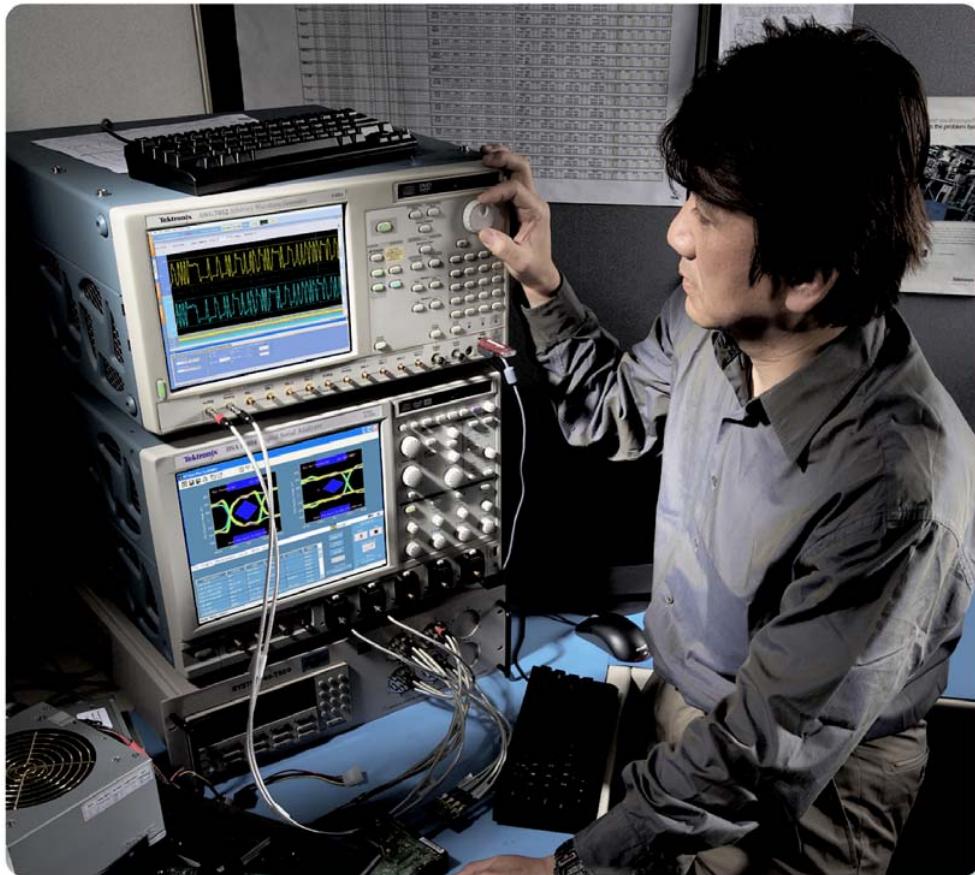


直接合成技术协助执行串行测量



与大多数电子测试形式一样，串行设备一致性和调试测量要求激励信号。多年来，设计人员几乎完全依赖数字数据发生器，为串行测试生成二进制信号。但是，信号源领域中的新技术正在改变这一切，直接合成工具可以帮助设计人员创建现实程度和相关性更高的信号。

“直接合成”一词描述了波形生成方式。它们可以作为各种测试测量应用的激励信号使用。但是，直接合成概念并不仅限于测量用途，也不是一个新概念，它与唱片机中复现音频信号使用的过程类似（但唱片使用编码数据）。唱片系统从存储装置（唱片本身）中读出系统存储的样点，以重建模拟波形，也就是用户听到的音乐。

直接合成技术协助执行串行测量

► 应用指南

直接合成是一种基于采样的技术。示波器从模拟波形中采集样点，直接合成信号源或称为任意波形发生器(AWG)则从样点中创建模拟波形。这里的重点理念是作为数字数据使用模拟波形，如在串行数据总线中。AWG存储器中的样点基本上可以定义任何波形，包括数字脉冲。当然，正常的物理限制和带宽限制仍然适用，但在其指定范围内，AWG可以象440 Hz钢琴乐谱一样，生成5 Gb/s的串行数据包。

市场上已经出现新一代AWG(图1)，也是能够以当前串总线中常见的高数据速率传送信号的第一个AWG。新仪器提供了高达20 GS/s的采样率，拥有多个输出和充足的存储容量，可以支持长码型序列。这一最新技术可望变革串行测量，特别是在接收机一侧。

