

深入了解信号发生器

入门手册



Tektronix®

目录

完整的测量系统	4	信号发生器的类型	16
信号发生器	5	模拟和混合信号发生器	17
是模拟信号还是数字信号？	6	模拟和混合信号发生器的类型	17
基本信号发生器应用	7	任意波形发生器	17
检验	7	任意波形 / 函数发生器 (AFG)	17
测试数字调制器发射机和接收机	7	任意波形发生器 (AWG)	19
检定	7	混合信号发生器系统和控制功能	21
测试数模转换器和模数转换器	7	性能指标和考虑因素	23
压力 / 余量测试	8	存储深度 (记录长度)	23
通信接收机压力测试	8	采样 (时钟) 速率	23
信号生成技术	8	带宽	25
了解波形	9	垂直 (幅度) 分辨率	25
波形特点	9	水平 (定时) 分辨率	26
幅度、频率和相位	9	输出通道	27
上升时间和下降时间	9	数字输出	27
脉宽	10	滤波	28
偏置	11	排序	28
差分信号与单端信号	11	集成编辑器	30
基本波	12	数据导入功能	31
正弦波	12	创建复杂波形	32
方波和矩形波	12	ArbExpress™	32
锯齿波和三角波	13	SerialXpress®	33
阶跃和脉冲波	13	RFExpress™	34
复杂波	14	总结	35
信号调制	14	词汇表	36
频率扫描	15		
数字码型和格式	15		

完整的测量系统

一提到电子测量，可能进入人们脑海的第一个东西是采集仪器，其通常是示波器或逻辑分析仪。但是，只有在能够采集某类信号时，这些工具才能进行测量。在许多情况下，这些信号是没有的，除非在外部提供信号。

例如，应力测量放大器不生成信号，而只是提高其从传感器中收到的信号功率。类似的，数字地址总线上的复用器也不发起信号，而是引导来自计数器、寄存器和其它单元的信号流量。但不可避免的是，必需在连接馈电的电路之前测试放大器或复用器。为使用采集仪器测量这些器件的行为，您必须在输入上提供激励信号。

再举一个例子，工程师必须检定新出现的电路，保证新硬件在全系列操作范围及之上的范围内满足设计规范，这称为余量测试或极限测试。这一测量任务要求完整的解决方案，这个解决方案要能够生成信号及进行测量。数字电路的检定系列工具与模拟 / 混合信号电路不同，但这两者都必须包括激励仪器和采集仪器。

信号发生器或信号源是与采集仪器配套使用的激励源，构成了完整测量解决方案的两个单元。这两个工具接在被测器件 (DUT) 的输入端子和输出端子上，如图 1 所示。在各种配置中，信号发生器可以以模拟波形、数字数据码型、调制、故意失真、噪声等形式提供激励信号。为进行有效的设计、检定或调试测量，应同时考虑解决方案中的这两个单元。



图 1. 大多数测量要求使用由信号发生器及采集仪器配套组成的解决方案。触发连接简化了 DUT 输出信号的捕获工作。

本文的目的是解释信号发生器、其对整体测量解决方案的作用以及其应用。了解各种类型的信号发生器及其功能对研究人员、工程师或技术人员的工作至关重要。选择适当的工具可以让工作更简便，帮助您生成快速可靠的结果。在看完本读物后，您将能够：

- 描述信号发生器的工作方式
- 描述电子波形类型
- 描述混合信号发生器和逻辑信号源之间的区别
- 了解基本信号发生器控制功能
- 生成简单的波形

如果您需要其它协助或有与本文中的资料有关的任何意见或问题，请与泰克代表联系，或访问网址：www.tektronix.com/signal_generators。

信号发生器

顾名思义，信号发生器是作为电子测量激励源的信号来源。大多数电路要求某种幅度随时间变化的输入信号。信号可以是真实的双极 AC 信号（峰值在接地参考点上下振荡），也可以在 DC 偏置（可正可负）范围内变化。它可以是正弦波或其它模拟函数、数字脉冲、二进制码型或纯任意波形。

信号发生器可以提供“理想”的波形，它可以在其提供的信号中增加已知的、数量和类型可重复的失真（或误差）。参见图 2。这一特点是信号发生器最大的特点，因为通常不可能只使用电路本身在所需的时间和地点创建可以预测的失真。在存在这些失真的信号时，DUT 响应可以揭示其处理落在正常性能条件外的极限情况。

¹ 正常情况下，“AC”一词是指信号在 0 V（接地）参考周围变正和变负，因此在每个周期中电流流动方向会颠倒一次。但是为进行这一讨论，AC 定义为任何变动的信号，而不管其与接地的关系如何。例如，即使一直在同一方向吸收电流，但在 +1 V 和 +3 V 之间振荡的信号仍构成 AC 波形。大多数信号发生器可以生成以接地为中心的（真实的 AC）波形或偏置波形。

模拟信号还是数字信号？

目前，大多数信号发生器基于数字技术。许多信号发生器可以同时满足模拟信号和数字信号要求，但最高效的解决方案通常是针对手边的应用（模拟应用或数字应用）优化功能的信号发生器。

任意波形发生器（AWG）和函数发生器主要针对模拟信号应用和混合信号应用。这些仪器采用采样技术，构建和改变几乎可以想到的任何形状的波形。一般来说，这些发生器有 1-4 个输出。在某些 AWG 中，还使用单独的标记输出（协助触发外部仪器）及以数字形式表示每个样点数据的同步数字输出，以补充这些主要的采样模拟输出。

数字波形发生器（逻辑源）包括两类仪器。脉冲发生器驱动来自少量输出的方波或脉冲流，其频率通常非常高。这些工具最常用于对数字器件执行测试。码型发生器也称为数据发生器或数据定时发生器，一般提供 8 条、16 条或更多的同步数字脉冲流，作为计算机总线、数字电信单元等的激励信号。

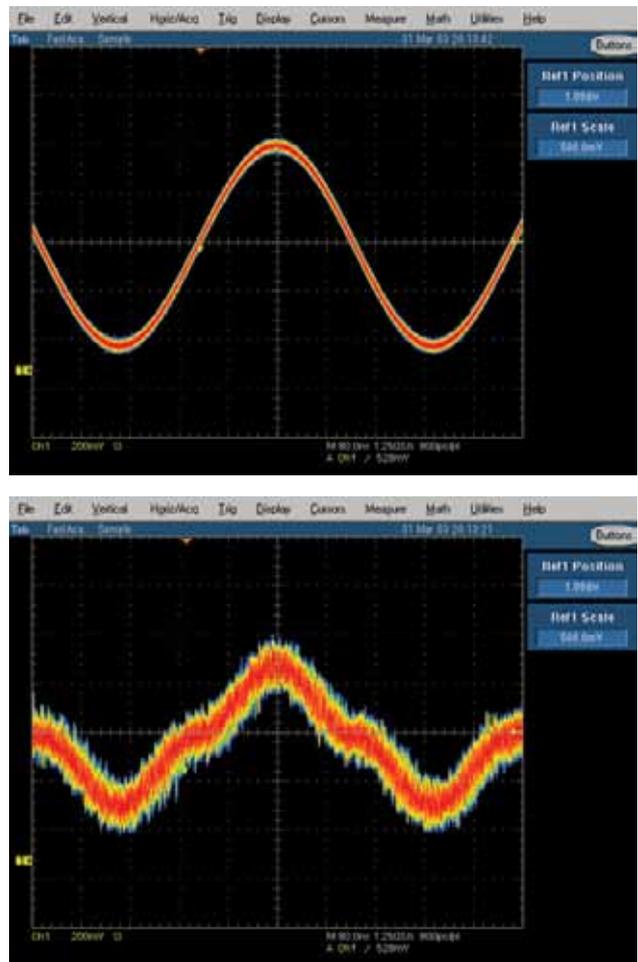


图 2. (上) 理想的波形；(下) “实际环境”波形。通用信号发生器可以为器件极限测试和检定提供受控的失真和畸变。

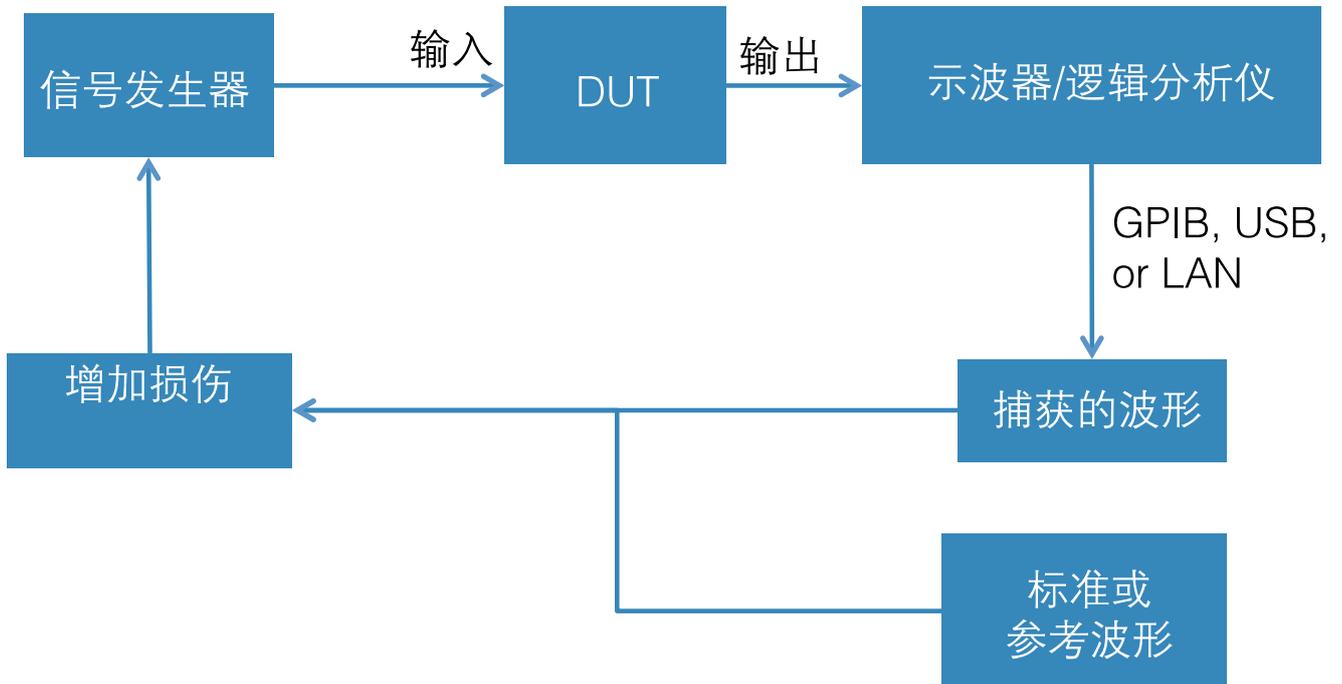


图 3. 信号发生器可以使用标准波形、用户创建的波形或捕获的波形，在需要的地方对专门测试应用增加损伤。

基本信号发生器应用

信号发生器有数百种不同的应用，但在电子测量中，这些应用可以分成三种基本类型：检验、检定和极限/余量测试。有代表性的部分应用如下：

检验

测试数字模块化发射机和接收机

开发新型发射机和接收机硬件的无线器件设计人员必须模拟基带 I&Q 信号，信号中可以带损伤或不带损伤，检验其是否满足新兴的和专有的无线标准。某些高性能任意波形发生器可以以高达 12.5 Gbps 的速率提供

所需的低失真、高分辨率信号，并支持两条独立通道，一条用于“I”相位，另一条用于“Q”相位。

有时，需要使用实际 RF 信号测试接收机。在这种情况下，可以使用采样率高达 200 MS/s 的任意波形发生器，直接合成 RF 信号。

检定

测试数模转换器和模数转换器

新开发的数模转换器 (DAC) 和模数转换器 (ADC) 必须进行穷尽测试，以确定其线性度、单调性和失真的极限。一流的 AWG 可以同时生成多个同相的模拟信号和数字信号，以高达 12.5 Gbps 的速度驱动这些器件。

极限 / 余量测试

测试通信接收机极限

处理串行数据流结构 (通常用于数字通信总线和磁盘驱动器放大器中) 的工程师必需使用损伤测试器件极限, 特别是抖动和定时超限。通过提供高效的内置抖动编辑和发生工具, 高级信号发生器使工程师节约了数不清的时间。这些仪器可以使关键信号边沿位移最低 20 ps。

信号发生技术

可以通过多种方式, 使用信号发生器创建波形。选择的方法取决于提供的与 DUT 有关的信息及其输入要求; 是否需要增加失真或错误信号及其它变量。现代高性能信号发生器为生成波形至少提供了三种方式:

- 创建: 全新的电路激励和测试信号
- 复制: 合成没有提供的实际环境信号 (从示波器或逻辑分析仪中捕获)
- 生成: 理想的或极限测试的参考信号, 适用于特定容限的行业标准

理解波形

波形特点

“波”可以定义为在某个时间间隔上重复的变化量值的模式。波具有共同的特点，如声波、脑电波、海浪、光波、电压波等等。所有这些都是定期重复的现象。信号发生器通常生成以可控方式重复的电（一般是电压）波。

每个完整重复的波形是一个“周期”。波形是以图形方式表示波的活动，即随时间变化情况。电压波形是典型的 Cartesian 图，横轴是时间，竖轴是电压。注意，某些仪器可以捕获或生成电流波形、功率波形或其它波形。在本文中，我们将主要介绍传统电压随时间变化的波形。

