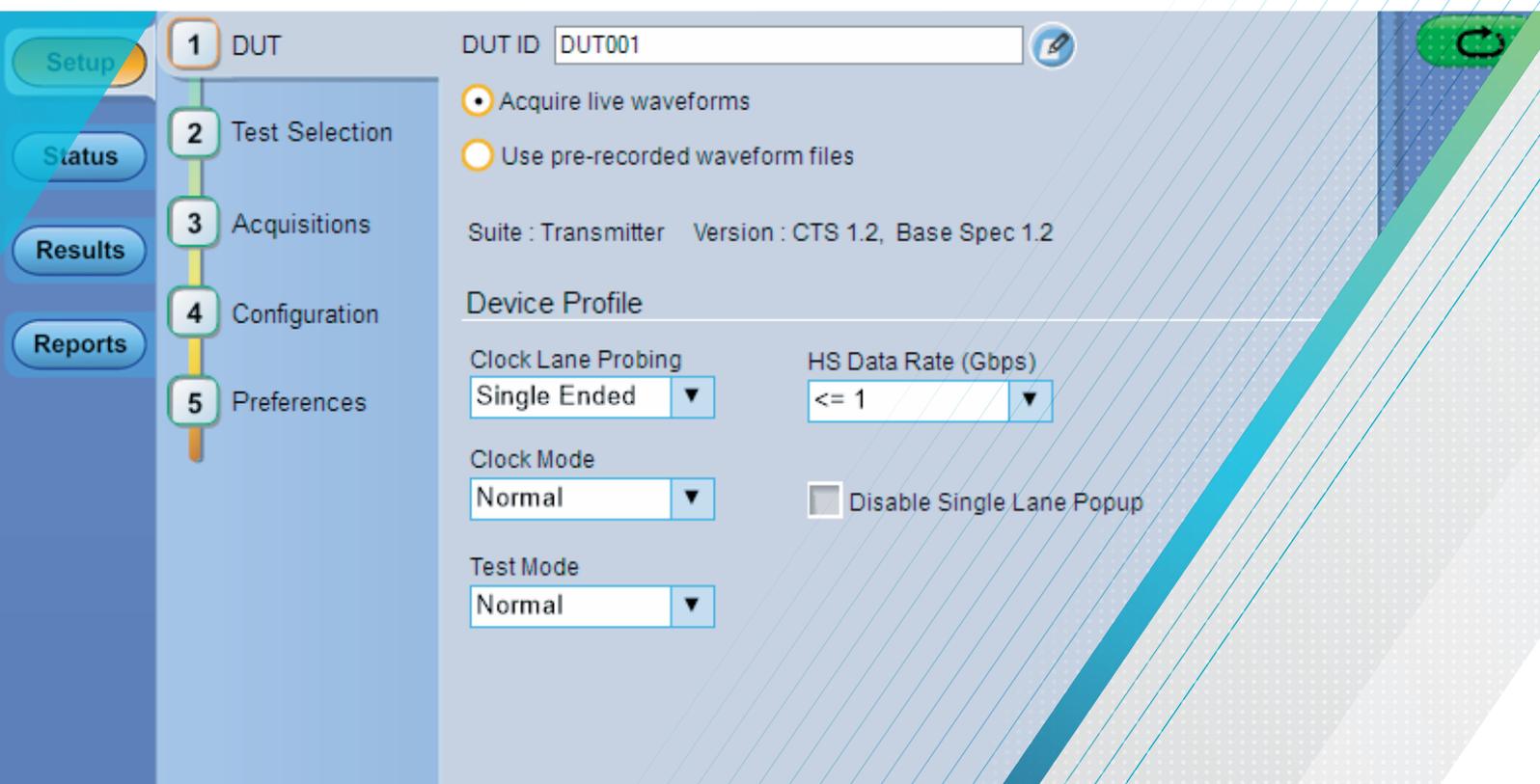


MIPI D-PHY 物理层自动一致性测试

应用指南



对低功耗高清显示器的需求，正推动着对高速串行总线的采用，特别是移动设备。MIPI D-PHY 是一种标准总线，是为在应用处理器、摄像机和显示器之间传送数据而设计的。该标准得到了 MIPI 联盟的支持，MIPI 联盟是由多家公司（主要来自移动设备行业）组成的协会。该标准由联盟成员使用，而一致性测试则在保证设备可靠运行及各厂商之间互操作方面发挥着重要作用。自动测试系统采用可靠的示波器和探头，帮助设计人员加快测试速度，改善可重复性，简化报告编制工作。



图 1. 6 系列 MSO 示波器及高带宽 TriMode 探头为自动一致性测试提供了坚实的基础。

物理层

D-PHY 的物理层由一个时钟和四条数据通路 [D0:D3] 组成，可以以非常高的速度运行。物理层可以支持不同的协议层。例如，摄像机捕捉的影像可以通过采用 CSI-2 协议的 D-PHY 物理层传送到处理器，再传送到应用处理器，然后通过采用 DSI 协议的 D-PHY 物理层传送到显示器。这里的 CSI 和 DSI 指 D-PHY 上运行的协议。每条通路上的数据在使用 V1.2 标准时传送速率可以达到 2.5 Gbps，在使用 V2.1 标准时可以达到 4.5 Gbps，从而可以传送高分辨率和清晰度的影像。

数据通路 [D0:D3] 的 D0 通路是双向通路，用于总线周转 (BTA) 功能。在主发射机要求外设响应时，它会在传输最后的数据包时向其 PHY 发出一个请求。这会告诉 PHY 层在传输结束 (EoT) 顺序后确认总线周转 (BTA) 命令。其余通路和时钟都是单向的。数据在不同通路中被剥离。例如，第一个字节将在 D0 上传送，然后第二个字节将在 D1 上传送，依此类推，第五个字节将在 D0 上传送。根据设计要求，数据通路结构可以从一路扩充到四路。图 3 是 1 时钟 3 路系统上的数据剥离图。每条通路有一个独立的传输开始 (SoT) 和传输结束 (EoP)。SoT 在所有通路之间同步。但是，某些通路可能会在其他通路之前先完成 HS 传输 (EoT)。

