

## 使用 TDSHT3 HDMI 一致性测试软件对 HDMI 1.3b1 进行物理层一致性测试

### 引言

作为DTV革命的催化剂,高清多媒体接口(HDMI)技术正处在大规模采用的开端。内容供应商、系统运营商和消费电子(CE)制造商正在集结在这一标准的背后。结果,现在的重点是演示能否满足 HDMI 标准定义的测试。设计和检验工程师需要使用工具,通过迅速可靠地执行标准要求的各种测试,来改善效率。

本应用指南描述了保证验证的各种测试、在测试复杂的 HDMI 信号时面临的挑战及装在示波器上的测试软件怎样通过执行各种测试,获得可靠的结果及实现前所未有的自动化功能,大大改善效率(包括接收器测试)。

# 使用 TDSHT3 HDMI 一致性测试软件对 HDMI 1.3b1 进行物理层一致性测试应用指南

## 基础知识

HDMI 利用成功的、最小传输量差分信号(TMDS)技术。差分信号偏置电压为 +3.3 V，端口阻抗为 50 欧姆，额定幅度跳变为 500 mV (+2.8 V 到 +3.3 V)。电压摆幅可以在 150 mV – 800 mV 之间变化。信号的上升时间约为 100 ps。

单个链路上的数据速率可以在 25 Mpps – 340 Mpps 之间(Mpps = 每秒兆像素)。由于每个像素用 10 个数据位表示，因此一个 bit 的周期时间(通常称为  $T_{BIT}$ )最低为 294 ps。图 1 是典型的 HDMI 数据信号。大多数时间相关指标是相对于  $T_{BIT}$  定义的，即数据信号的位时间。

一组 TMDS 传输链路由三条数据通道和一条时钟通道组成。图 2 是 TMDS 信号的逻辑链路图。

## 物理层 HDMI 一致性测试标准

为保证可靠的信息传输和互操作能力，行业标准规定了网络物理层要求。HDMI 规范[1]，或更具体地讲，HDMI 一致性测试规范(Compliance Test Specification)<sup>[2]</sup>规定了 HDMI 物理层的一系列一致性测试。

图 3 是 HDMI 的主要要素，即来源、电缆和接收器。源信号在 TP1 上检定，接收器设备则在 TP2 上测试，保证其位于标准余量范围内。为测试电缆，必需同时在 TP1 和 TP2 上进行测试。在 TP1 上测量是为了保证 TMDS 信号在通过电缆传输之前是合格的，可以保证在 TP2 上的测量的合理性。



图 1.

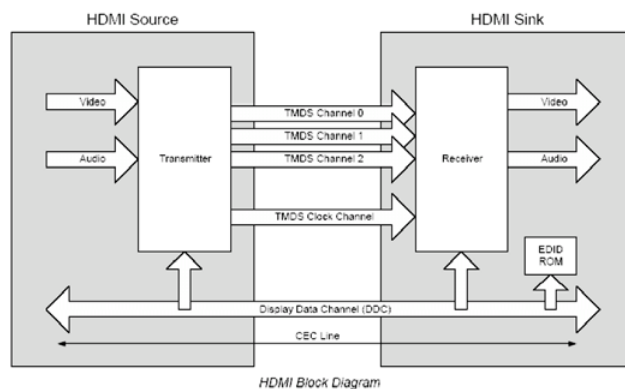


图 2.

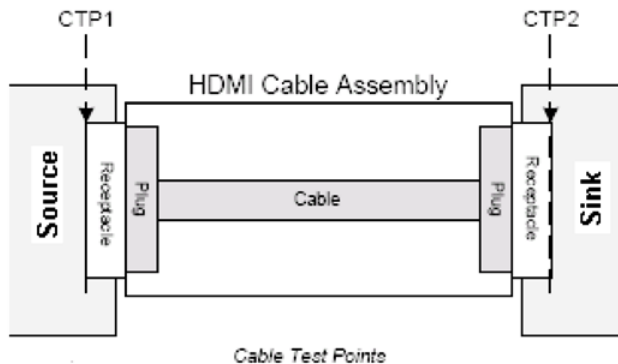


图 3.

电接口	信号	测试	CTS 测试号	测试端口
源	时钟 - 数据	数据眼图	7-10	TP1
		时钟抖动	7-9	TP1
		时钟占空比	7-8	TP1
		过冲 / 下冲	7-5	TP1
		上升 / 下降时间	7-4	TP1
		对间偏移	7-6	TP1
		数据 - 数据	对间偏移	7-6
单端	对内偏移	7-7	TP1	
	低电平输出电压(VL)	7-2	TP1	
	抖动容限容限	8-7	TP2	
接收器	最小 / 最大差分摆幅容限	对内偏移	8-6	TP2
		差分阻抗	8-8	TP2
		数据眼图	5-3	TP1, TP2
		数据眼图	5-3	TP1, TP2

表 1.

尽管建议厂商尽可能多地执行 CTS 中的测试项目，但核心测试对满足标准异常关键。表 1 汇总了部分核心测试：

### 源端接口电气特性测试

在 TP1 上在时钟和 / 或数据信号中执行这些测试。考虑到测试设置，这些测试可以进一步划分为时钟 - 数据测试、数据 - 数据测试和单端测试。下面几节将更详细地讨论这些测试。

#### 1. 时钟 - 数据测试

##### a. 数据眼图测试

这一测试的目标是保证差分数据拥有充分的“眼图张开程度”，确保信号在传输后能够在接收器设备上实现高效恢复。数据信号以时钟恢复算法得出的时钟为标准，在  $1.0 T_{BIT}$  的宽度的窗口中绘制眼图。通过比较模板，可以确定通过或未通过测试；通过分析数据抖动，可以提供与信号完整性有关的有用信息。

$$H(j\omega) = 1 / ( 1 + j\omega/\omega_0 )$$

$$\text{Where } \omega_0 = 2\pi F_0, F_0 = 4.0\text{MHz}$$

图 4.

HDMI 标准清楚地描绘了时钟恢复方法，使用 PLL 算法恢复时钟，如图 4 所示。

为保证充分体现信号特点，CTS 规定了示波器采集数据信号的最小记录长度。这保证了至少累积 400,000 个 UI (或  $T_{BIT}$ ) 来构建眼图。在 16 M/20 M 的记录长度下，对分辨率较低的信号至少可以捕获 400,000 个 UI，对分辨率较高的设备至少可以捕获超过 2.6 M 个 UI。

## 使用 TDSHT3 HDMI 一致性测试软件对 HDMI 1.3b1 进行物理层一致性测试应用指南

图 5 是在示波器上执行的眼图测试的屏幕图。模板向左移，直到发生超限。留意一下余量，可见超限检测标准非常严格。一般来说，示波器屏幕格线的像素分辨率一般为  $500 \times 400$  像素或更高，通过/未通过测试基于屏幕图分辨出的侵犯模板的数量。

这对较低 HDMI 分辨率的测试是可以接受的，而对更高的速度，通常会产生误导。在这些情况下，最好执行模板超限测试，直到数据采样分辨率。如果要使用较低的示波器分辨率执行这一测试，那么结果可能会不正确。

### b. 时钟抖动

时钟信号是任何传输系统的神经中枢。抖动测试旨在检查和保证时钟信号没有携带太多的抖动。为执行这一测试，需要将 TMDS 信号中的时钟信号与时钟恢复算法获得的时钟相比较，并得出测试结果，如前面的图 5 所示。

直方图框放在边沿的中心上，信号跨度确定信号上存在的抖动。测得的抖动应小于  $0.25 \times T_{BIT}$ ，才能满足标准。

在传统上，在使用直方图框测量抖动时，这个框放在上升沿的中心上，高度保持在最小。出于方便，这种技术可以称为最小框方法。

必需认识到，在大约 165 MHz 的时钟速率上，边沿上的样点数量可能不会很高。为克服样点较少的挑战，可以垂直提高直方图框的尺寸。从本质上看，这不再是最小框方法，而会导致更高的抖动值，如图 6 所示。

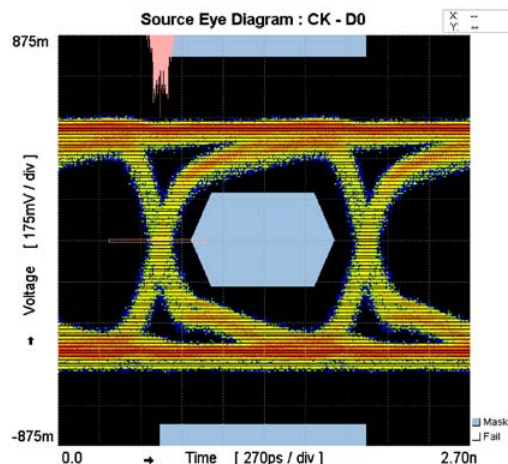


图 5.