幅度，频率和相位

波形有许多特点，但主要属性与幅度、频率和相位有关：

- **幅度：**衡量波形电压“强度”的指标。幅度在 AC 信号中一直变化。信号发生器可以设置电压范围，如 -3 V 到 $+3\text{ V}$ 。这将生成在两个电压值之间波动的信号，变动速率取决于波形和频率。
- **频率：**整个波形周期发生的速率。频率的单位是赫兹 (Hz)，原来称为每秒周期数。频率与波形周期（或波长）成反比，后者是衡量相邻波上两个类似波峰之间距离的指标。频率越高，周期越短。
- **相位：**在理论上，相位是波形周期相对于 0 度点的位置。在实践中，相位是周期相对于参考波形或时点的位置。

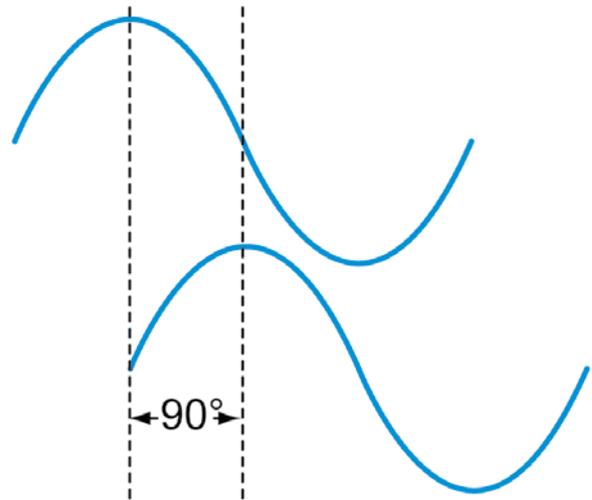


图 4. 相移（也称为延迟）描述了两个信号之间的定时差。相位通常用度表示，如图所示，但在某些情况下用时间值表示要更合适。

正弦波可以最好地解释相位。正弦波的电压电平在数学上与圆周移动有关。与整个圆一样，正弦波的一个周期会经过 360 度。正弦波的相角描述了周期经过的时间。

两个波形可以有完全相同的频率和幅度，但相位不同。相移也称为延迟，描述了两个类似的信号之间的定时差，如图 4 所示。相移在电子器件中十分常见。

波形的幅度、频率和相位特点是信号发生器用来优化几乎任何应用的波形的构件。此外，还有其它参数进一步定义了信号，在许多信号发生器中，这些参数也作为受控变量实现。

上升时间和下降时间

边沿转换时间也称为上升时间和下降时间，其特点通常与脉冲和方波有关。它们用来衡量信号边沿从一种状态转换成另一种状态所需的时间。在现代数字电路中，这些值通常很低，只有几纳秒、甚至更低。

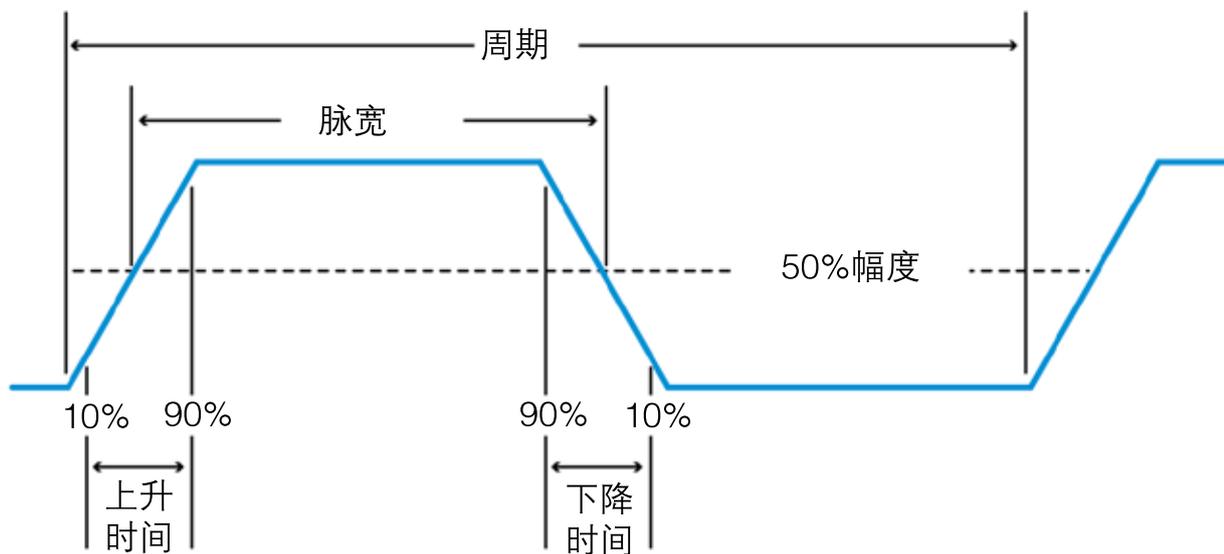


图 5. 基本脉冲特点

上升时间和下降时间都在转换前和转换后 10% 与 90% 的静态电压电平之间测得 (有时也使用 20% 和 80% 这两个点)。图 5 说明了一个脉冲及与其相关的部分特点。这是在相对于进入信号频率采样率很高时, 示波器上看到的脉冲。在采样率较低时, 同一波形看上去要“方”得多。

在某些情况下, 生成的脉冲的上升时间和下降时间必需独立变化, 如在使用生成的脉冲, 测量转换速率不对称的放大器, 或控制激光点焊枪的冷却时间时。

脉宽

脉宽是脉冲前沿和后沿之间经过的时间。注意, “前沿”适用于正向沿或负向沿, “后沿”亦然。换句话说,

这些术语说明了一定周期内事件发生的顺序; 脉冲的极性不影响其前沿或后沿状态。在图 5 中, 正向沿是前沿。脉宽指标表示了前沿和后沿 50% 幅度点之间的时间。

另一个术语是“占空比”, 用来描述脉冲的高低 (开/关) 时间间隔。图 5 中的实例表示 50% 的占空比。相比之下, 如果一个循环的周期是 100 ns, 其活动的高 (开) 电平持续 60 ns, 那么其占空比为 60%。

举一个形象的占空比实例, 想象一下有一个激励器在每次一秒钟的突发活动之后必须休息三秒钟, 以防止发动机过热。激励器每四秒休息三秒, 那么占空比为 25%。

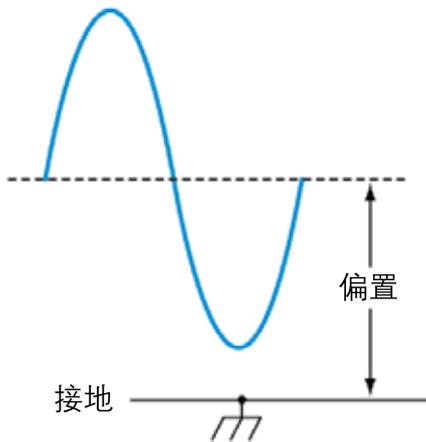


图 6. 偏置电压描述了同时包含 AC 值和 DC 值的信号中的 DC 成分。

偏置

并不是所有信号的幅度变化都以接地 (0 V) 参考为中心。“偏置”电压是电路接地和信号幅度中心之间的电压。事实上，偏置电压表示同时包含 AC 值和 DC 值的信号的 DC 成分，如图 6 所示。

差分信号与单端信号

差分信号使用两条互补路径承载数量相等、但极性相

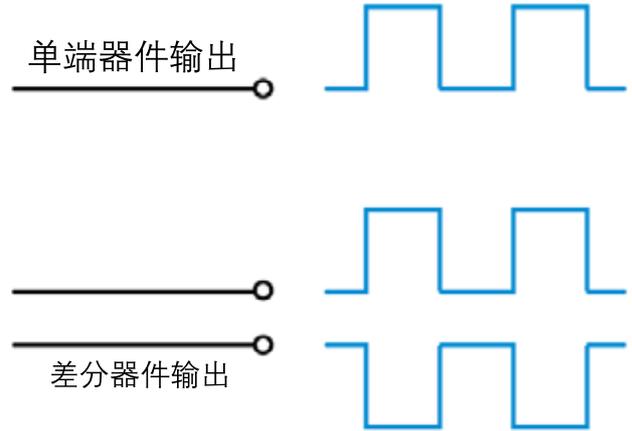


图 7. 单端和差分信号

反 (相对于接地) 的同一信号副本。在信号周期推进，一条路径的正值提高时，另一条路径的负值会以相同程度提高。例如，如果在某个时点上的信号值在一条路径上是 +1.5 V，那么在另一条路径上的值正好是 -1.5 V (假设两个信号完全同相)。差分结构特别适合抑制串扰和噪声，而只传送有效的信号。

单端操作是一种更加常用的结构，其中只有一条路径外加接地。图 7 说明了单端方法和差分方法。

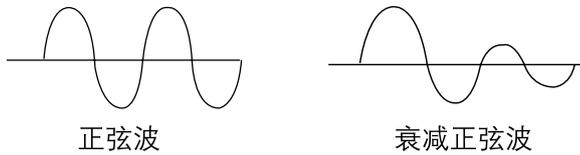


图 8. 正弦波和衰减正弦波

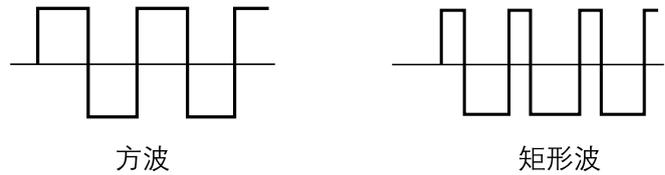


图 9. 方波和矩形波

基本波

波形分成多种形状和形式。大多数电子测量使用一个或多个下述波形，通常会增加噪声或失真：

- 正弦波
- 方波和矩形波
- 锯齿波和三角波
- 阶跃和脉冲形状
- 复合波

正弦波

正弦波可能是最容易辩认的波形。大多数 AC 电源都产生正弦波。住宅中墙上插座以正弦波的形式传送电源。正弦波几乎一直用于初中教学的电气和电子原理演示中。正弦波是基本数学函数的结果，直到 360 度画一条正弦曲线，可以得到一个确定的正弦波图像。

衰减正弦波是电路从一个脉冲振荡，然后随着时间推移逐渐结束的一个特例。图 8 是正弦波和衰减正弦波推导得出的信号实例。

方波和矩形波

方波和矩形波是位于所有数字电子器件核心的基本形式，另外它们还有别的用途。方波是以相等的时间间隔在两个固定电压电平之间开关的电压。它通常用来测试放大器，应能够快速复现两个电压电平之间的转换（也就是前面所说的上升时间和下降时间）。方波为数字系统提供了理想的计时时钟，如计算机、无线电通信器件、HDTV 系统等等。

矩形波的开关特点与方波类似，但正如前面“占空比”中所说，其高低时间间隔长度不等。图 9 说明了方波和矩形波实例。

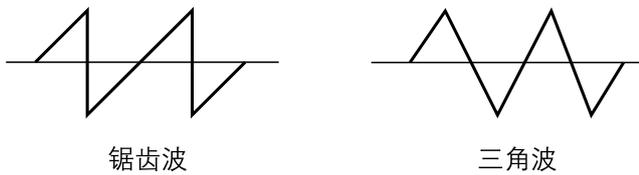


图 10. 锯齿波和三角波

锯齿波和三角波

锯齿波和三角波的几何形状与它们的名字非常象。锯齿波在每个周期中缓慢均匀地上升到峰值，然后迅速下降。三角波的上升时间和下降时间比较对称。这些波形通常用来控制系统中的其它电压，如模拟示波器和电视。图 10 是锯齿波和三角波实例。

阶跃和脉冲形状

“阶跃”是电源开关已经打开、但电压突然变化的波形。“脉冲”与矩形波有关。与矩形波一样，它是由先开后关或先关后开在两个固定电压电平之间产生的。脉冲本身是二进制信号，因此是在数字系统中传送信息（数据）的基本工具。脉冲可能表示穿过计算

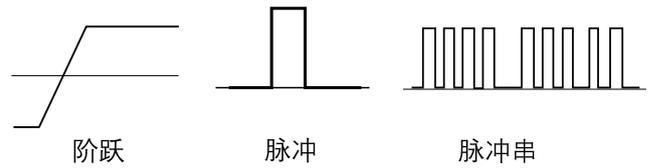


图 11. 阶跃、脉冲和脉冲串形状

机的一个信息比特。一起传送的脉冲集合构成了一个脉冲串。同步的一组脉冲串（可以以并行方式传输或以串行方式传输）构成了一个数字码型。图 11 是阶跃、脉冲形状和脉冲串的实例。

注意，尽管数字数据名义上由脉冲、矩形波和方波组成，但实际环境中的数字波形表现出更圆的角和更斜的边沿。

有时，电路异常事件会自然而然地产生脉冲。通常情况下，这些瞬态信号会不定期地发生，必须使用“毛刺”进行描述。数字调试的挑战之一是把毛刺脉冲与有效但较窄的数据脉冲分开。某些类型的信号发生器的优势之一是能够在脉冲串中任何地方增加毛刺。

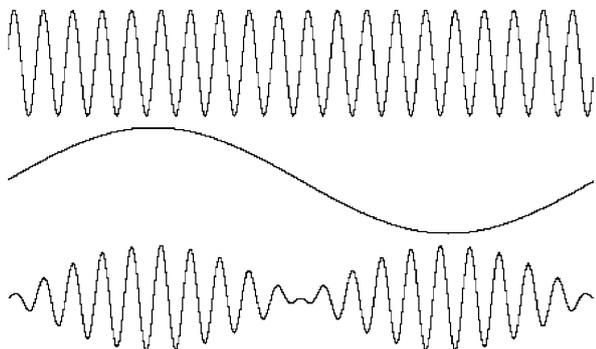


图 12. 幅度调制

复合波

在运行的电子系统中，波形很少会象上面介绍的课本中所示的实例那样。某些时钟和载波信号很纯，但大多数其它波形会表现出某些不想要的失真（分布式电容、串扰等电路现象的产物）或故意调制。某些波形甚至可能会包括正弦波、方波、阶跃和脉冲等要素。

