

# USB 3.1 接收机一致性测试

应用指南

## 目录

<b>摘要 .....</b>	<b>3</b>
<b>引言 .....</b>	<b>3</b>
USB 3.1 设备的连接器.....	4
<b>USB 3.1 接收机测试 .....</b>	<b>5</b>
压力眼图校准.....	6
设备设置 .....	6
怎样校准压力眼图.....	6
怎样校准压力眼图.....	7
压力眼图处方构成部分 .....	7
码型发生器设置 .....	8
数据码型 .....	9
去加重.....	10
扩频时钟 (SSC).....	11
分析仪设置 .....	12
连续时间线性均衡器 (CTLE) 功能.....	13
抖动转函 (JTF) .....	14
抖动容限测试 .....	14
设备设置 .....	15
接收机环回 .....	15
异步 BER 测试 .....	16
逐步通过容限模板.....	17
<b>小结 .....</b>	<b>17</b>

### 摘要

SuperSpeed USB (USB 3.1) 可望象前几代标准一样普及流行。但是，由于数据速率高达 10 Gb/s，它的速度比 USB 2.0 快不仅一个量级，这就给物理层测试带来了挑战，要求对接收机执行误码率 (BER) 测试。本文通过完善的实例，考察了接收机一致性测试要求，其中采用泰克 BERTScope 家族产品。

### 引言

通用串行总线 (USB) 可能是当今最著名的计算机外设接口。它已经深入到我们的现代日常生活中，把各种各样的电子设备连接到计算机上，如移动通信设备、U 盘、数码相机、等等。

与任何串行总线标准一样，USB 标准也在不断进化，以应对更快数据传送速率及更加智能的能耗不断增长的需求。例如，USB 外部存储设备正在达到其能够实现的传送速度极限，消费者对能够把大文件传送到主计算机的速度预期正在不断上升，如全分辨率的数字照片或整部电影。

最新标准 USB 3.1 或 “SuperSpeed USB” 就是为满足这些需求而设计的。USB 3.1 规范于 2013 年 7 月 31 日完成，开发人员正在努力推出满足最新标准的产品。与 USB 3.0 相比，新标准做出的改进包括：

- 数据速率更快 (10 Gb/s，以前是 5 Gb/s)。这对 USB 3.0 接收机测试有很大影响，因为与 USB 3.0 相比，更高的数据速率意味着更高的物理层负担及更严格的一致性测试。例如，接收机测试现在要求损耗更高的通道及更复杂的接收机均衡模型。
- 通过补充 USB 功率传送 (PD) 规范，在需要时能耗更高，在不需要时更节能。
- <5% 传送开销，128b/132b 编码效率更高，相比之下，8b/10b 只有 20%。
- 改进了连接器和电缆，向下兼容 USB 3.0，在将来可以扩充带宽。

USB 3.1 标准更高的性能给测试设备带来了明显变化，包括下面几节详细介绍的接收机测试。

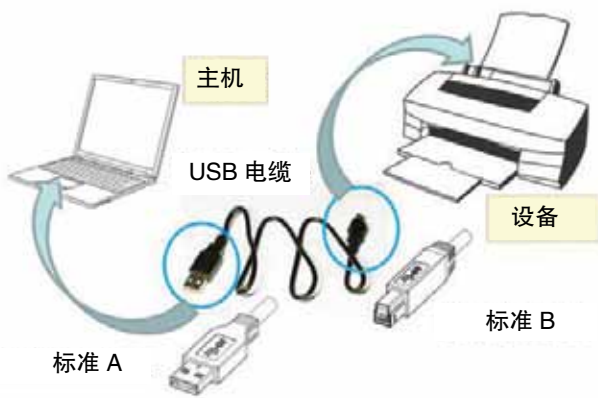


图 1. 标准 A 和标准 B USB 连接器通过 USB 把 USB 主机 (如 PC) 连接到设备上。

### USB 3.1 设备和连接器

USB 3.1 产品分成三类：主机、设备和电缆。

- **主机**是 USB 控制器所在的地方，如在个人电脑 (PC)、笔记本电脑或平板电脑上。它包括 CPU、总线和操作系统。
- **设备**是 USB 集线器或外围设备，如 U 盘、外部磁盘驱动器、打印机、数码相机、手机 /PDF、等等。
- **电缆**一般是无源产品，在主机和设备之间提供数据、功率和控制信号。

接收机测试的要求对主机和设备相同，但我们会看到，测试需要的适配器和电缆是不同的。另外市场上还提供了多功能产品，如主机和对接装置，但它们在电接口测试中也简单地作为主机和设备处理。

USB 3.1 规范中规定了四种连接器。

- **标准 A** 连接器连接主机，是消费者最熟悉的连接器类型，因为它就是 PC 上常见的 USB 端口，也是普遍使用的 U 盘的连接器类型。

- **标准 B** 型连接器一般用于固定的 USB 外设，如打印机和外置硬盘。它通常位于把外设连接到 PC 的 USB 电缆的另一端。

- **标准 C** 型连接器对主机和设备使用相同的连接器，可以颠倒连接及反转插头 (向下颠倒或向上颠倒)。额外的引脚用来对主机或设备状态及更高的功率传送提供动态端口协商。

- Micro 连接器用于小型外设，如数码相机或手机。

电缆上 SuperSpeed B 侧连接器 (插头) 不能兼容 USB 2.0 B 插座，而 A 侧连接器则可以完全兼容。这允许把 USB 3.1 设备插入 USB 2.0 主机中。所有 USB 3.1 插座都支持 USB 2.0 和 3.1 插头，因此 USB 2.0 电缆和设备可以与 USB 3.1 主机一起使用。

USB C 型连接器并不能直接向下兼容标准 A 连接器和标准 B 连接器，要求一个适配器才能用于不支持 C 型连接器的产品。此外，为全面利用 C 型连接器的独特功能 (如高功率、角色互换、等等)，主机和设备都需要包括这种功能。