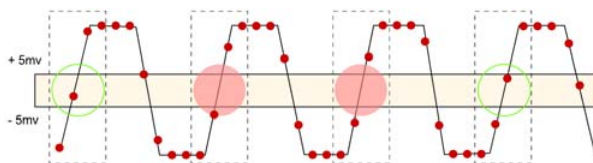


图 6.

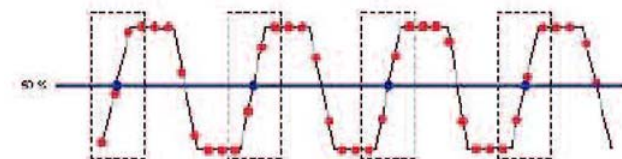


图 7.

更好的策略是内插样点，使用最小框技术执行测量。图 7 显示了使用最小框方法及使用内插样点时抖动测量。把这些值与图 6 进行比较，说明了内插最小框方法的效果。

## 使用 TDSHT3 HDMI 一致性测试软件对 HDMI 1.3b1 进行物理层一致性测试 应用指南

另一种有效的抖动评估技术是时间间隔误差(TIE)方法。在这种情况下,对每个周期获得边沿位置,最小值和最大值之差用峰到峰抖动表示。这里,内插仍提供了更高的分辨率,支持高精度分析和测试。

### c. 时钟占空比

占空比抖动为评估确定性抖动提供了一种杰出的方法。CTS 规定余量为距 50% 额定占空比的  $\pm 10\%$ 。因此,测得的占空比应落在 40% 和 60% 以内。

非常重要,要在数量更大的采集信号中测量占空比变化。根据 CTS 标准,测试中最少要求 10,000 次触发的波形。一般的示波器触发/捕获速率约为每秒 100 个波形(wfms),这可能使采集和测试时间变得过长而不能接受。

幸运的是,数字荧光示波器(DPO)上拥有 FastAcq 技术,增强了触发和捕获速率,提供了超过 250,000 wfms/s 的波形捕获速率。图 8 展示了使用 FastAcq™ 技术进行的时钟占空比测试。注意它提供了丰富的信息,保证了可靠的测量能力。

### d. 过冲和下冲

过冲和下冲测试保证了信号保持在规定的极限范围内。这些测试保证了发射机不会对信号通道过渡的驱动,或者令 ESD 机构变成非线性及开始产生错误动作。通过测试信号的恢复能力,它还保证了互操作能力。

CTS 标准规定过冲极限是整个稳态电压摆幅的 15%,下冲极限是整个稳态电压摆幅的 25%。它要求在时钟及数据对上执行测试。测试要求测量多个参数,其中包括准确地测量上升沿和下降沿的电压摆幅( $V_H$ 和 $V_L$ )及过冲和下冲。在所有测试中,这一测试要求在获得测试结果前有超过 6 个参数。

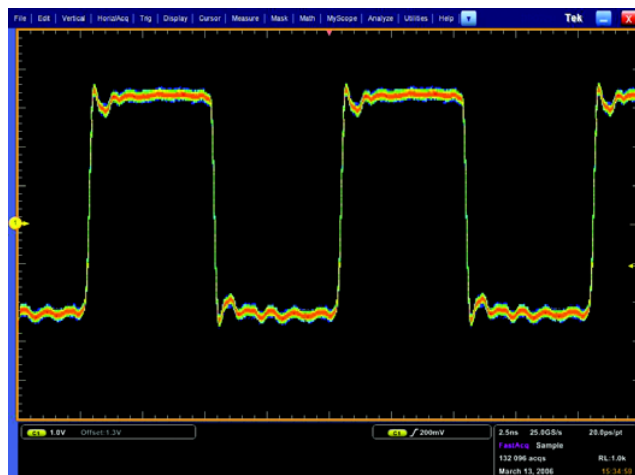


图 8.

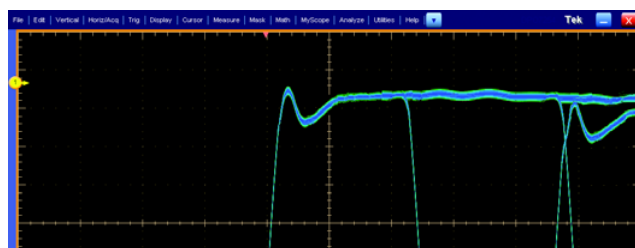


图 9.

除要测量大量的参数外,保证真正执行测量也非常重要。使显示屏上的信号尺寸达到最大非常重要,以尽可能多地使用 A/D 变换器的动态范围,而不会产生过度驱动。图 9 很好地说明了准确的过冲测量技术的实例。紧张的余量要求认真采取措施,保证可信的结果。

CTS 1.3b1 中不要求执行这一测试。但是,如果根据 CTS 1.2a 测试器件,那么要求进行这一测试。

## 使用 TDSHT3 HDMI 一致性测试软件对 HDMI 1.3b1 进行物理层一致性测试

### 应用指南

#### e. 上升时间和下降时间

上升时间和下降时间测试一直是大多数物理层测试的主要项目。上升时间和下降时间极限保证信号提供要求的信号速度，同时保证抑制 EMI。CTS 规定上升时间或下降时间应该大于 75 ps、低于  $0.4 * T_{BIT}$  值。

与时钟占空比测试中一样，这一测试也要求大量的采集。触发 / 捕获速率再次变得非常重要。可以在数字荧光示波器上使用 FastAcq 模式简便地执行测试。

CTS 1.3b1 中不要求测量最大上升时间和下降时间。但是，如果根据 CTS 1.2a 测试器件，那么要求进行这一测试。

#### f. 时钟 – 数据对间偏移

时钟 – 数据对间偏移是保证互操作能力的一个极其重要的测试。这一测试确认时钟和任何数据对之间的偏移落在极限范围内。标准规定偏移极限不得超过像素时间 ( $T_{PIXEL}$ ) 的 20%。这一测试也在数据通道之间执行。下一节数据 – 数据测试更加详细地介绍了这一测试。

CTS 1.3b1 中不要求执行这一测试。但是，如果根据 CTS 1.2a 测试器件，那么要求进行这一测试。

### 2. 数据 – 数据测试(对间偏移)

数据 – 数据对间偏移测试需要考虑多个重要方面。第一，只能在两个信号对同时发送某个特定码型时，才能有效地测量偏移。第二，测量路径(探头和示波器采集系统)可能会引入自己的测量误差偏移。第三，示波器需要触发特定的串行码型，也称为串行触发功能。最后，要相对于像素时间指定余量。因此，还必需准确地确定时钟速率。

消除采集路径中的偏移非常重要。这一过程称为“偏移校正”过程。为获得准确的结果，最好在在进行这一测试前进行偏移校正。

### 3. 单端测试

这些测试使用单端探头在每个信号对内部进行。

#### a. 对内偏移

对内偏移测试具有重要意义，虽然信号是差分信号，但是可以揭示了差分信号对内实际存在的不良部分。将测试差分对内部的偏移，标准规定的极限为位时间的 15% ( $T_{BIT}$ )。与信号对间偏移一样，在执行这一测试前执行示波器通道偏移校正非常重要。这可以保证最大限度地降低由于探测和采集系统偏移导致的误差。

#### b. 低电平输出电压 ( $V_L$ )

执行  $V_L$  测试的目的是保证信号电压电平落在规定的极限范围内。这一测试对每个 TMDS 信号对的 DC 电压电平进行检查。CTS 规定低电平电压应落在 2.7 V 和 2.9 V 范围内。

为保证满足标准，需要分析大量的波形。标准规定最低 10,000 个波形。FastAcq 有助于更快地执行这一测试。为确定电压电平，可以采用直方图方法。直方图的统计最大值(直方图峰值)表示为  $V_L$ ，并与标准极限进行比较。

# 使用 TDSHT3 HDMI 一致性测试软件对 HDMI 1.3b1 进行物理层一致性测试

## 应用指南

测试	数字示波器	差分探头	单端探头	成套 TPA-P 测试夹具	DC 电源	EDID 仿真器
眼图	•	•		•	•	•
时钟抖动	•	•		•	•	•
占空比	•	•		•	•	•
过冲 / 下冲	•	•		•	•	•
上升时间 / 下降时间	•	•		•	•	•
对间偏移	•	•		•	•	•
对内偏移	•		•	•	•	•
输出低电平 $V_L$	•		•	•	•	•
备注	16 M RL, ST	> 2 nos.	2 nos.	1 套	3.3 V	Efficere Technologies 的 ET-HDMI-TPA-E

► 表 2.

