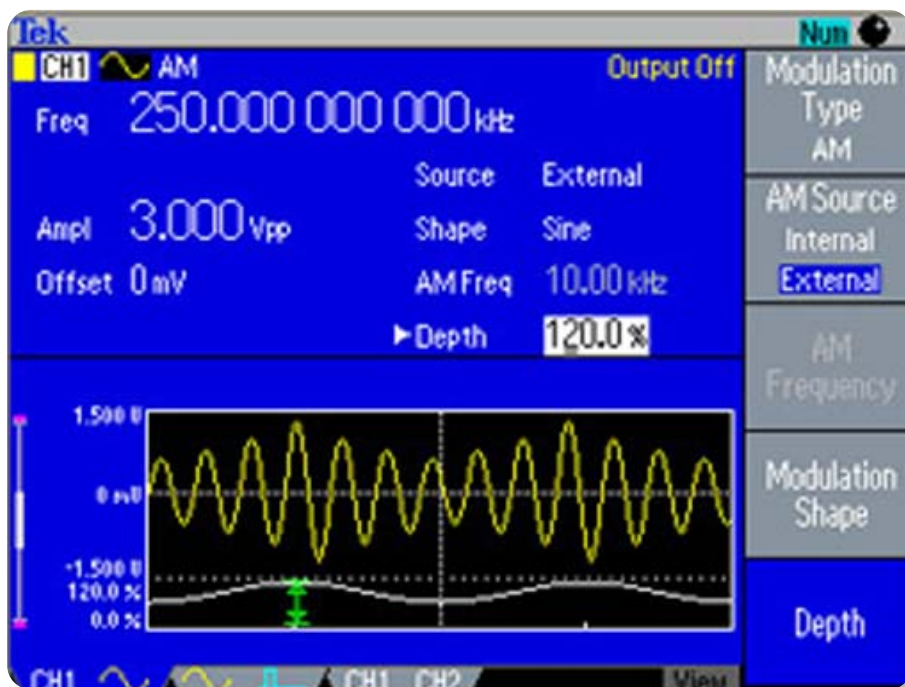


了解信号发生方法 选择直接数字合成技术(DDS)还是 可变时钟结构("真正的 Arb")



在电子测试和测量中,经常要求信号源,生成只有在外部提供时才会有的信号。信号源可以提供“已知良好”的信号,或者在其提供的信号中添加可重复的数量和类型已知的失真(或误码)。这是信号源最大的特点之一,因为仅使用电路本身,通常不可能恰好在需要的时间和地点创建可预测的失真。从设计检验到检定,从极限和

余量测试到一致性测试,信号源可以用于数百种应用。因此,有多种信号源结构可供选择也就不足为奇了,而每种结构都有各自的优点、功能和经济性,适用于特定的用途。在本文中,我们将比较两种信号发生结构:一种用于任意波形/函数发生器中,一种用于任意波形发生器中。选择结果在很大程度上取决于应用。

了解信号发生方法

► 技术简介

任意波形 / 函数发生器(AFG)通过读取内存的内容, 来同时创建函数波形和任意波形。大多数现代 AFG 采用直接信号合成(DDS)技术, 在广泛的频率范围上提供信号。

任意波形发生器(AWG)基于真正可变时钟结构(通常称为 "真正的 arbs*1"), 适用于在所有频率上生成比较复杂的波形。AWG 也读取内存的内容, 但其读取方式不同(后面进行了介绍)。处理先进通信和计算单元的设计人员选择 AWG, 驱动采用复杂调制和带有异常事件的高速信号。结果, AWG 占据了研究、开发和工程应用的最高层。

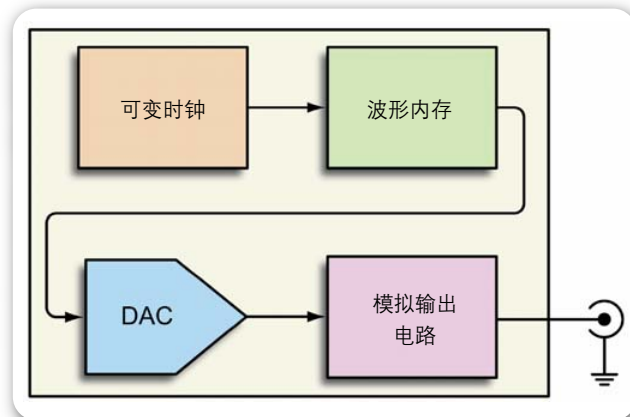
这两种结构在波形生成方法上有着很大差异。本技术简介讨论了基于可变时钟的任意波形发生器和基于 DDS 的任意波形 / 函数发生器之间的差别。