复合波包括：

- 模拟调制，数字调制，脉宽调制
- 正交调制信号
- 数字码型和格式
- 伪随机码流和字流

信号调制

在被调制信号中，幅度、相位和 / 或频率变化把低频信息嵌入到高频的载波信号中。得到的信号可以传送从语音、到数据、到视频的任何信号。复现波形可能是一个挑战，除非有专门配备的信号发生器。

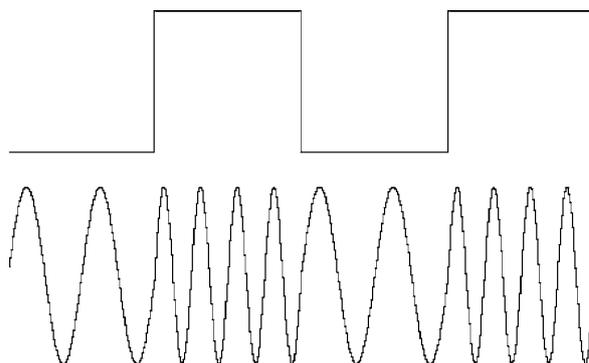


图 13. 频移键控 (FSK) 调制

模拟调制。幅度调制 (AM) 和频率调制 (FM) 最常用于广播通信中。调制信号随载波幅度和 / 或频率变化。在接收端，解调电路理解幅度和 / 或频率变化，从载波中提取内容。相位调制 (PM) 调制载波波形的相位，而不是频率，以嵌入内容。

图 12 说明了模拟调制实例。

数字调制。与其它数字技术一样，数字调制基于两种状态，允许信号表示二进制数据。在幅移键控 (ASK) 中，数字调制信号导致输出频率在两个幅度之间开关；在频移键控 (FSK) 中，载波在两个频率（中心频率和偏置频率）之间开关；在相移键控 (PSK) 中，载波在两个相位设置之间开关。在 PSK 中，通过发送与以前信号相位相同的信号，来提供比特“0”，而比特“1”则通过发送相位相反的信号进行表示。

脉宽调制 (PWM) 是另一种常用的数字格式；它通常用于数字音频系统中。顾名思义，它只适用于脉冲波形。通过 PWM，调制信号导致脉冲的活动脉宽（前面介绍的占空比）变化。

图 13 说明了数字调制实例。

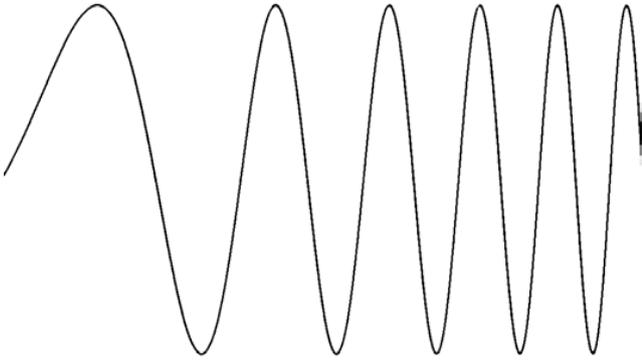


图 14. 正弦波频率扫描。

频率扫描

测量电子器件的频率特点要求“扫描”正弦波，其会在一段时间内改变频率。频率变化以线性方式发生，单位为“每秒赫兹”，或以对数方式发生，单位为“每秒倍频程”。高级扫描发生器支持扫描序列，并可以选择开始频率、保持频率、停止频率和相关时间。信号发生器还提供与扫描同步的触发信号，控制示波器，测量器件的输出响应。

正交调制。当前数字无线通信网络是在正交 (IQ) 调制技术基础上构建的。两个载波是同相 (I) 波形和正交相位 (Q) 波形，其中 Q 波形相对于“I”波形整整延迟 90 度，这两个波形进行调制，生成四种信息状态。两个载波组合在一起，通过一条通道传输，然后在接收端分开和解调。IQ 格式提供的信息要远远高于其它模拟和数字调制形式：它提高了系统的有效带宽。图 15 说明了正交调制。

数字码型和格式

数字码型由多条同步的脉冲流组成，脉冲流由宽 8 位、12 位、16 位或 16 位以上的数据“字”组成。数字码型发生器是一种信号发生器，它专门通过并行输出为数字总线和处理器提供数据字。这些码型中的字以稳定的周期步调传输，每个周期中每个位的活动取决于选择的信号格式。格式影响着构成数据流的周期内部的脉冲宽度。

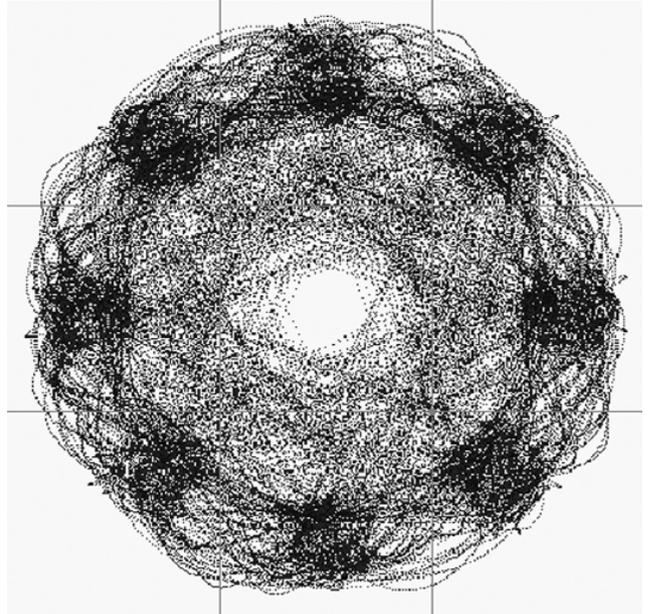


图 15. 正交调制。

下面的列表概括了最常用的格式。在前三种格式解释中，我们假设周期从二进制“0”值开始，即低逻辑电压电平。

- 非归零 (NRZ)：在周期中发生有效位时，波形开关到“1”，并保持这个值，直到下一个周期边界。
- 延迟非归零 (DNRZ)：与 NRZ 类似，但波形在指定延迟时间后开关到“1”。
- 归零 (RZ)：在存在有效位时，波形开关到“1”，然后在同一周期内开关回到“0”。
- 归一 (R1)：事实上是 RZ 的倒数。与这一列表中的其它格式不同，R1 假设周期从“1”开始，然后在位有效时开关到“0”，然后在周期结束前开关回到“1”。

码流

伪随机码流 (PRBS) 和伪随机字流 (PRWS) 的存在构成了数字计算机的天生局限：它们不能生成真正随机的数字。但是，随机事件在数字系统中可能也会带来好处。例如，完全“干净的”数字视频信号在本应平滑的表面可能有讨厌的锯齿线和明显的轮廓。增加控制数量的噪声可以在不损害底层信息的基础上，隐藏这些人工信号。

为创建随机噪声，数字系统会生成一条数字流，尽管这些数字遵循可以预测的数学模式，但其具有随机效应。这些“伪随机”数字实际上是一个以随机速率重复的序列集，结果是 PRBS。伪随机字流定义了怎样在信号发生器并行输出中表示多条 PRBS 流。

在测试串行器或复用器时，通常使用 PRWS。这些单元把 PRWS 信号重组为串行伪随机码流。

信号发生器类型

信号发生器在广义上分成混合信号发生器 (任意波形发生器和任意波形 / 函数发生器) 和逻辑信号源 (脉冲或码型发生器)，满足了全系列信号生成需求。每种信号发生器都有独特的优势，或多或少地适合某种特定应用。

混合信号发生器是为输出具有模拟特点的波形而设计的，包括正弦波和三角波等模拟波，以及表现出每个实际环境信号都包括的圆形和不理想的“方”波。在通用混合信号发生器中，您可以控制幅度、频率和相位及 DC 偏置和上升时间和下降时间；您可以创建过冲等畸变；还可以增加边沿抖动、调制等等。

真正的数字信号发生器必需驱动数字系统。其输出是二进制脉冲流 – 专用数字信号发生器不能生成正弦波或三角波。数字信号发生器的功能是为满足计算机总线需求和类似应用而优化的。这些功能包括加快码型开发速度的软件工具，也可能包括为匹配各种逻辑系列而设计的探头之类的硬件工具。

如前所述，从函数发生器到任意信号发生器到码型发生器，当前几乎所有高性能信号发生器都基于数字结构，支持灵活的编程能力和杰出的精度。

模拟信号发生器和混合信号发生器

模拟信号发生器和混合信号发生器的类型

任意波形发生器

从历史上看，生成各种波形的任务一直使用单独的专用信号发生器完成，从超纯音频正弦波发生器到几 GHz 的 RF 信号发生器。尽管有许多商用解决方案，但用户通常必须根据手边的项目定制设计或改动信号发生器。设计仪器质量的信号发生器非常困难，当然设计辅助测试设备会占用项目的宝贵时间。

幸运的是，数字采样技术和信号处理技术给我们带来了一个解决方案，可以使用一台仪器 – 任意波形发生器满足几乎任何类型的信号发生需求。任意波形发生器可以分成任意波形 / 函数发生器 (AFG) 和任意波形发生器 (AWG)。

任意波形 / 函数发生器 (AFG)

任意波形 / 函数发生器 (AFG) 满足了广泛的激励需求；事实上，它是当前业内流行的信号发生器结构。一般来说，这一仪器提供的波形变化要少于 AWG 同等仪器，但具有杰出的稳定性及能够快速响应频率变化。如果 DUT 要求典型的正弦波和方波（及其它），并能够在两个频率之间几乎即时开关，那么任意波形 / 函数发生器 (AFG) 提供了适当的工具。另一个特点是 AFG 的成本低，对不要求 AWG 通用性的应用极具吸引力。

AFG 的许多功能与 AWG 相同，但 AFG 设计成更加专用的仪器。AFG 提供了许多独特的优势：它生成稳定的标准形状的波形，特别是最重要的正弦波和方波，而且精确、捷变。捷变是指能够迅速干净地从一个频率转到另一个频率。

大多数 AFG 提供了用户熟悉的下述波形的某个子集：

- 正弦波
- 方波
- 三角波
- 扫描
- 脉冲
- 锯齿波
- 调制
- 半正弦波

当然 AWG 也能提供这些波形，但当前 AFG 是为改善输出信号的相位、频率和幅度控制而设计的。此外，许多 AFG 提供了从内部来源或外部来源调制信号的方式，这对某些类型的标准一致性测试至关重要。

过去，AFG 使用模拟振荡器和信号调节创建输出信号。最新的 AFG 依赖直接数字合成 (DDS) 技术确定样点从存储器中输出时钟的速率。

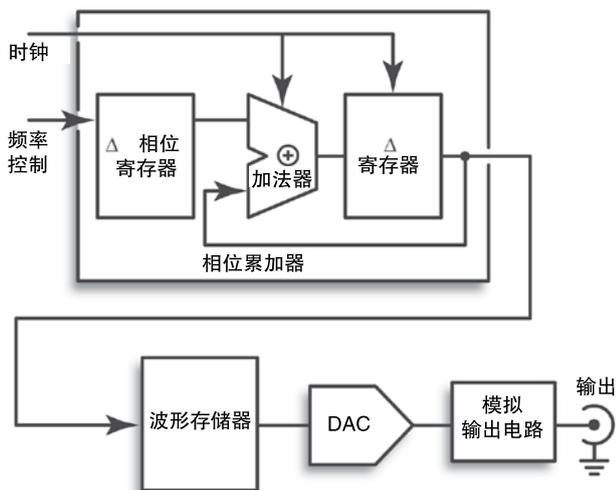


图 16. 任意波形 / 函数发生器的结构 (简图)。

DDS 技术使用一个时钟频率生成仪器范围内的任何频率，来合成波形。图 16 以简化形式概括了基于 DDS 的 AFG 结构。

在相位累加器电路中，Delta (Δ) 相位寄存器接收来自频率控制器的指令，表示输出信号将在每个连续周期中前进的相位增量。在现代高性能 AFG 中，相位分辨率可能会低到 $1/230$ ，即约为 $1/1,000,000,000$ 。

相位累加器的输出作为 AFG 波形存储器部分的时钟使用。仪器操作几乎与 AWG 相同，但有一个明显例外是波形存储器一般只包含部分基本信号，如正弦波和方波。模拟输出电路基本上是一个固定频率的低通滤波器，保证只有感兴趣的编程频率（没有时钟人工信号）离开 AFG 输出。

为了解相位累加器怎样创建频率，想象一下控制器把值 1 发送到 30 位 Δ 相位寄存器。相位累加器 Δ 输出寄存器将在每个周期中前进 $360 \div 2^{30}$ ，因为 360 度代表着仪器输出波形的一个完整周期。因此， Δ 相位寄存器值 1 在 AFG 范围内生成频率最低的波形，要求整整 2Δ 增量，创建一个周期。电路将保持在这一频率，直到 Δ 相位寄存器加载一个新值。

大于 1 的值将更迅速地前进通过 360 度，生成更高的输出频率（某些 AFG 采用不同的方法：它们跳过某些样点，从而更快地阅读存储器，提高输出频率）。唯一的变化是相位值由频率控制器提供，根本不需要改变主时钟频率。此外，它允许波形从波形周期内的任何点开始。