标准 A 连接器、标准 B 连接器和 C 型连接器都用于接收机一致性测试。

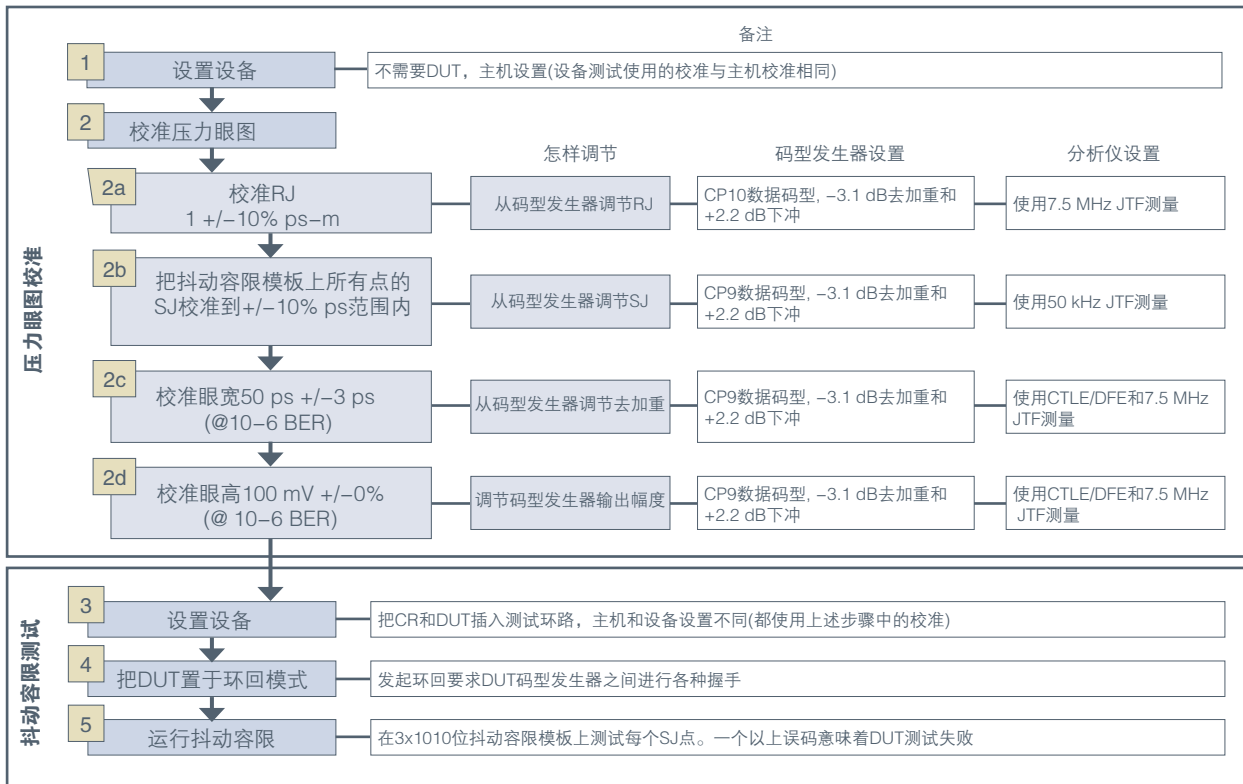


图 2. 第 2.1 节涵盖压力眼图校准第 1 步和第 2 步，第 2.2 节涵盖抖动容限测试第 3 步到第 5 步。第 3 节的实例涵盖所有步骤。

## USB 3.1 接收机测试

USB 3.1 接收机测试与其他高速串行总线接收机一致性测试类似，一般分为两个阶段。

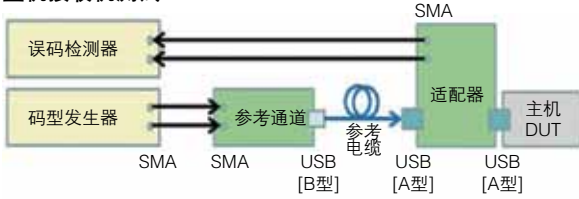
- 压力眼图校准是为测试接收机创建最坏情况信号条件的行业名。这个最坏情况信号通常会从水平方向和垂直方向增加损伤，水平方向上增加抖动，垂直方向上把幅度设置成部署时接收机见到的最低幅度。在任何测试夹具、电缆或仪器变化时，都必须执行压力眼图校准。

- 抖动容限使用校准后的压力眼图作为输入，然后应用额外的、频率不断提高的正弦曲线抖动 (SJ)，来测试接收机。运用的这种 SJ 测试接收机内部的时钟恢复电路，因此不仅使用最坏情况信号条件测试接收机，还明确测试其时钟恢复。应用的 SJ 的幅度和频率采用标准规定的模板。这个抖动容限模板覆盖了时钟恢复 PLL 的带宽，在环路带宽内应容忍数量很高的应用的 SJ，因为时钟恢复将追踪这个正弦曲线抖动，在环路带宽之上只能支持非常少量的正弦曲线抖动，因为这个抖动不能追踪，会影响下流接收机电路。

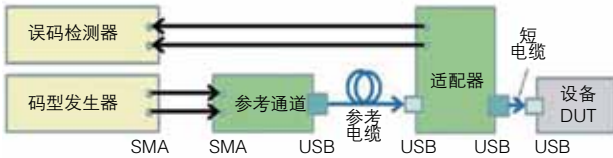
此外，USB 3.1 中规定的长通道在接收机上导致了眼图闭合。我们使用一个参考接收机模型，在发射机测试中使眼图张开。在接收机测试中，除时钟恢复电路外，还将测试接收机的均衡器，因为要求信号调节，以便为 BER 测试正确恢复数据。

## 应用指南

### 主机接收机测试



### 设备接收机测试



### 主机/设备接收机测试(C型)

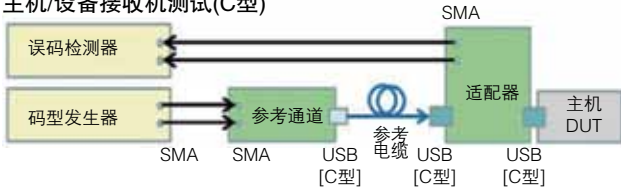


图 3. 压力眼图校准设置，主机采用 A 型连接器 (顶部)，设备采用 B 型连接器 (中间)，主机或设备采用 C 型连接器。

## 压力眼图校准

压力眼图校准首先要使用满足标准的夹具、电缆和通道设置测试设备，然后重复测量和调节应用的各种压力，如抖动。我们在没有 DUT 的情况下执行校准步骤，使用满足标准的测试夹具和通道以及测试设备生成的特定数据码型。