透过前面板：比较两个平台

AWG：概念简单，灵活性最大

尽管 AWG 在这两种结构中更加灵活, 但 AWG 的底层波形生成技术非常简明。AWG 的播放方案可以视为“反向取样”。

这是什么意思呢? 看一下信号取样平台 -- 示波器, 它通过在连续时点上数字化模拟信号的电压值, 来采集波形, 其取样频率取决于用户选择的时钟速率。得到的样点存储在内存中。



► 图 1. AWG 结构简化的方框图。

AWG 的流程相反。AWG 开始时波形已经在内存中。波形占用指定数量的内存位置。在每个时钟周期中, 仪器从内存中输出另一个波形样点。由于代表波形的样点数量是固定的, 因此时钟速率越快, 读取内存中波形数据点的速度越快, 输出频率越高。换句话说, 输出信号频率完全取决于时钟频率和内存中的波形样点数量²。图 1 中简化的方框图概括了 AWG 结构。

AWG 的灵活性源自其内存中存储的波形。波形可以采取任何形状; 它可以有任意数量的畸变, 或根本没有畸变。在基于 PC 的工具的帮助下, 用户可以开发人们想得到的几乎任何波形(在物理限制内!)。可以在仪器能够生成的任何时钟频率上, 从内存中读取样点。不管时钟是以 1 MHz 运行还是以 1 GHz 运行, 波形的形状相同。

¹ 工程师通常使用 "arb" 来指任何类型的任意波形发生仪器。

² 当然任何 AWG 型号都有最大内存容量。波形占用的深度可能要小于全部容量。

AFG 在高频中采取高效的快捷方式

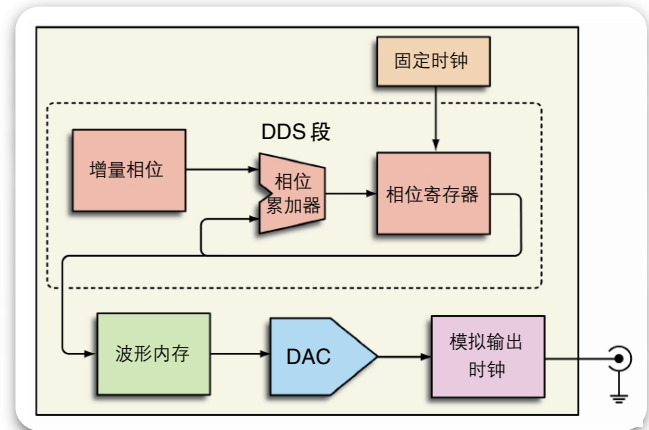
AFG 也使用存储的波形，作为输出信号的基础。其样点读数中涉及时钟信号，但结果类似。

AFG 的时钟以某个固定速率运行。由于波形样点的数量在内存中也是固定的，因此 AFG 怎样才能在变动频率上提供波形呢？例如，想象一下您正在使用一部 AFG，它存储由 1000 个样点组成的波形，以 1 MHz 的固定速率输出。输出信号的周期将恰好固定在 1 ms (1 kHz)。很明显，单频信号源在大多数应用中用途有限。因此，DDS 技术提供了一个解决方案。基于 DDS 的仪器不读取每个样点，而是读取不到 1000 个样点，来重建波形。

图 2 是典型的简化的 AFG 结构，其中包括 DDS 段。输出信号由时钟、代表相位值的存储的二进制数字及波形内存的内容构成。

如前所述，AFG 保持固定的系统时钟频率。360 度时钟周期分布在所有波形样点中，DDS 段根据波形长度及用户选择的频率自动确定相位增量。

高频设置会导致大的相位增量，使 AFG 在通过 360 度周期时迅速向前跳，提供高频信号。低频值导致小的增量，触发相位累加器以较低的步长步进通过波形样点，甚至会重复各个样点，构成 360 度，生成频率较低的波形。



► 图 2. AFG 结构简化的方框图。

这一决策背后的数学运算超出了本文的讨论范畴。可以这样讲，AFG 根据自己的内部算法跳过选择的波形数据点。由于相位增量方法，它并不是在每个周期中一直跳过相同的样点数。AFG 为生成变化的波形和频率提供了一种快捷方式，但最终用户不能控制跳过哪些数据点。