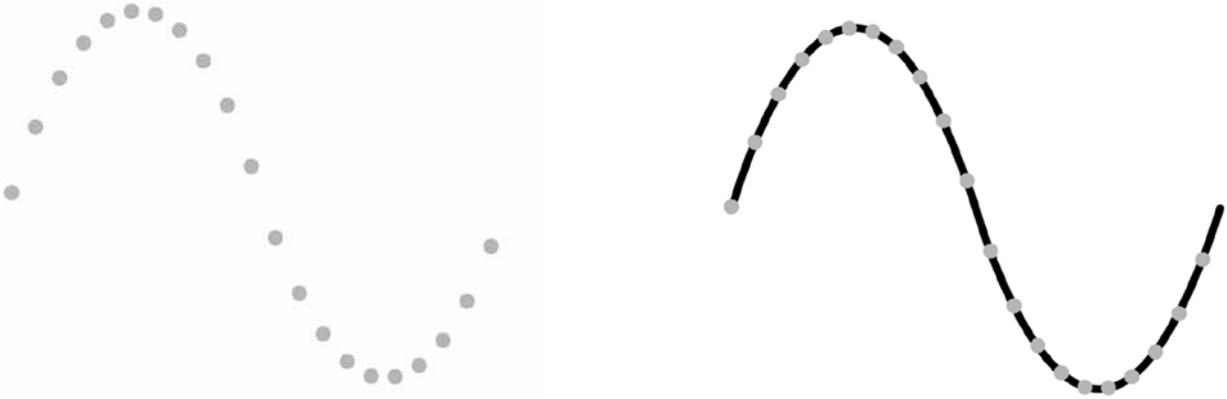


图 17. (左) 表示正弦波的一串样点；(右) 重建的正弦波。

例如，假设必需生成一个从周期正向部分峰值开始的正弦波。基本数学运算告诉我们，这个峰值发生在 90 度。因此：

$$2^{30} \text{ 个增量} = 360^\circ \text{ ; 且}$$

$$90^\circ = 360^\circ \div 4; \text{ 那么}$$

$$90^\circ = 230 \div 4$$

在相位累加器收到一个等于 $(2^{30} \div 4)$ 的值时，它会提示波形存储器从包含正弦波正峰值电压的位置启动。

典型的 AFG 在存储器预编程部分存储多个标准波形。从整体上看，正弦波和方波是许多测试应用使用最广泛的应用。任意波形保存在存储器中用户编程的部分。可以以与传统 AWG 相同的灵活性定义波形。但是，DDS 结构不支持存储器分段和波形排序。这些高级功能留给了高性能 AWG。

DDS 结构提供了杰出的频率捷变性，可以简便地在空中对频率变化和相位变化编程，这特别适合任何类型的 FM DUT，如无线和卫星系统器件。如果特定 AFG 的频率范围足够大，那么它为测试 FSK 和跳频电话技术 (如 GSM) 提供了理想的信号发生器。

AFG 不能象 AWG 那样创建想得到的几乎任何波形，但 AFG 能够生成世界各地实验室、维修设施和设计部门中最常用的测试信号。此外，它提供了杰出的频率捷变性。重要的是，AFG 通常是完成工作最经济的方式。

任意波形发生器 (AWG)

不管您在磁盘驱动器检定中需要由精确的 Lorentzian 脉冲定形的数据流，还是需要复调制 RF 信号测试基于 GSM 或基于 CDMA 的手机，任意波形发生器 (AWG) 都可以生成您想得到的任何波形。您可以使用各种方法，从数学公式到“画出”波形，创建所需的输出。

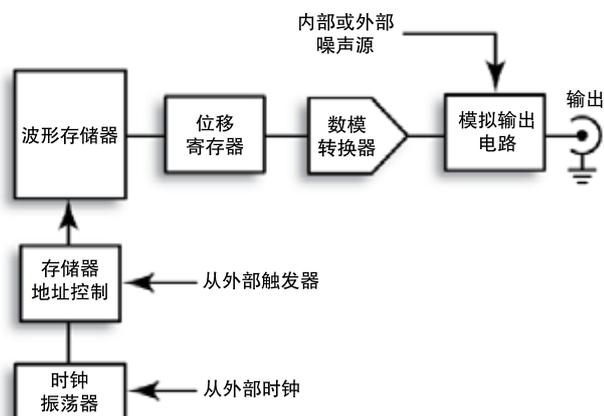


图 18. 任意波形发生器的结构 (简图)。

从本质上看，任意波形发生器 (AWG) 是一种完善的播放系统，它根据存储的数字数据提供波形，这些数字数据描述了 AC 信号不断变化的电压电平。它是一种方框图看起来很简单的工具。为解释 AWG 概念，我们举一个大家熟悉的例子，比如实时读出存储数据的唱片机 (在 AWG 中是自己的波形存储器；在唱片机中是唱片本身)。它们都输出一个模拟信号或波形。

为理解 AWG，首先必需掌握数字采样的广义概念。顾名思义，数字采样是使用样点或数据点定义一个信号，这些样点或数据点沿着波形的斜率表示一串电压测量。通过使用示波器等仪器实际测量波形，或使用图形或数学技术，可以确定这些样点。图 17 (左) 说明了一串样点。尽管曲线使其得间隔似乎发生变化，但所有这些点都以统一的时间间隔采样。在 AWG 中，采样的值以二进制形式存储在快速随机存取存储器 (RAM) 中。

通过使用存储的信息，可以读回存储器位置，通过数模转换器 (DAC) 输入数据点，在任何时间重建信号 (下图)。图 17 (右) 说明了结果。注意 AWG 的输出电路在样点之间滤波，以连接各个点，创建干净的不间断的波形形状。DUT 不会把这些点“看作”离散的点，而是看作连续的模拟波形。

图 18 是实现这些操作的 AWG 简化的方框图。

AWG 提供了几乎任何其它仪器都不能匹配的通用性。由于其能够生成可以想到的任何波形，因此 AWG 支持从汽车防抱死制动系统模拟到无线网络极限测试的各种应用。

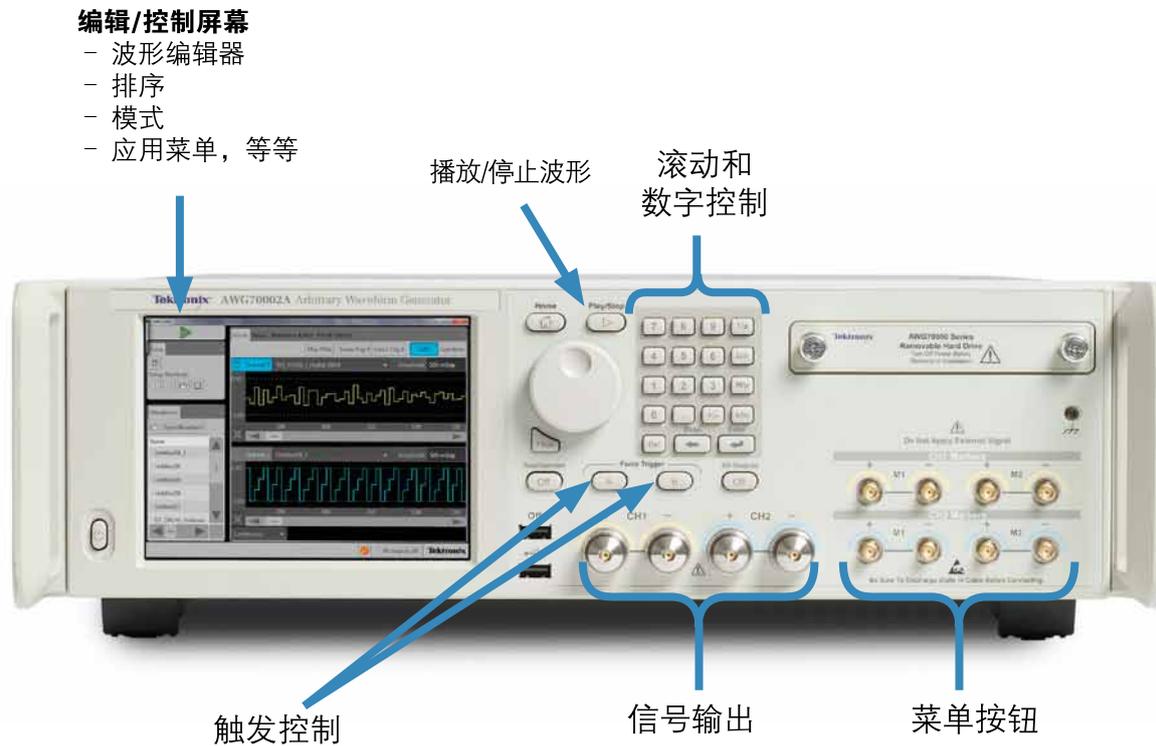


图 19. 高性能混合信号发生器：泰克 AWG7000 系列任意波形发生器。

混合信号发生器系统和控制功能

与作为完整测量解决方案激励单元的角色一样，混合信号发生器的控制和子系统采用专门设计，加快了各种波形类型的开发速度，提供了拥有完整保真度的波形。

最基本的、经常处理的信号参数都有自己专用的前面板控制功能。比较复杂的操作及需要频次较低的操作则通过仪器显示屏上的菜单进入。

Level Control (电平控制) 负责设置输出信号的幅度和偏置电平。在图 19 所示的信号发生器中，前面板上的专用电平控制功能可以简便地设置幅度和偏置值，而不必依赖多级菜单。

入门手册

Timing Control (定时控制) 通过控制采样率, 设置输出信号的频率。这里, 基于硬件的专用控制功能也简化了基本水平参数的设置。

注意, 上面的任何参数都不控制仪器生成的实际波形。这一功能位于编辑 / 控制屏幕上的菜单中。触摸面板或鼠标选择感兴趣的视图, 其可能会提供控制功能, 在图形用户界面中定义顺序或数字输出设置, 如图 20 所示。在启动这样一个页面后, 您只需使用数字键盘和 / 或通用滚动旋钮填空即可。

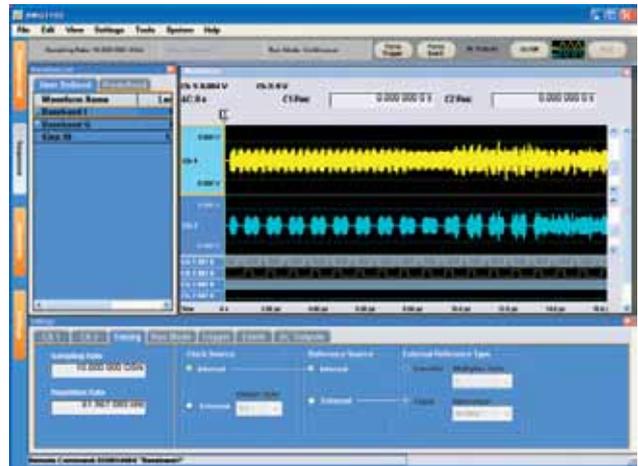


图 20. AWG 用户界面, 其中显示了用来选择菜单的设置栏。

性能指标和考虑因素

下面是部分参数定义，这些参数描述了混合信号发生器的性能。您会看到各种手册、参考书籍、教程及介绍信号发生器或应用的任何地方都在使用这些术语。

存储深度 (记录长度)

存储深度或记录长度与时钟频率一起使用。存储深度决定着可以存储的最大样点数量。每个波形样点占用一个存储器位置。每个位置等于当前时钟频率下采样间隔的时间。例如，如果时钟以 100 MHz 运行，那么存储的样点间隔是 10 ns。

在许多频率上，存储深度在信号保真度中发挥着重要作用，因为它决定着可以存储多少个数据点来定义一个波形。特别是在复杂波形中，存储深度对精确复现信号细节至关重要。提高存储深度的好处可以概括如下：

- 可以存储更多周期的希望波形，存储深度与信号发生器的排序功能相结合，允许仪器灵活地把不同波形联接起来，创建无穷多个循环、码型等等。
- 可以存储更多的波形细节。复杂的波形在脉冲边沿和瞬态信号中可能有高频信息。很难内插这些快速瞬态信号。为真实地复现复杂的信号，可以使用提供的波形存储器容量，存储更多的瞬态信号和波形，而不是更多的信号周期。

高性能混合信号发生器提供了深存储深度和高采样率。这些仪器可以存储和复现复杂的波形，如伪随机码流。类似的，具有深存储器的这些快速信号发生器可以生成非常简单的数字脉冲和瞬态信号。

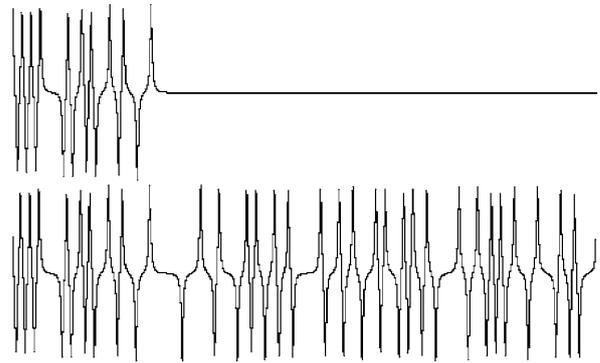


图 21. 通过充足的存储深度，任意信号发生器可以复现异常复杂的波形。

采样 (时钟) 速率

采样率通常用每秒兆样点或千兆样点表示，表明了仪器可以运行的最大时钟或采样率。采样率影响着主要输出信号的频率和保真度。内奎斯特采样定理规定，采样频率或时钟速率必须至少是生成的信号中最高频谱成分的两倍，以保证精确地复现信号。例如，为生成 1 MHz 的正弦波信号，必需以 2 M 样点 / 秒 (MS/s) 的频率生成样点。尽管这一定理通常只是作为采集指导准则使用，但与示波器一样，其与信号发生器的相关性非常明确：存储的波形必须有足够的点数，以真实地重现希望的信号细节。

信号发生器可以获得这些样点，然后以规定极限范围内任何频率从存储器中读出这些样点。如果存储的样点集符合内奎斯特定理，并描述了一个正弦波，那么信号发生器将相应地滤波波形，输出一个正弦波。