### 准备源端测试

#### a. 测试套件

表2概括了执行上面讨论的各种物理层测试要求的设备。

此外，为执行 CTS 标准规定的某些其它测试，还要求数字万用表、协议分析仪、LCR 仪表和 I<sup>2</sup>C 分析仪。

#### b. 测试设备 — 重要考虑因素

在为测试设置选择适当的设备时，必需了解需要解决的各个方面，其中包括：

##### 数字存储示波器和数字荧光示波器

系统性能推动着测量准确性。在选择要求的带宽的同时，考虑 HDMI 信号的上升时间非常重要。迅速计算支持的分辨率、刷新速率和消隐周期，可以有效地计算出  $T_{BIT}$  值。可以使用  $T_{BIT}$  值，得到 HDMI 信号上升时间的近似值 ( $\sim 0.2 - 0.3 * T_{BIT}$ )。

在 165 MHz 的时钟速率上，上升时间可以位于 75 ps – 250 ps 之间。例如，泰克 TDS7704B 提供了大约 60 ps 的上升时间，可以有效用于上升时间大于 180 ps 的信号。DPO70804 提供了大约 33 ps 的上升时间，也可以有效用于 HDMI 测试。

眼图和时钟抖动测试要求最低 16 M 的记录长度。眼图测试使用两条通道(数据和时钟)进行，应同时为两条通道提供 16 M 记录长度。

多项测试要求大量的采集(超过 10,000 个波形)，必需拥有快速触发重新准备速率，以更快地执行测试。泰克许多示波器上提供了 FastAcq™ 技术，可以更快地进行测试。

对间偏移测试要求触发指定的串行码型。因此要求示波器具有串行触发功能。

## 使用 TDSHT3 HDMI 一致性测试软件对 HDMI 1.3b1 进行物理层一致性测试 应用指南

### 差分探头

例如，应使用 ET-HDMI-TPA-P 适配器连接两个/四个泰克 P7313SMA 探头，该适配器通过实 SMA 现连接，提供可靠的结果。HDMI TMDS 信号采用差分传输系统。由于高共模抑制能力、高灵敏度 and 响应准确性及低本底噪声，差分探头特别适合这一应用。考虑到高速信号速率和紧张的余量，必需了解探测的各个方面和选项。高速差分信号和测量读物<sup>(3)</sup>为深入了解这些方面提供了参考资料。

由于差分探头有两个完全相同的输入针脚，因此进行可靠连接一般会更具有挑战性。非常重要的一点是，要认真规划与带有方形针脚的测试适配器的连接。尽管有许多探针适配器，但在采用任何技术之前，必须认真权衡每个选项。

泰克读物<sup>(3)</sup>更详细地介绍了每种选项。例如，可变间隔适配器会导致过冲过高。尽管不方便，但焊接到测试点提供了最佳的结果。泰克 P7380 和 P7360 探头提供了各种各样的尖端，允许使用探头支架或手持式探头机身焊接或手持式探头，实现点到点探测。

探头带宽是需要考虑的另一个重要因素。也应该根据信号的上升时间选择探头，保证上升时间足够快，确保测量仪器的信号保真度。泰克示波器和探头直到探针提供了系统带宽。

### 测试适配器

可靠的连接对保持精度和信号完整性至关重要。共提供了两种成套的测试适配器。对大多数源设备来说，插头型适配器(TPA-P)适合进行与被测设备(DUT)的主连接。图 10 是 Efficere Technologies 的 TPA-P 插头型测试适配器。

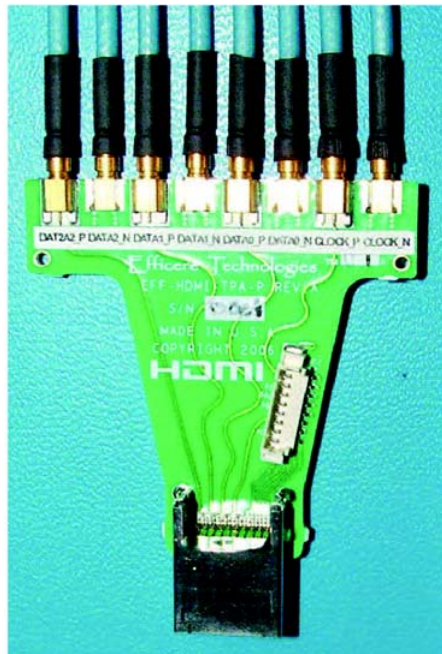


图 10.

### 自动化工具

满足源测试意味着要可靠地执行各种测试。紧张的余量和复杂的测试程序，使这些测试需要耗费大量的时间。大多数测试需要在最优条件下执行，用户必需是 HDMI 技术及使用测试设备的专家。不管从哪个角度来看，这都是一件令人生畏的任务。

本文后面讨论的 TDSHT3 可以迅速可靠地执行测试。自动测量技术保证了结果的可靠性，自动化则为用户减少了繁琐费力的测试过程。

#### c. 源测试的测试设置

差分测试参见图 11。

单端测试参见图 12。

#### d. 从 DUT 中获得测试信号

- 配置 EDID 仿真器：它仿真接收器设备，实现信号握手。使用基于 PC 的软件，把 EDID 仿真器配置成希望的分辨率设置。可以使用 Efficere EDID PCB。



使用 TDSHT3 HDMI 一致性测试软件对 HDMI 1.3b1 进行物理层一致性测试  
应用指南

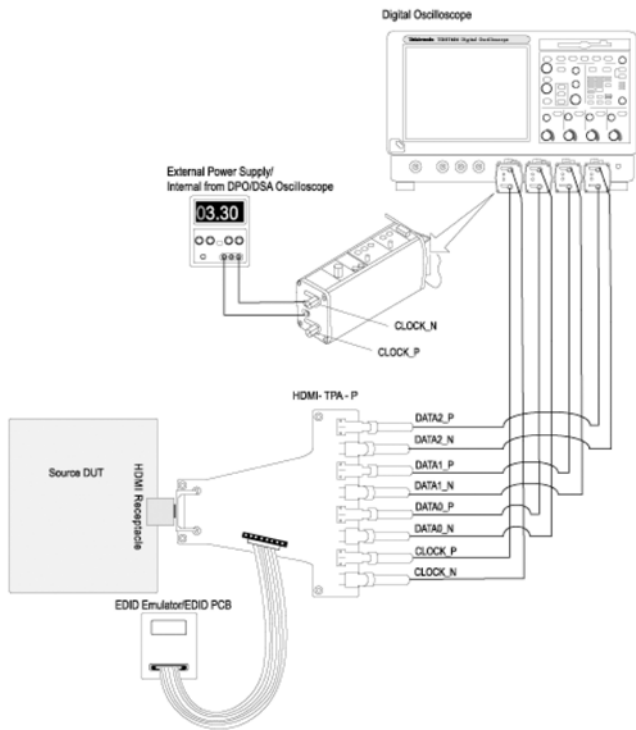


图 11.