为什么要使用模拟波形？

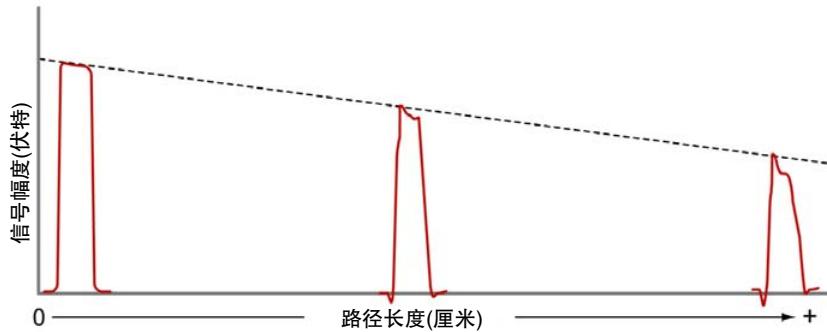
串行信号完全由简单的二进制数据1和0组成。为什么要使用模拟波形表示数字数据呢？这是因为在数字信号下面是模拟事件。书本上数字信号的零上升时间和完美的平顶都是虚拟的。电子环境拥有噪声、抖动、串扰、分布式电抗、电源变化和其它缺点，每个缺点都会给信号带来代价。实际环境中的数字“方波”很少会类似于理论上的方波。模拟波形信号源的优点是能够模仿不理想的模拟特点。



► 图1. 泰克 AWG7052 代表着新一代直接合成任意波形发生器，为满足串行测量需求提供了充足得高的性能。

直接合成技术允许工程师创建信号，反映通过传输线传播时的影响。它可以控制上升时间、脉冲形状、延迟和畸变等等，这正是严格的串行总线测试所需的操作。

故意应用异常波形并不是直接合成AWG方法的唯一优势，该仪器还可以创建多电平信号，包含高、低和空闲状态，而不用外部工具的协助。它可以生成内嵌抖动或噪声的任何格式的数据，也不需要外部调制器的帮助。与其它解决方案不同，AWG可以发出一个测试信号，拥有所需的全部定时、幅度和失真特点，而不是先生成一个干净的信号，然后再劣化信号。



► 图 2. 有损耗的介质一般会与路径长度成比例衰减高频信号。

为最坏情况信号寻找最佳解决方案

常用的串行数据接收机是各类数字系统大量使用的单元之一，也对需要测试和检定新兴设备的设计人员提出了最大的一个挑战。与过去一样，基本问题也是“接收机是否在实际环境条件下工作？”和“最坏情况下的行为是什么？”事实上，典型的串行数据接收机通常工作的实际环境基本上就是最坏情况环境。

这些问题非常重要，因为经过一定传输链路的信号一般会随时钟速率和传输路径长度成比例劣化。即使是最认真控制的链路，其对 6.0 Gb/s 信号的影响也要超过对 500 Mb/s 信号的影响。下一代串行标准中的数据速率将攀升到 6.0 Gb/s 以上，而且还将看不到上限。串行数据信号需要越来越多的电路单元传送信号。

同样重要的是，实际环境应用通常偏离使长度和劣化达到最小的、理想的阻控受控的信号路径。实用制造经济要求使用损耗相对较少的介质，如 FR4 环氧树脂电

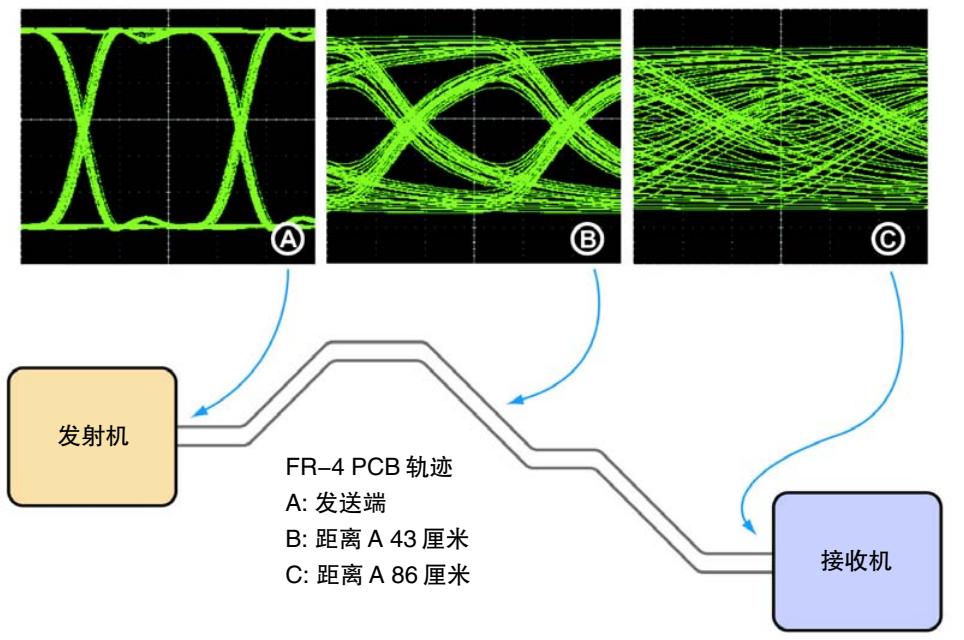
路板。封装要求(而不是电气考虑因素)正推动着电路布局发展。大规模制造的电缆和连接器通常会降低信号保真度，以实现经济性和简单性。系统设计人员经常会故意地用传输路径完整性换取成本和竞争优势。