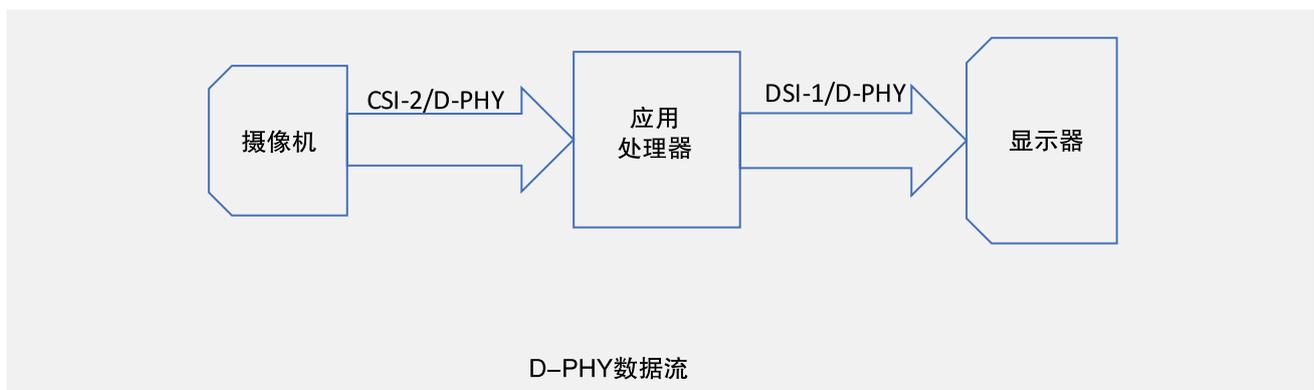
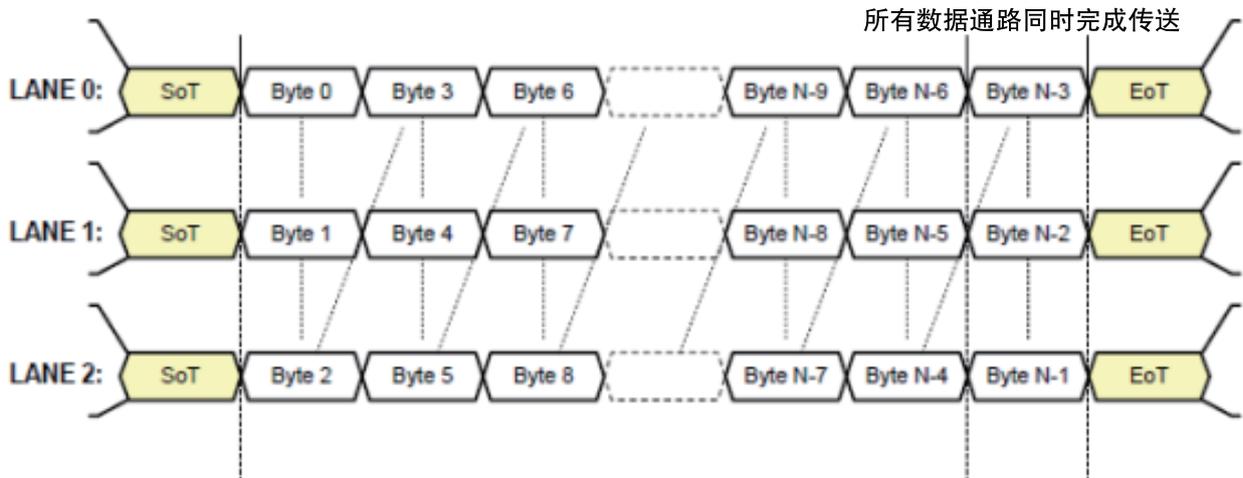
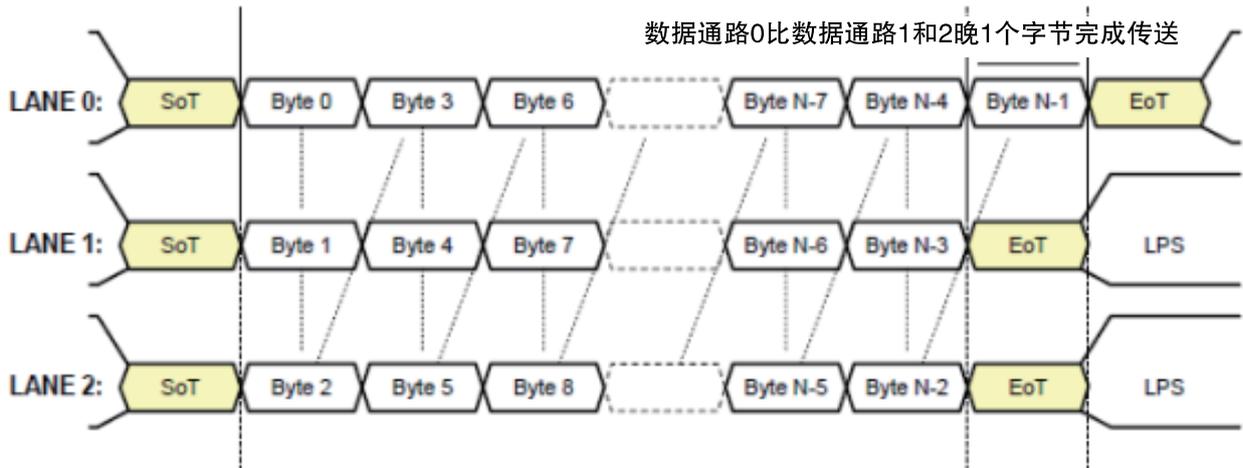