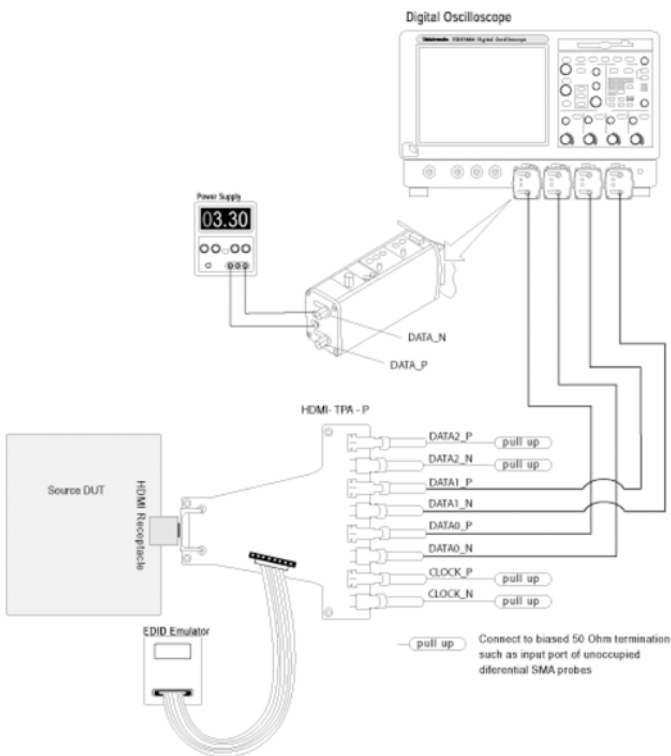


图 12.

## 使用 TDSHT3 HDMI 一致性测试软件对 HDMI 1.3b1 进行物理层一致性测试

### 应用指南

- 提供外部电源：在所有上拉电阻器中提供上拉电压。
- 如果不要指定测试码型，因此源端 DUT 生成的任何 HDMI 码型就足够了。例如，在 DVD 播放机上播放的任何 DVD 都将生成要求的测试信号。

详细连接请参阅上面介绍的测试设置。

### 接收器电接口测试

这些测试在接收器设备的 HDMI 连接器上(在 TP2 上)中执行。下面几节将更详细地讨论这些测试。

#### 1a. 抖动容限测试

接收器设备最关键的特点之一是对信号中规定的抖动水平的容许程度。标准规定这一极限为至少  $0.3 \cdot T_{BIT}$ 。

可以以步进方式把指定的抖动数量(从低抖动到高抖动)注入到传送的 TMDS 信号中，直到接收器设备不能恢复信号。然后把接收器设备能够容忍的抖动量与一致性测试极限进行对比。

执行抖动容限测试的主要步骤如下：

- 确定最坏情况时钟-数据偏移：数据偏移会变化，直到确定最坏点。这一测试在多次迭代情况下执行，如图 13 所示。然后设置 TMDS 信号发生器，生成这种最坏情况偏移。
- 测量抖动余量：通过注入指定数量的抖动，执行多项测量。将在两组测试搭配中执行三种测量：(a) 500 KHz 的数据抖动频率，10 MHz 的时钟抖动频率；(b) 1 MHz 的数据抖动频率，7 MHz 的时钟抖动频率。这三种测量是：

1. 数据抖动幅度( $D_{jw}$ )
2. 最坏情况数据抖动幅度( $D\_JITTER$  余量)
3. 最坏情况时钟抖动幅度( $C\_JITTER$  余量)

Search for the worst skew point

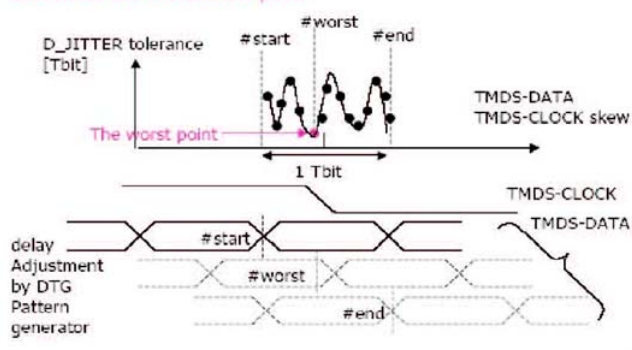


图 13.

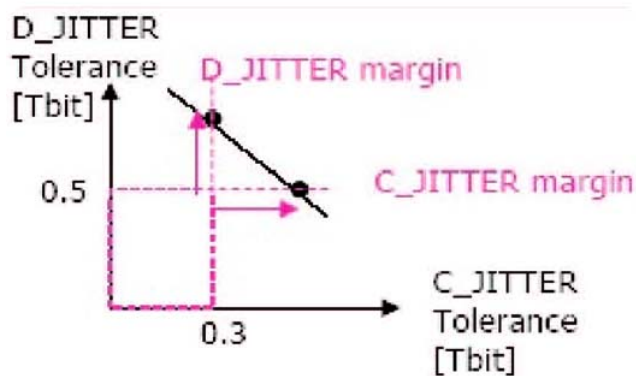


图 14.

图 14 有助于理解  $D\_JITTER$  和  $C\_JITTER$  余量的测量指标。

由于要调节各种参数及紧张的余量，这一测试一般会异常复杂，需要的时间非常长。

#### 1b. 抖动容限测试

与 CTS 1.2a 相比，CTS 1.3b1 中的抖动容限测试在一定程度上已经得到简化。该测试使用所有抖动缺省设置 (500 KHz、10 MHz、1 MHz、7 MHz) 及 27 MHz、74.25 MHz、148.5 MHz、222.25 MHz 和 297 MHz (如有) 分辨率执行。

CTS 1.3b1 抖动容限测试步骤如下:

- 第 1 步: 注入  $0.25 T_{BIT}$  时钟抖动和  $0.3 T_{BIT}$  数据抖动, 生成最坏情况 TP1 眼图, 这会产生一个刚好能够通过测试的 TP1 眼图。
- 第 2 步: 为被测分辨率插入第一条电缆仿真器(仿真最坏情况眼图)。
- 第 3 步: 调节时钟抖动, 以便测量 TP2 眼图上的  $0.3 T_{BIT}$  时钟抖动。
- 第 4 步: 使用  $0.1 T_{BIT}$  步长, 把通路之间的偏移从  $0 T_{BIT}$  提高到  $1 T_{BIT}$ , 观察接收设备的测试失败情况。
- 第 5 步: 使用第二条电缆仿真器, 重复第 2、3、4 步, 查看接收设备是否测试失败。

HT3 4.0.0 版或更高版本软件现在为接收器抖动容限测试提供了有限的余量测试功能。用户可以在可以插入最高  $0.5T_{BIT}$  的抖动。

## 2. 最小 / 最大差分摆幅容限

这一测试对大多数串行标准一直十分常见。这一测试确认接收器是否正确支持互操作能力, 即使在差分电压摆幅处于最低水平时(150 mV)。该测试又称为接收灵敏度测试。

这一测试采用能够改变幅度的 TMDS 信号发生器。将生成任何接收器支持的 27 MHz 视频格式, 在每个视频周期中重复从 0 到 255 的 RGB 灰色锯齿信号。

这一测试从所有信号对上 170 mV 差分电压开始, 以 20 mV 的步进降低差分摆幅, 直到接收器设备出现错误(即屏幕开始有雪花点出现)。如果接收机在没有错误的情况下可接收的最小差分电压小于 150 mV, 那么设备通过测试。在最小差分电压达到 70 mV 时停止测试。

这一测试中另一个重要要素是它在两个不同的  $V_{ICM}$  (共模电压 / 或称为偏置电压 / 上拉电压) 设置上执行, 其分别是 3.0 V 和 3.3 V。CTS 1.3b1 还要求使用 1.2 V 的差分摆幅测试信号。

## 3. 对内偏移

接收器设备还需要能够容忍对内偏移。这一测试保证接收器设备允许在每个 TMDS 对内存在定时偏移。CTS 标准规定对内偏移容限的极限为  $0.4 * T_{BIT}$ 。

在这一测试中, 先设置没有偏移的时钟和数据对, 然后以  $0.1 * T_{BIT}$  的步进提高每对中的对内偏移(一次一对), 直到接收器设备出现错误。接收器无差错工作的最大偏移定义为对内偏移, 并与极限进行比较。如果其大于  $0.4 * T_{BIT}$ , 设备视为符合标准。TDSHT3 现在支持 4 通道对内偏移测试。

## 4. 差分阻抗

高速差分传输线对阻抗匹配非常敏感。结果, 阻抗检查是 HDMI 一致性测试中非常关键的测试。相对于 100 欧姆规范整个传输通路的阻抗极限可以有 15% 的变化量。终端的阻抗要求更严格, 因为余量只是 100 欧姆特性值的 10%。

