

# 深入了解信号发生器





## 目录

<b>完整的测量系统</b>	<b>5</b>
<b>信号发生器</b>	<b>6</b>
模拟还是数字？	7
<b>基本信号发生器应用</b>	<b>8</b>
检验	8
测试数字模块化发射机和接收机	8
检定	8
测试数模转换器和模数转换器	8
极限/余量测试	9
测试通信接收机极限	9
信号发生技术	9
<b>理解波形</b>	<b>10</b>
波形特点	10
幅度, 频率 和相位	10
上升时间和下降时间	10
脉宽	11
偏置	12
差分信号与单端信号	12
基本波	13
正弦波	13
方波和矩形波	13
锯齿波和三角波	14
阶跃和脉冲形状	14
复合波	15
信号调制	15
模拟调制	15
数字调制	15
频率扫描	16
正交调制	16
数字码型和格式	16
码流	17

# 深入了解信号发生器

## ► 基本读物

<b>信号发生器类型</b>	<b>17</b>
<b>模拟信号发生器和混合信号发生器</b>	<b>18</b>
模拟信号发生器和混合信号发生器的类型	18
任意发生器	18
任意/函数发生器 (AFG)	18
任意波形发生器 (AWG)	20
混合信号发生器系统和控制功能	22
性能指标和考虑因素	24
存储深度 (记录长度)	24
采样(时钟)速率	24
带宽	26
垂直(幅度)分辨率	26
水平(定时)分辨率	27
区域位移	27
输出通道数量	28
数字输出	28
滤波	29
排序	29
集成编辑器	31
数据导入功能	32
使用混合信号发生器创建波形	32
使用ArbExpress™创建波形	34
AWG应用趋势	35
生成预加重/去加重信号	35
生成多电平信号	35
生成宽带RF信号	36
生成无线I/Q和IF信号	36
<b>逻辑信号源</b>	<b>37</b>
逻辑信号源的类型	37
脉冲码型发生器 (PPG)	37
数据定时发生器 (DTG)	37
逻辑信号源系统和控制功能	42
性能指标和考虑因素	43
数据速率	43
码型深度	43
上升时间/下降时间	43
水平(定时)分辨率	43
输出通道数量	44
排序	44
集成编辑器	44
数据导入功能	44
使用逻辑信号源创建波形	45
<b>总结</b>	<b>46</b>
<b>词汇表</b>	<b>47</b>

### 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设备的行为，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设备(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。

## 深入了解信号发生器

### ► 基本读物

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\\_sources](http://www.tektronix.com/signal_sources)。

## 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<sup>1</sup> 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。

---

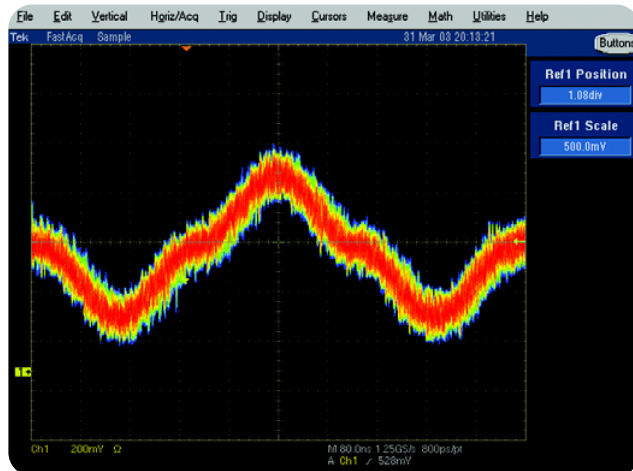
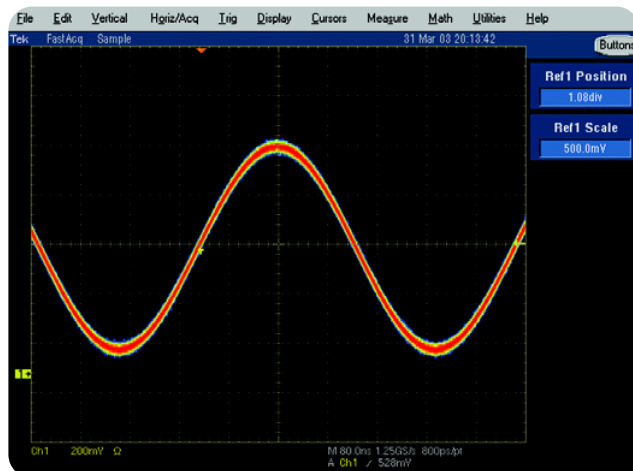
<sup>1</sup> 正常情况下,“AC”一词是指信号在 0 V (接地)参考周围变正和变负,因此在每个周期中电流流动方向会颠倒一次。但是为进行这一讨论,AC 定义为任何变动的信号,而不管其与接地的关系如何。例如,即使一直在同一方向吸收电流,但在 +1 V 和 +3 V 之间振荡的信号仍构成 AC 波形。大多数信号发生器可以生成以接地为中心的(真实的 AC)波形或偏置波形。

### 模拟还是数字？

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，还使用单独的标尺输出(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。

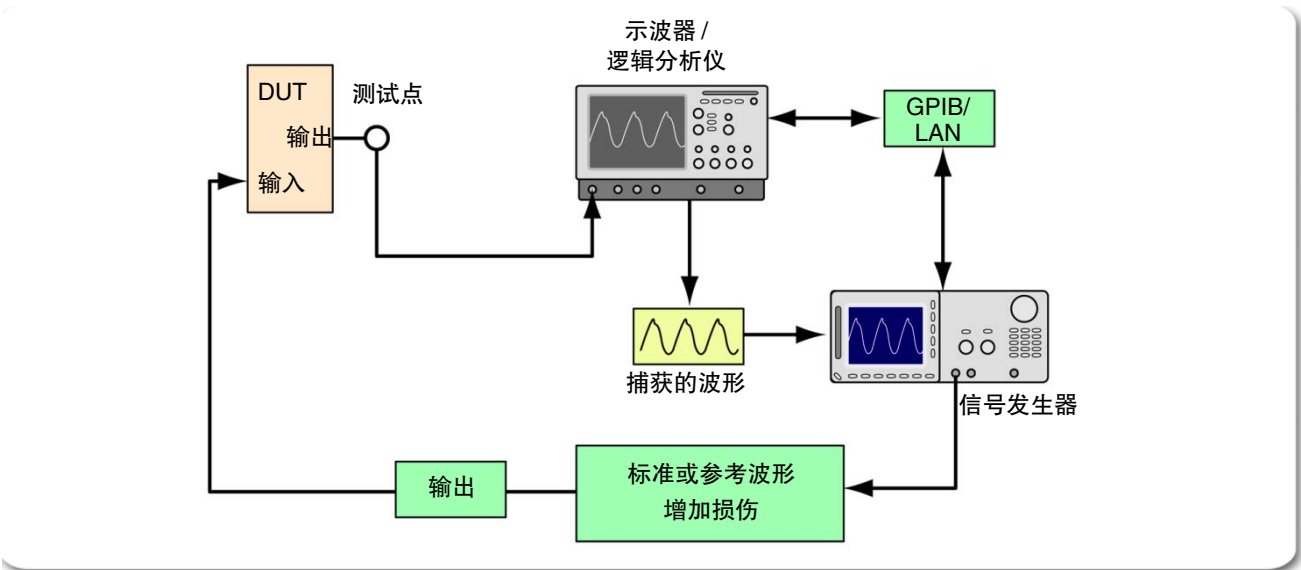
数字波形发生器 (逻辑源) 包括两类仪器。脉冲发生器驱动来自少量输出的方波或脉冲流，其频率通常非常高。这些工具最常用于对数字设备执行测试。码型发生器也称为数据发生器或数据定时发生器，一般提供 8 条、16 条或更多的同步数字脉冲流，作为计算机总线、数字电信单元等的激励信号。



► 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设备极限测试和检定提供控制的失真和畸变。

# 深入了解信号发生器

## ► 基本读物



► 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设备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 1 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 1 Gbps 的速度驱动这些设备。



### 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设备极限,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 200 fs (0.2 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开发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)
- **发生:** 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

## 深入了解信号发生器

### ► 基本读物

### 理解波形

#### 波形特点

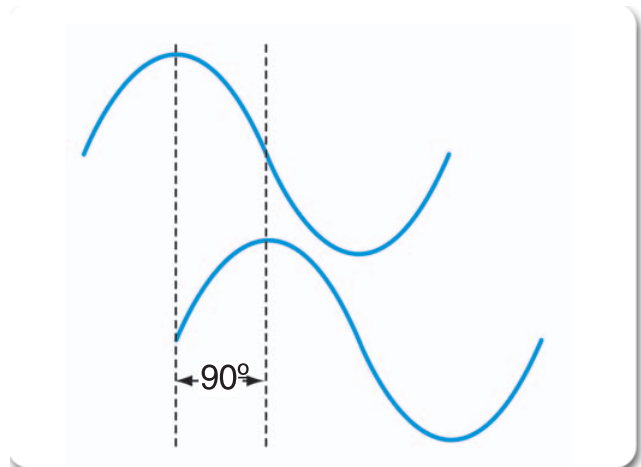
“波”可以定义为在某个时间间隔上重复的变化量值的模式。波具有共同的特点，如声波、脑电波、海浪、光波、电压波等等。所有这些都是定期重复的现象。信号发生器通常生成以可控方式重复的电(一般是电压)波。

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 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。



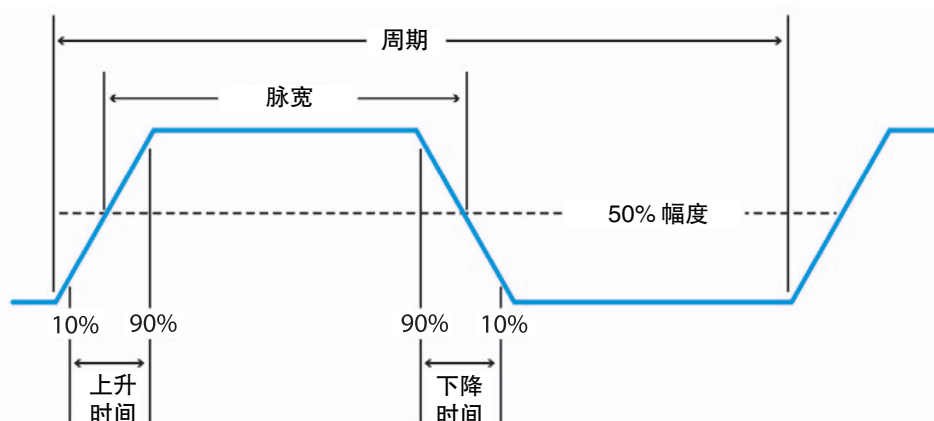
► 图 4. 相移(也称为延迟)描述了两个信号之间的定时差。相位通常用度表示，如图所示，但在某些情况下用时间值表示要更合适。