## 设备设置

图 3 显示了主机和设备的压力眼图校准设置。压力眼图校准不需要 DUT，但图 3 显示了在测试过程中将把 DUT 放在哪个地方。而信号



通过适配器和电缆环回到分析仪。其目标是校准信号，在放置测试环路中时使其接近 DUT 的输入。注意，参考电缆的极性在主机和设备之间是颠倒的，对主机测试，标准 A 型连接器连接到主机 DUT 的适配器，标准 B 型连接器连接到设备 DUT 的适配器。主机和设备有不同的测试夹具，可能需要多个适配器，把生成的信号环回到测量仪器，如实例中所示。注意，使用 C 型连接器的设置对主机和设备相同。到分析仪的连接质量应尽可能高。

测试仪器能够执行两种功能：生成码型，能够增加各种压力；信号分析，如抖动和眼图测量。

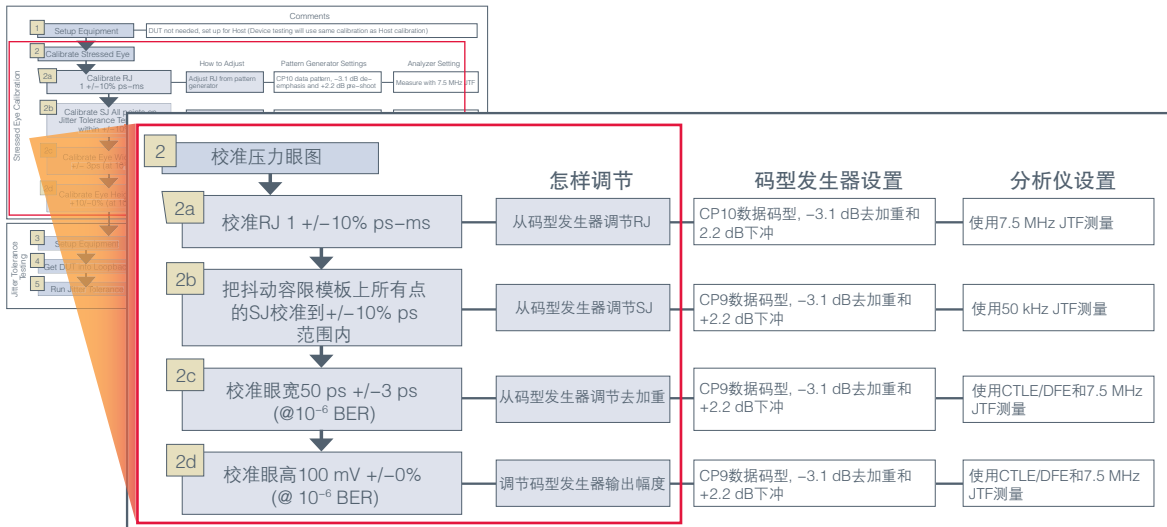
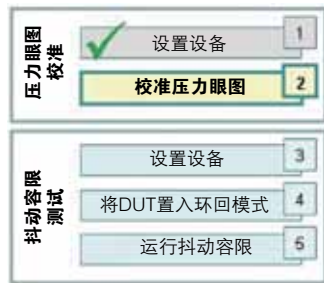


图 4. 这个图显示了图 2 整体流程中的压力眼图校准（第 2 步）。

### 怎样校准压力眼图

本节介绍了压力眼图处方及实现方式。必须进行四次损伤校准，以校准压力眼图、随机抖动 (RJ)、正弦曲线抖动 (SJ)、眼图宽度和眼图高度。每次校准都要求在码型发生器和分析仪上进行特定设置,如图 2 的流程图所示。本节将介绍压力成分、码型发生器设置及分析仪设置。

必须每套电缆、适配器和仪器执行一次压力眼图校准。由于它们可能会使用不同的一套适配器和参考通道，主机和设备将进行不同的压力眼图校准。一旦校准结束，可以重复使用校准后的眼图设置，只有仪器设置变化时才需要重新校准。



### 压力眼图处方构成部分

压力眼图处方有四种“成分”，如图 4 所示。应按所示顺序校准每种压力成分。

#### 1. 随机抖动 (RJ)

- **定义：** RJ 是与数据码型无关的无界抖动，因此不管使用哪种数据码型，其测量应该是相同的。由于它是无界的，因此它会随着测量深度增长；用波形数量或测得的 BER 表示的测量越深，峰峰值 RJ 测量变得越大。
- **怎样调节：** 为实现正确数量的 RJ，码型发生器必须能够调节注入的 RJ 数量。
- **怎样测量：** 大多数分析仪（如 BERTs 和示波器）都提供了自动 RJ 测量功能。



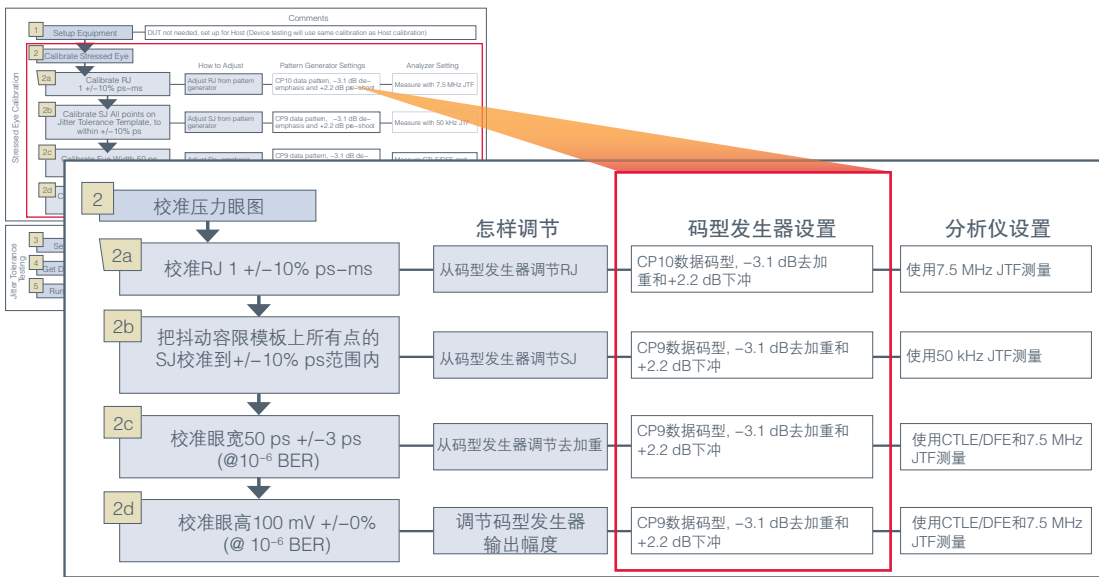
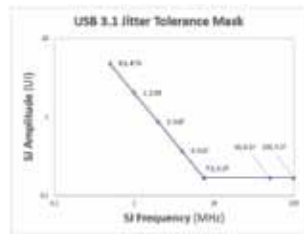


