 5680 万个取样点以呈现数据。

足够的记录长度是必不可少的。据称，2M 个点的存储器深度仅可存储大约 PRBS23-1 码型的 3%，几乎不足以全面评估设备对激源的响应。

试图用多次捕获来采集的 PRBS23-1 码型，最多只是一种难以实现的不确定的想法。由于按定义不存在导致触发的边沿过渡，因此边沿触发决不会在 CID 序列过程中发生。即使进行多次捕获，某些码型仍将被不断忽略。

图 2 是串行数据波形的时间间隔错误 (TIE) 图。黄色的光迹为实际的数据。TIE 抖动显示为蓝色。TIE 抖动是对照基准（此处为数据时钟）的边沿抖动测量。该测量揭示了时钟偏移和码型相关的抖动。



► 图 2. 串行数据波形的时间间隔错误图。蓝色光迹表示信号中的时钟偏移和码型相关的抖动。

请注意，此图中最大的 TIE 与某些码型紧密相关。错误不仅源自连续的相同数字的个数，也与特定的码型相关。这证明了测试所有可能的数据组合的重要性，这也正是 PRBS23-1 码型的作用。同时，正如所看到的，PRBS23-1 码型要求很长的记录长度，以捕获所有必需的数据。

多一点详细信息就会影响到存储器的使用。通常将嵌入的时钟恢复为软件（如 Tektronix TDSRT-Eye™）执行的过程的一部分。该软件可以用可变频率响应模拟锁相环 (PLL) 的行为。此算法要求大量循环数据以锁定数据，这将消耗记录长度。锁定 PLL 所需的存储器数量取决于数据率、PLL 的时间常数以及触发器点之前的数据的特定码型。

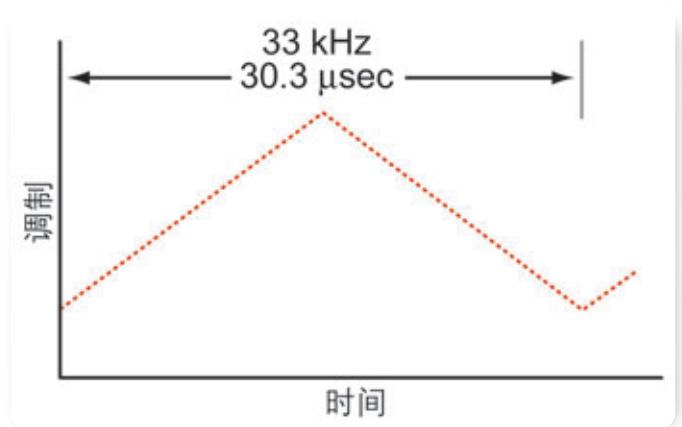
软件时钟恢复所消耗的存储器不能用于波形捕获。如果时钟恢复占用了 5 微秒（2.5 Gb/s 标准下的普通值），总记录长度仅为 12.5 微秒，那么，实际波形数据的容量会受到严格限制。

扩频时钟 — 在同一时间既“慢”又快

长记录长度对于测量低频事件〔如扩频时钟 (SSC)〕调制来说，也是一笔宝贵的财富。如果没有足够的高速存储器深度，甚至无法捕获典型 SSC 时钟实现的一个完整的调制周期。

例如，串行 ATA 规范将 SSC 调频定义为 30 kHz 到 33 kHz。很明显，这个范围完全不同于数据本身的范围，其运行的数据速率为几个 Gb。考虑 SATA 标准中规定的下列要求（也适用于 SATA II）：

- 部署 SSC 之后，所有设备定时（包括抖动、时滞、时钟周期和输出上升/下降时间等）必须都符合现有的非 SSC 规范。
- 有效数据信号的最小单位间隔 (UI) 时间为 666.43 ps，最大为 670.12 ps。
- 首选的调制方法是“向下展开”；调整展开技术以防止调制超出额定频率。
- 对于三角调制，时钟频率偏移必须是向下展开，并且相对额定频率的偏移不超过 0.5%，即 +0%/-0.5%。
- SSC 的调频必须在 30 KHz 到 33 KHz 的范围内。