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。



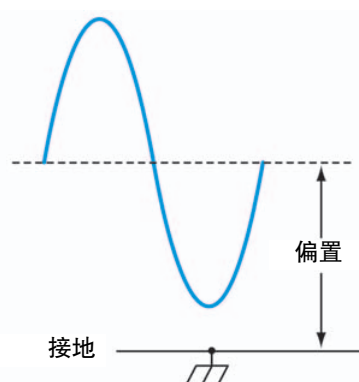
► 图 5. 基本脉冲特点

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。



► 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。

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%。

## 深入了解信号发生器

### ► 基本读物

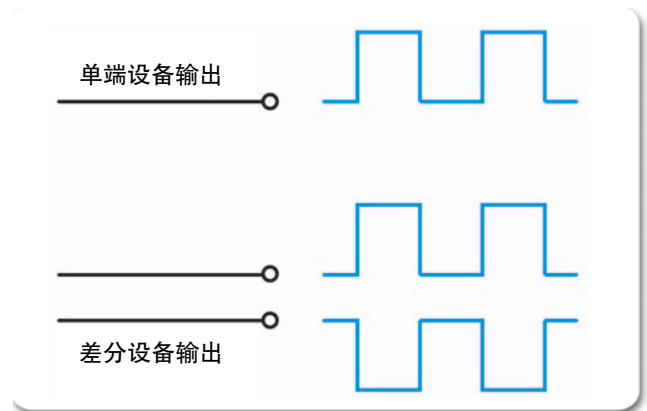
#### 偏置

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。

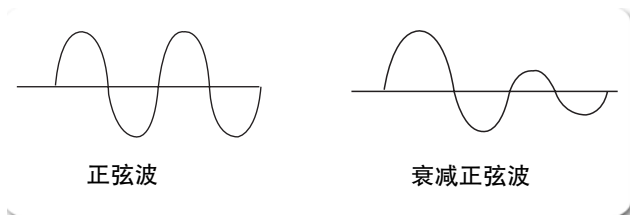
#### 差分信号与单端信号

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。

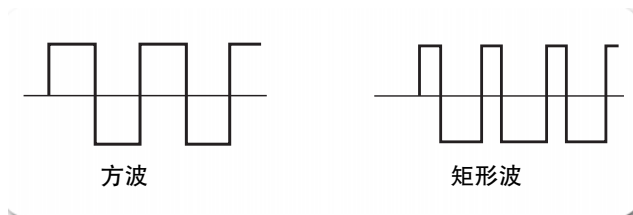
单端操作是一种更加常用的结构，其中只有一条路径外加接地。图 7 说明了单端方法和差分方法。



► 图 7. 单端和差分信号



► 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。

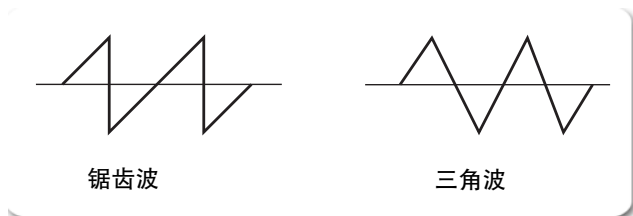
## 方波和矩形波

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、无线电信设备、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。

## 深入了解信号发生器

### ► 基本读物



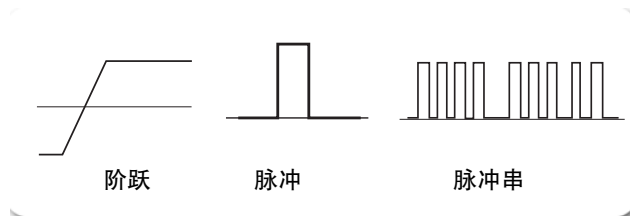
► 图 10. 锯齿波和三角波

### 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机的一个信息比

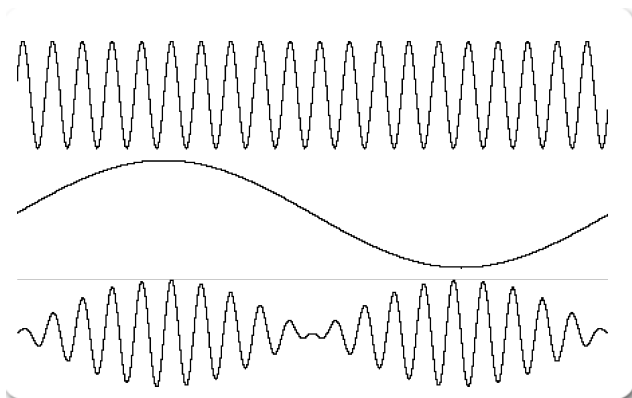


► 图 11. 阶跃、脉冲和脉冲串形状

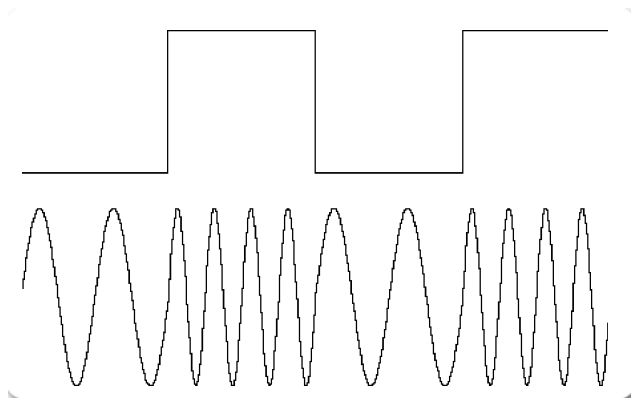
特。一起传送的脉冲集合构成了一个脉冲串。同步的一组脉冲串(可以以并行方式传输或以串行方式传输)构成了一个数字码型。图 11 是阶跃、脉冲形状和脉冲串的实例。

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



► 图 13. 频移键控(FSK)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。

**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。

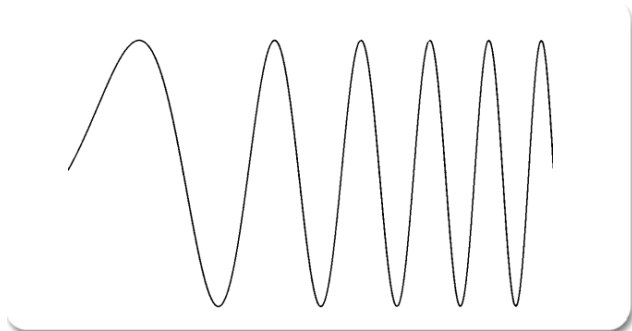
图 12 说明了模拟调制实例。

**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。

## 深入了解信号发生器

### ► 基本读物



► 图 14. 正弦波频率扫描

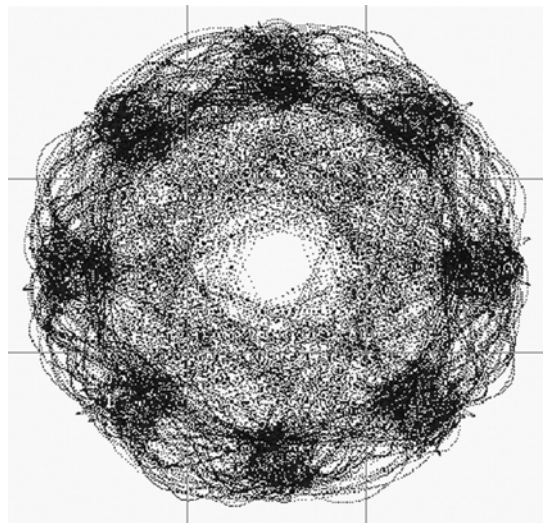
### 频率扫描

测量电子设备的频率特点要求“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，测量设备的输出响应。

**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



► 图 15. 正交调制

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。

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/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。

## 深入了解信号发生器

### ► 基本读物

## 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 – 任意发生器满足几乎任何类型的信号发生需求。任意发生器可以分成任意 / 函数发生器 (AFG) 和任意波形发生器 (AWG)。

#### 任意 / 函数发生器 (AFG)

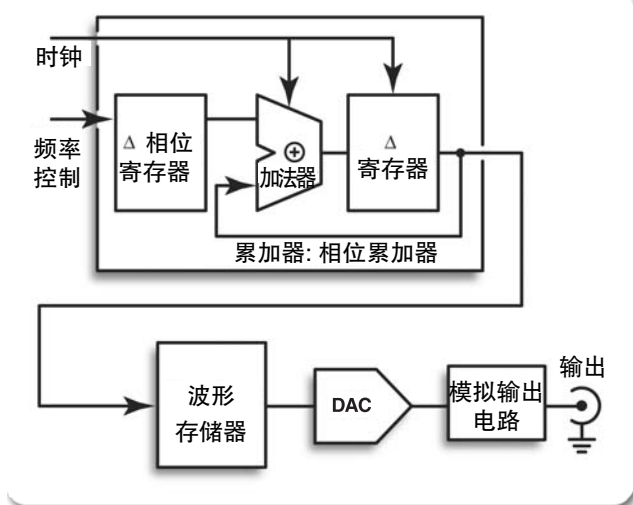
任意/函数发生器 (AFG) 满足了广泛的激励需求;事实上,它是当前业内流行的信号发生器结构。一般来说,这一仪器提供的波形变化要少于 AWG 同等仪器,但具有杰出的稳定性及能够快速响应频率变化。如果 DUT 要求典型的正弦波和方波(及其它),并能够在两个频率之间几乎即时开关,那么任意 / 函数发生器(AFG)提供了适当的工具。另一个特点是 AFG 的成本低,对不求 AWG 通用性的应用极具吸引力。

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/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 ( $\Delta$ ) 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  $1/2^{30}$ ，即约为  $1/1,000,000,000$ 。

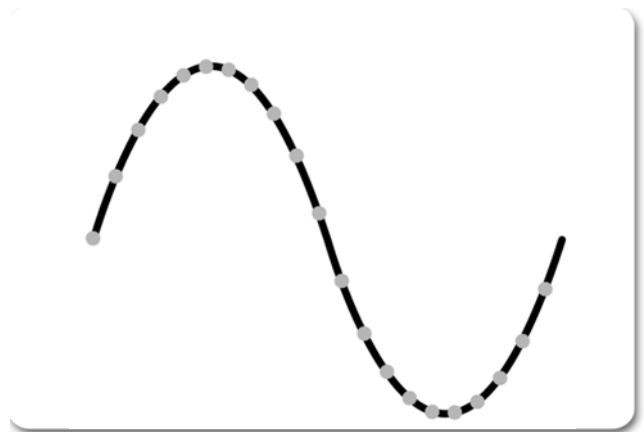
相位累加器的输出作为 AFG 波形存储器部分的时钟使用。仪器操作几乎与 AWG 相同，但有一个明显例外是波形存储器一般只包含部分基本信号，如正弦波和方波。模拟输出电路基本上是一个固定频率的低通滤波器，保证只有感兴趣的编程频率(没有时钟人工信号)离开 AFG 输出。

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  $\Delta$  相位寄存器。相位累加器  $\Delta$  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， $\Delta$  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  $2\Delta$  增量，创建一个周期。电路将保持在这一频率，直到  $\Delta$  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。

## 深入了解信号发生器

### ► 基本读物



► 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:

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

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

$$90^\circ = 2^{30} \div 4$$

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。

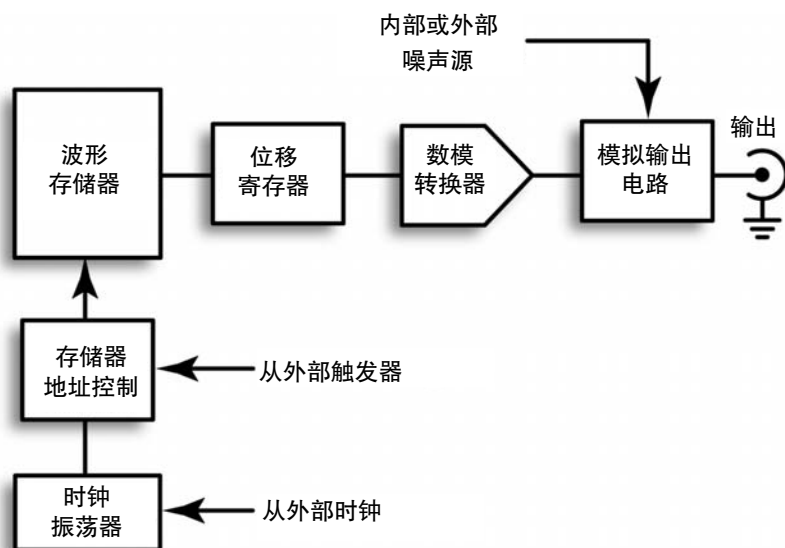
典型的 AFG 在存储器预编程部分存储多个标准波形。从整体上看,正弦波和方波是许多测试应用使用最广泛的应用。任意波形保存在存储器中用户编程的部分。可以以与传统 AWG 相同的灵活性定义波形。但是, DDS 结构不支持存储器分段和波形排序。这些高级功能留给了高性能 AWG。

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。

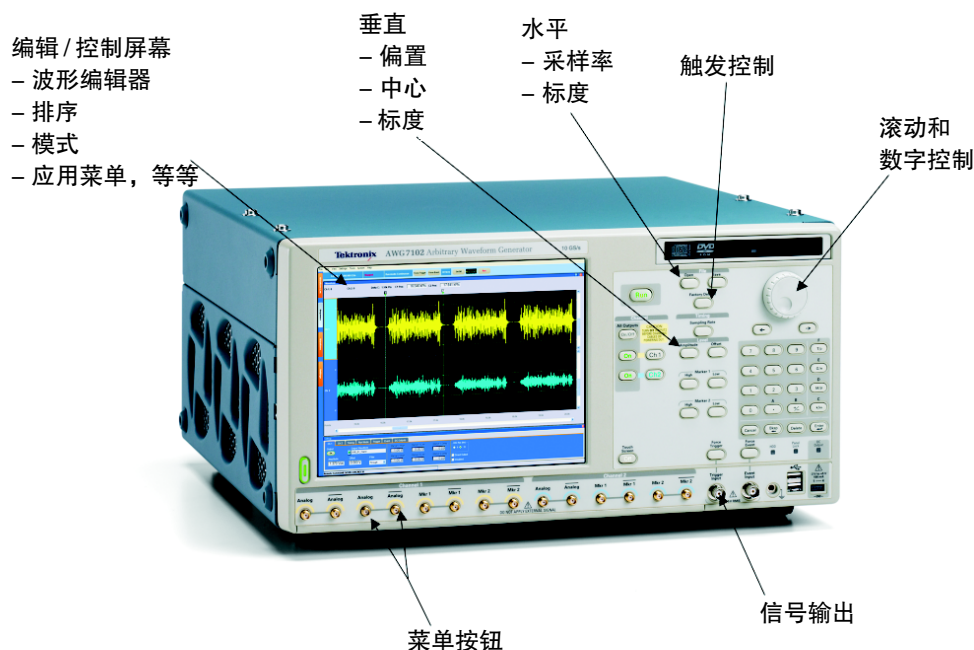
通过使用存储的信息，可以读回存储器位置，通过数模转换器 (DAC) 输入数据点，在任何时间重建信号 (下图)。图 17 (右) 说明了结果。注意 AWG 的输出电路在样点之间滤波，以连接各个点，创建干净的不间断的波形形状。DUT 不会把这些点“看作”离散的点，而是看作连续的模拟波形。

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。

## 深入了解信号发生器

### ► 基本读物



► 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。

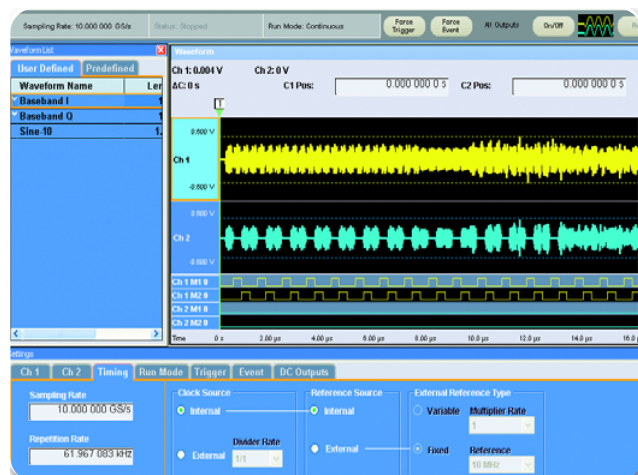
电平控制负责设置输出信号的幅度和偏置电平。在图19所示的信号发生器中,前面板上的专用电平控制功能可以简便地设置幅度和偏置值,而不必依赖多级菜单。

## 深入了解信号发生器

### ► 基本读物

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。

## 深入了解信号发生器

### ► 基本读物

#### 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。

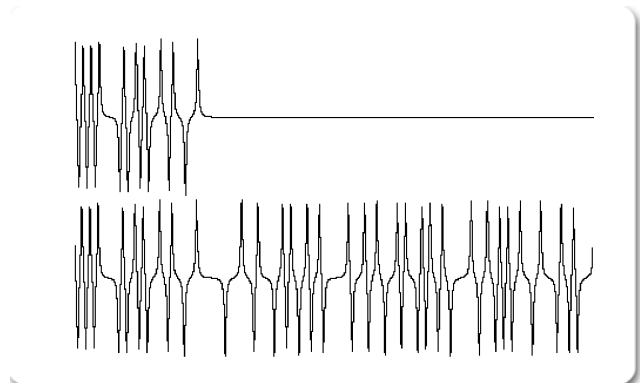
#### 存储深度 (记录长度)

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。Nyquist 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 Nyquist 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:

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

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

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

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:

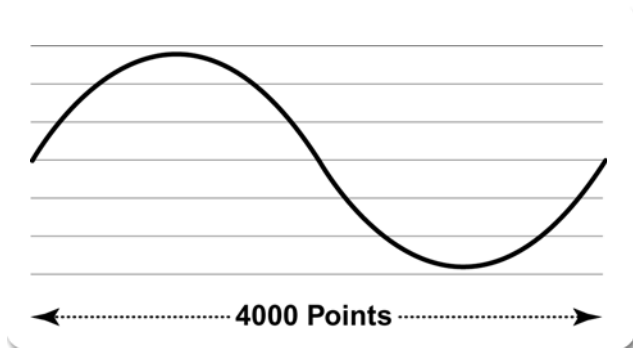
$$F_{\text{输出}} = (\text{时钟频率} \div \text{存储深度}) \times (\text{存储器中的周期数量})$$

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

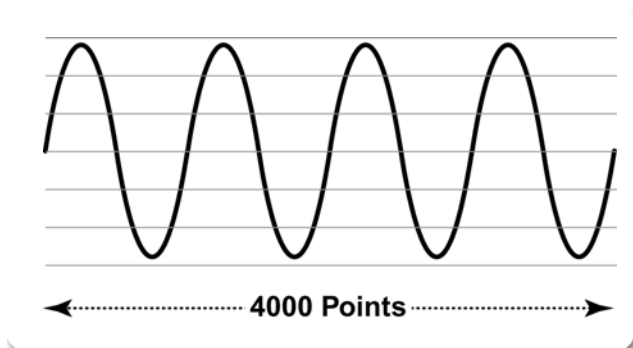
$$F_{\text{输出}} = (25,000 \text{ Hz}) \times (4)$$

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

新的频率是 100 kHz。图 23 说明了这一概念。在本例中,每个波形周期的时间分辨率低于单波形实例,事实上,它整整低了四倍。每个样点现在代表 40 ns 的时间。这一数字的提高是以降低部分水平分辨率为代价的。



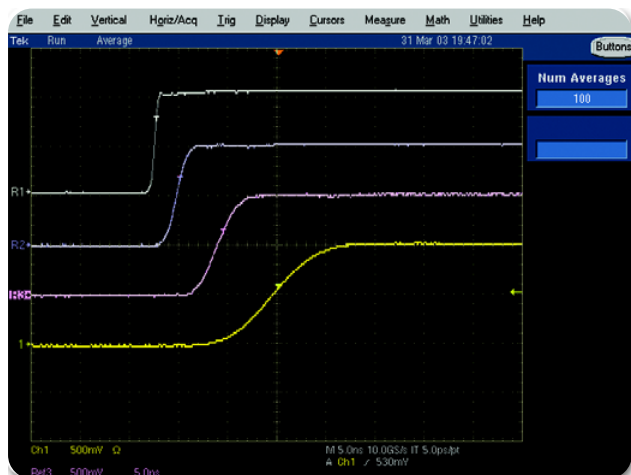
► 图 22. 在 100 MHz 的时钟频率时,一个 4000 点的波形作为 25 kHz 的输出信号传送。



► 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。

## 深入了解信号发生器

### ► 基本读物



► 图 24. 充足的带宽保证不会漏掉任何信号细节。

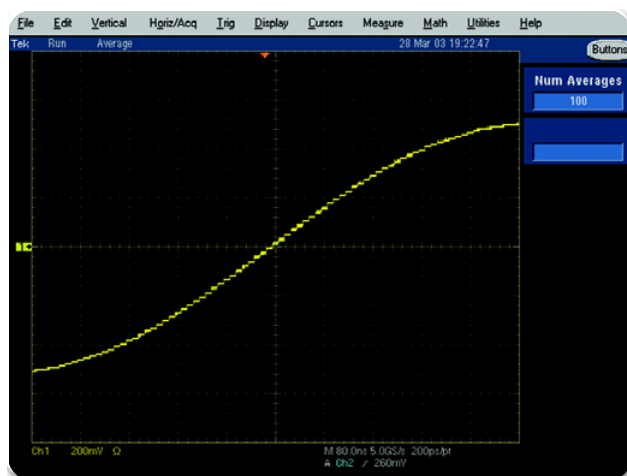
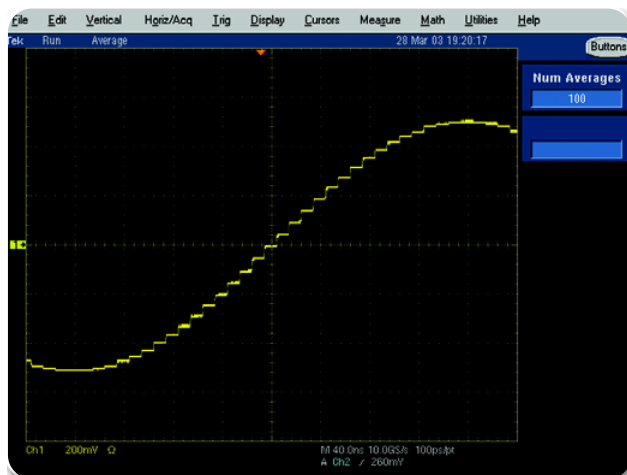
### 带宽