在关闭接收器设备的情况下执行这一测试。首先测量距 DUT 芯片到输入连接器的距离。最好使用 TDR 方法确定这一距离, 其中从 TDR 阻抗曲线开始到曲线急剧上升到 >200% 的地方, 表示与连接器的距离。

然后, 从输入连接器确定每对的差分阻抗值  $Z_{DIFF}$ , 在阻抗曲线稳定下来的时候读取测量值。其余的未测试的信号对使用 50 欧姆匹配负载端接。 $Z_{DIFF}$  值应落在 85 欧姆到 115 欧姆之间, 设备才能通过测试。

为更深入地了解 TDR 测试及受控阻抗测量, 泰克提供了部分内容丰富的应用指南(4)和(5)。

## 使用 TDSHT3 HDMI 一致性测试软件对 HDMI 1.3b1 进行物理层一致性测试

### 应用指南

	抖动容限	最小差分灵敏度	对内偏移	差分阻抗	备注
数字存储示波器	•	•	•		16M RL
差分探头	•	•	•		> 2 nos.
数据定时发生器	•	•	•		DTG5334, 带有 3 个 DTGM30(如果使用 AFG3000/AWG710, 那么还要求 DTGM32)
任意波形发生器	•				AWG710/B, AG3000 或 AWG7102
TDR 采样示波器				•	DSA8200, 带有 80E04 + 80E03
Efficere 测试夹具	•	•	•	•	ET-HDMI-TPA-S
50 欧姆端接负载(6 nos.)				•	015-1022-01
SMA-BNC 适配器	•				015-1018-00
从 DTG DC O/P 针脚到 Bias-Tee 装置 SMA 的电缆(2 nos.)	•				012-1506-00 + 015-0671-00 + 015-1018-00
SMA 电缆(12 nos.)	•	•	•		174-1428-00
SMA(公头)- SMA(母头)电缆(2 条)	•				参见下面的 <sup>†1</sup>
Mini-Circuits 公司 Bias-Tee 装置(2 nos.)	•				ZFBT-4R2GW <sup>†1</sup>
第三方电缆仿真器(每套 1 个)	•				22.25, 148.5, 74.25, 27 MHz
DC 电源	•	•	•	•	+5V
GPIB USB 控制器	•	•	•	•	NI GPIB-USB-B
GPIB 电缆	•	•	•	•	

表 2.

<sup>†1</sup>: 最好在 RF<sub>in</sub> 上采用 SMA(公头), 在 RF+DC 输出端口上有 SMA(母头)。

### 准备接收器测试

#### a. 测试套件

表 3 概括了执行上面介绍的接收器测试要求的设备。

此外, 为执行 CTS 标准规定的某些其它测试, 要求使用数字万用表、协议分析仪和 LCR 仪表。

#### b. 测试设备 – 重要考虑因素

在为测试设置选择适当的设备时, 必需了解这一设备需要满足的重要方面, 其中包括:

#### 数字存储示波器

抖动容限测试要求示波器中拥有最少 16 M 的记录长度。

#### 数据定时发生器

TMDS 信号发生器在接收器测试中发挥着关键作用。TMDS 信号发生器的关键挑战, 是提供全套高精度信号, 并能够精确地控制其参数。

为执行最小差分灵敏度测试, 要求具有 20 mV 的分辨率。信号对内偏移测试要求精确的延迟设置, 直到皮秒级分辨率。泰克提供了 DTG5334 (配有 DTGM30 模块), 其不仅提供了数据发生器的处理能力, 还提供了脉冲发生器的功能, 使用高度精确的测试信号进行接收器测试。

#### 任意波形发生器

抖动容限测试面临着更大的挑战, 因为必需同时改变时钟和数据抖动。生成大约 10 MHz 的抖动频率, 要求结合使用信号发生器。由于余量紧, 因此要求精确地控制抖动幅度。泰克 AWG7102, AFG3000 和 AWG710B 为实现这种性能水平提供了首选平台。

### TDR 采样示波器

时域反射计(TDR)为测量互连阻抗和长度提供了强大准确的工具。尽管TDR的基本概念相对简单,但必须考虑大量的问题,以进行准确测量,最主要的问题是执行真正差分TDR的能力。这使得配有80E04模块的TDS8200成为进行差分阻抗测试的首选工具。如果要探测到电路板的TDR连接,那么可以结合使用80A02模块和P8018单端TDR探头以及P80318差分TDR探头。

如果要测试电缆(如在制造中),那么不需要TDR探头,而只需配有脚踏板开关的80A02。这可以防止操作人员在连接电缆时可能发生的错误导致静电损坏。

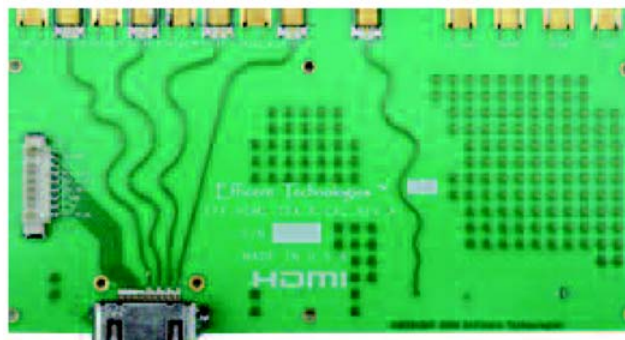


图 15.

### 测试夹具

与源端测试中一样,可靠的连接对保持接收器测试的精度和信号完整性至关重要。共提供了两种成套测试夹具。对大多数接收器测试设备来说,插头型成套夹具(ET-HDMI-TPA-P)和插座型成套夹具(ET-HDMI-TPA-R)特别适合进行到被测设备(DUT)的主连接。图 15 显示了 ET-HDMI-TPA-R 插头型测试夹具。

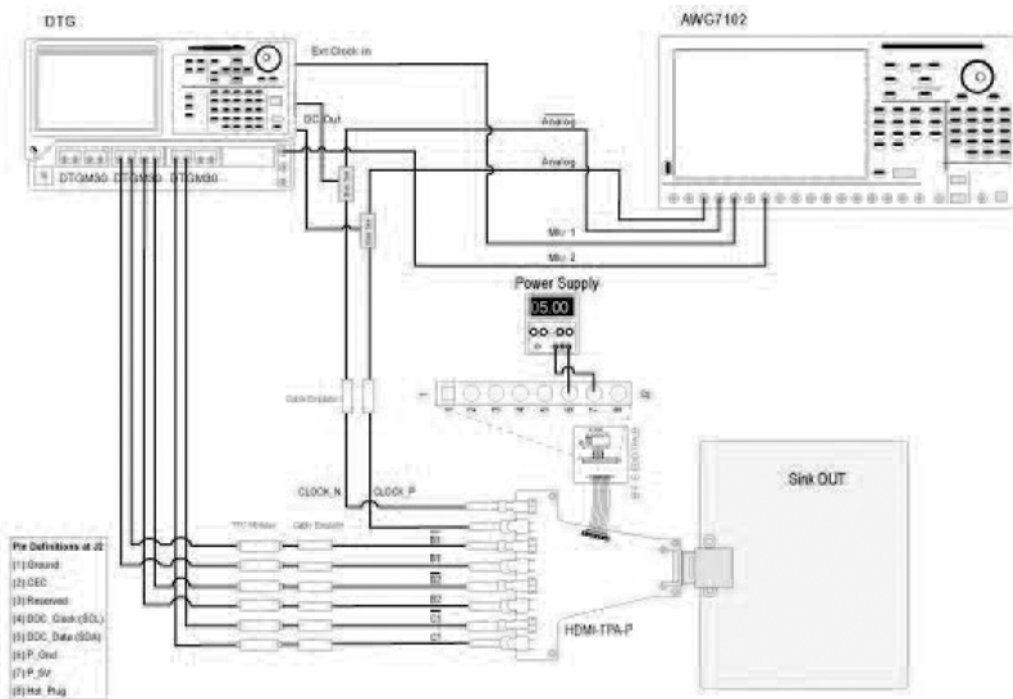


图 16.