图 2. D-PHY 物理层可以支持不同的协议，优化数据传送。

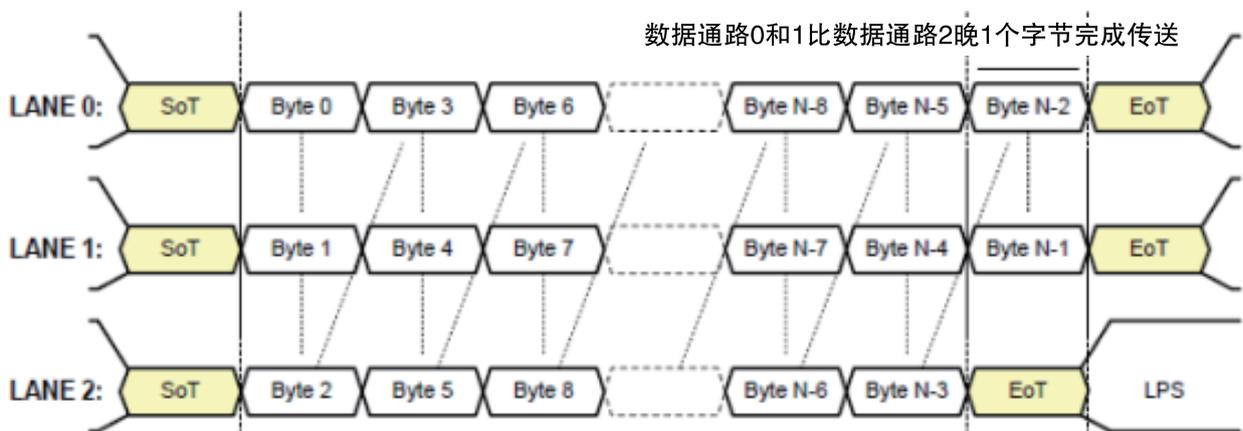
传送的字节数N是通路数的整数倍



传送的字节数N不是通路数的整数倍 (例1)



传送的字节数N不是通路数的整数倍 (例2)



图例 LPS - 低功率状态 SoT - 传输开始 EoT - 传输结束

图 3. 3 路系统中的数据剥离。(参考资料: MIPI 联盟 DSI v1.1 规范)

MIPI D-PHY 物理层自动一致性测试

在四条通路之间，在以 2.5 Gbps/路运行时，D-PHY 1.2 信号的最大吞吐量约为 10 Gbps。物理层信号有两种模式：高速 (HS) 模式和低功率 (LP) 模式。高速 [HS] 模式用于快速传送数据。在系统处于空闲时，低功率 [LP] 模式用来传送控制信息，以延长电池续航时间。HS 和 LP 模式有不同的端接方式，系统应能够动态改变端接方式，以支持这两种模式。