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。

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。



► 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。

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  $2 V_{p-p}$ ，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。

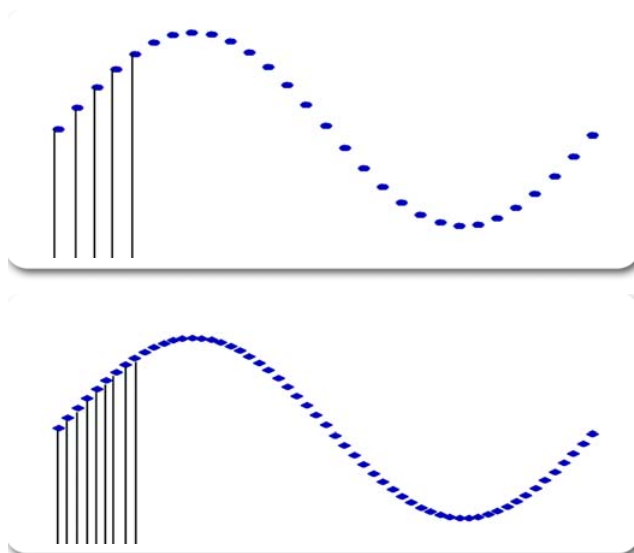
根据这一定义，最大时钟速率是 100 MHz 的信号发生器的定时分辨率是 10 ns。换句话说，这一混合信号发生器输出波形的特点是由一串相距 10 ns 的步进确定的。

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。

### 区域位移

区域位移功能朝着或背对编程中心值向右或向左位移指定的波形边沿。如果指定的位移数量小于采样间隔，那么将使用数据内插对原始波形二次采样，以推导出位移后的值。

区域位移可以创建超过仪器分辨率的被模拟的抖动条件和其它微小的边沿位置变化。我们再看一下 100 MHz 时钟的信号发生器实例，以 10 ns 增量位移激励边沿，来模拟抖动效应是没有意义的。实际环境抖动在很低的皮秒范围内工作。区域位移可以以每步几皮秒移动边沿，这更接近实际抖动现象。



► 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. 区域位移。

# 深入了解信号发生器

## 基本读物

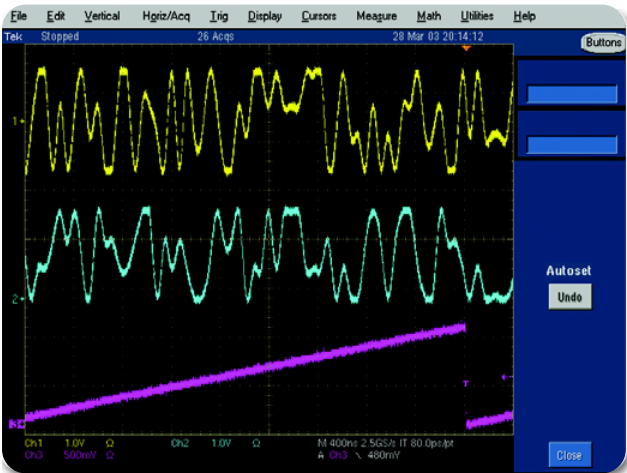


图 28. 多条输出通道。

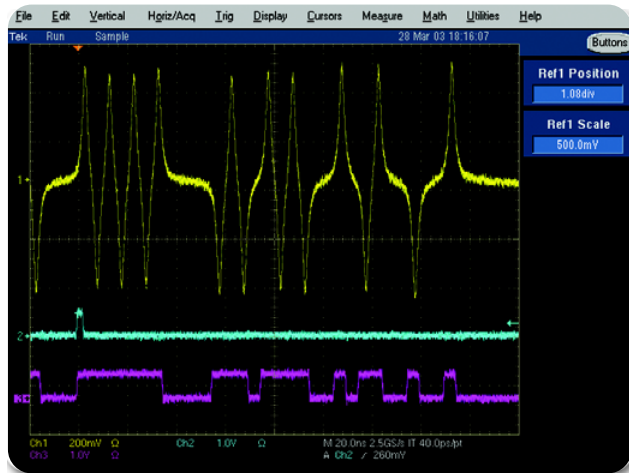


图 29. 标尺输出。

## 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调制电信设备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，同时测试设备的模拟、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：标尺输出和并行数据输出。标尺输出提供了与信号发生器主模拟输出信号同步的二进制信号。一般来说，标尺可以输出与特定波形存储器位置(样点)同步的一个脉

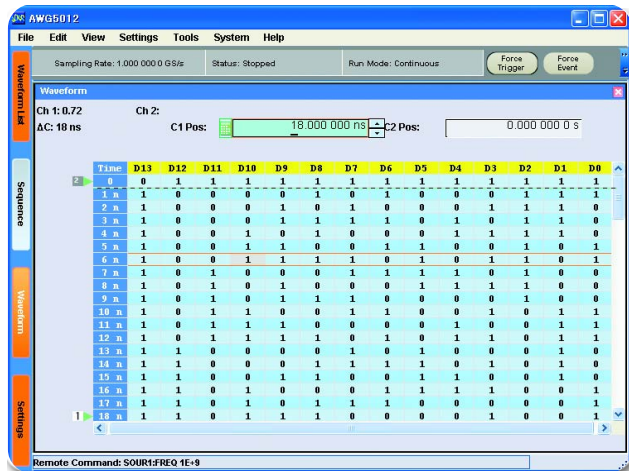


图 30. 并行数字输出。

冲(或多个脉冲)。可以使用标尺脉冲，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，标尺可以在 DUT 的输出侧触发采集仪器。标尺输出一般从独立于主波形存储器的存储器中驱动。

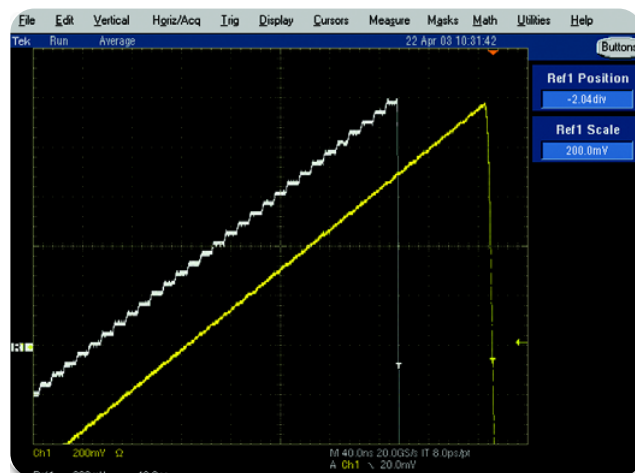
并行数字输出从与信号发生器主模拟输出相同的存储器中获得数字数据。在特定波形样点值出现在模拟输出上时，并行数字输出上会提供同等的数字值。在测试数模转换器时，这些数字信息可以随时作为比较数据使用。数字输出也可以独立于模拟输出编程。

### 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。



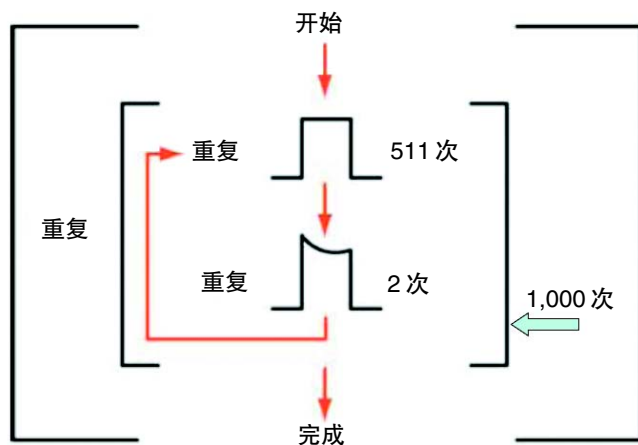
► 图 31. 滤波前和滤波后。参考 1 (上) 波形是没有滤波的锯齿波形，通道 1 (下) 波形是滤波后的锯齿波形。

### 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。

## 深入了解信号发生器

### ► 基本读物



► 图 32. 可以使用循环和重复扩展 AWG 的波形存储器容量。

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继续的幅度必须与之前的波形段相同。换句话说，如果正弦波形段最后的样点值是 1.2 V，那么下一个波形段的开始值必须也是 1.2 V。否则，在 DAC 试图突然变成新值时会发生不想要的毛刺。

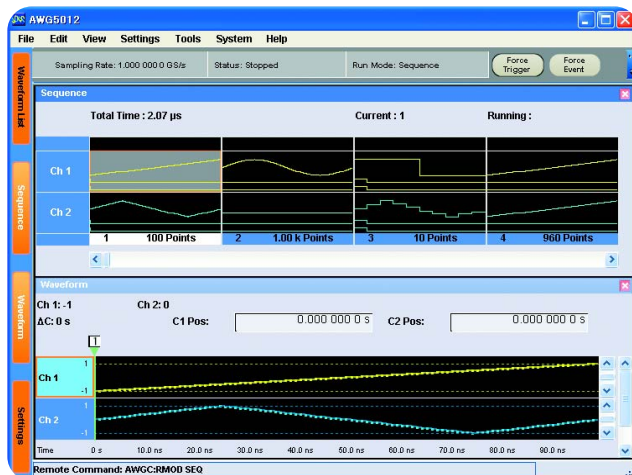


尽管这个例子是非常基本的例子,但它代表着检测不规则的码型相关误差所需的一种功能。一个例子是通信电路中的码间干扰。在一个周期中的信号状态影响到后续周期中的信号,使其失真、甚至会改变其值时,会发生码间干扰。通过波形排序功能,可以使用信号发生器作为激励装置运行长期极限测试,时间可以扩展到几天、甚至几周。