使用 TDSHT3 HDMI 一致性测试软件对 HDMI 1.3b1 进行物理层一致性测试应用指南

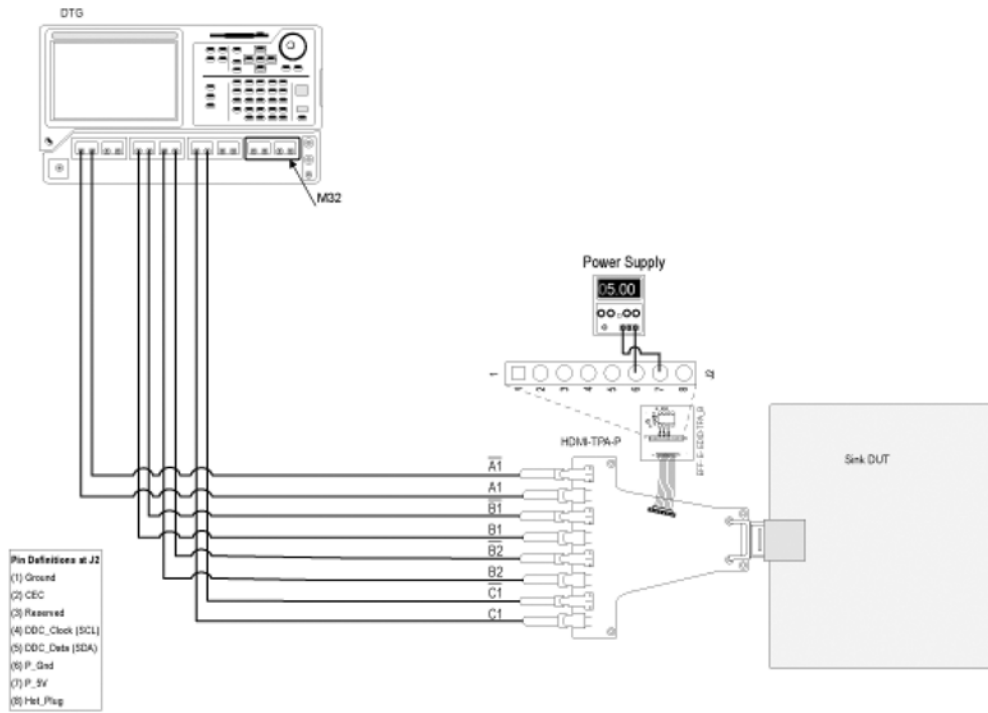


图 17.

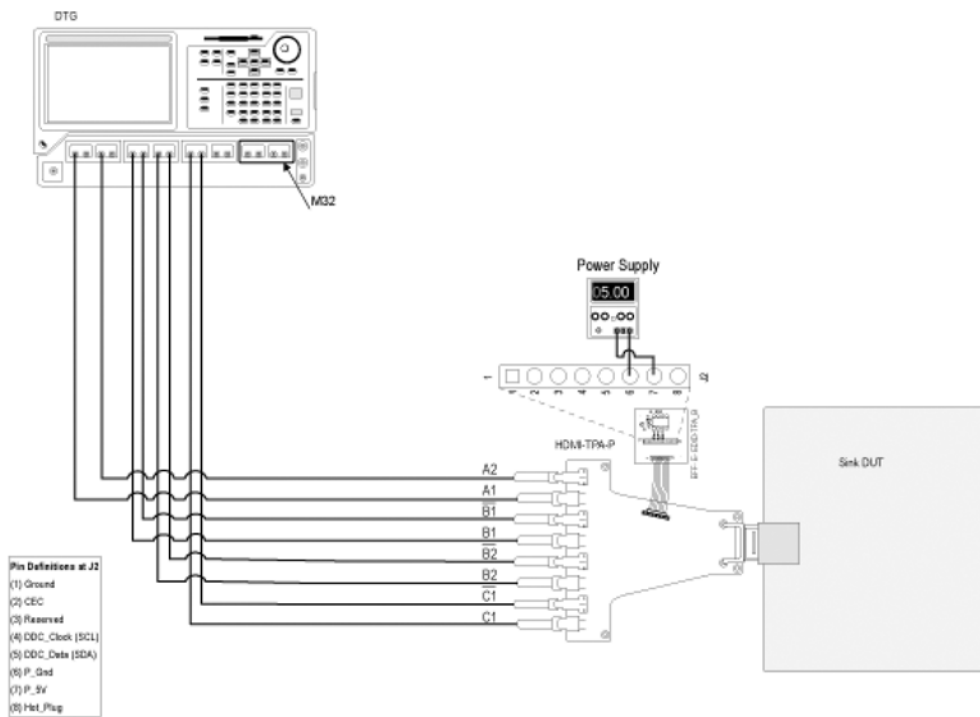


图 18.

### c. 接收器测试的测试设置

抖动容限测试 (参见图 16)

最小差分灵敏度 (参见图 17)

对内偏移测试 (参见图 18)

### 自动化工具

与源端测试中一样,接收器测试需要大量的时间。在接收器测试中,控制多个工具得出测量结果提高了复杂性。精确设置抖动参数的挑战则使其进一步复杂化。这一切都要求自动化。

本文后面讨论的 TDSHT3 简化了整个测试流程,采用 GPIB 远程控制各种参数。数字荧光示波器使用 GPIB 电缆连接到 DTG5334 上,使用 GPIB-USB-B 电缆 (National Instruments 提供) 连接到 AWG 上。DPO7000B 或 DPO/DSA70000 系列示波器使用 GPIB 电缆连接到 DTG5334 上,使用 GPIB-USB-B/HS 电缆或 E-Net 到 GPIB 转换器 (National Instruments 提供) 连接到 AWG 上。

### 电缆电接口测试

同时在 TP1 和 TP2 上、在 HDMI 电缆中执行这些测试。下面几节将更详细地讨论这些测试。

#### 1. 数据眼图测试

这一测试的目标是保证电缆从来源到接收器准确地传送信号。电缆预计会给信号带来一定程度的劣化。这一测试保证劣化程度足够低,确保设备之间的互操作能力。

在传输系统中引入电缆前,先在 TP1 上检定信号。使用 HDMI 信号发生器生成 TMDS 信号。调节 HDMI 信号发生器参数,传送带有指定时钟和数据抖动量的信号。眼图和抖动测试保证符合这些测试条件,其执行方式与源端测试类似。

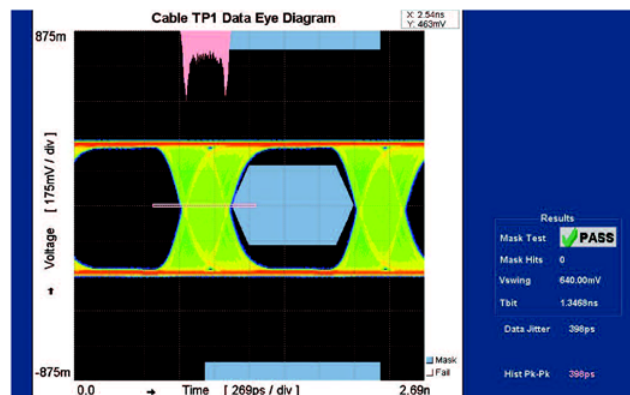


图 19.

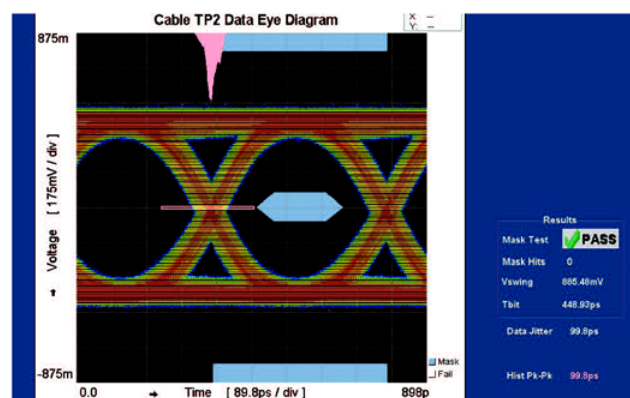


图 20.