让我们只考虑这些选择的一个影响，即有损耗的介质对通过介质传送的信号的影响。图 1 是简化的示意图，在概念上说明了脉冲在通过传输路径全长时会发生的情况。在高数据速率时，脉冲幅度会随着路径长度稳步下降，可能会达到非常低的水平，不能保证接收端准确地作出门限决策。此外，边沿劣化和过冲等效应(图中也显示了这些效应)也会降低接收输入上对信号的理解能力。

导致这些损耗的因素有哪些呢？由于电路板介电材料的损耗突然偏离，通过长PCB轨迹传播的高频信号会出现大幅度劣化。高损耗的偏离与高介电吸收能力有关，这在高频时会提高衰减。虽然图 1 没有表明特定介质的性能，但其传达的基础信息是信号会与介质的损耗特点成比例下降。

直接合成技术协助执行串行测量

► 应用指南



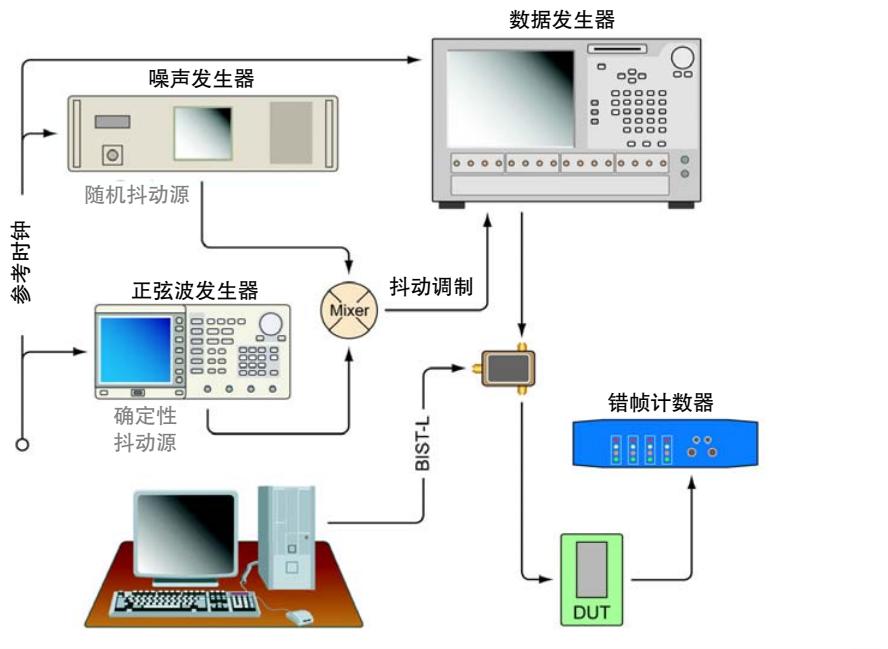
► 图 3. A 串行信号可能会受到噪声、损耗、串扰和其它异常事件的影响，使得接收机很难正确解释数据。

图3说明了在串行数据信号经过FR-4电路板环境传送时发生的情况。在测试点“A”上，我们看到一个发射机输出的眼图。眼图张开，强健，在判定点周围有全部幅度和充足的间隙。

在测试点“B”上，也就是在到接收机输入一半的距离上，信号已经显示某些磨损。眼图闭上，抖动提高，导致边沿位置“模糊”。只有模板容限非常丰富时，这个眼图才能通过一致性测试。

在“C”点上，信号变得很差。眼图在图像中心附近张开的面积很小。接收机很难对这个信号中的数据跳变作

出正确响应。在计算行业和通信行业中，设计人员一直在寻找各种方式，改善信号传输。业内已经采用各种形式的平衡、去加重和编码技术，图3中所示的总失真已经在一定程度上得到缓和。但是，这些行为最终还是由于材料、电力和放射的物理特点引起的，而这些特点总会在某种程度上存在。因此，一直有必要使用劣化信号测试元件和系统，而直接合成信号源则为这一工作提供了理想的解决方案。



▶ 图 4. 抖动容限测量中使用的数据发生器。电源组合器保证 BIST-L 信号与后面的数据之间没有中断。

直接合成方法简化接收机抖动容限测试

抖动是一种可能会给电路行为带来剧烈影响的现象。长期以来，数据发生器(DG)平台(也称为定时 / 码型发生器)一直是串行测量使用的主要仪器，包括接收机抖动容限测试。下面比较了数据发生器和码型发生器方法与采用直接合成系列工具的新兴替代方案。