计算信号发生器可以生成的波形频率需要对一些简单的公式求解，以存储器中存储了一个波形周期的仪器为例：

假设 100 MS/s 的时钟频率和存储深度或记录长度，共 4000 个样点，那么：

$$F_{\text{输出}} = \text{时钟频率} \div \text{存储深度}$$

$$F_{\text{输出}} = 100,000,000 \div 4000$$

$$F_{\text{输出}} = 25,000 \text{ Hz (或 25 kHz)}$$

图 22 说明了这一概念。

在规定的时钟频率上，样点距离约为 10 ns。这是波形的时间分辨率（水平）。一定不要把把这个概念与幅度分辨率（垂直）弄混了。

为进一步推进这一流程，我们假设样点 RAM 包含的不是一个波形周期，而是包含四个波形周期：

$$F_{\text{输出}} = (\text{时钟频率} \div \text{存储深度}) \times (\text{存储器中的周期数量})$$

$$F_{\text{输出}} = (100,000,000 \div 4000) \times (4)$$

$$F_{\text{输出}} = (25,000 \text{ Hz}) \times (4)$$

$$F_{\text{输出}} = 100,000 \text{ Hz}$$

新的频率是 100 kHz。图 23 说明了这一概念。

在本例中，时间分辨率仍为 10 ns，但每个波形周期只用 1000 个样点表示，产生的信号保真度要更低。

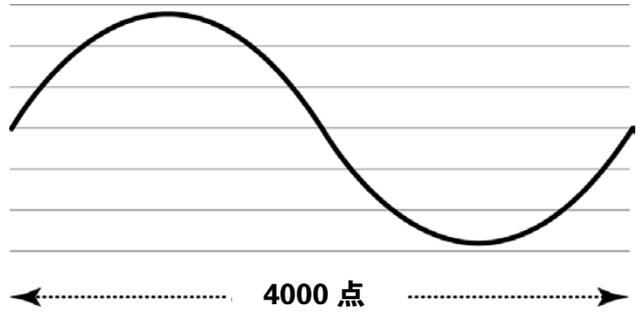


图 22. 在 100 MHz 的时钟频率时，一个 4000 点的波形作为 25 kHz 的输出信号传送。

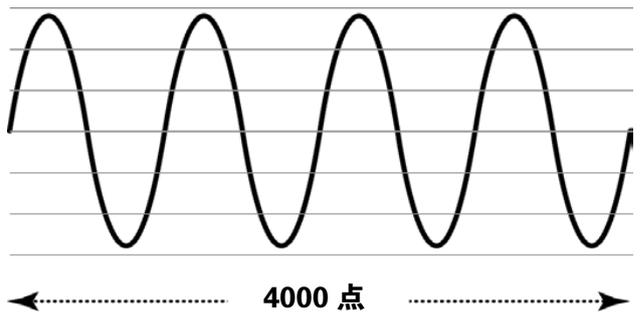


图 23. 通过使用四个存储的波形和一个 100 MHz 时钟，生成了一个 100 kHz 信号。

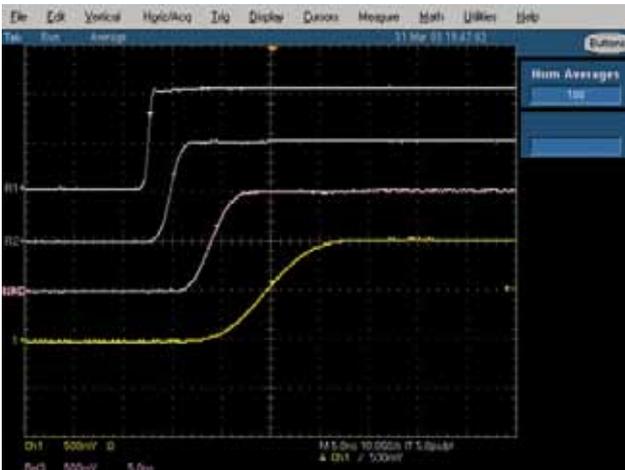


图 24. 充足的带宽保证不会漏掉任何信号细节。

带宽

仪器的带宽是一种模拟术语，它与采样率无关。信号发生器输出电路的模拟带宽必须足以处理其采样率将支持的最大频率。换句话说，必须有足够的带宽，能够传送从存储器中输出时钟的最高频率和转换时间，而不会劣化信号特点。在图 24 中，示波器显示屏揭示了充足带宽的重要性。最上面的轨迹显示了高带宽信号发生器完善的上升时间，其它轨迹则显示了由于输出电路设计较差而导致的劣化效果。

垂直（幅度）分辨率

在混合信号发生器中，垂直分辨率与仪器 DAC 的二进制字长度（单位为位）有关，位越多，分辨率越高。DAC 的垂直分辨率决定着复现的波形的幅度精度和失真。分辨率不足的 DAC 会导致量化误差，导致波形生成不理想。

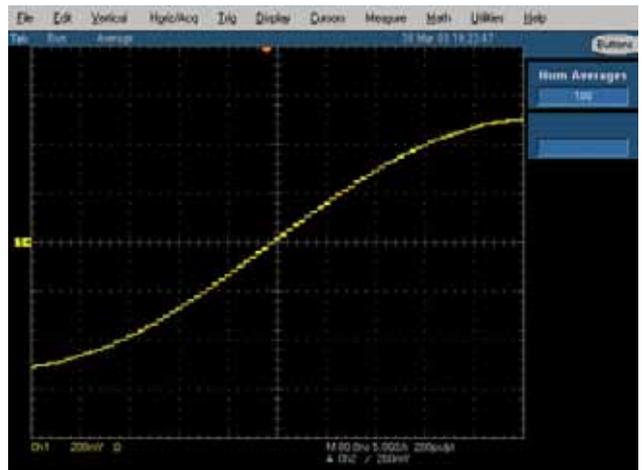
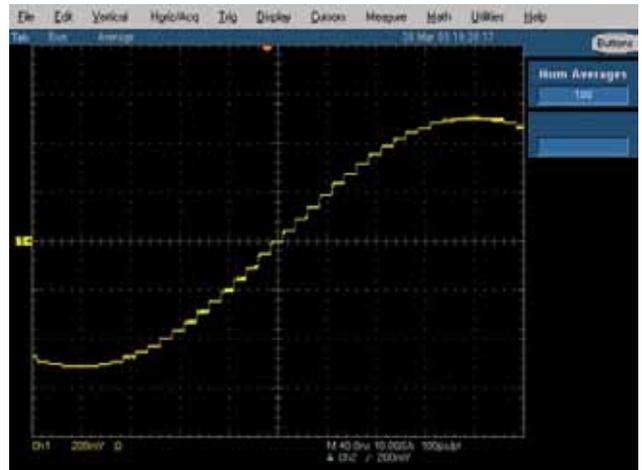


图 25. (上) 垂直分辨率低；(下) 垂直分辨率高。垂直分辨率决定着复现的波形的幅度精度。

尽管越高越好，但在 AWG 中，频率较高的仪器的分辨率（8 位或 10 位）通常要低于 12 位或 14 位的通用仪器。10 位分辨率的 AWG 提供了 1024 个样点电平，分布在仪器的整个电压范围内。例如，如果这个 10 位 AWG 的总电压范围为 2 Vp-p，那么每个样点表示大约 2 mV 的步进，这是仪器在没有额外衰减器的情况下可以提供的最小增量，其中假设它不受结构中其它因素的限制，如输出放大器增益和偏置。

水平 (定时) 分辨率

水平分辨率表示创建波形可以使用的最小时间增量。一般来说，这个指标使用下面的公式计算得出的。

$$T = 1/F$$

其中 T 是定时分辨率，单位为秒；F 是采样频率。

根据这一定义，最大时钟速率是 100 MHz 的信号发生器的定时分辨率是 10 ns。换句话说，这一混合信号发生器输出波形的特点是由一串相距 10 ns 的步进确定的。某些仪器提供了工具，明显扩展了输出波形的有效定时分辨率。尽管其没有提高仪器的基本分辨率，但这些工具对波形应用变化，复现以皮秒增量移动边沿时的影响。

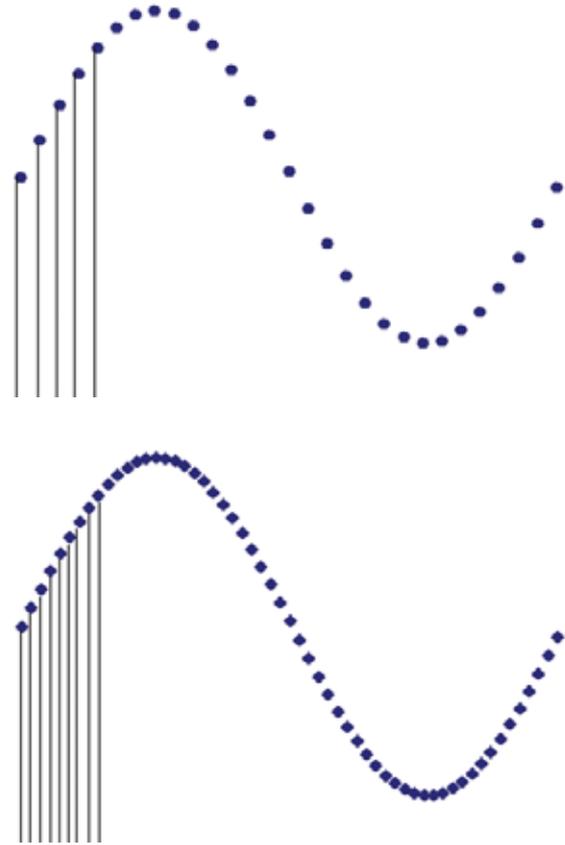


图 26. (上) 水平分辨率低 ; (下) 水平分辨率高。水平或定时分辨率是指边沿、周期时间或脉宽可以变动的最小时间增量。

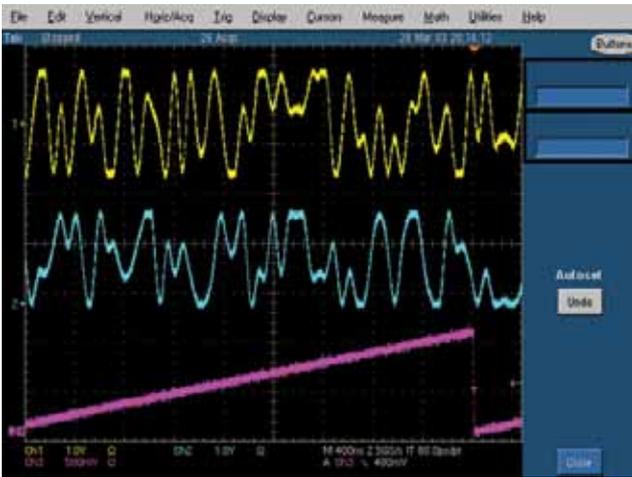


图 27. 多条输出通道。

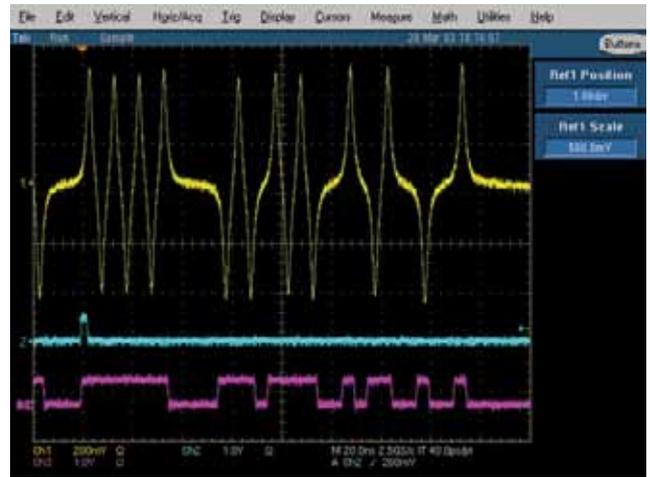


图 28. 标记输出。

输出通道数量

许多应用要求信号发生器有一条以上的输出通道。例如，测试汽车防抱死制动系统要求四个激励信号（原因很明显）。生物物理研究应用要求多个信号发生器，模拟人体产生的各种电信号。复杂的 IQ 调制电信器件在两个相位中每个相位都要求一个单独的信号。

为满足这些需求，已经出现了各种 AWG 输出通道配置。某些 AWG 可以提供最多四条独立的全带宽模拟激励信号通道。其它 AWG 则提供最多两个模拟输出，并辅以最多 16 个高速数字输出用于混合信号测试。通过后一类工具，用户可以只使用一台综合仪器，同时测试器件的模拟、数据和地址总线。

数字输出

某些 AWG 包括单独的数字输出。这些输出分成两类：标记输出和并行数据输出。

标记输出提供了与信号发生器主模拟输出信号同步的



图 29. 并行数字输出。

二进制信号。一般来说，标记可以输出与特定波形存储器位置（样点）同步的一个脉冲（或多个脉冲）。可以使用标记脉冲，对同时从混合信号发生器接收模拟激励信号的 DUT，同步其数字部分。同样重要的是，标记可以在 DUT 的输出一侧触发采集仪器。标记输出一般从独立于主波形存储器的存储器中驱动。

并行数字输出从与信号发生器主模拟输出相同的存储器中获得数字数据。在特定波形样点值出现在模拟输出上时，并行数字输出上会提供同等的数字值。在测试数模转换器时，这些数字信息可以随时作为比较数据使用。数字输出也可以独立于模拟输出编程。

滤波

一旦确定了基本波形，那么可以使用其它操作，如滤波和排序，分别改变或扩展波形。滤波可以从信号中去掉选择的频段成分。例如，在测试模数转换器(ADC)时，必需保证来自信号发生器的模拟输入信号的频率不会高于转换器一半的时钟频率。这可以防止 DUT 输出中出现不想要的假信号失真，否则会影响测试结果。假信号是指在感兴趣的频率范围内插入失真后的转换产物。没有假信号的 DUT 是不能产生有意义的测量结果的。