### 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 33. 图形编辑器和序列编辑器相结合,灵活地创建波形。

## 深入了解信号发生器

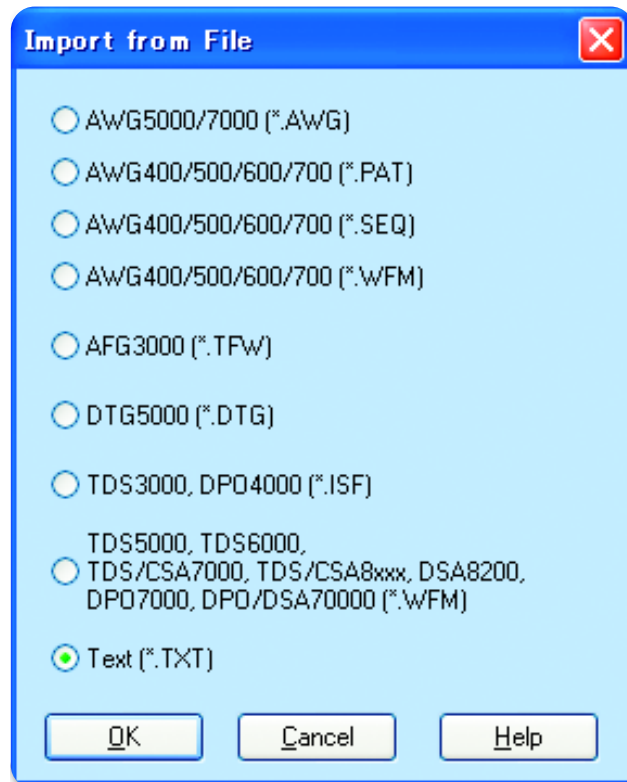
### ► 基本读物

#### 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。

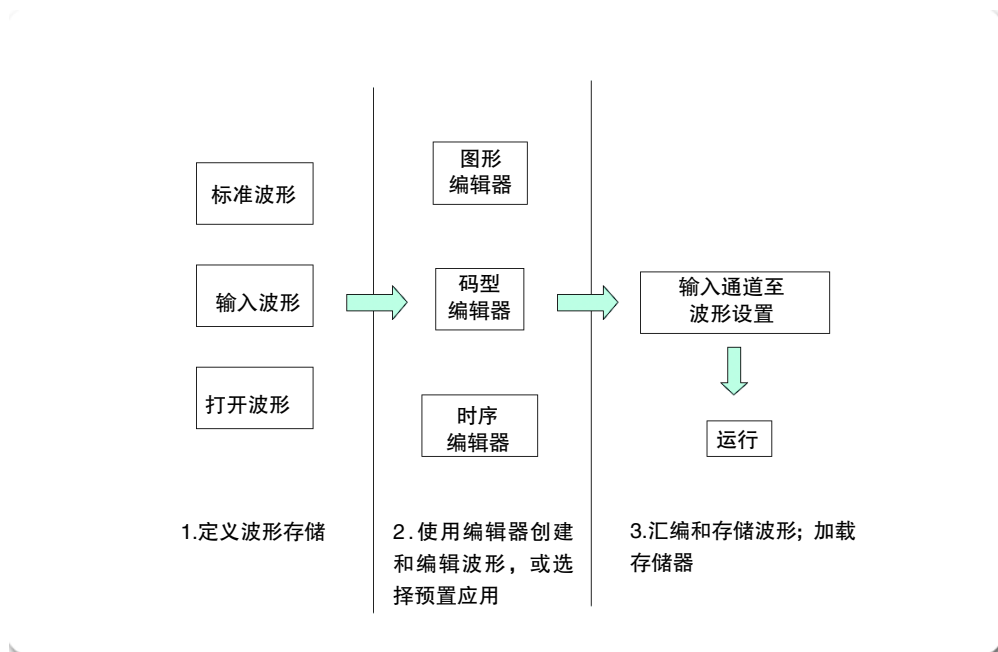
例如，可以通过 GPIB 或以太网把现代数字存储示波器捕获的波形简便地传送到混合信号发生器中。这一操作对使用“黄金标准设备”的参考信号测试该设备所有后续生成副本的测试方法至关重要。可以使用仪器的编辑工具处理信号，就象存储的任何其它波形一样。

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。





► 图 35. 使用 AWG 创建波形的步骤。

### 使用混合信号发生器创建波形

当前的高级混合信号发生器，特别是 AWG，为创建和编辑波形提供了多种方式。此外，某些仪器包括可以随时使用的专用波形。图 35 说明了使用 AWG 生成信号所需的各个步骤。

波形文件一旦创建，通常会永久存储。在原始应用工作完成很长时间之后，波形(或波形段)可能要再次使用。因此，面向工程设计工作研制的 AWG 有一块本地硬盘，永久存储波形文件和序列。第一步是使用标准波形函数创建一个波形，或从其它仪器或仿真软件中导入波形。

波形编辑或创建步骤由一系列使用简便的编辑器协助完成。波形编辑器使用基本“原始”波形段，提供了多种工具，可以以各种方式改变波形段，包括数学运算、剪切和粘贴等等。

码型编辑器是为处理数字数据波形优化的。数字工作中通常会使用真正的码型发生器，而 AWG 的码型编辑器可以隔离单个位，改变其定时或幅度参数，这是数字发生器所做不到的。

范例包括简单的正弦公式到对数扫描函数等等。此外，剪切和粘贴编辑功能也简化了开发复杂波形的工作。

## 深入了解信号发生器

### ► 基本读物

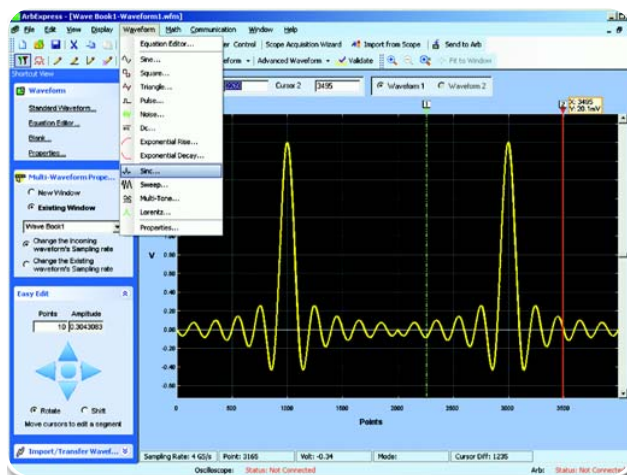
设置AWG的最后一步是在必要的地方汇编文件(与来自公式编辑器的文件一样),把汇编后的文件存储在硬盘上。“Load”(加载)操作把波形放入AWG的动态存储器中,然后复用并发送到DAC,然后以模拟形式输出。

这些是在AWG上生成波形的基本步骤。如前所述,波形文件可以级联到单独的序列编辑器的一个序列中,生成长度几乎没有限制及任何复杂度的信号流。

### 使用 ArbExpress™ 创建波形

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ArbExpress等软件,导入、创建、编辑及把波形发送到AWG中变成一项简单的任务。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。

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



► 图36. 使用ArbExpress™ for PC方便地创建和编辑任意波形。

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位移波形段或整个波形,从而可以轻松生成实际环境信号。

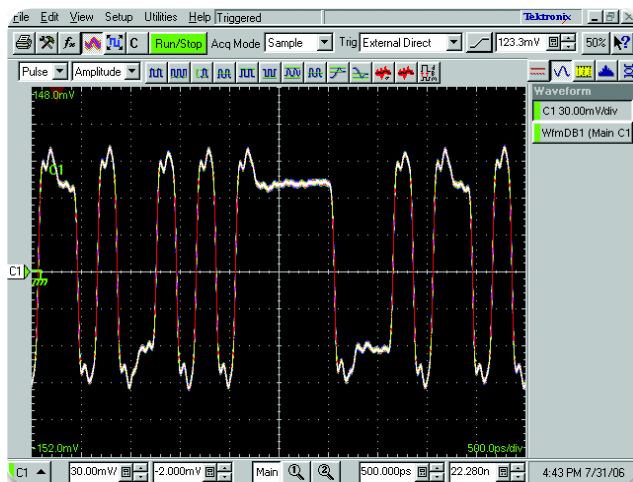
### AWG 应用趋势

#### 生成预加重 / 去加重信号

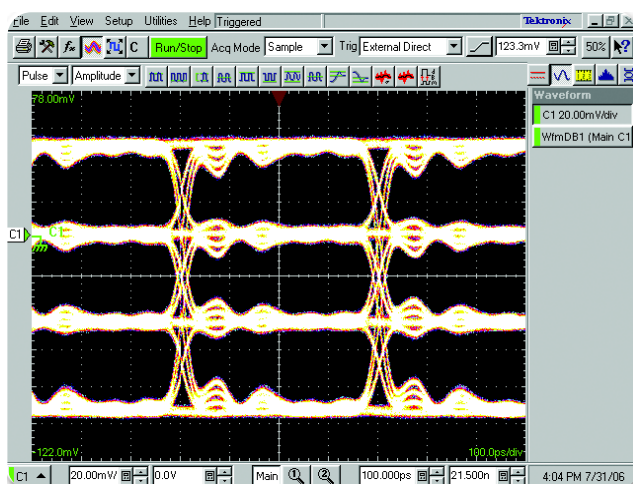
随着传输速度不断提高及为了补偿“损耗”媒体的频率特点，业内正日益采用预加重 / 去加重技术。PCI Express™ 及其它串行数据标准也要求包括预加重 / 去加重测试，以满足各自的一致性测试规范。预加重的基本原理是，对任何一串相同值的位，第一位的电压一直要高于后面的位。通过这种方式，可以补偿传输线的频率特点，从而提高接收机一侧的信号保真度。直接生成这样的信号可以提高信号质量，避免麻烦地通过多条通道和电源组合器生成信号。

#### 生成多电平信号

对串行接口的要求正不断提高。要求的数据速率越来越高，电缆和电路的性能正接近理论极限。在不提高跳变速率的情况下提高数据速率的技术之一是应用多电平信号，其中一个信号拥有的不只是标准的两个二进制电平。在多电平信号中，可以把多电平看作一个信号的多个离散幅度。这一现象称为脉冲幅度调制或 PAM。4PAM 信号是带有 4 个不同幅度的信号，在不提高信号跳变速率的情况下，把数据速率提高了四倍，如图 38 所示。



► 图 37. 5 Gbps 预加重 / 去加重信号。



► 图 38. 20 Gbps 4PAM 信号。

## 深入了解信号发生器

### ► 基本读物

#### 生成宽带 RF 信号

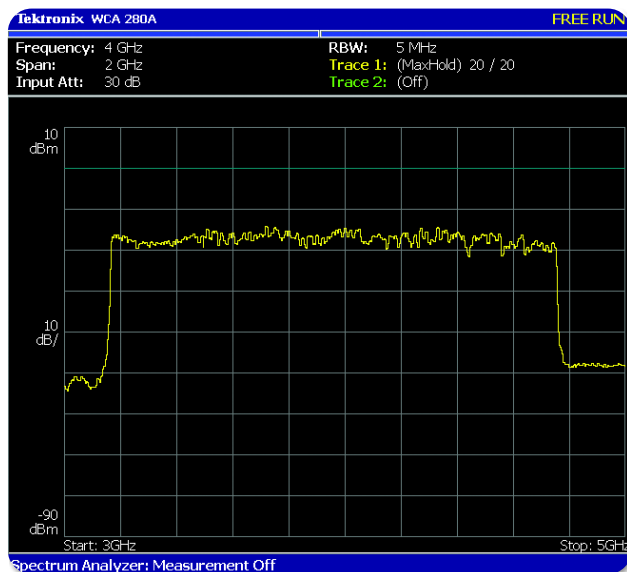
在 RF 领域中，从无线鼠标到卫星成像，各种技术都要求测试设备提供足够的采样率和分辨率，重建最复杂的 RF 行为。最新的数字 RF 技术通常会超出当前测试设备的功能，要求生成在许多无线应用中日益常见的宽带宽和快速变化的信号，如在雷达、UWB 和其它应用中。AWG 现在可以通过数模转换器，为载频高达 5 GHz 及带宽高达 5.8 GHz 的信号直接生成 RF 信号及输出。直接生成 IF 或 RF 信号避免了与采用 I/Q 调制器的传统发生技术有关的 I/Q 劣化及长时间调整过程。如图 39 所示。