图 5. 压力眼图校准使用的码型发生器，包括数据码型、去加重电平和扩频时钟 (SSC) 指标。

### 正弦曲线抖动 (SJ)

- **定义：** SJ 是有界抖动，它具有周期性特点，但通常与数据码型不相关（除非 SJ 频率恰好是码型重复频率的倍数），所以与 RJ 一样，不管采用什么数据码型，它的测量都是一样的。与 RJ 不同，由于有界特点，它不会随着测量深度增长。
- **怎样调节：** 与 RJ 一样，码型发生器必须能够调节注入的 SJ 量，实现所需的量。注入的 SJ 必须采用某个频率，而且可以调节幅度。我们需要校准 USB 3.1 抖动容限模板中的所有 SJ 频率和幅度（右上）。
- **怎样测量：** USB 3.1 一致性测试程序规定，应取注入 SJ 幅度为零的信号与所需注入 SJ 量之间的总抖动 (TJ) 之差，来测量 SJ 量。大多数示波器上都有 TJ 测量功能。



### 眼高

- **定义：** 眼高是单位间隔中心眼图的张开程度，伴以测量深度，在本例中是 106 个波形。眼高与数据码型相关，因为它受到信号中数据相关抖动 (DDJ) 量的影响。

- **怎样调节：** 眼高通过码型发生器的输出幅度调节。
- **怎样测量：** 可以在示波器上测量眼高，眼高应满足 106 个波形的要求。

### 眼宽

- **定义：** 眼宽是眼图水平张开程度，伴以测量深度，在本例中是 106 个波形。眼高与数据码型相关，因为它受到信号中数据相关抖动 (DDJ) 量的影响。眼高指标是 50 ps +/- 3 ps。
- **怎样调节：** 通过码型发生器去加重功能调节眼宽。
- **怎样测量：** 可以在示波器上测量眼宽，且眼宽应满足 106 个波形要求。

### 码型发生器设置

前面我们已经介绍了需要校准“什么”，下面我们将讨论每一步校准中对码型发生器的额外要求，包括：

1. 使用的数据码型。
2. 去加重和下冲量。
3. 是否应启用扩频时钟 (SSC)。



一致性码型	值	位序列说明
CP0	D0.0 加扰	伪随机数据码型，与逻辑空闲完全相同（参见第 7 章），但不包括 SKP 序列。
CP1	D10.2	内奎斯特频率
CP2	D24.3	内奎斯特频率 /2
CP3	K28.5	COM 码型
CP4	LFPS	低频周期性信令码型
CP5	K28.7	有去加重
CP6	K28.7	没有去加重
CP7	50–250 个 1's 和 0's	有去加重。重复 50–250 个 1's，然后重复 50–250 个 0's。
CP8	50–250 个 1's 和 0's	没有去加重。重复 50–250 个 1's，然后重复 50–250 个 0's。
CP9		伪随机数据码型（参见第 6.4.4.1 节）
CP10	AAh	10Gb/s 内奎斯特码型，这不是 128b132b 编码。
CP11	CCh	10Gb/s 时内奎斯特 /2，这不是 128b132b 编码。
CP12	LFSR15	没有编码的 LFSR15，用于物理层测试和问题隔离。这不是 128b132b 编码，多项式为 $x^{15} + x^{14} + 1$ 。
CP13	64 个 1's 和 0's	有第 6.7.5.2 节中规定的下冲（没有去加重）。以 10Gb/s 速率重复 64 个 1's，然后重复 64 个 0's。这不是 128b132b 编码。
CP14	64 个 1's 和 0's	有第 6.7.5.2 节中规定的去加重（没有下冲）。以 10Gb/s 速率重复 64 个 1's，然后重复 64 个 0's。这不是 128b132b 编码。
CP15	64 个 1's 和 0's	有第 6.7.5.2 节中规定的下冲和去加重。以 10Gb/s 速率重复 64 个 1's，然后重复 64 个 0's。这不是 128b132b 编码。
CP16	64 个 1's 和 0's	没有第 6.7.5.2 节中规定的去加重和下冲。以 10Gb/s 速率重复 64 个 1's，然后重复 64 个 0's。这不是 128b132b 编码。

表 1. USB 3.1 Gen1 和 Gen2 标准码型（摘自标准中表 6–13）。

## 数据码型

压力眼图校准处方中列出了两种码型：CP9 和 CP10。表 1 中列明了所有 USB 3.1 一致性码型，以供参考。

■ CP9 是一种采用 128b/132b 编码的伪随机数据码型（令 00h 数据符号采用 USB 3.1 发射机中的加扰和编码，同时包括 SKP 有序集合获得的结果）。在 128b/132b 编码后，由重复的 00h 组成的 128 位数据块前面加上一个数据块包头。然后使用线性反馈位移寄存器 (LFSR) 对这个 132 位分组加扰，其中采用下面的多项式： $G(X) = X^{23} + X^{21} + X^{16} + X^8 + X^5 + X^2 + 1$ 。CP12（参见表 1）是一种类似于 CP9 码型的码型，t 被加扰，但不是 128b/132b 编码。这个 PRBS 码型在物理层设计中实现起来相对容易，适用于调试。