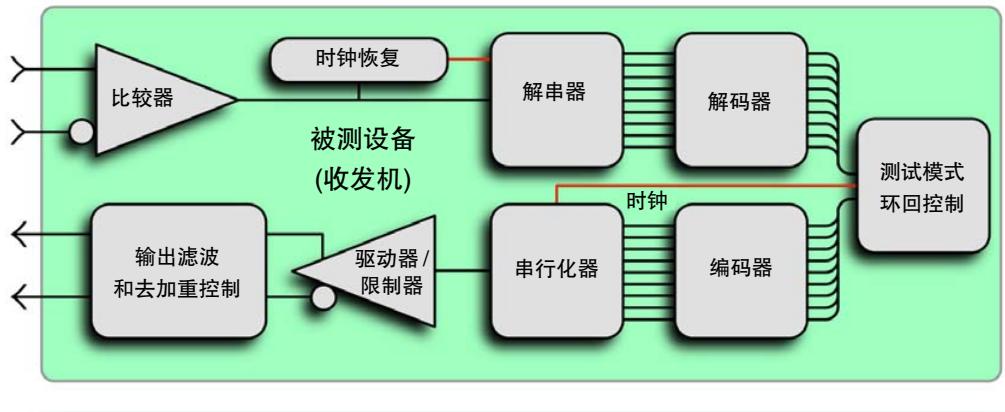
抖动一般会“弄脏”边沿位置，使眼图张开程度变窄。图 4 是在接收机上进行抖动测量使用的典型测试设置(在大多数情况下实际上是收发机，但这里的重点是接

收机)。图中显示了传送拥有随机抖动和确定性抖动的数据码型所需的设备。为清楚起见，在这里及后面的图示中，与 DUT 的每对差分连接都显示为一条路径。

这种方法要求调节抖动和噪声成分，在DUT中引入特定数量的总抖动，直到其开始发送错帧或误码。然后测量抖动幅度，确定设备是否满足规范。设备配置的目的是代替实际的系统元件，生成预计DUT在最终用户应用中遇到的任何类型的抖动。

直接合成技术协助执行串行测量

► 应用指南



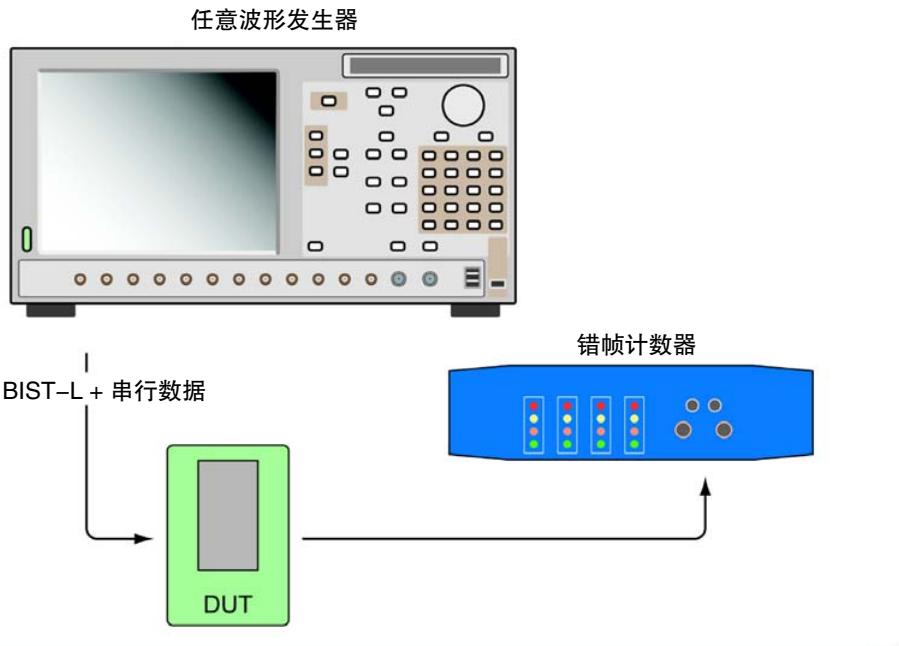
► 图 5. 串行收发机，图中显示了环回路径。

接收机的基础架构提高了测试接收机抖动容限的复杂程度。一致性测试如SATA gen I 和 II 要求DUT遵守采用特定帧信息结构(FIS)提供的内置自检(BIST)指令。在收到特定顺序的BIST-L(环回)帧时，串行收发机(包括发射机、接收机和SERDES单元)被设计成进入专用环回模式。在设备处于这种模式时，发射机对已经收到的信号发出回声。这种方法必不可少，因为整个收发机通常是在硅制芯片上实现的，因此不能接入内部信号路径。在信号进入设备接收机一侧的比较器单元之后，将没有任何方式探测信号。典型收发机的方框图如图5所示。

在历史上，BIST指令一直是外部PC提供的，外部PC上运行为这一目的设计的应用软件。遗憾的是，一旦断开BIST信号源以后，大多数收发机就会切换出环回模式，返回普通操作，因此不可能运行测试！

迎接这一挑战的常用解决方案是通过功率合成器向DUT输送BIST命令。功率合成器的另一个输出连接到提供测试数据流的信号发生器上，如图4所示。通过在测试电路中使用电源组合器，数据发生器可以在环回模式激活时，开始把测试数据推到DUT，而不要求断开连接。

功率合成器是一种可行的解决方案，但有它的缺点。很明显，它提高了复杂度，增加了连接错误、电气接触不良及出现其它机械问题的机会。它还需要校准所有输入源，保证正确引入抖动成分。最重要的是，功率合成器会使数据信号电压衰减高达50%。通过提高数据发生器的输出幅度，通常可以解决这个问题，但它会限制仪器的性能；此外，提高幅度会不可避免地提高噪声，可能会提高失真。