然后连接电缆,再次在 TP2 上检验数据眼图。标准明确描述了在多种条件下测试时 TP2 上允许的劣化程度:

#### ■ 模板测试

- 数据抖动 <  $0.67 \text{ ns}$  (在 75 MHz 时等于  $0.5 \cdot T_{\text{BIT}}$ )

使用直方图框测量数据抖动。与源端抖动测试类似,强烈推荐采用最小框方法。使用最小框方法测量的数据抖动提供了可靠的结果。图 19(TP1)和图 20 (TP2)显示了在示波器上执行的电缆眼图测试。

## 使用 TDSHT3 HDMI 一致性测试软件对 HDMI 1.3b1 进行物理层一致性测试

### 应用指南

	数据眼图	对内偏移	对间偏移	远端串扰	备注
数字存储示波器	•	•			16 M RL
差分探头	•				> 2 nos.
数据定时发生器	•	•			DTG5334, 带有 3 个 DTGM30
采样示波器		•	•	•	DSA8200, 带有 80E03/80E04
Efficere 成套测试夹具	•	•	•	•	ET-HDMI-TPA-S
50 欧姆端接负载(14 nos.)				•	015-1022-01
SMA 电缆(8 nos.)				•	174-1428-00
GPIB USB 控制器	•	•	•		National Instruments GPIB-USB-B
GPIB 电缆	•	•	•	•	

► 表 4.

## 2. 可选的(参数)测试

这些测试很好地表明了电缆的信号完整性。推荐但并不强制要求进行这些测试，其中包括：

- 对内偏移
- 对间偏移
- 远端串扰

通过使用采样示波器的 TDT 功能，进行对内偏移测试和对间偏移测试。接收器差分阻抗测试中使用的泰克 TDS8200 可以用于这些测试。TDR 使用的泰克 80E04 也可以用于这一测试，因为它具有一个双通道采样器及双通道真差分 TDR 阶跃信号发生器。尽管通常使用网络分析仪进行远端串扰测试，但使用 TDR 进行串扰测量也可获得不错的效果，因为使用 TDR 可以更快、更经济、更加直观地进行测量。TDA Systems 公司 ( 已经被泰克公司收购 ) 为使用 TDR 测量串扰提供了内容丰富的应用指南。

### 准备电缆测试

#### d. 测试套件

表 4 概括了执行前面讨论的接收器测试要求的设备。

可以使用网络分析仪，执行远端串扰测试。通过使用 DSA8200 和 I-Connect 软件，您现在可以执行过去需要使用矢量网络分析仪才能执行的测试。这提供了一种非

常好的经济的替代测试能力。

#### e. 测试设备 – 重要考虑因素

在为测试设置选择适当的设备时，必需了解需要解决的重要方面，其中包括：

#### 数字荧光示波器

这一测试要求最低 16 M 的记录长度，以保证符合标准。必需测量数据抖动。还必需认识到应相对于 PLL 恢复的时钟测量抖动，如源测试中所述。正如前面推荐的那样，最小框方法最适合可靠的数据抖动测量。

#### 数据定时发生器

TMDS 信号发生器在电缆测试中发挥着至关重要的作用。泰克提供了 DTG5334 (配有 DTGM30 模块)，其不仅提供了数据发生器的处理能力，还提供了脉冲发生器的功能，使用高度精确的测试信号进行电缆测试。

#### 采样示波器

偏移测试极限要求超高精度测量。配有 80E04 或 80E03 模块的 DSA8200 为进行这些测试提供了要求的测量准确性和分辨率。



# 使用 TDSHT3 HDMI 一致性测试软件对 HDMI 1.3b1 进行物理层一致性测试

## 应用指南

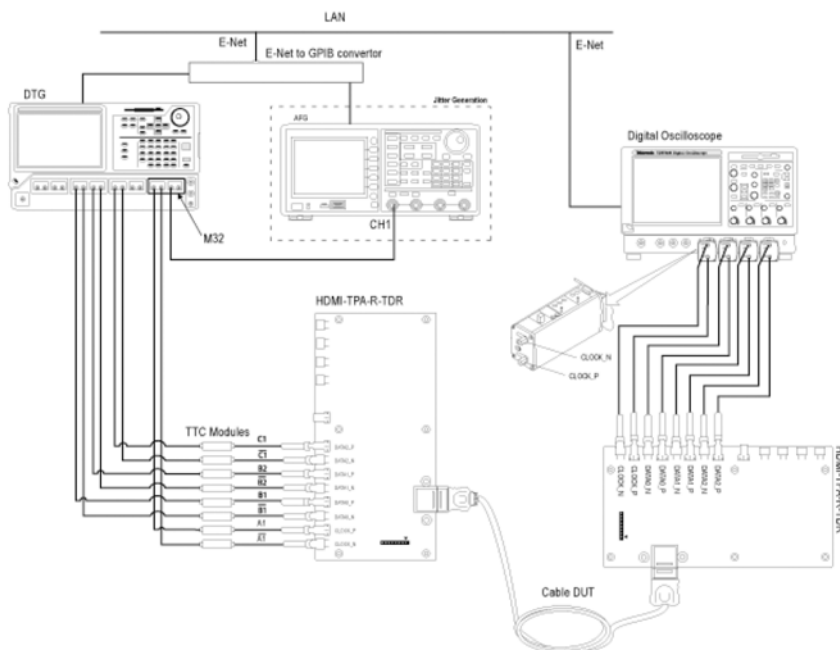


图 21.

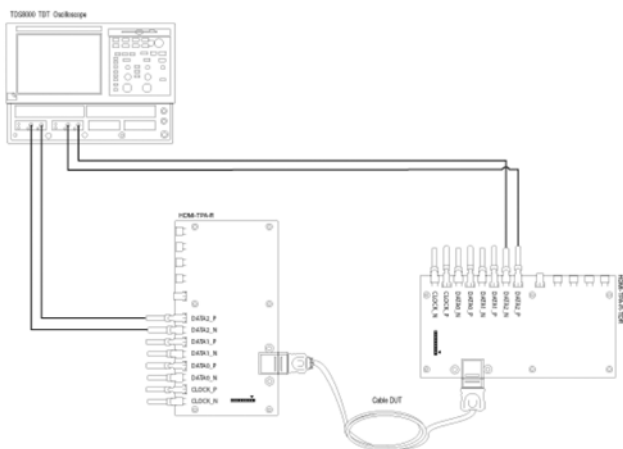


图 22.

### 自动化工具

电缆数据眼图测试同时拥有源测试和接收器测试的复杂性。眼图绘制的复杂性、准确的数据抖动测量技术及控制多个工具的麻烦性，使得这一测试非常复杂。本文后面讨论的 TDSHT3 使这一测试变得相对简便。数字荧光示波器使用 GPIB 电缆连接到 DTG5274 上，使用 GPIB-USB-B 电缆(National Instruments 提供)连接到 AWG 上。

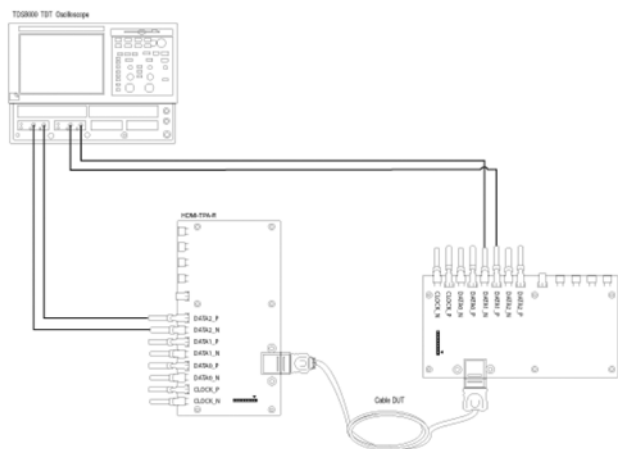


图 23.