#### 生成无线 I/Q 和 IF 信号

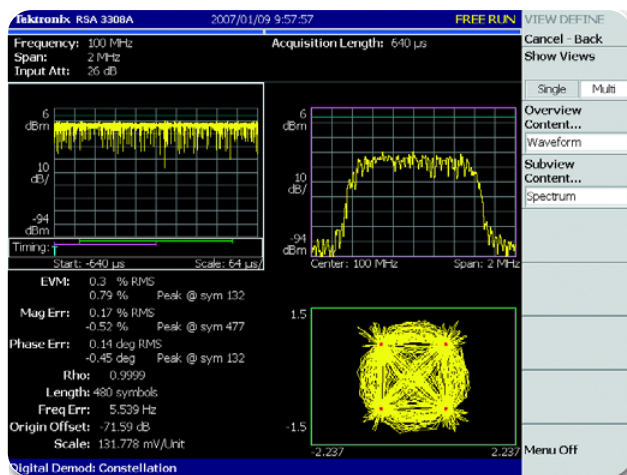
通过实现最新数字 RF 技术，提高无线网络容量，提供支持更高调制带宽和调制方案的性能，泰克 AWG 可以为“无线技术无所不在”提供支持。

现代 AWG 通过 14 位垂直分辨率提供了充足的信号动态范围和 SFDR，满足了从窄带 IO 应用到宽带 IF 应用的需求。

AWG 不仅能够生成 IQ/IF 信号，还可以生成数字数据 IQ/IF。MIMO (多个输入多个输出) 系统使用空间复用及多部天线支持 W-LAN/Wi-Max，为更高数据速率可靠通信提供了尖端技术。当前的 AWG 可以生成最多 4 条模拟通道(两台仪器支持 8 条通道)，同时生成 MIMO 信号。如图 40 所示。



► 图 39. UWB (MBOA)三频段(480 Mbps 1795 MAC 字节 96 符号净荷)。



► 图 40. EVM/星座图测量。

## 逻辑信号源

### 逻辑信号源的类型

逻辑信号源是为具有特定数字测试要求的人员提供的更加专用的工具。它们满足了要求连续的长二进制数据流、具有特定信息内容和定时特点的数字设备的特殊激励需求。逻辑信号源分成两类仪器 – 脉冲码型发生器和数据定时发生器。

#### 脉冲码型发生器 (PPG)

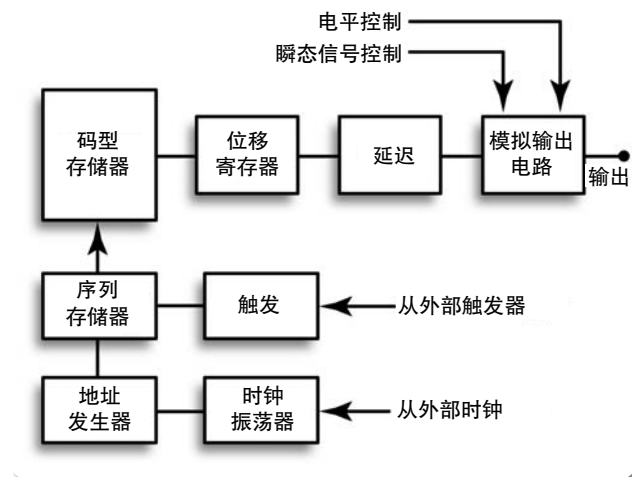
脉冲发生器驱动来自少量输出的方波或脉冲流,其频率通常非常高。除非调制脉冲流,否则脉冲中通常不表示任何信息内容(数据)。但是,高级脉冲发生器拥有高频率和快速上升时间功能,是测试高速数字设备的理想工具。

#### 数据定时发生器 (DTG)

AWG和AFG主要是为生成具有模拟形状和特点的波形设计的,数据定时发生器的任务则是生成大批量二进制信息。数据定时发生器也称为码型发生器或数据发生器,它生成测试计算机总线、微处理器 IC 设备和其它数字单元所需的 1 和 0 信息流。

在设计部门中,数据定时发生器是几乎每种数字设备不可或缺的激励源。在广义上说,DTG可以用来进行功能测试、调试新设计、分析现有设计的问题。它还是定时和幅度余量检定的一个有效工具。

DTG 可以用于产品开发周期早期,代替还没有提供的系统器件。例如,在正常情况下提供信号的处理器还不



► 图 41. PPG 或 DTG 的结构 (简图)。

存在时,它可以编程为把中断和数据发送到新研制的总线电路。类似的,DTG 可以为内存总线提供地址,甚至为被测的 DAC 提供正弦波的数字成分。由于其超长码型及能够在数据流中输入偶尔发生的错误,DTG 可以支持长期可靠性测试,以保证满足军事或航空标准。此外,它能够对作为码型序列一部分的 DUT 外部事件作出响应,在高要求的检定应用中提供了更大的灵活性。

DTG 同样适合测试半导体设备(如 ASIC 和 FPGA)或旋转介质(如硬盘驱动器写入电路和 DVD)。同样,它可以测试 CCD 图像传感器和 LCD 显示驱动器 / 控制器。在需要复杂的数字码流模拟 DUT 的几乎任何地方,DTG 都是一种高效的解决方案。

## 深入了解信号发生器

### ► 基本读物

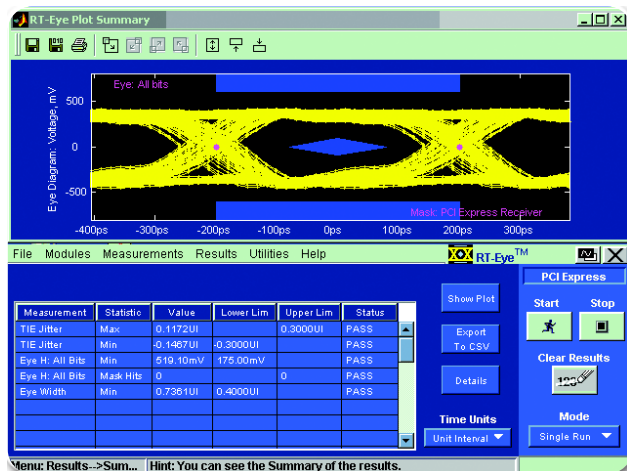
与AWG和AFG一样,DTG的结构包含地址发生器、波形(或码型)存储器、位移寄存器等。但是,码型发生器的结构中没有DAC。DAC没有必要,因为码型发生器不需要跟踪模拟波形一直位移的电平。尽管DTG有一条模拟输出电路,但这条电路用来设置应用到整个码型的电压和边沿参数,大多数DTG为编程码型的逻辑1和0电压值提供了一种方式。

DTG拥有为支持抖动和定时测试设计的部分数字功能。专用延迟电路负责在这些应用要求的边沿定位中实现小的变化。

延迟电路可以在边沿位置上提供微小的变化(大约几皮秒)。某些一流的DTG提供了简单的前面板控制功能,允许在5 ns或更高范围内以0.2 ps步长移动所有边沿或选择的边沿。这些小的定时变化建立典型的抖动现象模型,其中脉冲边沿的时间位置会围绕着额定中心点不规则地移动。通过改变和观察边沿定时相对于时钟的效应,可以测试抖动容限。

在当前最优秀的DTG中,可以在整个码型中应用这个抖动,或通过确定特定边沿的模板功能在隔离脉冲上应用这一抖动。图39是在增加抖动效应的情况下,数字荧光示波器(DPO)捕获的码型发生器输出信号。插图提供了同一事件简化的放大图。

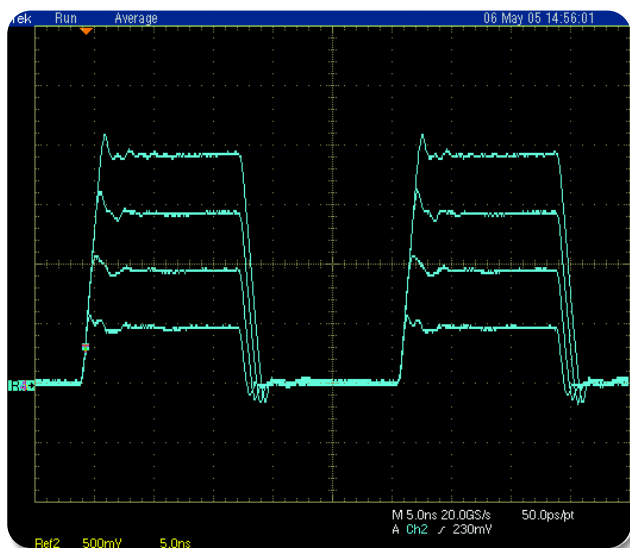
对关键抖动测试,其它功能为现代DTG提供了更高的灵活性。某些仪器有一个外部模拟调制输入,控制边沿位移量(单位为皮秒)和发生的速率。



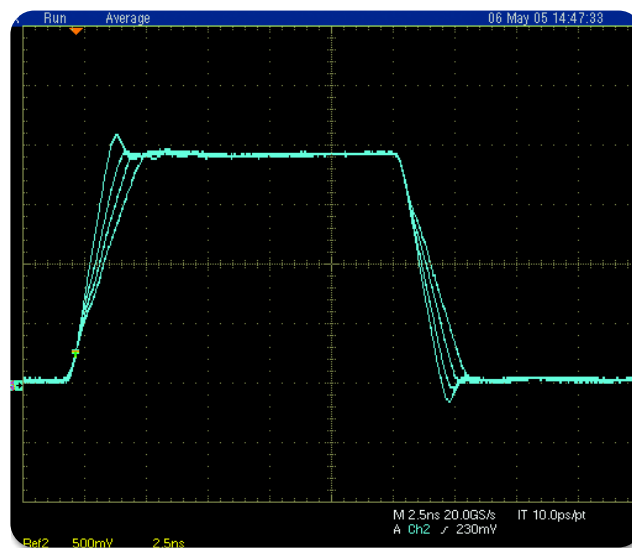
► 图 42. DTG 使用小的定位移模拟抖动。

由于有那么多抖动变量需要处理,DUT会面临着各种实际环境压力。延迟电路在测试定时问题中发挥着第二个、但同样重要的作用,即建立时间和保持时间超限。大多数时钟输出设备要求在时钟脉冲出现前(建立时间)存在几纳秒的数据信号,并在时钟边沿后保持几纳秒的有效时间(保持时间)。延迟电路可以简便地实现这一套条件。就象可以在时间上移动信号边沿几皮秒的时间一样,它可以把该边沿移动几百皮秒或几百纳秒。这正是评估建立时间和保持时间所需的操作。测试中需要在时间上分别移动输入数据信号的前沿和后沿几分之一纳秒,同时保持时钟边沿稳定。示波器或逻辑分析仪采集得到的DUT输出信号。DUT开始关掉与输入条件一致的有效数据,数据前沿的位置是建立时间。还可以使用这种方法,检测不能预测DUT输出的亚稳定条件。