■ CP10 是用于 RJ 校准的时钟码型。许多仪器实现了一种双 Dirac 方法，随机抖动与确定性抖动分开进行 RJ 测量。使用时钟码型避免了双 Dirac 方法的其中一个缺点，即一般会把数据相关抖动 (DDJ) 报告为 RJ，特别是在长码型上。通过使用时钟码型，可以从抖动测量中消除因符号间干扰 (ISI) 产生的 DDJ，从而提高 RJ 测量精度。CP11 码型是一种 1100 时钟码型，也可以用于 RJ 测量。

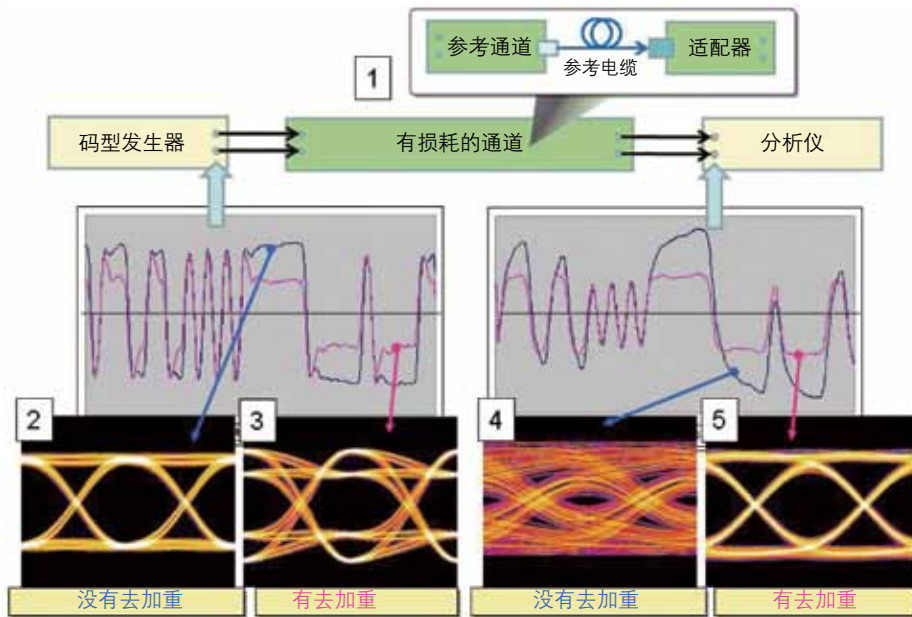


图 6. 这个实例显示了波形和眼图，并使用 PRBS-7 数据码型演示去加重效应。

### 去加重

如图 3 所示及如图 6 复现，码型发生器（发射机）和分析仪（接收机）之间有一条有损耗的通道（即 USB 3.1 参考通道和电缆）。这导致频率相关损耗，表现形式是眼图闭合，包括垂直方向和水平方向。为消除这种损耗，我们使用发射机去加重，提升信号的高频成分，以便接收的眼图对 10-12 或更好 BERR 的运行链路足够好。第一代和第二代都使用去加重，但第二代使用 3 阶参考均衡模型，包括去加重和下冲。

### 在图 6 中：

1. 图中显示了测量信号使用的典型设置，发射机和接收机之间是一条有损耗的通道。构成有损耗通道的组件包括 USB 3.1 参考通道、参考电缆、适配器、等等。
2. 如果没有去加重，所有幅度在表面上相同。
3. 如果有去加重，跳变位的幅度相对于非跳变位较高，会有效提升信号的高频成分。
4. 在通过有损耗的通道和电缆传送后，没有去加重的信号会受到符号间干扰 (ISI)，眼图闭合程度要高于没有去加重的信号。
5. 有去加重的信号完全张开。

如这里所示，去加重的量影响着 ISI 和 DDJ 的量，因此影响着接收机上的眼图张开程度。

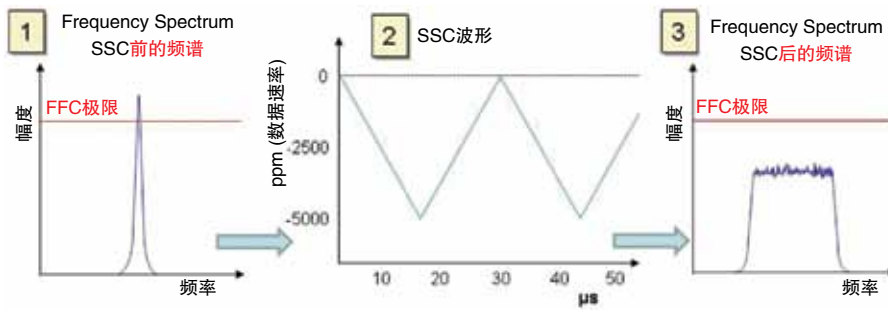


图 7. SSC 对频谱的影响 (这里显示的单音调)。

### 扩频时钟 (SSC)

扩频时钟 (SSC) 通常用于同步数字系统 (USB 3.1 标配), 用来降低电磁干扰 (EMI)。如图 7 所示:

1. 如果没有 SSC, 数字流的频谱在载频 (如 5 GHz) 及其谐波上有一个高幅度陡峭峰值, 可能会超过联邦法规机构规定的极限, 如联邦通信委员会 (FCC) (美国)。
2. 为了防止这个问题, 我们使用 SSC 分散频谱的能量, 以保持 FCC 极限范围内。载频被调制, 在这种情况下被三角波调制。接收机测试的频率“扩展”量是 5000 ppm 或 25 MHz, 频率调制以 33 kHz 循环, 每 30  $\mu$ s 循环一次, 显示为一个三角波周期。
3. 在 SSC 后, 频谱中的能量被分散, 没有一个频率违反 FCC 极限。