台湾的 LiTek 公司提供了高速电缆测试解决方案(LT-4165)，可以自动进行多种其它测试。

### f. 电缆测试的测试设置

数据眼图测试参见图 21。

信号对内偏移测试参见图 22。

信号对外偏移测试参见图 23。

# 使用 TDSHT3 HDMI 一致性测试软件对 HDMI 1.3b1 进行物理层一致性测试应用指南

## TDSHT3 HDMI 1.3b1 一致性测试软件

设计和检验 HDMI 物理层的工程师必需首先在内部进行全面检验然后才会将产品送往认证测试，他们需要进行大量的测试。这些测试有着紧张的余量，要求高精度测量技术及复杂地控制各种测试仪器。各标准还要求在支持的各种像素分辨率上执行许多测试，进一步提高了复杂性。

TDSHT3 HDMI 一致性测试软件自动完成一系列测试，包括源测试、接收器测试和电缆测试，实现了前所未有的效率和可靠的结果。

### 可靠可信的结果

TDSHT3 内嵌 HDMI CTS 1.3b1 一致性测试程序，包括软件时钟恢复(SoftCRU)，确保可信的结果。准确的眼图绘制和高精度超限测试提供了可以信赖的结果。执行接收器测试时，它使用闭环测量准确地消除了由于测试设置带来的不确定因素。可信的测量技术和自动化消除了错误，提供了可靠的结果。

### 缩短测量与验证的周期

TDSHT3 上提供的无可比拟的自动化功能加快了测量与验证的速度。通过 TDSHT3 远程控制 DTG 和 AWG，可以自动完成复杂的测试过程，把接收器设备的测试时间从几个小时缩短到几分钟。其单键“全选”功能可以执行多项源端测试，实现了杰出的效率。TDSHT3 只需按一个按钮，就可以生成 CSV 格式的摘要报告或详细报告。

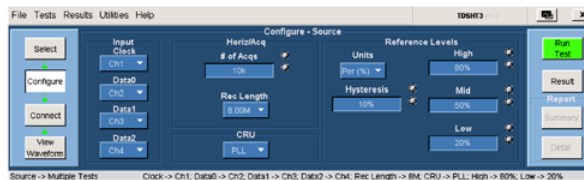
### 完整的测量与验证解决方案

TDSHT3 提供了广泛的测试，可以根据标准全面执行产品验证。提供的测试包括源端设备测试、接收器设备测试和电缆测试。通过 TDSHT3，可以使用完整的解决方案，包括示波器、任意波形发生器、数据定时发生器、测试夹具和 TDR，执行可靠的产品验证。

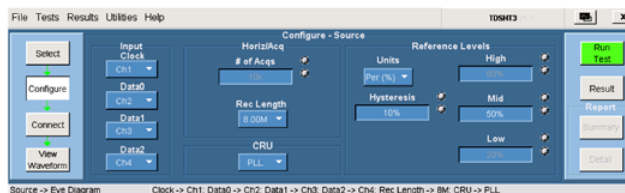
## 使用 TDSHT3 执行测试

通过点击“Select All”按钮，用户可以选择全系列测试，按一个按钮就可以运行测试。在按 Source 一栏时，将调用 Source 测试。

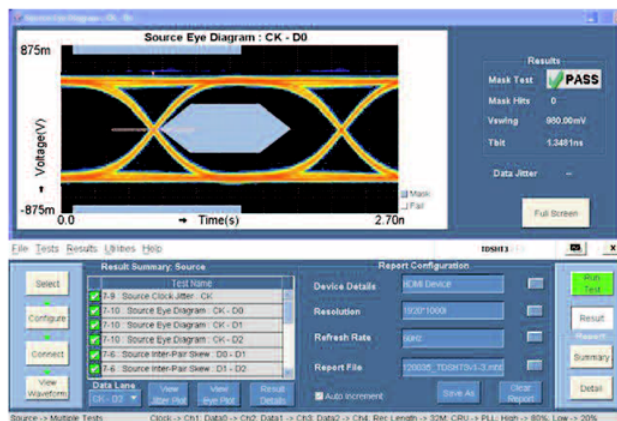
TDSHT3 快速入门用户手册(6)提供了执行 HDMI 源端测试的实例。



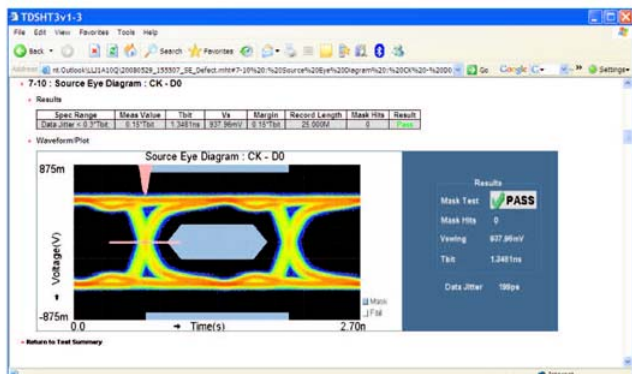
用户界面可以灵活地设置测试，消除误解。



可以使用各种抖动参数，如幅度和频率，简便地配置源端测试；软件则可以适当地把文件传送到 DTG 和 AWG，自动完成测试。



## 使用 TDSHT3 HDMI 一致性测试软件对 HDMI 1.3b1 进行物理层一致性测试 应用指南



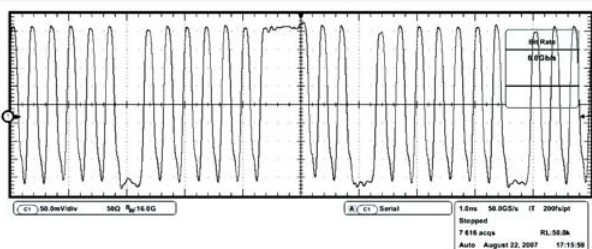
按 Run Test 按钮, 开始测试流程, 在执行所有测试后, 将绘制相关图表, 提供结果摘要, 如下图所示。

按 Result Details 按钮, 提供了与极限和测得值有关的信息。

用户只需按一个按钮, 就可以立即生成报告, 然后把报告简便地转换成流行的格式, 如可以移植的文档文件及其它格式。

TDSHT3 快速入门用户手册(6)提供了执行 HDMI 接收器测试的实例。

### 一种强大的新型 ISI 分析工具



所示的 6 Gb/s 时的 CJTpat 为 2640 位。码型速率可以高达 2.1 Gb/s (PRBS31-1)。

评估高速数字串行通信的工程师们需要:

- 隔离导致违反模板的特定序列
- 消除长达 PRBS31-1 的码型上的噪声和相关抖动, 评估确定性影响, 如码型相关抖动和码间干扰。

技术规范:

- 高达 6.25 GB/s 的 NRZ 或 8b/10b, 拥有内部时钟恢复功能。
- 长达 2,147,483,647 位的码型长度。

遗憾的是, 最长的码型及压力最大的位序列(包括大量的完全相同的连续位)对测试设备提出了严格的要求。不仅捕获时间成为问题, 触发功能也成为问题。

采用数据边沿触发的分析方法将忽略完全相同的连续位, 因为其中没有跳变。码型锁定触发恢复的数据时钟, 而不是数据跳变码型锁定, 使您能够平均和分析长度高达 2.1 Gb/s 的串行数据码型(PRBS31-1)。通过作为码型分析数字数据, 您可以隔离可能导致违反模板的特定序列。

## 优点

TDSHT3 HDMI一致性测试软件把产品的测量验证周期从几天缩短到几小时。可靠的测量技术和闭环测量保证了可靠可信的结果。其前所未有的自动化功能缩短了测试时间，使人为错误达到最小。再配以各种测试设备，它构成了完整的 HDMI 测试解决方案。

按 Summary 按钮，还可以使用 CSV(逗号隔开的变量)格式编制报告。这特别适合测试多个端口及编制摘要。CSV 格式可以使用流行的工具简便地查看以及编辑文件，如 Excel 及其它工具。

## 小结

高清多媒体接口(HDMI)技术正在迅猛增长。实际上，现在的重点是展示产品如何满足标准。设计或检验产品 HDMI 物理层的工程师必需迅速、可靠、高效地执行各种测试。大量的严格测试与空前的复杂性相结合，给测试工程师带来了多项挑战。紧张的余量要求认真测量及全面理解导致错误的因素。TDSHT3 可以迅速可靠地执行各种测试，改善了效率。

## 参考资料

1. HDMI 规范 1.3a 版
2. 一致性测试规范(CTS) 1.3b1 版
3. 高速差分数据信令和测量 – 泰克读物 (55W-16761-0)
4. 使用泰克 8000B 系列仪器进行差分阻抗测量 – 泰克应用指南 (85W-16644-0)
5. 使用 TDR 测量受控电路板 – 泰克应用指南 (85W-8531-0)
6. TDSHT3 快速入门用户手册 – 泰克手册 (071-1565-01)

### 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

### 泰克香港办事处

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

如需了解更多信息，请访问泰克公司网站：[www.tektronix.com.cn](http://www.tektronix.com.cn)



© 2008 年 Tektronix, Inc. 版权所有。 全文所有。 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。 05/08 FLG/WWW 51C-17974-4

**Tektronix**  
Enabling Innovation