► 图 6. 采用高性能 AWG 的直接合成接收机测量设置。

然而，直到最近，功率合成器方法一直都是大多数接收机抖动测试使用的常规方法。它使用经过验证的工具，在正确设置设备和程序时，可以提供令人满意的结果。基于数据发生器的设置可以提供固定抖动曲线，满足许多应用的需求。

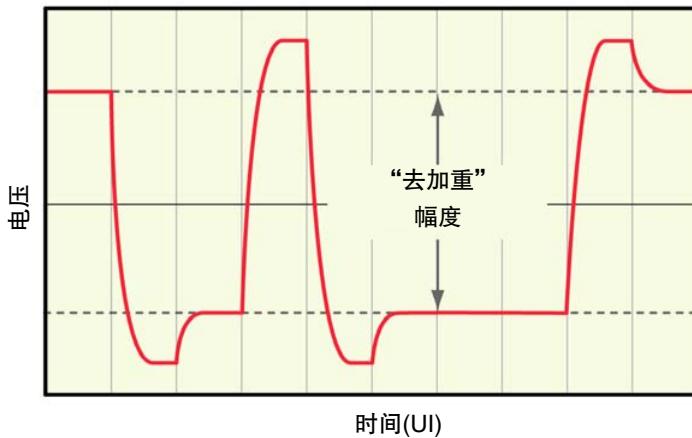
另一种抖动生成方法

然而，另一种方法正在出现。通过使用 AWG 直接合成技术，可以消除修改和调制 DG 或码型发生器生成的信号所需的外部单元。通过适当的直接合成 AWG，可以把任何形式的抖动合并到测试信号本身中。可以建立随机抖动和确定性抖动的影响模型。AWG 能够以定量方式和定性方式改变施加的效果(如抖动)，并能够使用软件工具简便地实现这些效果也具有重要意义。

AWG 直接合成方法还有一个重要优势，即仪器可以作为数据的一部分包括 BIST-FIS 指令。换句话说，AWG 的输出是一条连续的数据流，其中先是 BIST-FIS 命令，然后是抖动的数据，在两者之间没有不想要的中断。它不需要功率合成器或运行 BIST-FIS 软件的 PC。图 6 是仅由两台仪器组成的基于 AWG 的抖动测量系统：一台仪器生成输入，一台仪器读取输出。AWG 的存储器不区分 BIST-FIS 数据、带外信号、时钟信号或实际数据流及其异常事件。存储器简单地存储能够重建任意波形的样点。

直接合成技术协助执行串行测量

► 应用指南



► 图 7. 在串行数据流中应用的去加重效应。跳变位设置成较高的幅度，以解决 ISI 问题。

直接合成技术满足去加重测量需求

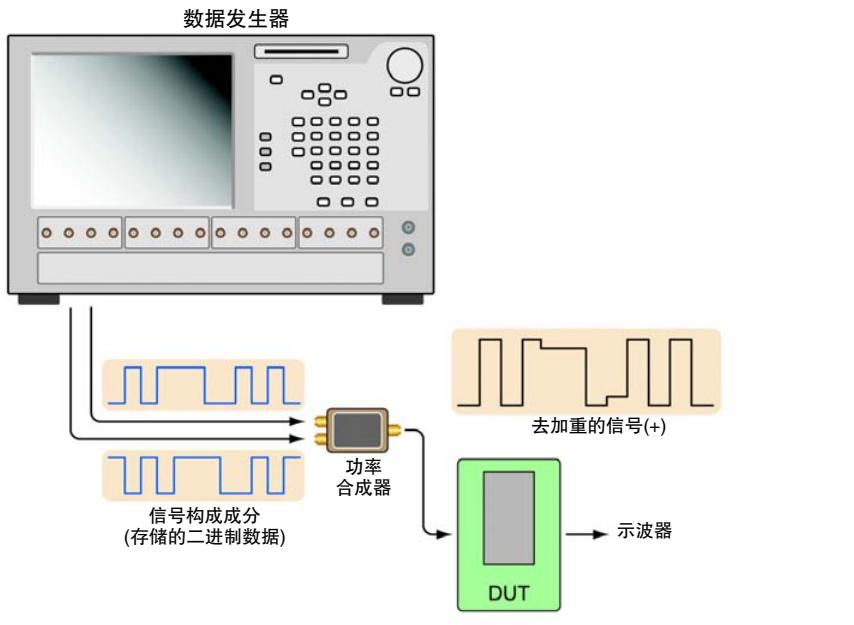
与上面介绍的抖动测量一样，至少有两种方法处理去加重，这是为降低码间干扰(ISI)而设计的信号调节步骤。在本节中，我们将再次比较备选方案。

在一组相同状态的连续串行位导致传输元件中积聚能量时，可能会发生码间干扰(ISI)，其结果是脉冲的时间开始展宽，甚至会重叠。最终，接收机很难区分状态变化。在位速率加速到千兆位范围时，ISI 开始困扰串行总线传输通道。发现和消除ISI一直是许多研究工作的重点。