## 应用指南

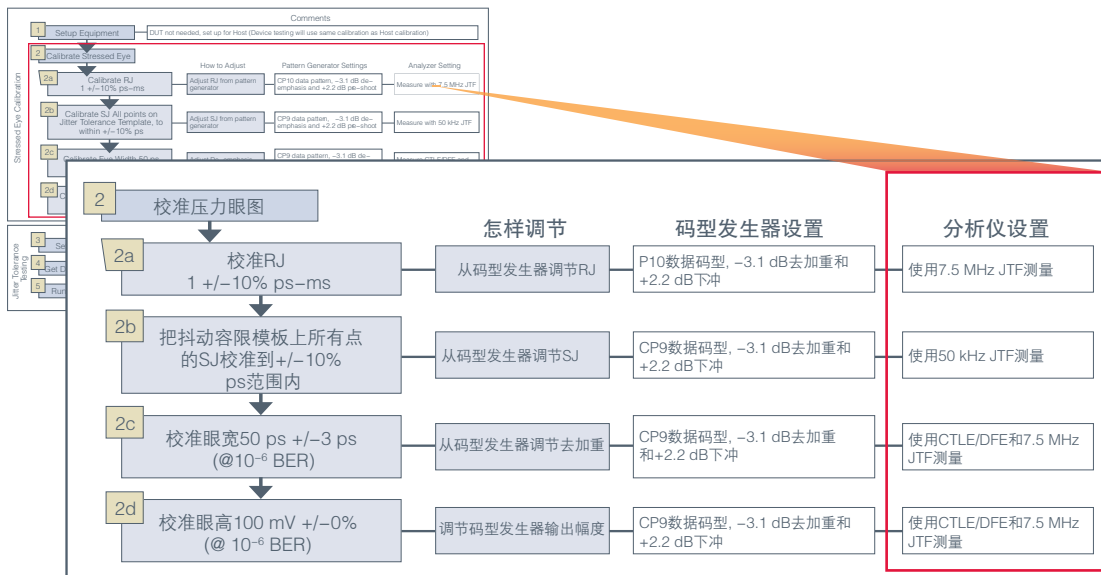


图 8. 压力眼图校准使用的分析仪设置, 包括要求使用的连续时间线性均衡器 (CTLE)、判定反馈均衡器 (DFE) 和抖动转函 (JTF)。

### 分析仪设置

我们已经介绍了压力处方的组成成分, 以及校准各种压力成分时对码型发生器的要求。本节介绍了对分析仪的要求, 特别是在进行抖动和眼图张开测量时使用连续时间线性均衡器、判定反馈均衡器和抖动转函。

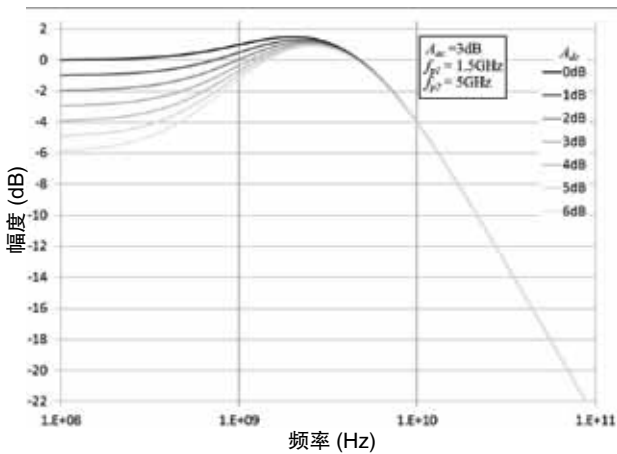


图 9. CTLE 功能，摘自 USB 3.1 规范。

### 连续时间线性均衡器 (CTLE) 功能

除发射机去加重和下冲外，我们使用接收机一侧均衡功能改善 ISI 损伤的信号，ISI 是由频率相关损耗引起的，如参考通道和电缆等元素。去加重和下冲的概念相同，通过信号处理方法来提升信号的高频成分。

尽管设备或主机中的接收机均衡电路与具体实现方案有关，但 USB 3.1 标准规定在一致性测试中使用一个连续时间线性均衡器 (CTLE)(图 9)。在进行一致性测试测量 (包括发射机测试及本例中的接收机压力眼图校准) 前，必须通过参考接收机实现这个 CTLE，如 BERT 或示波器，其通常采用软件仿真的方式。

在抖动测量中使用 CTLE 仿真主要影响受信号处理方式影响的抖动，即 ISI。与数据码型不相关的抖动，如 RJ 和 SJ，并不受 CTLE 仿真影响，但根据 CTS，这两种测量都要求使用 CTLE。另一方面，眼高会直接受到影响，因为 ISI 会影响眼高的测量。

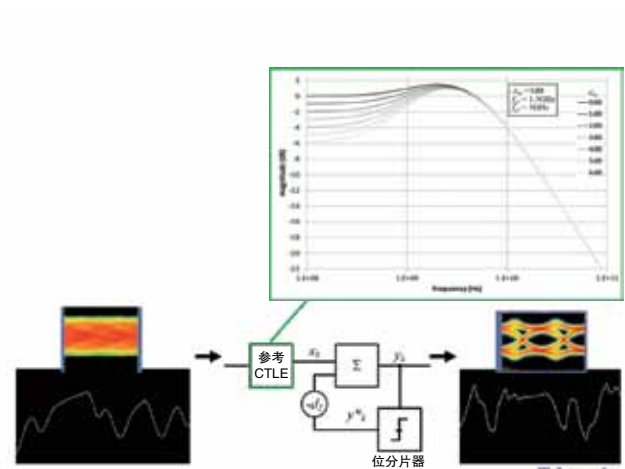


图 10. 使用 CTLE 和 DFE 综合功能处理波形。

### 判定反馈均衡器 (DFE) 功能

图 10 显示了 USB 3.1 规范中列出的参考接收机模型。除 CTLE 功能外，它还包括一阶 DFE。CTLE 和 DFE 相结合，提供的增益要高于 USB 3.0 以前使用的功能。这种额外的“提升”对保证正确恢复数据有足够的余量至关重要。许多 5 Gb/s 设计采用 DFE 并不罕见，而现在，DFE 已经成为接收机设计中更加重要的考虑因素。