HS 数据的速度越高，显示器能够支持的分辨率越高，影像的清晰度也就越好。如果了解数据速率与分辨率之间的关系，我们还要看一下其他几个参数。

- 像素时钟：决定着像素传送的速率
- 刷新速率：屏幕每秒刷新次数
- 色彩深度：用来表示一个像素的颜色的位数

像素时钟的推导公式如下：

$$\text{像素时钟} = \text{水平样点数} \times \text{垂直行数} \times \text{刷新速率}$$

其中水平样点数和垂直行数包括水平和垂直消隐间隔。

例如，分辨率为 1280x720p，刷新速率为每秒刷新 60 次，也就是 1650x750。水平样点数和垂直行数之间的差异是由消隐引起的。

在本例中，像素时钟频率应为：

$$1650 \times 750 \times 240 = 297 \text{ MHz}$$

我们看一下支持上例要求的总数据速率。比如：

$$\text{色彩深度} = 24 \text{ 位}$$

$$\text{数据速率} = 297 \times 24 = 3564 \text{ Mbps}$$

$$\text{通路数} = 2$$

那么要求的每路数据速率 = 1.732 Gbps/路。

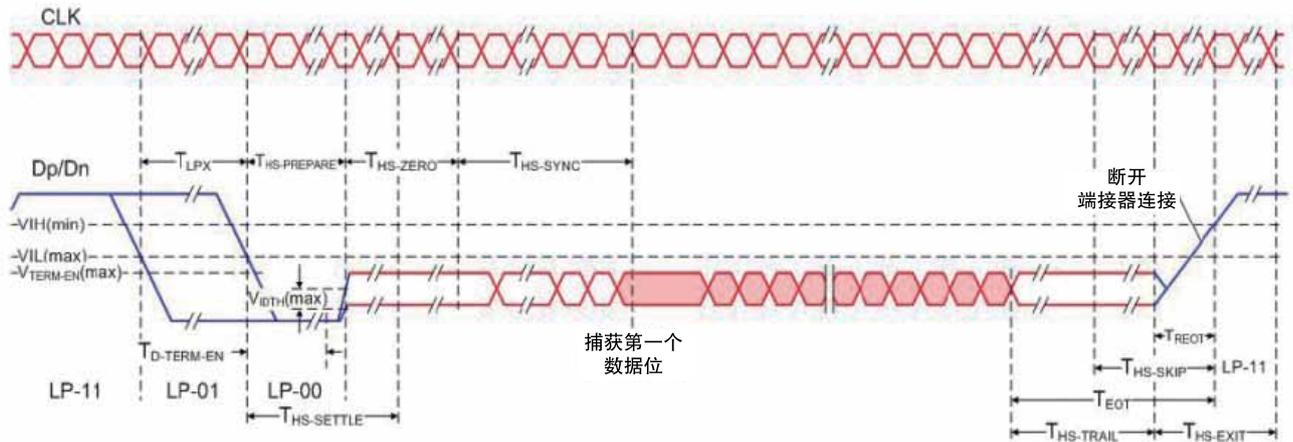


图 4. D-PHY 数据通路在连续时钟模式下的模式和状态。(MIPI 联盟 D-PHY 规范第 1.2 版, MIPI 联盟公司)