ISI公认的解决方法是去加重¹。去加重技术假设对拥有相同二进制状态的任何一串位，第一个位(称为跳变位)的幅度必须大于后面的位，以补偿传输线的频率特点，改善接收机输入上的信号保真度。通过使跳变位的幅度高于后续位，信号到达接收机针脚时会表现为“张开的眼图”。图 7 说明了这一概念。

与影响信号幅度和波形的任何其它处理方式一样，必须在设计阶段全面评估新兴串行设备对去加重的响应。此外，去加重测量是大多数测试体系的一部分，包括PCI Express II、以太网、XAUI 等等。

¹ 行业资料中使用的“去加重”一词比较模糊。本文根据 PCI Express 基本规范中的实例，把去加重定义为在特定条件下故意降低信号幅度。



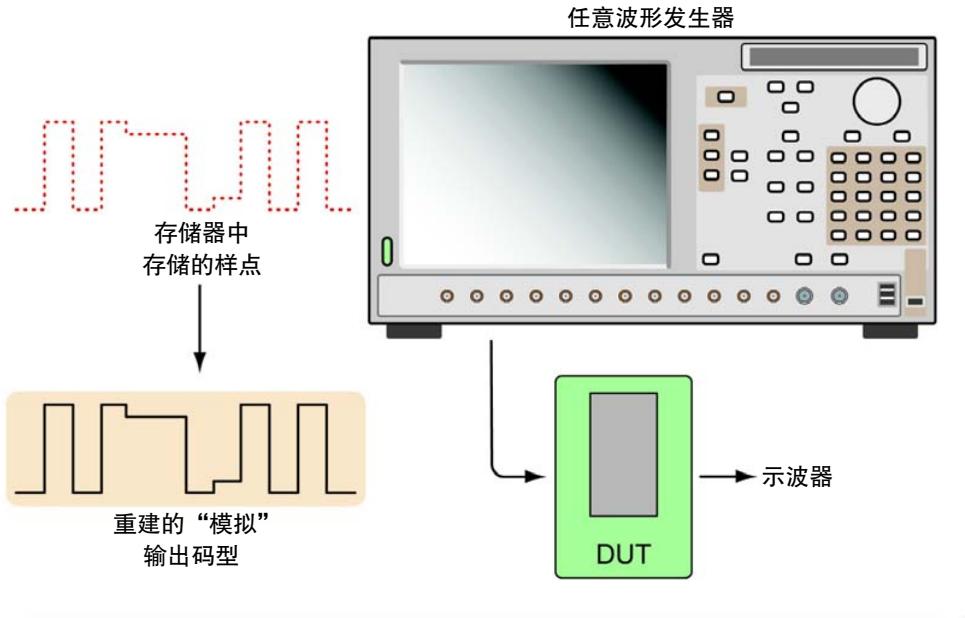
▶ 图 8. 基于数据发生器的去加重方案。两条通道混合在一起，在特定条件下增加去加重幅度。

数据发生器一直是去加重评估的传统解决方案。尽管 DG 要求两条差分通道才能提供带有去加重的一个信号，但现代多输出 DG 可以配置更多的输出，来完成这一工作。典型的 DG 配置可能有 8 条通道，对 4 “路” 串行总线足够了，如 PCI Express。随着多路串行架构的重要程度不断提高(PCI Express 标准涵盖了拥有最多 16 路的变通方案)，以最大限度地提高数据吞吐量，可以保证 DG 在去加重测试中的未来发展前景。

使用 DG 进行去加重测试要求外部功率合成器，混合两条组成的数据流，生成一个合成输出，即去加重信号。测试设置如图 8 所示。这里要再次重申，图示中的每一条路径都代表一个差分对。构成数据作为各个二进制位存储在 DG 内部，每个操作周期会读取这些二进制位，因此 DG 存储器中的一个“1”会变成码型中的一个“1”。