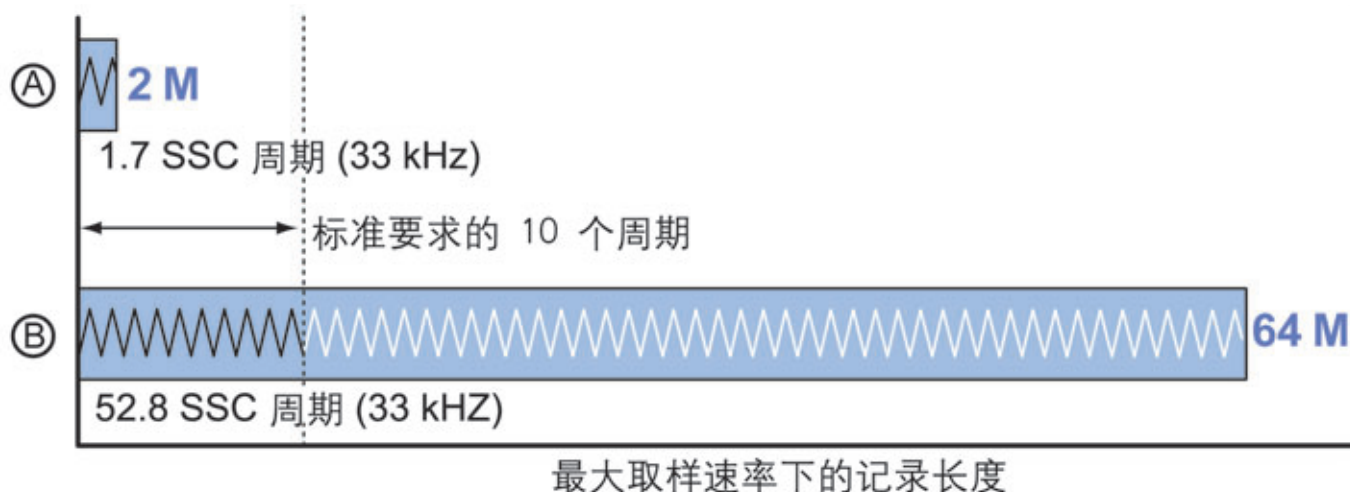
► 图 3. SATA 1.0a 规范中出现的扩频时钟调制形态；也适用于 SATA II。

图 3 描述了 SATA 或 SATA II 设备的 SSC 调制形态。调制包络向正向发展时，每个连续周期 (UI) 的时钟周期将变长。在调制包络的最高点，周期最长，之后随着调制形态开始下降。

请再次注意将 SSC 调制限定在标准频率的 .5% 以内的要求。如果使用传统的示波器测量，有少量的调制实际上是不可能实时观察到的。要分析 SSC 调制信号的行为，必需至少捕获和存储十个周期的调制活动，并恢复嵌入的时钟，然后在图中标出时钟周期内随着时间所发生的变化。在进行此项分析工作时，像 TDSJIT3 v2.0 抖动测量包^{*3}这样的工具是必不可少的。

为了如实地捕获数据，示波器必须以适当的取样速率进行捕获；在使用最快的串行协议的情况下，取样速率为 40 GS/s。另外，还必须存储足够的“时间”以积累 10 个周期的 30.3 微秒调制包络。

^{*3} TDSJIT3 是一种高分辨率自动抖动测量工具，其多功能性可以跟踪低频 SSC 调制。重要的是，真实的抖动测量还得益于有较长的记录长度。抖动是一项统计实体。由于可以存储更多的“时间”，因此可以用更大的样本量进行统计分析，从而提高测量的准确性。



► 图 4. 扩频时钟 (SSC) 测量需要深存储器和高速度：至少需要最高取样速率下 10 个周期的 SSC 调制包络。这里，2M 存储器 (“A”) 和 64M 存储器 (“B”) 之间的区别显示在刻度上。64M 的记录长度多于要求的 10 个周期的 SSC 调制所需的容量。

调制包络长度

$$\frac{30.3 \times 10^{-6}}{2.5 \times 10^{-11}} \times 10 = 12,120,000 \text{ 取样点}$$

取样间隔 @ 40 GS/s

要快速计算出必要的容量，可将 30.3 微秒的包络除以 40 GS/s 的取样间隔，也即 25 ps (2.5×10^{-11} 秒)；若要得出存储一个周期所需的存储器数量，则可将结果再乘以 10。

最少存储 10 个周期所需的取样存储器刚超过 12M 个点。如果需要存储更多的数据，示波器（如 TDS6804C）最大可以配备 64M 存储器深度，这足够应付 50 个周期的 SSC 调制。