消除这些频率的一种可靠方式是对波形应用陡峭的低通滤波器，允许指定点之下的频率通过，明显衰减截止频率之上的频率。还可以使用滤波器，整形方波和三角波之类的波形。有时候通过这种方式改变现有波形要比创建新波形简单。过去，工程师必需使用信号发生器和外部滤波器，才能实现这些结果。幸运的是，当前许多高性能信号发生器具有可以控制的内置滤波器。

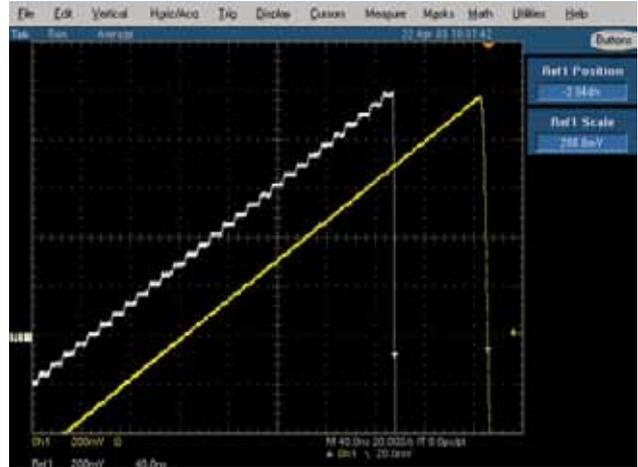


图 30. 滤波前和滤波后。参考 1 (上) 波形是没有滤波的锯齿波形，通道 1 (下) 波形是滤波后的锯齿波形。

排序

通常情况下，必需创建长波形文件，以全面对 DUT 执行测试。在重复波形部分时，波形排序功能可以节约大量繁琐的、存储器密集型波形编程工作。排序功能可以在仪器存储器中存储数量庞大的“虚拟”波形周期。波形排序器借用了计算机领域的命令，如循环、跳跃等等。这些指令位于与波形存储器不同的序列存储器中，可以重复指定的波形存储器段。程控重复计数器、外部事件分支和其它控制机制决定着运行周期数量及其发生的顺序。通过序列控制器，可以生成长度几乎没有限制的波形。

举一个非常简单的例子，想象下一个 4000 点存储器有一个干净的脉冲，这个脉冲占了一半的存储器 (2000 点)；另外一个失真的脉冲则占了另一半存储器。如果我们仅限于基本重复存储器内容，那么信号发生器会一直顺序重复两个脉冲，直到接到命令停止。而波形排序功能则改变了这一切。

假设您希望失真的脉冲在每隔 511 个周期后连续出现两次。您可以编写一个序列，重复干净的脉冲 511 次，然后跳到失真的脉冲，重复两次，然后再回到循环开头，再次执行各个步骤。图 32 说明了这一概念。

循环重复可以设成无穷大、指定值、或通过事件输入进行控制。我们已经讨论过存储的波形周期数与得到的定时分辨率之间成反比，排序功能则可以大大改善灵活性，而不会损害各个波形的分辨率。

这里要注意，被排序的任何波形段的相位和幅度必须从一个段的最后一个样点正确跳变到下个段的第一个样点。在 DAC 试图突然变成新值时，这个跳变中的任何问题都会导致不想要的毛刺。

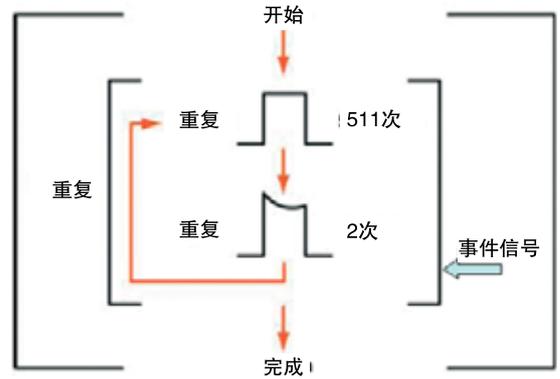


图 31. 可以使用循环和重复扩展 AWG 的波形存储器容量。

尽管这个例子是非常基本的例子，但它代表着检测不规则的码型相关误差所需的一种功能。一个例子是通信电路中的码间干扰。在一个周期中的信号状态影响到后续周期中的信号，使其失真、甚至会改变其值时，会发生码间干扰。通过波形排序功能，可以使用信号发生器作为激励装置运行长期极限测试，时间可以扩展到几天、甚至几周。

集成编辑器

假设您需要一串波形段，它们拥有相同的形状，但在波形串推进时幅度不同。为创建这些幅度变化，您可能要使用脱机波形编辑器，重新计算波形或重新画出波形。但这两种方法都不必要地耗费大量的时间。更好的方法是使用能够同时在时间和幅度上改变波形的集成编辑工具。

当前的混合信号发生器提供了多种编辑工具，简化了波形创建任务：

- **图形编辑器** – 这个工具可以构建和查看波形表示；然后可以汇编及把得到的数据点存储在波形存储器中。
- **序列编辑器** – 这个编辑器包含计算机类编程指令（跳跃，循环等），这些指令在序列中指定的存储波形上操作。

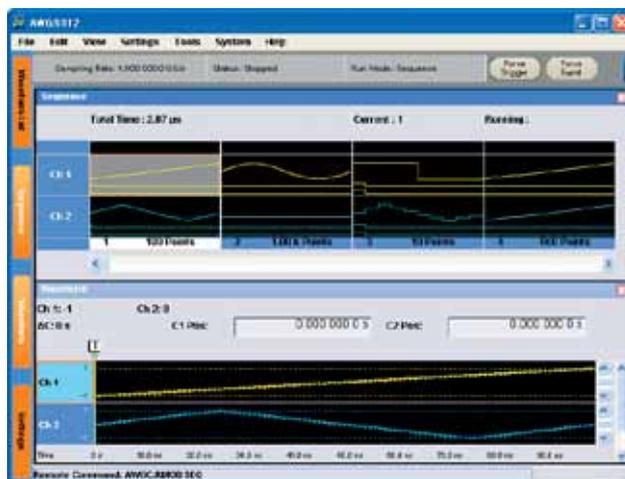


图 32. 图形编辑器和序列编辑器相结合，灵活地创建波形。

数据导入功能

数据导入功能可以使用在信号发生器外面创建的波形文件。

例如，可以通过 GPIB 或以太网把现代数字存储示波器捕获的波形简便地传送到混合信号发生器中。这一操作对使用“黄金标准器件”的参考信号测试该器件所有后续生成副本的测试方法至关重要。可以使用仪器的编辑工具处理信号，就象存储的任何其它波形一样。

模拟器和其它电子设计自动化 (EDA) 工具是另一种有用的波形来源。由于能够引入、存储和重建 EDA 数据，信号发生器可以加快早期设计原型的开发速度。

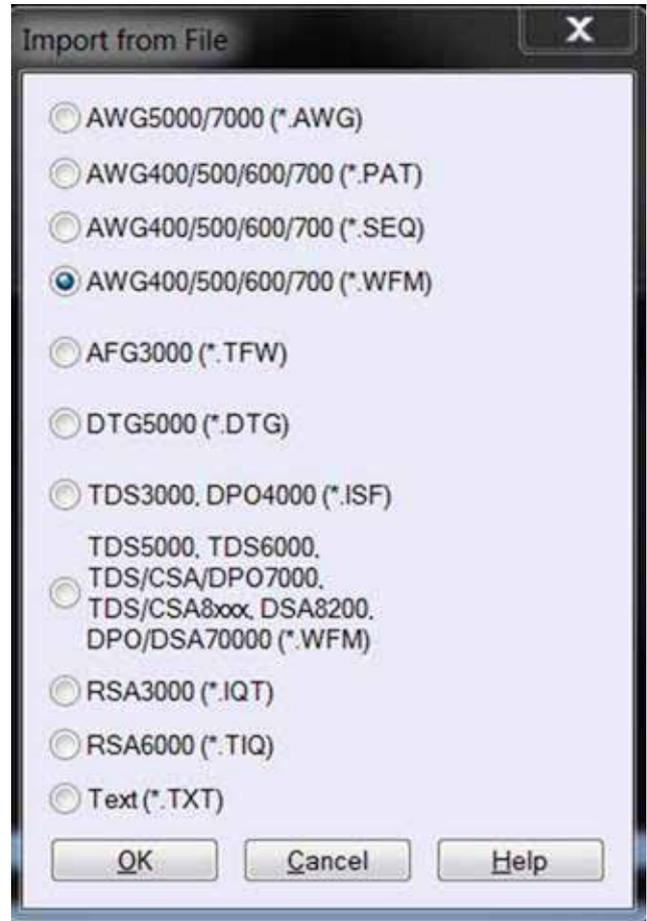


图 34. 数据导入功能。

设置 AWG 的最后一步是在必要的地方汇编文件 (与来自公式编辑器的文件一样), 把汇编后的文件存储在硬盘上。“Load” (加载) 操作把波形放入 AWG 的动态存储器中, 然后复用并发送到 DAC, 然后以模拟形式输出。

这些是在 AWG 上生成波形的基本步骤。如前所述, 波形文件可以使用单独的序列编辑器级联到序列中, 生成长度几乎没有限制及任何复杂度的信号流。

创建复杂的波形

当前工程设计生命周期的加快实现了更快的产品开发周期, 尽可能简便高效地使用实际环境信号和特点测试设计至关重要。为生成这些实际环境信号, 必须先创建这些信号。在历史上, 创建这些波形一直是一个挑战, 提高了被设计或被测试的产品的开发周期。通过通用软件工具 (如 ArbExpress) 或特定应用工具 (如 SerialExpress[®] 和 RFXpress[™]), 可以简便地创建和编辑复杂的波形。

ArbExpress[™]

ArbExpress 是用于 AWG 和 AFG 仪器的一种波形创建和编辑工具。这种基于 Windows(PC) 的应用软件可以从泰克示波器中捕获波形, 或从标准波形库中创建波形。

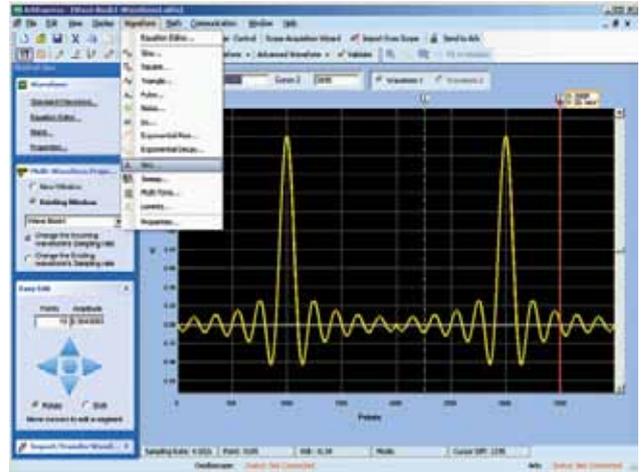


图 35. 使用 ArbExpress[™] for PC 方便地创建和编辑任意波形。

在示波器采集向导的引导下, 您可以方便地建立到选定示波器的连接, 从提供的通道和存储器位置中选择数据来源。可以通过光标全面导入波形或提取波形段。还可以对波形二次采样, 以匹配预计信号发生器的定时分辨率。

在 ArbExpress 中, 还可以通过单点画图工具或通过数字数据表输入, 在标准波形基础上自由定义波形。一旦已经创建了波形, 可以使用数学运算功能或编辑工具, 简便地增加异常事件。还可以在时间或幅度轴中方便地移动波形段或整个波形, 从而可以轻松生成实际环境信号。

SerialXpress®

新一代高速串行标准支持 3 – 6 Gb/s 的数据速率。在这些更高的速度下，新设计运行的定时余量不断缩小，要求实现接收机检定，以完善传统的发射机测试。SerialXpress 应用软件程序是专为 SATA、HDMI、PCI-Express 等高速串行数据应用设计的。为高效评估电路特点及是否满足监管标准，工程师们必须能够在测试过程中引入各种已知异常信号。必须仿真周期性抖动、随机抖动、预加重 / 去加重信号及变化的边沿速率等信号特点，以保证接收机正常运行。

通过 SerialXpress 之类的应用软件程序，工程师们可以在一致性测试过程中简便地增加信号损伤。在许多情况下，这些程序提供了过去要求多台仪器才能实现的灵活性和信号控制功能。图 36 和图 37 显示了 SerialXpress 为典型 SerialATA (SATA) 波形提供的设置界面。工程师们可以简便地增加数据速率、信号幅度、上升时间 / 下降时间和信号损伤。通过 SerialXpress，用户还可以控制损伤的规模和幅度，并可以与其它异常信号同时或独立分析每种损伤。