直接合成技术协助执行串行测量

► 应用指南

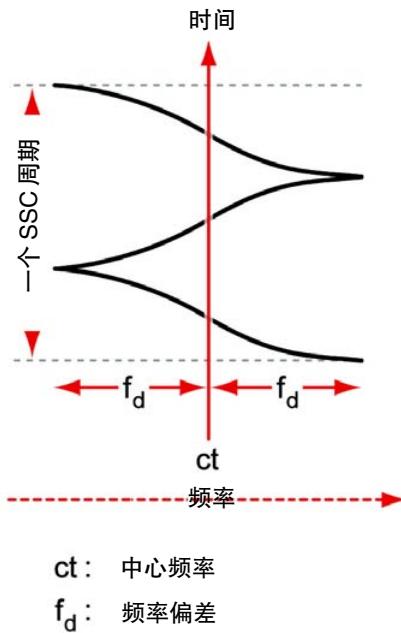


► 图 9. 任意波形发生器重建存储在存储器中的采样波形。

使用 AWG 生成去加重信号

生成去加重信号的直接合成方法完全不同于 DG，但得到的应用到 DUT 上的信号完全相同。

AWG 存储的信号包含去加重，因此不需要生成及外部组合两条构成数据流，以得到合成信号。如图 9 所示，这种排列要比基于 DG 的配置简单。



▶ 图 10. 扩频时钟改变(调制)时钟，这种效应可以整合到 AWG 码型中。

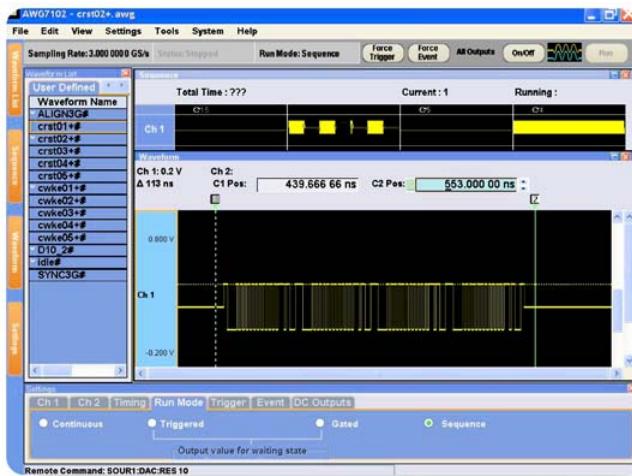
AWG 把扩频时钟(SSC)合并到串行数据流中

扩频时钟为最大限度地降低高速系统中时钟源发出的放射 EMI 提供了一种有效方式。串行标准正日益实现 SSC，SSC 已经成为一致性问题。事实上，系统会调制数据的时钟速率，以便时钟频率不断变化。调制频率通常在几十 kHz 范围内。图 10 说明了 SSC 概念。

尽管生成标准SSC信号可能是一个挑战，但它仍在直接合成信号生成工具的能力范围之内。最重要的是，SSC 可以嵌入在原始数据中，就象实际串行系统中一样。AWG 输出，亦即包含 SSC 时钟调制的数据流，可以直接应用到 DUT 上，而不需要外部信号修改装置。图 6 中可以看到这一配置。

直接合成技术协助执行串行测量

► 应用指南

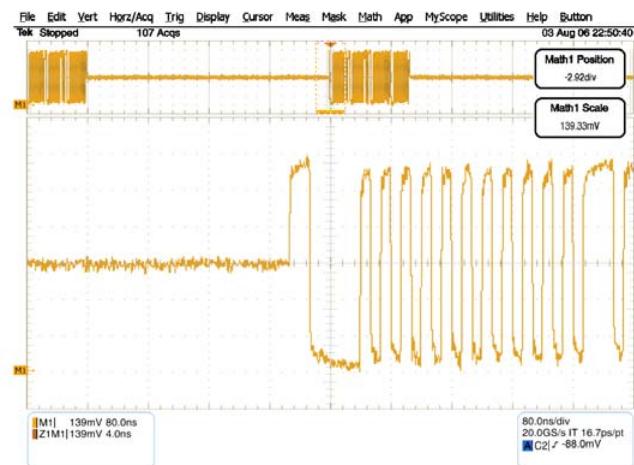


► 图 11. 串行 ATA ComWake OOB 序列的 AWG 设置窗口。注意信号突发任一侧的三态幅度值。

带外一致性测试需要模拟信号

拥有至少三种状态(高、低、空闲)的多电平信号在带外操作中十分常见，如串行 ATA COMWAKE。这是一种设备间通信信号，数据突发被空闲总线条件隔开。信令发生的频率要低于数据路径中遇到的频率。空闲条件在本质上是一种三状态电平，落在二进制“1”和“0”实际值之间。

空闲状态是能够展现直接合成优势的一种信号特点。AWG 可以生成非常接近空闲条件的离散幅度电平，而不管其实际电压电平可能是多少。为此，它创建一个 DUT 可以识别的 OOB 序列，然后 DUT 发送自己的响应签名。测试中需要调节 AWG 的输出幅度，确定 DUT 停



► 图 12. 示波器上看到的 AWG 生成的 COMWAKE 码型。

止响应的点。一旦确定了这个点，那么可以使用示波器进行快速幅度测量，确认设备是否满足规范。

由于不需要功率合成器之类的外部信号修改装置，AWG 可以象周围的二进制码型值一样，简便地生成准确的三态电压值。图 11 是显示了 ComWake 顺序的 AWG 控制屏幕。图 12 是当 AWG 执行图 11 屏幕上的命令时得到的 OOB 信号的示波器截图。

波形来自于哪里？

这种技术可以有效构建模拟波形，生成数字信号。它提供了无可比拟的灵活性，不仅可以设计基本脉冲形状，还可以设计在实际测试新电路功能时使用的改动、不理想特点和压力。

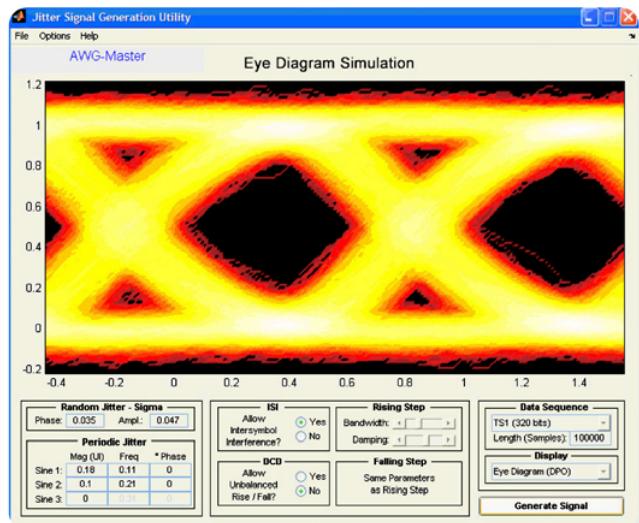
那么,这些信号从哪里来呢? 是不是必需手动定位每个样点呢?