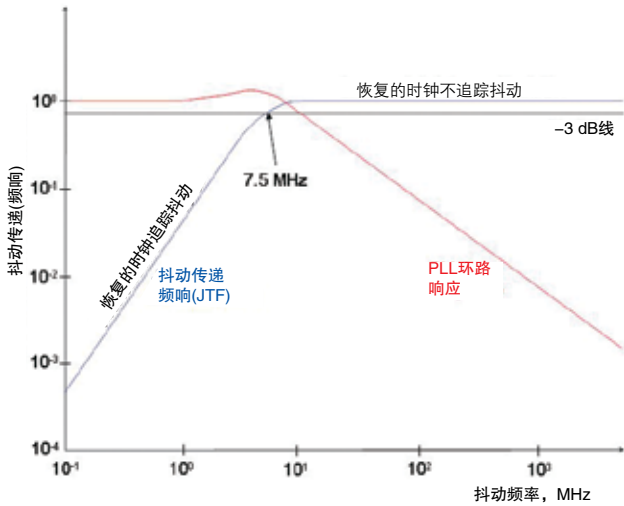


图 10. 黄金 PLL 的 JTF, 摘自 USB 3.1 标准图 6-14。

### 抖动转函 (JTF)

必须使用时钟恢复黄金 PLL 及标准抖动转函 (JTF) 进行抖动校准测量, 如图 10 所示 (蓝色轨迹)。JTF 指明了有多少抖动从输入信号传递到下游分析仪。在这种情况下, -3 dB 截止频率是 7.5 MHz。

- 在较低的 SJ 频率上 (沿着 JTF 的斜坡部分, 以及 PLL 环路响应平坦的地方), 恢复的时钟追踪数据信号上的抖动, 因此数据中相对于时钟的抖动会根据 JTF 衰减。
- 在更高的 SJ 频率上 (JTF 变得平坦, PLL 环路响应向下倾斜), 信号中存在的 SJ 传递到下游分析仪, 因为时钟是一种“干净的”时钟, 不会追踪输入数据信号上的抖动。

在压力眼图校准过程中, 除 SJ 外, 为所有测量指明了使用标准 JTF。

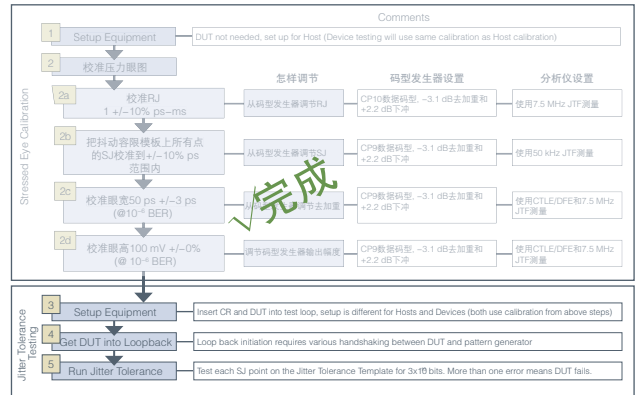


图 11. 在压力眼图校准完成后, 抖动容限使用最坏情况信号条件测试接收机。

### 抖动容限测试

一旦校准了压力眼图, 可以开始测试接收机。正如“引言”中提到的那样, 与 2.0 上一代标准不同, USB 3.1 要求 BER 测试。接收机测试只要求误码率 (BER) 测试, 其采用的形式是抖动容限测试。

抖动容限测试使用最坏情况输入信号条件 (上一节中校准的压力眼图) 测试接收机。在压力眼图顶部, 我们把覆盖 JTF 的 -3 dB 截止频率周围的频率范围的一系列 SJ 频率和幅度注入到测试信号中, 同时误码检测器监测接收机的错误或误码, 计算 BER。在回顾设备设置和接收机环回模式后, 也就是 DUT 发射机重发其收到的位的状态, 我们将详细介绍抖动容限。

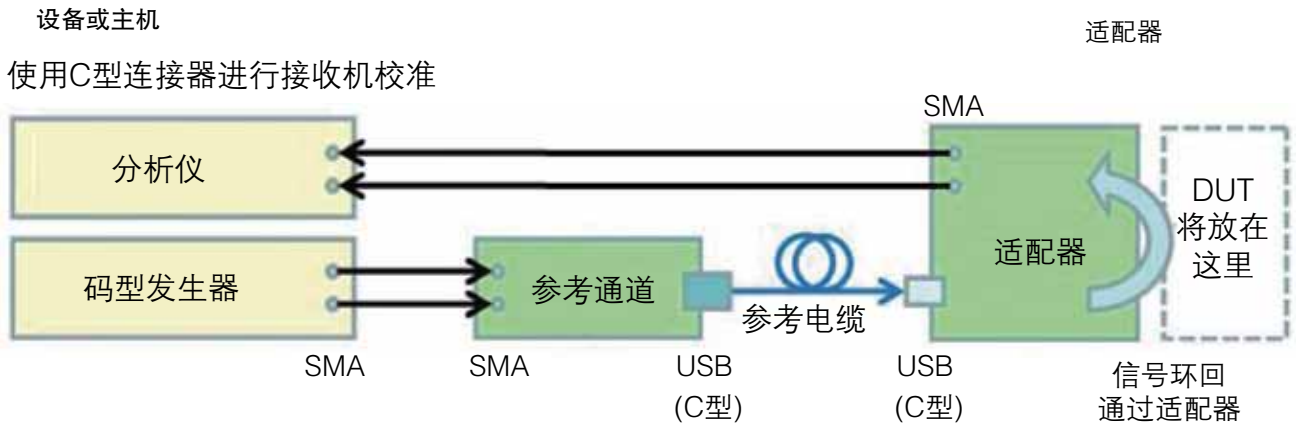


图 12. USB 3.1 接收机测试设置。

### 设备设置

接收机测试的设备设置与压力眼图校准类似，DUT 现在插入测试环路中，如图 12 所示。主机或设备 DUT 连接到适配器上，如图所示。来自码型发生器的测试信号传送到 DUT 的接收机，然后“环回”到发射机（因此称为“环回”），然后向回到达适配器，然后到误码检测器，而不是把信号直接向回输送到分析仪。与误码检测器的连接质量应尽可能高。对抖动容限测试，测试仪器必须能够执行误码检测，