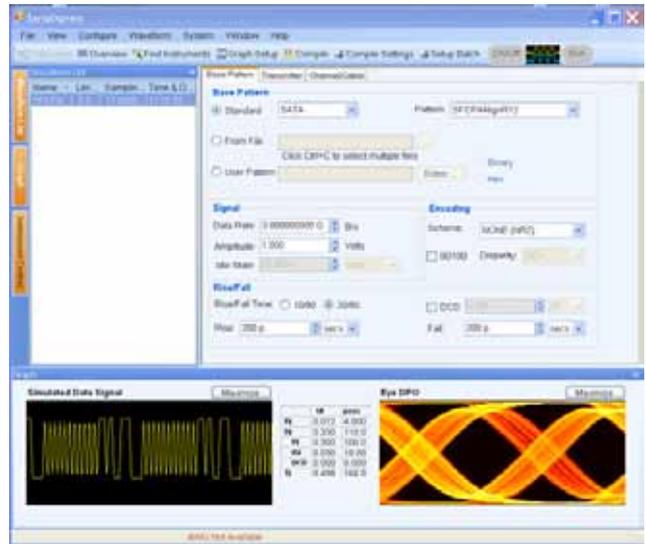


图 36. 预加重的标准 SATA 波形。

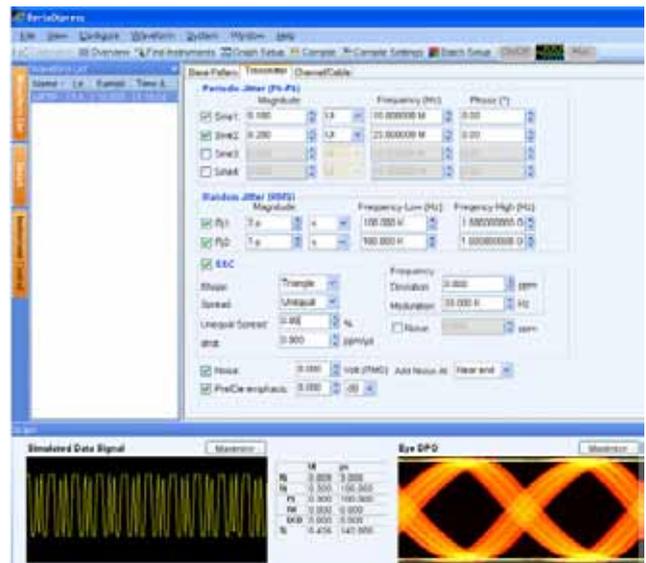


图 37. SerialXpress 可以轻松生成损伤信号。

RFXpress™

RFXpress 是一种基于 PC 的现代软件工具，它提供了图形用户界面，能够以可视方式确认波形和设置。RFXpress 提供了拖放式波形编辑功能以及基于向导的校准程序，可以快速简便地合成波形。用户可以创建所需的具体波形，全面、彻底、可重复地执行设计验证，实现余量测试和一致性测试。RFXpress 大大减少了创建和仿真信号所需的时间，进而缩短了整体开发时间和测试时间。

为简化通用波形和标准波形的波形创建过程，RFXpress 还可以自动包裹校正动作和归一化波形幅度。自动包裹校正动作消除了频谱毛刺，在波形连续重复、波形开头和末尾之间信号幅度差很大时，会发生这种频谱毛刺。

RFXpress 提供了专门的“插件”选项，实现了完善的 WiMedia 信号特性。例如，尽管 WiMedia 规定了 RF 频段组和中频，但工程师可能要在中频执行测试。RFXpress 允许用户在 WiMedia 采用的中频及标准 RF 频率上定义 AWG 功能范围内的信号。

在 WiMedia 一致性测试模式下，可以简便合成复杂的 MB-OFDM 信号。RFXpress 包含已经采用的 WiMedia 信号标准，用户可以选择最高级的信号特性。这简化了标准规定的信号特性的编程工作，同时降低了编写信号时因疏忽而出现的错误。

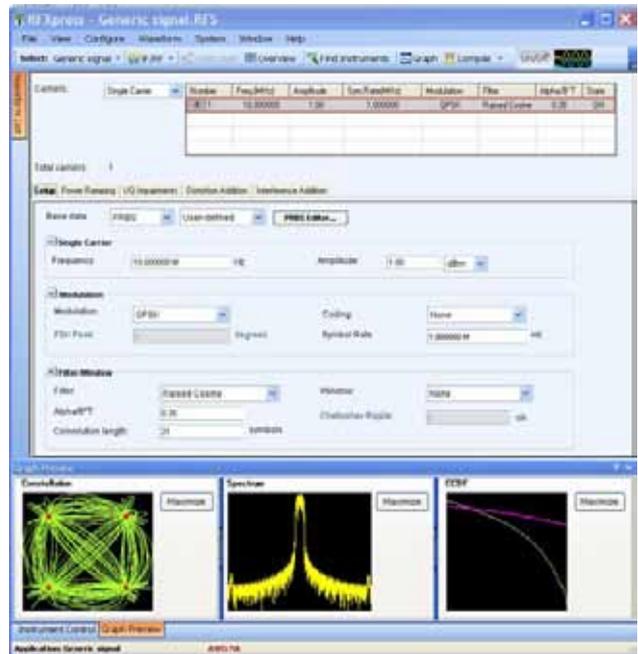


图 38. RFXpress 创建的单载波 RF 波形。

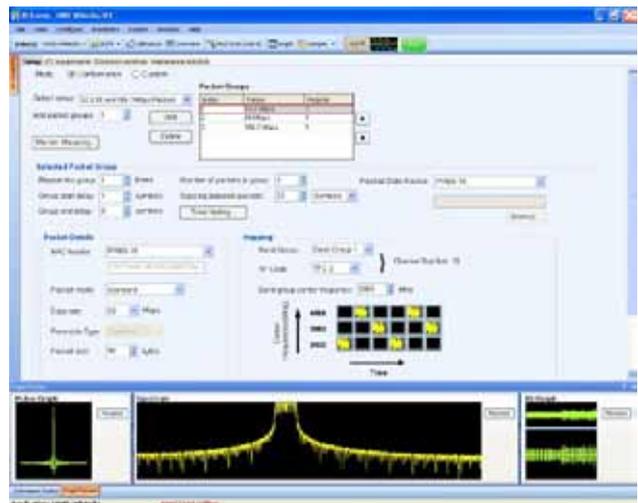


图 39. 使用 RFXpress 创建的复杂的 UWB 波形。

总结

许多工程师把调试和设计检验等任务看作纯粹的“测量”挑战，随即会把示波器或逻辑分析仪看成解决问题的整个方案。但是，这些采集仪器在工作中有一个重要的配套仪器：激励仪器 – 信号发生器。

激励和采集仪器相结合，构成了完整的解决方案，可以使用复杂的实际环境信号驱动被测器件，采集得到的输出结果。示波器是采集使用的行业标准工具。但只有通过信号发生器，工程师才能真正控制进入器件的信号。此外，通常还必需有效控制器件的输出。

类似的，信号发生器使余量测试和检定成为可能。在处理信号发生器和示波器或逻辑分析仪时，工程师可以探索设计性能的极限，使用信号发生器引入故意的极限条件、使用示波器测量结果，或在发生数字错误时使用逻辑分析仪捕获数据。

信号发生器和采集仪器相结合，从磁盘驱动器设计到电信一致性测试，提供了完整的测量解决方案。

词汇表

Aberration (畸变) – 波形中的过冲或下冲。

Agility (捷变性) – 迅速干净地从一个频率转变到另一个频率的能力。

Aliasing (假信号) – 把失真转换产物插入感兴趣的频率范围内。

Amplitude (幅度) – 量级或信号强度。在电子器件中，幅度通常是指电压或功率。

Amplitude Modulation (幅度调制 (AM)) – 一种模拟调制，其中幅度变化把低频信息嵌入到高频载波信号中；最常用于广播通信中。

Amplitude Resolution (幅度分辨率) – 参见垂直分辨率。

Amplitude Shift keying (幅移键控 (ASK)) – 一种数字调制，其中数字调制信号会导致输出频率在两个幅度之间开关。

Analog Signal (模拟信号) – 电压连续变化的信号。

Analog-to-Digital Converter (模数转换器 (ADC)) – 把连续的模拟信号转换成成比例离散二进制 (数字) 值的一种数字电子器件。

Arbitrary (任意波形) – 根据每个人的优先次序或方便情况、而不是根据信号发生器固有特点定义的波形。

Arbitrary/Function Generator (任意波形 / 函数发生器 (AFG)) – 生成标准形状的稳定波形的模拟 / 混合信号发生器。

Arbitrary Waveform Generator (任意波形发生器 (AWG)) – 可以在存储器中创建任意模拟信号输出的一种模拟 / 混合信号发生器；根据存储的数字数据提供波形的完善的播放系统，这些数字数据描述了 AC 信号不断变化的电压电平。

Attenuation (衰减) – 在从一个点传送到另一个点期间，信号幅度下降。

Bandwidth (带宽) – 一个频率范围，通常限于 -3 dB。

Block (数据块) – 选择长度的码型突发，如 1024 位，其构成了逻辑信号源输出的数字序列。

Characterization (检定) – 使用信号发生器确定器件、设备或系统工作极限的一种常见应用；活动中包括极限测试或余量测试的一种应用。

Clock Generator (时钟发生器) – 只能输出矩形波的一种信号发生器；主要作为时钟源使用。

Clock Rate (时钟速率) – 参见采样率。

Complementary Output (互补输出) – 使用两条信号路径传送相同幅度、其中一条信号路径相反的同信号副本的输出。

Continuous Mode (连续模式) – 信号发生器内部的一种工作模式，输出立即开始，从波形或序列开头起，一直重复到关闭。

Cursor (光标) – 屏幕上的标记，可以使用它与波形对准，进行更加精确的测量；在信号发生器中，光标用来在可以改变波形的信号之间选择一个波形区域。

Damped Sine Wave (衰减正弦波) – 一种正弦波，其中电路从一个脉冲振荡，然后随着时间推移逐渐结束。

Data Pattern Generator (数据码型发生器) – 生成一条或多条数字码型流的一种信号发生器；也称为码型发生器或数据发生器。

Data Rate (数据速率) – 数据速率是指数字信号发生器可以输出整个二进制信息周期的速率，单位通常为每秒兆位或每秒千兆位。

Delay (延迟) – 两个类似的信号之间的定时差；也称为相移。

Delayed Non-Return-to-Zero (延迟非归零 (DNRZ)) – 一种常用的数字码型，其中在周期中发生有效位时在指定的时间延迟后波形会开关到 "1"，仍然一直保持这一值，直到下一个周期边界，其中假设周期从二进制 "0" 开始。

Device-under-Test (被测器件 (DUT)) – 被测量的器件；与被测单元 (UUT) 是同义词。

Differential Output (差分输出) – 使用两条信号路径传送相同幅度、其中一条信号路径相反 (相互测量幅度、且没有接地) 的同一信号副本的输出。

Digital Pattern (数字码型) – 构成宽 8 位、12 位、16 位或更高位的数据“字”的多条同步脉冲流。

Digital Signal (数字信号) – 使用离散二进制数字表示电压样点的信号。

Digital Waveform Generator (数字波形发生器) – 输出数字码型的一种信号发生器；也称为逻辑信号源。

Digital-to-Analog Converter (数模转换器 (DAC)) – 把离散的二进制值转换成电子信号的数字电子器件。

Direct Digital Synthesizer (DDS) Technology (直接数字合成 (DDS) 技术) – 使用单一时钟频率生成仪器范围内任何频率的一种波形合成技术；决定着样点在信号发生器存储器中输出时钟的速率。

Distortion (失真) – 电路实际情况的产物，如分布式电容、串扰等。

Duty Cycle (占空比) – 高低时间间隔长度不等的波或脉冲变化；脉冲正值时长与负值时长或零值时长之比。

Equation Editor (公式编辑器) – 信号发生器内部的一个集成式数学工具，可以输入变量和运算符。然后仪器会检查语义，汇编和存储得到的波形。

Event Input (事件输入) – 与信号发生器排序功能一起使用。在收到事件输入信号 (TTL 逻辑信号) 时，信号发生器将跳到序列中的下一行或下一个波形。

Fall Time (下降时间) – 脉冲边沿转换到与其当前电平相反的状态所需的时间；在上升时间中是从低电平转换到高电平，在下降时间中是从高电平转换到低电平。

Filtering (滤波) – 信号发生器从信号中去掉选择的频段的过程；可以用来防止 DUT 输出中发生不想要的假信号失真。

Flatness (平坦度) – 在输出正弦波时电平随着输出频率变化的程度。

Frequency (频率) – 信号在一秒内重复的次数，用赫兹表示 (每秒周期数)。频率等于 1/ 周期。

Frequency Modulation (频率调制 (FM)) – 一种模拟调制，其中频率变化把低频信息嵌入到高频载波信号中；最常用于广播通信中。

Frequency Shift Keying (频移键控 (FSK)) – 一种数字调制，其中载波在两个频率之间开关，即中心频率和偏置频率。

Function Generator (函数发生器 (FG)) – 一种输出基本波的信号发生器，如正弦波或矩形波。

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

Glitch (毛刺) – 电路或波形中间歇性的高速误差。

Graphic Editor (图形编辑器) – 信号发生器中的一个集成工具，可以构建和查看波形表示；然后可以汇编并把得到的数据点存储在波形存储器中。

Horizontal Resolution (水平分辨率) – 创建波形可以使用的最小时间增量；可以改变边沿、周期时间或脉宽的最小时间增量。

Horizontal System (水平系统) – 在信号发生器内部，通过控制采样率规定输出信号频率的系统。

Integrated Editor (集成编辑器) – 信号发生器内部的集成式编辑工具，可以在时间和幅度上简便地编辑和修改波形。

Inter-Symbol Interference (码间干扰) – 由于前一个周期中的信号状态影响而导致的一个周期内的信号失真或改动。

Jitter (抖动) – 一种损伤，表明周期或频率没有稳定。

Kilohertz (kHz) (千赫 (kHz)) – 1,000 赫兹；一种频率单位。

Logic Analyzer (逻辑分析仪) – 用来在测量期间查看多个数字信号的逻辑状态的仪器；分析数字数据，可以把数据表示为实时软件执行、数据流量值、状态序列等的仪器。