这必然对输出波形保真度造成一定的影响。具有连续形状的波形(正弦、三角形等等)通常不是问题，但可能会影响当前数字环境中常见的带有快速转换的信号，如脉冲和瞬变。例如，假设在新的电信交换机元件上进行极限测试。测试波形是一串二进制脉冲，其中一个脉冲在上升沿上有一个瞬变。在某些频率上，DDS 相位增量可能会刚好跳过瞬变，而不会作为信号的一部分在时钟中输出瞬变。对被测器件(DUT)，信号类似于没有干扰的脉冲流，由于缺少任何实际“极限”，这种极限测试是无效的。

了解信号发生方法

► 技术简介

	AFG (DDS)	AWG
取样时钟速率	固定	可变
取样增量	自动变化，视输出频率设置而定	固定，每个时钟 1 个点
内存深度	固定或可变	可变

► 表 1. AFG 与 AWG 取样特点比较

AFG结构的实现成本要低于全功能AWG工具集。结果，它非常经济，可以供各个工程师和科研人员使用。此外，AFG拥有某些独有的性能优势。部分领先型号拥有任何波形发生平台中最优秀的频率捷变性，即能够在不同频率之间平滑切换，而不会在信号中产生不连续点。

表 1 概括了 AFG 平台和 AWG 平台的时钟和内存特点。

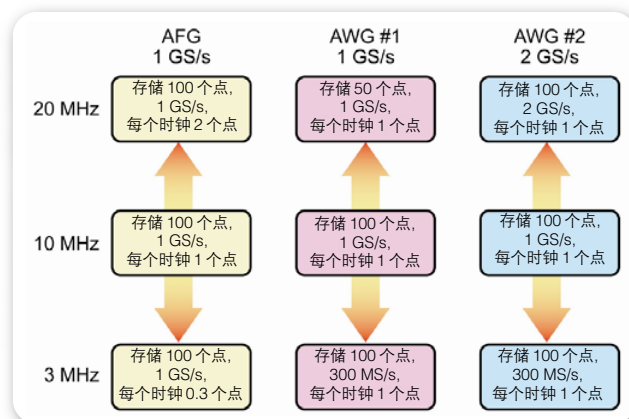
深入细节

为更好地比较AWG和AFG结构,我们将进行简单的“案例分析”。我们将考察这两个平台处理定义输出波形的样点的方式。

这一比较涉及三种仪器: 最大取样速率 1 GS/s的 AFG; 最大取样速率 1 GS/s的 AWG #1; 最大取样速率 2 GS/s的 AWG #2。

我们的目标是在 3 MHz – 20 MHz 的频率范围内生成一个正弦波。这两台 AWG 和 AFG 都在 100 点的取样内存中装有一个正弦波周期。图3显示了这三个平台的特点怎样影响其任务处理方式。

这三种工具都以 1 GS/s 的取样速率读取 100 个点，生成 10 MHz 正弦波(图 3 中的中间行):



► 图 3. T 管理输出信号频率的三种方法。

► AFG 的 DDS 单元收到命令，在输出上提供 10 MHz，它计算出 1 GS/s 时钟每摆动一下增加 1 个点。它接触到 100 个样点中的每个点。

► 两个 AWG 中的时钟都被手动设置为 1 GS/s，它们也读取 100 个点，生成 10 MHz 波形。

在把输出频率设为 3 MHz (底部行)，其方法出现分歧:

► AFG 的时钟仍以 1 GS/s 的固定速率运行。但现在，DDS 把增量自动设成时钟每摆动一下 0.3 个点；也就是说，各个数据点重复三次或四次。

► 两个 AWG 中的时钟频率必须手动降到 300 MS/s。时钟现在更慢地读过样点，生成 3 MHz 的输出频率。

现在，输出频率必须提高到 20 MHz。这三个平台以不同方式迎接这一挑战：

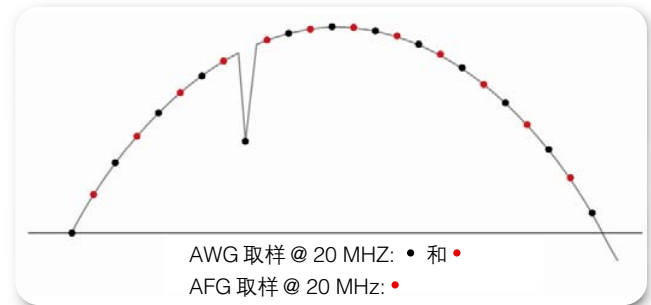
- AFG 的 DDS 单元把取样增量设为两个样点。它每隔一个样点读取一个样点，共使用 50 个点定义波形。其长度只是读取 100 个点的一半。结果是一个 20 MHz 输出信号。
- 与所有 AWG 在任何频率设置上一样，AWG #1 时钟每摆动一下读取一个样点。但是，由于其最大取样速率是 1 GS/s，因此它不能在 50 ns 的 20 MHz 正弦波周期中读取 100 个点。因此，必须通过用户故意干预，把存储的波形图像下降到总共 50 个点。结果是一个 20 MHz 输出信号。

它提供了多种软件工具，在要求时帮助用户编辑样点数量，某些仪器为此提供了内置功能。在使用外部工具时，必须把修改后的波形重装到 AWG 中。

- AWG #2 时钟每摆动一次读取一个样点，但时钟速率翻了一倍，提高到 2 GS/s。仪器读取 100 点内存的速度提高了一倍。结果是一个 20 MHz 输出信号。

乍一看，似乎 AWG #1 限于与 AFG 相同的波形分辨率，但有一个关键区别。在 20 MHz 的输出频率上，AWG 读取正弦波中 50 个点的每个点。AFG 跳过样点。

图 4 演示了 AFG/DDS 方法和 AWG 方法之间的基本二分法。本图描述了一个正弦波的半个周期，由 25 个点构成，包括添加的模拟 DAC 上瞬时跌落的畸变。



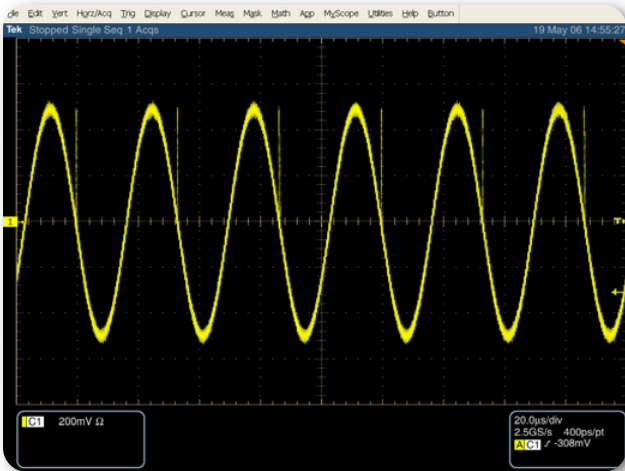
► 图 4. AFG 跳过样点，提高其输出频率。在某些频率上，可以忽略各个信号细节。

AWG 读取每个点(红色或黑色)，而不管输出频率的设置是多少。如果输出频率设为 10 MHz，AWG 读取 25 个点。如果设为 20 MHz，AWG 仍读取 25 个点。如果 AWG 内部的最大时钟速率没有足够高，通过读取所有样点来生成希望的频率，那么可以降低点数。假设用户在削减 AWG 的样点数量时保留希望的波形特点，仪器将在每个周期中可靠地提供一个毛刺。

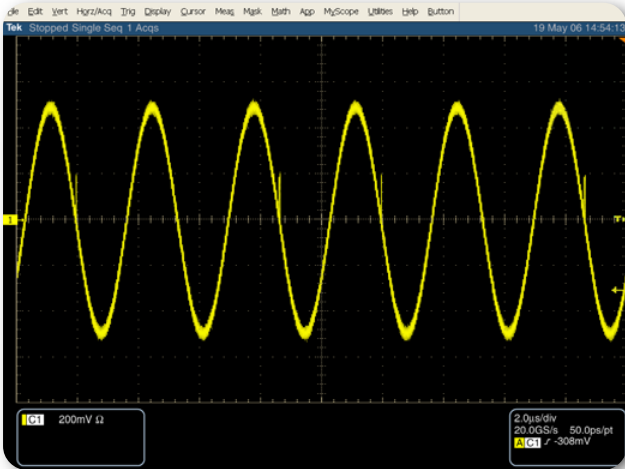
现在看一下 AFG。如果输出频率设为 10 MHz，它读取每个点。如果设为 20 MHz，它会每隔第二个点读取一个点。这些 DDS 点用红色显示。注意，AFG 完全绕过毛刺。它刚好跳过定义跌落的那个样点。波形输出为一个清楚的正弦波。被测器件没有收到畸变。