根本没有必要。当前的波形生成平台为“编写”信号格式提供了各种方法。某些仪器带有内置编辑器,某些仪器提供了序列,可以循环、跳动和重复波形段,生成波形。

某些新型 AWG 工具在采用 Windows® 操作系统的内置 PC 上运行,用户可以在仪器本身中运行强大的行业标准应用软件。这些工具可以利用模型数据、预置和自定义算法、下载的波及其它资源创建复杂的波形。自含式 PC 平台可以简便地维护波形库,并使仪器与装有波形档案库的服务器组网。

图 13 是使用定制运行时应用软件开发的波形仿真,这个应用软件在 MathWorks MATLAB® 软件包下运行。这个特殊的运行时工具以数学方式把传输线人工信号增加到数据码型中,如随机噪声和确定性抖动成分。在大型 MATLAB 平台内部,可以开发工具,增加串行测试时通常要求的去加重、SSC 和其它效应。

图 13 中的应用软件简化了内嵌确定性抖动成分和随机抖动成分的波形的设计任务,但其功能还不止于此。其它菜单选项允许用户启动 ISI,指定码型类型,独立定义上升沿和下降沿特点。这种波形开发工具演示了 AWG 在全功能 PC 环境中运行时的巨大灵活性。



▶ 图 13. 这个基于 MATLAB 的运行时应用软件创建抖动的波形,然后加载到 AWG 中,生成直接合成信号。

应用软件从输入的值中创建 AWG 文件,然后可以把这个文件加载到泰克 AWG7000 系列任意波形发生器中。由于高达 20 Gs/s 的采样率和 5.8 GHz 的模拟带宽,AWG7000 系列可以使用直接合成方法准确地生成高达 6 Gb/s 的串行数据流。6 Gb/s 是从最大采样率中推导出的一个理论极限值,它提供了充足的过采样率,可以为特定一致性测试准确地重建要求的抖动。其 64 M 样点的存储深度足以支持眼图分析所需的详细的长码型。在使用通道复用模式时,AWG7000 系列 AWG 还可以提供高达 128M 的存储深度。

直接合成技术协助执行串行测量

► 应用指南

特别是在准备一致性测试时，最好认真检查，使用高性能示波器采集 AWG 输出，验证其 RF、DJ 和 ISI 成分。

捕获波形

有时，仿真实际环境的最佳方式是复现一个实际环境信号。某些 AWG 平台可以直接从兼容示波器或其它 AWG 中导入采集的波形。AWG 会记录一个精确体现信号源中的幅度、定时和畸变的波形。

除重播捕获的信号外，AWG 还可以在波形中增加异常事件，进行极限测试。

AWG 的数字输出增加了灵活性

除模拟端口外，某些 AWG 平台提供了最多 4 个差分数字输出。这些二进制信号称为“标记”，旨在提供拥有可编程定时和幅度的高质量数字脉冲。这些信号属性独立于 AWG 主模拟输出进行控制。在要求数字信号、但希望其不会给具有模拟效应的设备带来压力时，可以使用标记输出。事实上，这些信号非常实用，许多设计人员就是为标记输出才购买的 AWG，结果发现这是一种经济的数字信号源。

标记可以用于串行幅度灵敏度测试，也可以作为一种工具，测试串行数据通路之间的时滞。标记输出实现了高达 10 Gs/s 的数据速率，以极低的抖动提供了高达 10Gb/s 的数据速率测试能力。这一点非常重要，因为它最大限度地降低了 AWG 给测量带来的抖动。

总结

直接合成工具正在串行设计人员的工作台上占有一席之地。它们能够创建信号，拥有一致性测量、极限测试和调试所需的全部特点，包括简单的 SSC 时钟调制及复杂的抖动和信号失真。

直接合成平台—任意波形发生器只是最近才进入千兆位数据速率舞台。但是，新兴的高带宽 (10 GS/s) AWG 产品处于独一无二的位置，可以解决串行设计人员长期面临的某些问题。它们实现了使用起来更简单、更快速的串行测量解决方案，同时拥有几乎无限的灵活性。

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

有关最新的产品信息请访问泰克公司网站：
www.tektronix.com.cn



© 2007 年 Tektronix, Inc. 版权所有。全权所有。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。 09/06 FLG/WOW 76C-19777-0

Tektronix
Enabling Innovation