► 图43. 码型发生器输出信号上的程控电压变化在整个码型中应用单一电压电平。



► 图 44. 码型发生器输出信号上的程控上升时间变化。

尽管 DTG 的指令系统不包括常用的信号调节操作，如滤波，但它为管理输出信号提供了某些工具。之所以需要这些功能，是因为数字电路问题并不限于纯粹的数字问题，如抖动和定时超限。某些设计问题是模拟现象引起的，如电压电平错误或边沿上升时间缓慢。码型发生器必须能够模拟这两者。

激励信号中的电压变化是一个关键的极限测试工具。通过使用变化的电压电平、特别是立即低于设备逻辑门限的电平对数字 DUT 执行测试，可以预测设备的整体性能和可靠性。在电压下降时，具有间歇性(及难以跟踪的)故障的 DUT 几乎必然会变成“硬”故障。

图43说明了把DTG编程为生成多个离散逻辑电平的影响。这里累积显示了多个指令的结果，但实际上，仪器

在整个码型中应用单一的电压电平。边沿转换时间或上升时间是在数字电路中经常导致问题的另一个原因。边沿转换慢的脉冲可能不会以与数据时钟一致的时间触发下一台设备。边沿慢因为导致争用条件而声名狼藉，这是导致间歇性问题的另一个原因。许多累积设计因素，特别是分布式电容和电感，在脉冲从来源传送到目的地时会劣化脉冲的上升时间。因此，工程师努力保证其电路能够处理一系列上升时间。与电压变化一样，脉冲边沿速率降慢是每个极限和余量测试计划的一部分。通过使用连接到DTB输出上的瞬态信号时间转换器，可以实现边沿速率变化。图 44 说明了程控边沿速率功能的影响。

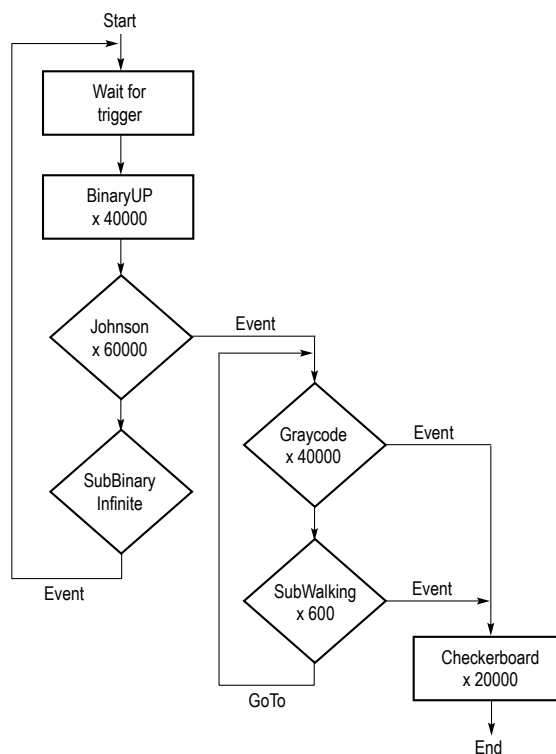
## 深入了解信号发生器

### ► 基本读物

由于 DTG 专用于数字测试应用，因此其功能提供了 AWG 和 AFG 不能匹配的独特优势，如完善的排序器、多个输出、各种码型数据源和独具特色的显示屏。

没有任何内部存储器会足够深，可以存储全面测试数字设备要求的数百万个码型字(也称为矢量)。结果，码型发生器会配备完善的排序器，这在数据和码型生成领域绝对必不可少。码型发生器必须支持超长的复杂码型，必须对外部事件作出响应，通常是码型发生器的排序器中提示分支执行的 DUT 输出条件。尽管 DTG 的码型存储器容量一般约为最大每通道 64 MB，但与 AWG 一样，它能够循环短的码型段，生成长得多的数据流。它可以等待外部事件或触发，然后执行一串重复计数或条件跳跃。此外，DTG 的排序器提供了多级循环嵌套和分支条件。它是一个可以使用正常编程方法控制的工具，为几乎任何想得到的数字设备生成地址信号、数据信号、时钟信号和控制信号。DTG 的排序器具有独特的不确定地扩展码型长度的能力。根据图 42 中的流程，可以查看一些短的指令和码型段可以怎样展开成数百万行激励数据。

多个输出还使得 DTG 特别适合数字电路应用。AWG 或 AFG 可能有两个或四个输出，码型发生器则可能有 8 条、32 条、甚至数百条输出通道，支持典型数字设备的各种数据和/或地址输入。由于太过繁琐、太容易发生错误而不可能手动输入复杂的数字码型，因此现代



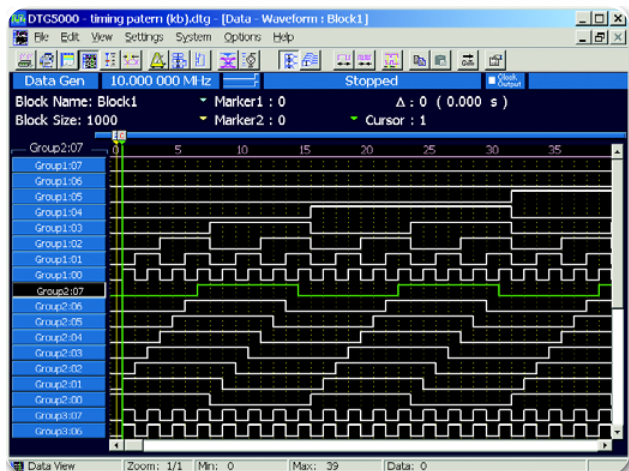
► 图 45. DTG 的序列流程，其中显示了循环和条件事件。

DTG 必须从逻辑分析仪、示波器、模拟器、甚至电子表格中接收数据。此外，设计流程的各种模拟和检验步骤通常会提供数字数据。



## 深入了解信号发生器

### ► 基本读物



► 图 46. 多通道 DTG 的总线定时显示画面。

DTG 显示屏还必须同时突出显示多条码型数据通道的详细信息，而不是信号幅度随时间变化的详细信息 (AWG 显示画面中显示)。它应该提供标尺、滚动和其它节约时间的功能，帮助用户把精力放在感兴趣的数据上。图 46 是多通道码型发生器显示画面实例。

最后，DTG 通常用于要求关键脉冲边沿特点的测试中，包括电压精度、上升时间性能和边沿位置。遗憾的是，



► 图 47. DG2020A 码型发生器使用外部信号接口“适配夹”。

简单地在仪器前面板连接器上提供优质信号是不够的。通常情况下，信号必须通过电缆和连接器传送到距仪器一米以上的测试夹具上，这会严重劣化信号的定时和边沿细节。某些现代码型发生器解决了这个问题，它们使用外部信号接口，缓冲信号，直到 DUT 提供仪器的性能。图 47 是使用外部信号接口的 DG2020A 码型发生器。接口使电缆电容导致的上升时间劣化达到最小，为驱动 DUT 输入提供了充足的局部电流，而不会“负荷下降”。

## 深入了解信号发生器

### ► 基本读物

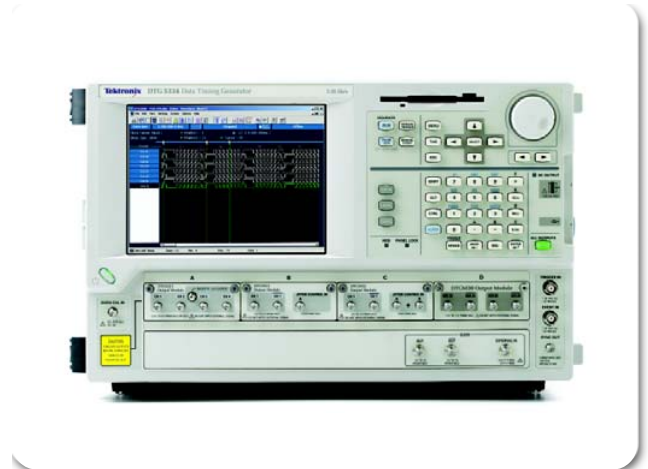
#### 逻辑信号源系统和控制功能

图 45 是高级逻辑信号源 – 泰克 DTG5334 数据定时发生器。

逻辑信号源与混合信号发生器一样,提供了基于菜单的操作组合外加前面板直接进入按钮,加快了定时和电平设置等常用功能的处理速度。一流的逻辑信号源将采用使用简便的专用功能,满足数字需求,同时它还提供广泛的与 AWG 计数器部分略有不同的码型开发工具。

图48中所示的定时控制屏幕反映了所示仪器基于Windows的结构。其它型号则采用各种专有接口。Windows环境的优势是可以简便地连接行业标准网络、外设和I/O总线,如USB。如前面AWG部分所述,编辑/控制屏幕为创建码型序列、设置电平和输入一般数据提供了查看介质。某些逻辑信号源提供了一个单独的VGA输出(除集成显示器外),可以用来驱动大型外置监视器。

许多仪器为最经常调节的功能提供了前面板快捷按钮:设置数据值,设置定时和幅度值。这些按钮不需使用一系列菜单设置参数值,节约了时间。



► 图48. 高性能逻辑信号源: 泰克DTG5334数据定时发生器。

Run/Stop Sequence按钮发起存储的序列。假设特定条件已经生效,按这个按钮可以导致码型数据开始从主输出连接器流出。正常情况下,假设的条件如下:存在一个触发器(由Manual Trigger按钮或External Trigger输入提供);通过Output On/Off按钮启动输出。Output On/Off按钮一般用来在开发测试程序时关闭输出信号,防止数据发送到连接的DUT上。

Menu/Navigation 键、滚动旋钮和数字键盘用来开发程序。Menu/Navigation 键打开菜单，滚动旋钮和数字键盘则可以方便地输入数字数据，如定时值、二进制数据等等。

模块化输出正变成满足当前逻辑系列和总线结构各种(不断变化的)电气要求的首选解决方案。可以为某个逻辑系列的特定阻抗、电流和电压参数优化各个模块，保证在感兴趣的范围内实现最高的精度。此外，模块化输出节约了不需要的模块的成本。仪器可以配备最少 1 个、最多 32 个输出。

在前面板上看不到、但非常重要的一面板上的一系列同步输出。可以使用这些信号，同步采集仪器、DUT 本身、甚至其它信号发生器。注意，还为日常的同步任务提供了前面板 Sync 输出。