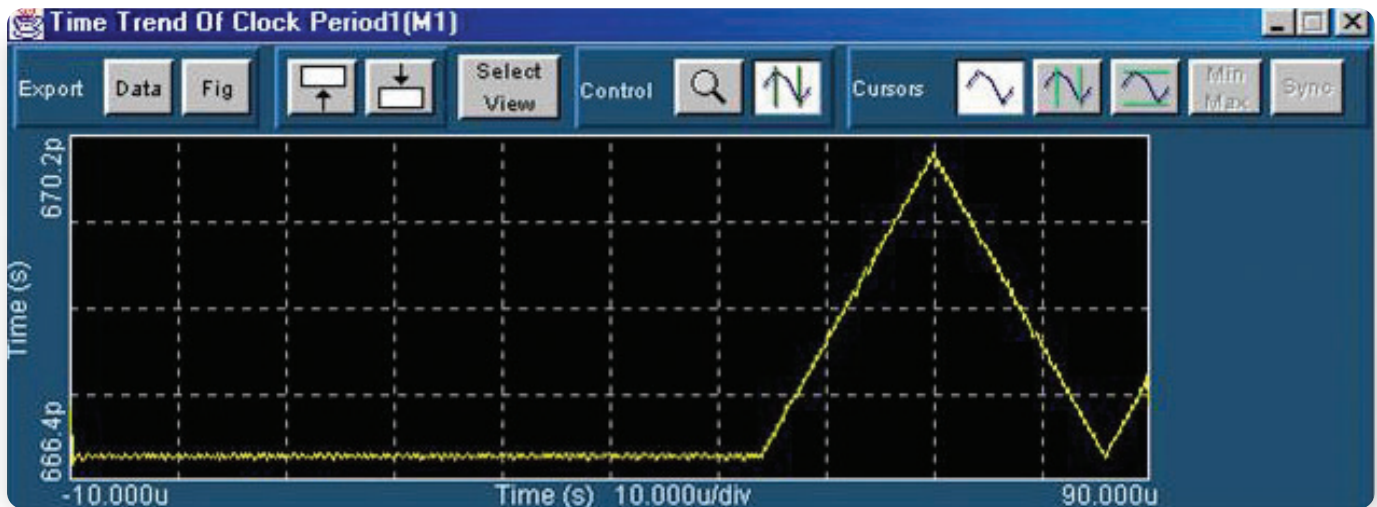
图 4 比较两种存储器配置的存储容量。这两种配置都可以以 40 GS/s 的取样速率记录数据。仪器 “A” 使用一个小型本地 (2M) 存储器实现高速存储。虽然还有额外的记录长度，但这个补充存储无法以最大速率 40 GS/s 进行记录。

相反，仪器 “B” 提供最大记录长度 (64M 个点)，并与最大取样速率组合。如图所示，此配置提供了充裕的空间，可以存储要求的 10 个周期或更多个周期的 SSC 时钟调制内的数据。

存储信号数据之后，TDSJIT3 分析应用程序便可根据数据信号来建立参考时钟，并自动在图中标出恢复的时钟周期内的变化。

图 5 描述了一条 TDSJIT3 记录，显示在 SATA 总线上观察到的 SSC 时钟调制轮廓。此图说明了在单位间隔容差允许范围内映射的信号中的频率偏移。基线值为最小 UI: 666.4 ps。峰值偏移接近但不超过最大 UI，即 670.1 ps。1.5 GHz 时钟的周期正在发生变化（低于 4ps）。

由于深存储器可用于最高取样速率，因此有资料可以证明调制形态遵从公布的标准。



► 图 5. 扩频时钟的调制形态。要捕获一致性测试所需的 10 个周期的调制，要求取样存储器大于 12M。

长期记录长度有多种应用程序

深取样存储器的值不受少数指定应用程序的限制。这可用于日常的故障排除工作，还可用于主要一致性测试。

潜在的低频调制（如 SSC）并不是设计者面临的唯一的长波现象。例如，意外的趋势（如电源波动）会引起嵌入时钟随机偏移分配的频率。这些事件可能仅出现在长期数据积累过程中，通常是在最大取样速率下捕获的。如果取样存储器对于此应用太小，则将对任何捕获都产生一个不可接受的低频“界限”——当 2M 存储器以 40 GS/s 的速率填充取样时，此界限大约为 20 kHz。对于低于 20 kHz 的频率，便不可能存储一个完整周期的取样。这样，要在出现的数字设计中排除一般的频率偏移问题故障是不可能的。

某些串行传输标准的一致性测试，要求捕获指定数量的连续的单位间隔（有时是几百个，有时是几千个单位间隔），通常情况下，要求的 UI 数量在增加。很明显，这是说明最高取样速率要求强制性记录长度的重要性的又一个示例。