了解信号发生方法

▶ 技术简介



▶ 图 5. 来自 AWG 的这个正弦波显示了每个周期中的畸变。AWG 读取内存中的每个样点，保证畸变以一致的方式进行重复。

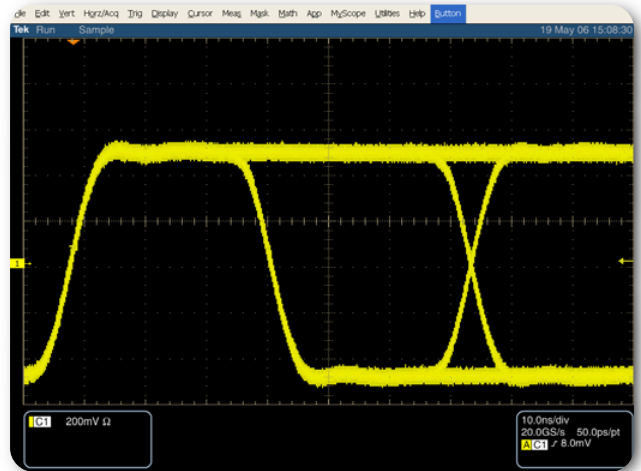


▶ 图 6. 来自 AFG 的这个正弦波信号未能复现某些周期上的畸变，因为它跳过了定义瞬变的样点。

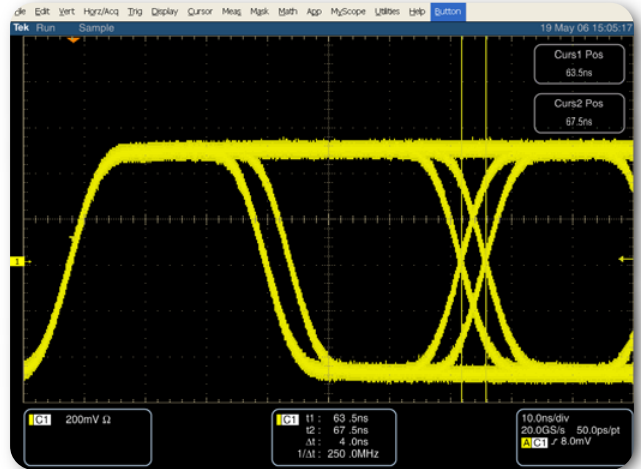
包括畸变的信号

图4是严格的“教科书”实例。根据涉及的算法和频率，DDS 将选择要跳过的不同点，因此红色样点和黑色样点之间的二分法并不适用于任何情况。图5和图6是实际屏幕图，它们突出显示了两种取样和波形重建结构的差别。

³ 转换较慢的正弦波和其它信号不受影响。



▶ 图 7. 以 30 MS/s 速率运行的 AWG 生成的 30 Mbps 随机码型。



▶ 图 8. 以 250 MS/s 速率运行的 AFG 生成的 30 Mbps 随机码型。抖动值是 250 MS/s 的倒数，即 4 ns。

生成伪随机码流(PRBS)码型

在使用基于 DDS 的 AFG 及固定取样速率生成伪随机码流 (PRBS) 码型时，抖动是一个问题。简单地说，AFG 一般对快速变化的脉冲上升沿和下降沿应用相当于抖动的一个相同周期*3。例如，如果 AFG 的取样速率是 250 MS/s，那么信号边沿上将出现 4 ns 的抖动。抖动值与 AFG 的取样周期相同。

之所以出现抖动，是因为 AFG 拥有固定的取样速率，其不是数据速率的倍数。AWG 则没有这种限制(尽管任何实际环境信号源都会产生某些抖动)。

优点 / 缺点

工具的最终选择总是取决于应用。用户总是面临着“好大喜功”的问题，这在取样速率和内存深度中意味着最大的数字。而聪明的用户则会根据应用的实际信号要求来作出选择。

例如，某些中档 AFG 提供了 1 GS/s 的取样速率，某些同类 AWG 则只提供了 600 MS/s 的取样速率。但当应用要求在广泛的频率范围上可靠地提供小信号细节时，最好选择 AWG，因为 AWG 读取存储的波形上的每个样点，可以保证准确地复现瞬变、边沿上升时间、甚至噪声效应。