并追踪 BER。BERT 和示波器之类的仪器都有这种功能。

### 接收机环回

环回是其中一种 USB 3.1 链路状态，在这种状态下，设备把它收到的位向回发送到其发射机。如果接收机出错，那么误码将向回发送到发射机，到达下游分析仪进行检测。为发起环回，在码型发生器和 DUT 之间必须执行一系列握手。



<sup>1</sup>详细介绍环回发起超出了本文的范畴。参阅 USB 3.1 规范，其中包括链路状态图及环回发起握手要求的位序列细节。



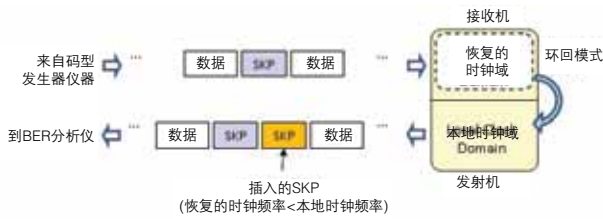


图 13. 这个实例显示了 DUT 处于环回模式时插入的 SKP。

### 异步 BER 测试

USB 3.1 采用 128b/132b 编码，正如编码系统中常见的那样，接收机和发射机可能位于略微不同的时钟频率上，接收的数据流恢复的时钟可能并不是正好等于发射机的时钟频率。在接收机测试环回模式下，这种频率不匹配给 DUT 带来了问题；比特进入的速度可能会快于发回的速度，反之亦然。为了补偿频率不匹配，我们使用时钟补偿符号，在其从接收机向回传送到发射机时，要么删除，要么插入数据流中。例如，如果恢复的时钟频率小于（慢于）发射机时钟频率（如图 13 所示），那么将增加符号，反之亦然。USB 3.1 对时钟补偿采用 SKP 符号。USB 3.1 第二代 SKP 有序集由长度可变的未加扰 CCh 符号组成，后面跟着一个 SKPEND 符号 (33h)，然后是 3 个指明 LTSSM 状态的符号。

测试设备必须能够处理输入数据流中这种数量不确定的时钟补偿符号，通常称为**异步 BER 测试**。

### USB 3.1抖动容限

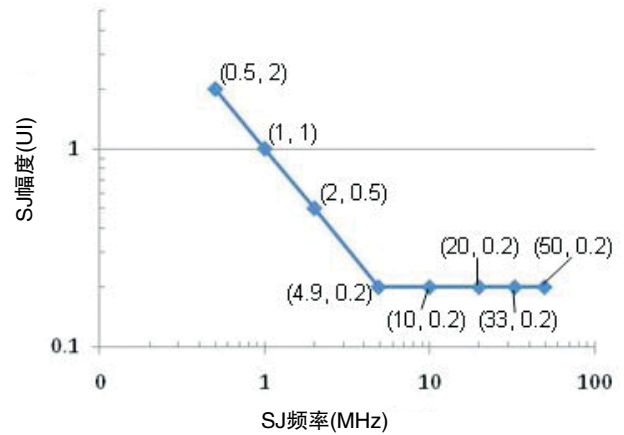


图 14. USB 3.1 抖动容限模板。

### 逐步通过容限模板

一旦已经校准了压力眼图，已经为测试设置好 DUT，且 DUT 已经置于环回模式，那么 DUT 的接收机可以随时准备进行测试。



抖动容限测试应用特定 SJ 频率上不同水平的 SJ 幅度，测试接收机。如图 14 所示，SJ 频率越低，SJ 幅度越高，因为这些频率完全位于接收机时钟恢复的环路带宽范围内，从而可以追踪。在 SJ 频率接近环路带宽并超过环路带宽时，SJ 幅度会在低于 1 UI 的幅度上变平。超出接收机环路带宽的抖动将不能追踪，将传送到接收机的判定电路上。USB 3.1 CTS 规定使用  $3 \times 10^{10}$  位测试容限曲线上的每个 SJ 点。如果在任何 SJ 测试点上检测到一个以上的误码，那么 DUT 测试失败。

### 小结

USB 3.1 可望成为主导的计算机外设总线标准，就像已经出现了一段时间的 USB 2.0 一样。其 10 Gb/s 的信令速率要比 USB 2.0 快一个量级以上，因此与上一代产品相比，信号完整性挑战给 SuperSpeedPlus USB 设备测试设置了更高的标杆。对接收机测试，测试规则完全基于使用校准后的压力眼图输入的抖动容限。

在本应用指南中，我们介绍了 USB 3.1 接收机测试的所有方面，包括压力眼图校准和抖动容限测试及测得的器件余量。www.tektronix.com/usb 上提供了使用 BERTScope 家族产品演示接收机测试的 MOI。在这个 MOI 中，您将看到 USB 3.1 自动化软件怎样协调下述设备操作，引导您完成接收机设置和测试过程，包括简单地点击一个按钮发起环回。

- BERTScope
- USB 交换机
- 去加重处理器
- 时钟恢复

BERTScope 不仅为一致性测试提供了简单明了的解决方案，还可以在一致性测试失败时灵活地调试棘手的工程设计问题。

**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**  
上海市徐汇区宜山路900号  
科技大楼C楼7楼  
邮编: 200233  
电话: (86 21) 3397 0800  
传真: (86 21) 6289 7267

**泰克深圳办事处**  
深圳市福田区南园路68号  
上步大厦21层G/H/I/J室  
邮编: 518031  
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**  
武汉市解放大道686号  
世贸广场1806室  
邮编: 430022  
电话: (86 27) 8781 2760/2831

**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

#### 有关信息

泰克公司备有内容丰富的各种应用文章、技术简介和其他资料，并不断予以充实，可为从事前沿技术研究的工程师提供帮助。请访问泰克公司网站 [cn.tektronix.com](http://cn.tektronix.com)



©2015 年泰克公司版权所有，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外国专利保护。本文中的信息代替所有以前出版的材料中的信息。本文中的技术数据和价格如有变更，恕不另行通告。TEKTRONIX 和 TEK 是泰克公司的注册商标。本文中提到的所有其它商号均为各自公司的服务标志、商标或注册商标。

01/2015 RL/WWW

55C-26804-2

**Tektronix®**