小结

当今严格的高速测量不仅仅要求示波器带宽，还要求存储在高达 40 GS/s 取样速率下捕获的结果的深存储器。有些应用要求存储数千万个取样以描述抖动行为和码型灵敏度。还有一些要求积累长期趋势，如时钟调制或频率偏移。

虽然有些解决方案将存储器划分成更高或更低速度的元素以获得更大的深度，但说到底，没有什么可以替代强制的全带宽存储。

DPO – 数字荧光技术

您必须亲眼看见才会相信。



对于需要应用范围广泛的最佳设计和故障排除工具的人员而言，数字荧光示波器 (DPO) 是理想的选择，可用于通信模板测试、间歇信号的数字调试、重复性数字设计和定时应用。Tektronix 包括从 100 MHz 到 7 GHz 的带宽范围，为您提供了大量的 DPO 选择，从而可带您领略一个独一无二的世界。

OpenChoice®

为网络和分析解决方案提供更多的选择。



OpenChoice 集合了众多 Tektronix 示波器和逻辑分析仪所提供的软件库、辅助功能、样本、行业标准协议和界面。在 60 MHz 到 15 GHz 的范围之内，通过使用众多的连接性协议和物理接口（如 GPIB、以太网、RS-232 和 共享内存），OpenChoice 允许您通过网络与示波器或逻辑分析仪进行通信。

TekConnect®

出色的信号保真度和无可比拟的多功能性全都唾手可得。



无论您是在测量高压、电流、电源，或者是微压级信号，TekConnect 接口都可将探头智能提高到一个新水平。TekConnect 接口可以确保示波器输入有用带宽高达 18 GHz 的超级信号保真度，同时还提供无可比拟的多功能性。借助 TekConnect 接口，可以确保最大限度地维护信号完整性以满足您当前和未来的带宽需求。

示波器软件

将您的常规用途示波器转变成高度专业化的分析工具。



Tektronix 提供特殊的应用程序解决方案，向您的示波器添加特殊技术或程序专业技术，从而大幅度简化专业设计的开发和测试。从串行数据标准到电源测量，Tektronix 拥有最广泛的示波器软件集合，可将您的示波器转变成高度专业化且功能强大的分析工具。

与 Tektronix 联系：

奥地利 +41 52 675 3777

巴尔干半岛、以色列、南非及其它 ISE 国家/地区 +41 52 675 3777

巴西和南美 55 (11) 3741-8360

比利时 07 81 60166

波兰 +41 52 675 3777

丹麦 80 88 1401

德国 +49 (221) 94 77 400

东南亚国家联盟/澳大拉西亚/巴基斯坦 (65) 6356 3900

俄罗斯、独联体和波罗的海诸国 7 095 775 1064

法国和北非 +33 (0) 1 69 81 81

芬兰 +41 52 675 3777

韩国 82 (2) 528-5299

荷兰 090 02 021797

加拿大 1 (800) 661-5625

卢森堡 +44 (0) 1344 392400

美国 1 (800) 426-2200

美国 1 (出口销售) 1 (503) 627-1916

墨西哥、中美洲和加勒比海 52 (55) 5666-333

南非 +27 11 254 8360

挪威 800 16098

欧洲中东地区、乌克兰和波罗地海 +41 52 675 3777

葡萄牙 80 08 12370

日本 81 (3) 6714-3010

瑞典 020 08 80371

瑞士 +41 52 675 3777

台湾 886 (2) 2722-9622

西班牙 (+34) 901 988 054

香港 (852) 2585-6688

意大利 +39 (02) 25086 1

印度 (91) 80-22275577

英国和爱尔兰 +44 (0) 1344 392400

中东、亚洲和北非 +41 52 675 3777

中华人民共和国 86 (10) 6235 1230

中欧和希腊 +41 52 675 3777

其他地区请联系 Tektronix 公司 1 (503) 627-7111

最后更新日期：2004 年 11 月 3 日

了解更多信息

Tektronix 维护一个全面的和不断扩展的应用文章、技术简介和其他资源的集锦，可帮助工程师使用最新的技术。请访问 www.tektronix.com



版权所有 © 2005, Tektronix, Inc. 保留所有权利。Tektronix 产品受美国 and 外国专利权（包括已取得的和正在申请的专利权）的保护。本文中的信息将取代所有以前出版的资料中的信息。保留更改产品规格和价格的权利。TEKTRONIX 和 TEK 是 Tektronix, Inc. 的注册商标。引用的其他所有商标名称均为他们各自公司的服务标志、商标或注册商标。

2/05 DV/WOW

55C-18319-1

Tektronix
Enabling Innovation