Logic Signal Source (逻辑信号源) – 一种输出数字码型的信号发生器，如脉冲或码型发生器。

Margin Testing (余量测试) – 使用信号发生器通过损伤（如抖动和定时超限）测试器件、设备或系统极限的应用，以确定其工作极限，也称为极限测试。

Marker (标记) – 与主输出分开的信号发生器的辅助输出；可以作为 DUT 触发信号的辅助数字通道；可以用来输出串行数字码型的辅助数字通道。

Marker Output (标记输出) – 一种数字输出，提供了与主模拟输出信号同步的二进制信号，其一般从独立于主波形存储器的存储器中推导得出。

Megahertz (MHz) (兆赫 (MHz)) – 1,000,000 赫兹；一种频率单位。

Megasamples per second (MS/s) (每秒兆样点 (MS/s)) – 一种采样率单位，等于每秒 100 万样点。

Memory Depth (存储深度) – 创建信号记录使用的波形点数，它决定着模拟 / 混合信号发生器可以存储的最大波形数据数量（等于时间）。

Microsecond (μ s) (微秒 (μ s)) – 一种时间单位，等于 0.000001 秒。

Millisecond (ms) (毫秒 (ms)) – 一种时间单位，等于 0.001 秒。

Mixed Signal Generator (混合信号发生器) – 一种信号发生器，如任意波形发生器或任意波形 / 函数发生器，它同时输出模拟波形和数字码型。

Modulated Signal (被调制信号) – 幅度、相位和 / 或频率变化把低频信息嵌入到高频载波信号中的信号。

Nanosecond (ns) (纳秒 (ns)) – 一种时间单位，等于 0.000000001 秒。

Noise (噪声) – 电路中不想要的电压或电流。

NRZ (Non-Return-to-Zero) (NRZ (非归零)) – 一种常用的数字码型，在周期中发生有效位时，波形开关到 "1"，并保持这一值，直到下一个周期边界，其中假设周期从二进制 "0" 开始。

Nyquist Sampling Theorem (内奎斯特采样定理) – 这一定理规定，采样频率或时钟速率必须至少是被采样信号中最高频率成分的两倍，以保证精确地复现信号。

Offset (偏置) – 同时包含 AC 值和 DC 值的信号中的 DC 成分；电路接地和信号幅度中心之间的电压。

Offset Level (偏置电平) – 波形从零或接地电平的垂直位移（单位为伏特）。

Output Signal (输出信号) – 已经加载到存储器中、并分配运行命令的波形、码型或序列文件；通过前面板输出连接器传送的信号。

Parallel Digital Output (并行数字输出) – 一种数字输出，它从与信号发生器主模拟输出相同的存储器中获得数字数据，存储模拟输出上出现的波形样点值的同等数字值。

Pattern (码型) – 参见数字码型。

Pattern Depth (码型深度) – 创建信号记录使用的波形点数量，它决定着逻辑信号源为支持码型生成可以存储的最大数据量 (等于时间)。

Pattern Editor (码型编辑器) – 信号发生器内部的一种集成编辑工具，可以同时时间和幅度上改变和编辑码型。

Pattern Generator (码型发生器) – 生成多条通道数字码型的一种逻辑信号源；也称为数据发生器。

Peak (V_p) (峰值 (V_p)) – 从零参考点上测得的最大电压电平。

Peak-to-peak (V_{p-p}) (峰峰值 (V_{p-p})) – 从信号的最大值到最小点测得的电压。

Period (周期) – 波结束一个周期所需的时间。周期等于 $1/\text{频率}$ 。

Phase (相位) – 从一个周期开始到下一个周期开始经过的时间，单位为度。

Phase Modulation (PM) (相位调制 (PM)) – 一种模拟调制，其中相位变化把低频信息嵌入到高频载波信号中；最常用于广播通信中。

Phase Shift (相移) – 两个类似的信号之间的定时差，也称为延迟。

Phase Shift Keying (PSK) (相移键控 (PSK)) – 一种数字调制，其中数字调制信号会输出频率在两个相位设置之间开关。

Polarity (极性) – 相对于零或接地电平的电流流动方向；通常是指波形的开始方向，可以是正，也可以是负。

Pseudo-random Bit Stream (PRBS) (伪随机码流 (PRBS)) – 一个序列集合，由表现为随机的、但后面跟着可以预测的数学码型、以随机速率重复的数字流组成；用来在数字系统中创建随机噪声。

Pseudo-random Word Stream (PRWS) (伪随机字流 (PRWS)) – 一条字流，定义了怎样在信号发生器的所有并行输出中表示多条伪随机码流，通常用来测试串行器或复用器。

Pulse (脉冲) – 一种常用的波形形状，具有快速上升沿、宽度和快速下降沿。

Pulse Pattern Generator (脉冲码型发生器) – 一种逻辑信号源，可以驱动来自少量输出的方波或脉冲流，频率通常非常高。也称为脉冲发生器。

Pulse Timing Generator (脉冲定时发生器) – 与脉冲发生器类似，但增加了对脉冲定时的控制，如延迟和通道间偏移。可能还包括输出信号电压和上升时间的参数控制。

Pulse Train (脉冲串) – 一起传送的脉冲集合。

Pulse Width (脉宽) – 脉冲从低到高、再回到低所需的时间，传统上在 50% 的全部电压上测得。

Pulse Width Modulation (PWM) (脉宽调制 (PWM)) – 一种数字调制，其中调制信号导致脉冲和活动脉宽变化，仅适用于脉冲波形；通常用于数字音频系统中。

Quadrature (IQ) Modulation Technology (正交 (IQ) 调制技术) – 一种调制类型，其中通过一条通道组合和传输两个载波，即同相 (I) 波形和正交相位 (Q) 波形，然后在接收端分开和解调；常见于当前的无线通信网络中。

Ramps (锯齿波) – 以恒定速率变化的正弦波电压电平之间的转换。

Record Length (记录长度) – 创建一条信号记录使用的波形点数量，在模拟 / 混合信号发生器中称为存储深度，在逻辑信号源中称为码型深度。

Rectangular Wave (矩形波) – 开关特点与方波类似的一种波，但高低时间间隔长度不等。

Region Shift (区域位移) – 模拟 / 混合信号发生器内部的一种功能，它向左或向右、朝向或背离编程的中心值位移指定的波形边沿，从而可以创建超过仪器分辨率的模拟抖动条件及其它微小的边沿位置变化。

Replication (复现) – 开发信号发生器使用的波形的一种方法，其中需要在示波器上捕获已有的信号，然后把它发送到信号发生器进行复现。

Return-to-One (R1) (归一 (R1)) – 一种常见的数字码型，在出现有效位后波形开关到“0”，然后在同一周期内开关回到“1”，其中假设周期从二进制“1”开始；RZ 的倒数。

Return-to-Zero (RZ) (归零 (RZ)) – 一种常见的数字码型，在出现有效位后波形开关到“1”，然后在同一周期内开关回到“0”，其中假设周期从二进制“0”开始。

Rise Time (上升时间) – 脉冲边沿转换到与其当前电平相反的状态所需的时间；在上升时间中是从低电平转换到高电平，在下降时间时是从高电平转换到低电平。

Sampling (采样) – 使用样点或数据点定义信号的流程，这些样点或数据点沿着波形斜率表示一系列电压测量。

Sample Point (样点) – 沿着波形斜率表示一系列电压测量的数据点；计算波形点使用的 ADC 提供的原始数据。

Sample Rate (采样率) – 模拟信号发生器 / 混合信号发生器输出整个波形周期的速率，通常用每秒兆样点或千兆样点表示；也称为时钟速率或采样频率。

Sawtooth Wave (锯齿波) – 电压在每个周期中缓慢均匀地上升到波峰，然后迅速下降的波。

Screen (屏幕) – 生成可视码型的显示屏的表面 – 显示区域。

Sequence Editor (序列编辑器) – 信号发生器内部的集成工具，其中包含计算机类编程指令 (跳跃, 循环等)，这些指令装在与波形存储器分开的序列存储器中，会导致指定波形存储器段重复。

Sequence Repeat Counter (顺序重复计数器) – 排序流程中使用的一种控制机制，用来确定操作周期数量及其出现的顺序。

Sequencing (排序) – 信号发生器在仪器的存储器中存储大量的“虚拟”波形周期，并根据序列编辑器指令进行重复，从而创建几乎长度不受限制的波形的过程。

Signal Fidelity (信号保真度) – 精确地重建信号，取决于激励或采集仪器的系统和性能因素。

Signal Modulation (信号调制) – 信号幅度、相位和 / 或频率变化把低频信息嵌入到高频载波信号中的过程。

Signal Source or Signal Generator (信号源或信号发生器) – 用来把信号注入电路输入中的测试设备；然后示波器或逻辑分析仪读取电路的输出；也称为信号发生器。

Simulation (模拟或仿真) – 信号发生器输出波形，模拟器件输出，以用来测试其它器件的一种技术。

Sine Wave (正弦波) – 以数学方式定义的一种常见的曲线波形。

Single-ended Output (单端输出) – 使用一条路径相对于接地传送信号的一个输出。

Slope (斜率) – 在图表或仪器屏幕上，垂直距离与水平距离之比。正斜率会从左向右提高，负斜率则从左向右下降。

Spurious Free Dynamic Range (SFDR) (无杂散信号的动态范围 (SFDR)) – 信号发生器规定的最大信号电平功能与噪声之比。

Square Wave (方波) – 由重复的方形脉冲组成的一种常见波形；以固定间隔在两个固定电压电平之间开关的电压。

Step (阶跃) – 电压突然变化的波形。

Substitution (置入) – 信号发生器使用的一种波形创建方法，其中需要创建和 / 或修改定义的信号，代替不可用的电路中提供的信号。

Sweep Generator (扫描发生器) – 可以在指定时间周期内改变信号频率（一般是正弦波）的一种函数发生器。

Swept Sine Wave (扫描正弦波) – 在某段时间周期内提高频率的一种正弦波。

Table Editor (表格编辑器) – 逻辑信号源内的集成工具，使用类似电子表格的格式，采用常用的剪切和粘贴技术建立码型。

Timing Editor (定时编辑器) – 逻辑信号源内的集成工具，允许设置时钟流和数据流，在仪器屏幕上查看波形视图。

Timing Resolution (定时分辨率) – 参见水平分辨率。

Transducer (变换器) – 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。

Triangle Wave (三角波) – 电压的上升时间和下降时间对称的波。

Trigger (触发) – 一个外部信号或前面板按钮，告诉信号发生器什么时候开始输出指定的信号。

Trigger Level (触发电平) – 外部触发输入信号启动仪器操作要求的最小输入值，用 + 或 - 伏特表示。

Trigger System (触发系统) – 在信号发生器内部，规定仪器将开始驱动信号直到输出的条件的一种系统，其中假设其没有采用连续模式运行。

Unit-under-test (UUT) (被测单元 (UUT)) – 要测量的单元，是被测器件 (DUT) 的同义词。

Verification (检验) – 使用信号发生器确定器件、设备或系统是否以预测方式操作及是否满足行业标准的常见应用。

Vertical System (垂直系统) – 在信号发生器内部，定义了输出信号的幅度和偏置电平的系统。

Vertical Resolution (垂直分辨率) – 信号发生器内可以编程的最小电压变化增量；仪器 DAC 的二进制字宽度（单位为位），决定着复现波形的幅度精度和失真。

Volt (伏特) – 电位差的单位。

Voltage (电压) – 两点之间的电位差，用伏特表示。

Wave (波) – 随着时间推移而重复的模式通用说法。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。

Waveform (波形) – 以图形方式表示波的行为及其随时间变化情况。

Waveform Point (波形点) – 一个数字值，表示特定点上的信号电压，从样点中计算得出，存储在存储器中。

泰克提供的其它入门手册：

- 使用任意波形发生器创建无线信号
- 串行发射机和接收机测量设计人员指南
- 为任意波形发生器增加价值白皮书
- 了解信号发生器方法技术简介
- 实时频谱分析基础
- DVB-T 和 DVB-H 中的 RF 测量
- SDRAM 存储器基础
- 时间分析基础
- 信号完整性基础
- 检验信号完整性设计人员配套读物
- 简化设计检验配套读物
- 数字串行分析：系统检验概述
- PCI Express 测量介绍
- 串行数据一致性测试和检验测量基础知识
- 高速差分数据信令和测量
- 高速互连：检定和建立基于测量的模型
- 标清和高清数字视频测量指南

cn.tektronix.com

示波器
逻辑分析仪
信号发生器
通信测试设备
视频测试设备
探头
配件
校准和其它服务方案
其它测试和测量设备



泰克官方微信

如需所有最新配套资料，请立即与泰克本地代表联系！

或登录泰克公司中文网站：cn.tek.com

泰克中国客户服务中心全国热线：400-820-5835

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) 5795 0700
传真：(86 10) 6235 1236

泰克上海办事处
上海市长宁区福泉北路518号
9座5楼
邮编：200335
电话：(86 21) 3397 0800
传真：(86 21) 6289 7267

泰克深圳办事处
深圳市深南东路5002号
信兴广场地王商业大厦3001-3002室
邮编：518008
电话：(86 755) 8246 0909
传真：(86 755) 8246 1539

泰克成都办事处
成都市锦江区三色路38号
博瑞创意成都B座1604
邮编：610063
电话：(86 28) 6530 4900
传真：(86 28) 8527 0053

泰克西安办事处
西安市二环南路西段88号
老三届世纪星大厦26层C座
邮编：710065
电话：(86 29) 8723 1794
传真：(86 29) 8721 8549

泰克武汉办事处
武汉市洪山区珞喻路726号
华美达大酒店702室
邮编：430074
电话：(86 27) 8781 2760

泰克香港办事处
香港九龙尖沙咀弥敦道132号
美丽华大厦808-809室
电话：(852) 2585 6688
传真：(852) 2598 6260

CN.TEK.COM 为您提供更多宝贵资源。

©泰克科技公司版权所有，侵权必究。泰克产品受到已经签发及正在申请的美国专利和国外专利保护。本文中的信息代替所有以前出版的材料中的信息。技术数据和价格如有变更，恕不另行通告。TEKTRONIX 和泰克徽标是泰克公司的注册商标。本文提到的所有其他商号均为各自公司的服务标志、商标或注册商标。