此外，AWG 还适合为低抖动数字波形提供信号，如伪随机码流 (PRBS)。这使其成为许多串行总线测试应用的最佳解决方案。

AWG 不可避免也有一些缺点。如前面所述的 AWG#1，编辑样点数、以提高输出频率不象 AFG 改变一个设置、进而改变频率那样方便。

由于 AWG 结构在所有通道中依赖一个可变主时钟，因此在多条通道中同时生成不同频率要求在每条通道后面存储一个不同的波形文件。

例如，如果需要从通道 1 中生成一个 10 MHz 正弦波，同时从通道 2 中生成一个 20 MHz 正弦波，那么通道 2 的波形内存必须加载两个周期。所以，在时钟步进通过内存时，对通道 1 中的每一个周期，通道 2 中会出现两个周期，使输出频率翻一番。当不同频率不是基本频率的倍数时，这一过程会变得更加复杂。

AFG 提供了一套不同的优势。其相噪指标和频率捷变一般要优于 AWG。在某些领先的 AFG 型号中，每条通道中的 DDS 单元独立操纵主时钟，从而可以简便地一次提供多个频率。此外，AFG 通常是各种选项中最经济的解决方案。任意函数发生器已经成为通用信号源的支柱。

AFG 不太适合要求低抖动和非常窄的瞬变的应用。该平台不适合 PRBS 应用，因为其输出波形本身的抖动较高，会导致 DUT 接收单元发出错误响应。对要求可预测的信号失真的极限测试，AFG 跳过样点的技术会在某些频率上产生误导结果。

总结

通常情况下，选择 AFG 还是 AWG 主要是取决于哪种方法最适合具体应用：

- 在应用要求干净规则的波形时，或要求从一个频率到另一个频率快速切换，或在多条通道中必须同时提供不同频率时，应选择 AFG。
- 对最复杂的信号应选择 AWG，如 PRBS 流、调制的 RF 信号等等。当信号源必须在提供的每个频率上在每个工作周期中可靠地生成畸变、受控抖动和噪声时，更适合采用 AWG。

泰克科技(中国)有限公司
上海市浦东新区川桥路1227号
邮编: 201206
电话: (86 21) 5031 2000
传真: (86 21) 5899 3156

泰克北京办事处
北京市海淀区花园路4号
通恒大厦1楼101室
邮编: 100088
电话: (86 10) 6235 1210/1230
传真: (86 10) 6235 1236/1186

泰克上海办事处
上海市静安区延安中路841号
东方海外大厦18楼1802-06室
邮编: 200040
电话: (86 21) 6289 6908
传真: (86 21) 6289 7267

泰克广州办事处
广州市环市东路403号
广州国际电子大厦2807A室
邮编: 510095
电话: (86 20) 8732 2008
传真: (86 20) 8732 2108

泰克深圳办事处
深圳市罗湖区深南东路5002号
信兴广场地王商业大厦G1-02室
邮编: 518008
电话: (86 755) 8246 0909
传真: (86 755) 8246 1539

泰克成都办事处
成都市人民南路一段86号
城市之心23层D-F座
邮编: 610016
电话: (86 28) 8620 3028
传真: (86 28) 8620 3038

泰克西安办事处
西安市东大街
西安凯悦(阿房宫)饭店345室
邮编: 710001
电话: (86 29) 8769 1234-345
(86 29) 8723 1794
传真: (86 29) 8721 8549

泰克武汉办事处
武汉市武昌区民主路788号
白玫瑰大酒店924室
邮编: 430071
电话: (86 27) 8789 3366-924
(86 27) 8781 2831
(86 27) 8731 8969
传真: (86 27) 8730 5230

泰克香港办事处
香港铜锣湾希慎道33号
利园3501室
电话: (852) 2585 6688
传真: (852) 2598 6260

如需了解更多产品信息, 请访问泰克公司网站 www.tektronix.com.cn



© 2005 年 Tektronix, Inc. 版权所有。 版权所有。 Tektronix 产品, 不论已获得专利和正在申请专利者, 均受美国和外国专利法的保护。 本文提供的信息取代所有以前出版的资料。 本公司保留变更技术规格和售价的权利。 TEKTRONIX 和 TEK 是 Tektronix, Inc. 的注册商标。 本文提及的所有其它商号分别为其各自所有公司的服务标志、商标或注册商标。 7/06 JS/WOW 76C-19764-1

Tektronix
Enabling Innovation