### 性能指标和考虑因素

数字信号发生器的许多性能参数与模拟计数器部分的 AWG 和 AFG 相同。

#### 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。周期内的实际数据位可能会、也可能不会改变状态。周期边界之间的时间决定着数据速率，其单位为每秒兆位或每秒千兆位。

#### 码型深度

与 AWG 的存储深度一样，码型深度决定着为支持码型生成可以存储的最大数据量。存储器越深，可以存储的码型变化越多。数字信号发生器依靠排序技术，创建几乎无限个码型字组合。

#### 上升时间 / 下降时间

上升时间或下降时间是指脉冲边沿转换到与其当前电平相反的状态所需的时间。某些数字信号发生器允许这一参数根据不同的逻辑系列需求变化。

#### 水平(定时)分辨率

水平(定时)分辨率是指边沿、周期时间或脉宽可以改变的最小时间增量。

# 深入了解信号发生器

## ► 基本读物

### 输出通道数量

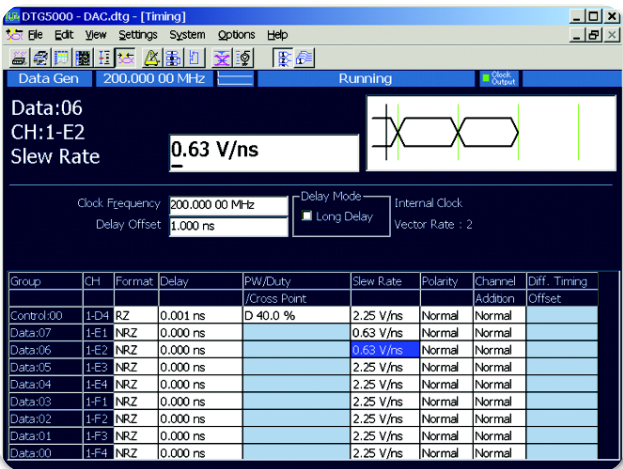
数字码型信号发生器与模拟计数器部分不同，一般会一次驱动多个 DUT 输入。一个数字器件或总线可能会要求信号发生器提供 8 个、16 个或更多的输出。仪器为把这些信号汇聚到多个组中提供了一种方式，在这些组中，可以作为一个整体处理多个信号。一个常见实例是把所有地址信号分配到一组中，把所有数据信号分配到另一组中，把 Write Enable 信号分配到第三组中。通过这种方式，可以在极限测试中，一次降低所有地址线路上的电压。

### 排序

排序是生成数字码型的基础。通过使用计算机指令(如跳跃和循环)，信号发生器内置排序器可以在许多分散定义的码型数据块中切换。一个数据块是可重用的某种指定长度的段，如 512 个周期。这产生了数量庞大的变化，可以用来对数字设备全面执行测试。

### 集成编辑器

为了能够编辑数字码型，要求使用编辑工具。某些高性能数字信号发生器提供了集成编辑功能，而不需要使用外部计算机和和编辑器。这些编辑器可以简便地同时设

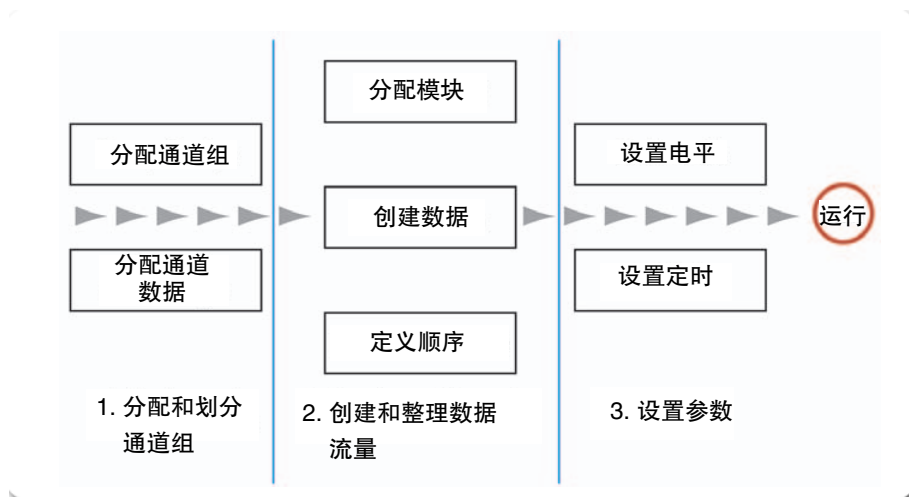


► 图 49. 编辑 / 控制屏幕。

置时钟流和数据流，在仪器屏幕上提供波形视图。另外，表格编辑器采用用户熟悉的电子表格格式，可以使用常用的剪切和粘贴编辑技术构建码型。

### 数据导入功能

当前的数字码型信号发生器可以从 EDA 系统和其它仪器中导入数字码型。这为设计检验提供了重要的辅助工具，因为用户不需要为检验原型专门开发码型，省去了耗时的步骤。



► 图 50. 使用逻辑信号源创建数字信号的步骤。

## 使用逻辑信号源创建波形

开发用于数字激励码型的“波形”要求的程序不同于模拟领域。在高性能逻辑信号源中，这一流程需要定义几组类似的信号，应用时钟和数据码型，设置逻辑电平。

图 49 是 DTG5000 系列的电压编辑屏幕图。

图 50 是汇总了使用逻辑信号源创建数字激励信号所需的各个步骤的简化流程图。

为满足数字设备不断发展的需求，逻辑信号源可以划分数据通道组，与设备的输入和输出引脚相匹配。通过这种方式，仪器存储器中存储的信息可以分配到选择的输出通道中。大多数数字 DUT 将有几组时钟、地址和数据引脚，这些引脚可以映射到逻辑信号源中同等的通道组。这一结构可以简便地一次改变整组引脚值，如电压或延迟，而不是一次改变一个引脚值。

下一步是创建构成序列的码型“块”。一个块是选择长

度的码型突发，如 1024 位。正常方法是创建在测试序列推进时可以用于各种组合中的一批块。

在定义相应数量的块后，必须使用数据填充块。某些逻辑信号源提供了典型格式的预先定义的码型库，如“Walking Ones,” “Checkerboard,” “Grey Code”等等。通过交替包含不同码型的块，可以使用数量庞大的码型变化测试 DUT 极限。内置序列编辑器有助于完成这一任务。序列编程只需使用块顺序、重复数量及跳跃和 Go To 语句等条件相关指令填表即可。

创建信号的最后一步是指定应用到 DUT 的逻辑电压和定时条件。当前世界上有许多不同的逻辑设备系列，同时驱动电平有许多不同的要求。幸运的是，当前的高级数字信号发生器提供了预先配置的设置，满足了这些需求(用户编程设置也成为可能)。其它变量包括端接阻抗和端接电压、数据格式(RZ, NRZ 等)、时钟频率、边沿延迟等等。简单的表格再次为输入这些数据提供了简单的途径。

## 深入了解信号发生器

### ► 基本读物

### 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设备，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设备的信号。此外，通常还必需有效控制设备的输出。

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

**畸变** – 波形中的过冲或下冲。

**捷变性** – 迅速干净地从一个频率转变到另一个频率的能力。

**假信号** – 把失真转换产物插入感兴趣的频率范围内。

**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。

**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。

**幅度分辨率** – 参见垂直分辨率。

**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。

**模拟信号** – 电压连续变化的信号。

**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。

**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。

**任意 / 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。

**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。

**衰减** – 在从一个点传送到另一个点期间，信号幅度下降。

**带宽** – 一个频率范围，通常限于 -3 dB。

**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。

**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。

**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。

**时钟速率** – 参见采样率。

**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一信号副本的输出。

**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。

**光标** – 屏幕上的标尺，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。

**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。

**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。

## 深入了解信号发生器

### ► 基本读物

**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。

**DC 精度** – 设置电压和实际输出电压之差。

**延迟** – 两个类似的信号之间的定时差;也称为相移。

**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。

**被测设备 (DUT)** – 被测量的设备;与被测单元(UUT)是同义词。

**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。

**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。

**数字信号** – 使用离散二进制数字表示电压样点的信号。

**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。

**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。

**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。

**失真** – 电路实际情况的产物,如分布式电容、串扰等。

**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。

**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。

**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。

**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。

**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。

**平坦度** – 在输出正弦波时电平随着输出频率变化的程度。

**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。



**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。

**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。

**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。

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

**毛刺** – 电路或波形中间歇性的高速误差。

**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。

**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。

**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。

**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。

**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。

**抖动** – 一种损伤, 表明周期或频率没有稳定。

**千赫 (kHz)** – 1,000 赫兹; 一种频率单位。

**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。

**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。

**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。

**标尺** – 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。

**标尺输出** – 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。

**兆赫 (MHz)** – 1,000,000 赫兹; 一种频率单位。

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

## 深入了解信号发生器

### ► 基本读物

**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)。

**微秒( $\mu\text{s}$ )** – 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。

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

**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。

**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。

**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 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。

**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。

**偏置电平** – 波形从零或接地电平的垂直位移(单位为伏特)。

**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。

**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。

**码型** – 参见数字码型。

**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)。

**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。

**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。

**峰值( $V_p$ )** – 从零参考点上测得的最大电压电平。

**峰到峰值( $V_{p-p}$ )** – 从信号的最大值到最小点测得的电压。

**周期** – 波结束一个周期所需的时间。周期等于 1/频率。

**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。

**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。

**相移** – 两个类似的信号之间的定时差，也称为延迟。

**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。

**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。

**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。

**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。

**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。

**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。

**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。

**脉冲串** – 一起传送的脉冲集合。

**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。

**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。

**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。

**锯齿** – 以恒定速率变化的正弦波电压电平之间的转换。

**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。

**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。

**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。

**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。

**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。

**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。

## 深入了解信号发生器

### ► 基本读物

**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。

**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。

**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。

**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。

**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。

**屏幕** – 生成可视码型的显示屏的表面 – 显示区域。

**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。

**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。

**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。

**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。

**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。

**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。

**模拟** – 信号发生器输出波形, 模拟设备输出, 以用来测试其它设备的一种技术。

**正弦波** – 以数学方式定义的一种常见的曲线波形。

**单端输出** – 使用一条路径相对于接地传送信号的一个输出。

**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。

**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。

**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。

**阶跃** – 电压突然变化的波形。

**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。

**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。

**扫描正弦波** – 在某段时间周期内提高频率的一种正弦波。

**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。

**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。

**定时分辨率** – 参见水平分辨率。

**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。

**三角波** – 电压的上升时间和下降时间对称的波。

**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。

**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。

**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。

**被测单元(UUT)** – 要测量的单元，是被测设备 (DUT)的同义词。

**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。

**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。

**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。

**伏特** – 电位差的单位。

**电压** – 两点之间的电位差，用伏特表示。

**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。

**波形** – 以图形方式表示波的行为及其随时间变化情况。

**波形点** – 一个数字值，表示特定时点上的信号电压，从样点中计算得出，存储在存储器中。

## 深入了解信号源

### ► 基本读物

#### 泰克提供的其它读物：

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

[www.tektronix.com](http://www.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

**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) 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) 8781 2760/2831  
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



© 2007 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。 2/07 HB/PGI 76C-16672-4

**Tektronix**  
Enabling Innovation