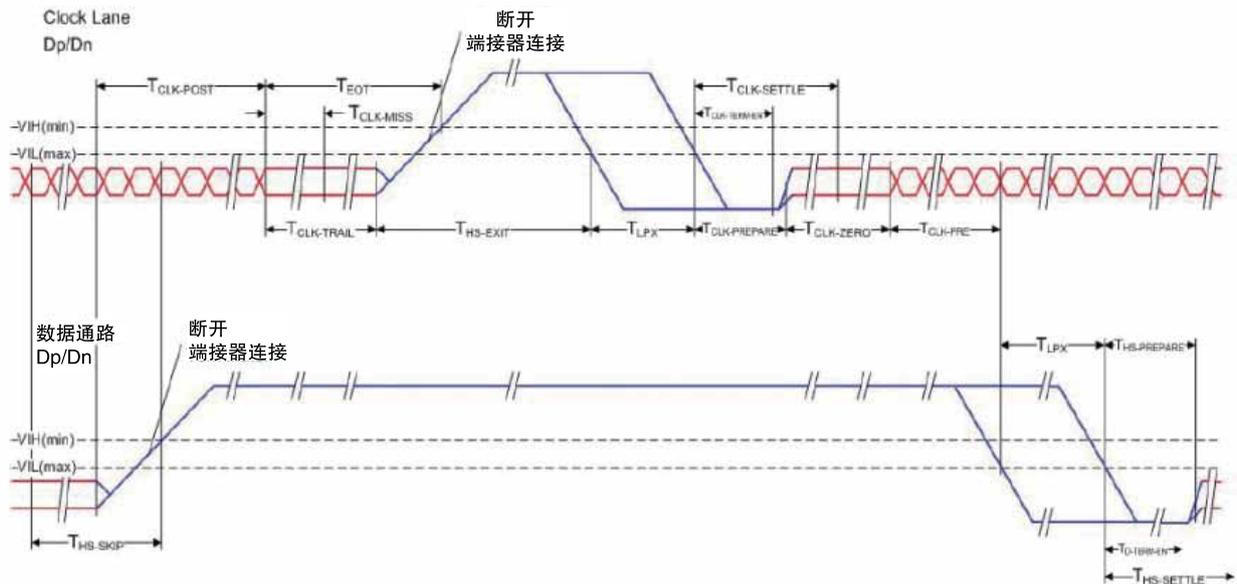


图 5. D-PHY 时钟通路在正常时钟模式下的模式和状态。(MIPI 联盟 D-PHY 规范第 1.2 版, MIPI 联盟公司)

电接口信令

我们已经知道了分辨率与通路速度的关系，现在我们先看一下怎样测试 D-PHY 1.2 信令 / 电接口层。

数据在 HS 模式下传送，在线路空闲时，发射机切换到低功率模式，以便节能。在高速 (HS) 模式下，差分电压最小值是 140 mV，标称值是 200 mV，最大值是 270 mV，数据速率扩展到最大 2.5 Gb/s。HS 模式由两种可能状态组成：Differential-0 (HS-0) 和 Differential-1 (HS-1)。

在低功率 (LP) 模式下，信令采用两条单端线路，摆幅为 1.2 V，最大运行数据速率为 10 Mb/s。数据 +(Dp) 线路和数据 -(Dn) 线路相互独立。每条线路可以有两种状态：0 和 1，这会导致 LP 模式，其有四种可能的状态：LP-00, LP-01, LP-10, LP-11。

为了适应两种不同的运行模式，接收机端的端接必须是动态的。在 HS 模式下，接收机端必须以差分方式端接 100 Ω ；在 LP 模式下，接收机开路 (未端接)。HS 模式下的上升时间与 LP 模式下是不同的。

探测挑战

接收机端动态端接加大了 D-PHY 信号测试的复杂度。探头必须能够在 HS 信号和 LP 信号之间无缝切换，而不会给 DUT 带来负载。必须在 HS 进入模式下测量大多数全局定时参数，其需要作为仅时钟测试、仅数据测试和时钟到数据测试来执行。还要在示波器的不同通道上同时采集 Clock+ (Cp)、Clock- (Cn)、Data+ (Dp)、Data- (Dn)。

鉴于 D-PHY1.2 规范支持的最大速度是 2.5 Gbps，所以要求的最低带宽是 8 GHz，那么探头在 8 GHz 以下带宽时应拥有稳定的特点，以便能够捕获 HS-LP 和 LP-HS 跳变区域中的波形。

D-PHY 正成为汽车显示器和摄像机应用中流行的标准。在不同的汽车温度范围内进行测试，也可能带来挑战，特别是在探测方面。

测试设置

示波器和探头要求的最低带宽是 4 GHz。在 2.5 Gbps 的最高数据速率时，示波器和探头建议带宽是 8 GHz。

设置包括：

- 示波器
- 4 只低负载单端探头
- TekExpress D-PHY 1.2 自动测试解决方案
- 高级抖动分析 (推荐)
- 探测、端接电路板

示波器	探头
6 系列 MSO	TDP7708 TriMode™ 探头
8 GHz bandwidth	和 P77STFLXA, 4 套
MSO/DPO70000C/DX	P7708 TriMode 探头和
8 GHz 或以上带宽	P77STFLXA, 4 套
DPO70000SX	P7708 TriMode 探头和
4 通道, 最高带宽仅 33GHz	P77STFLXA, 4 套

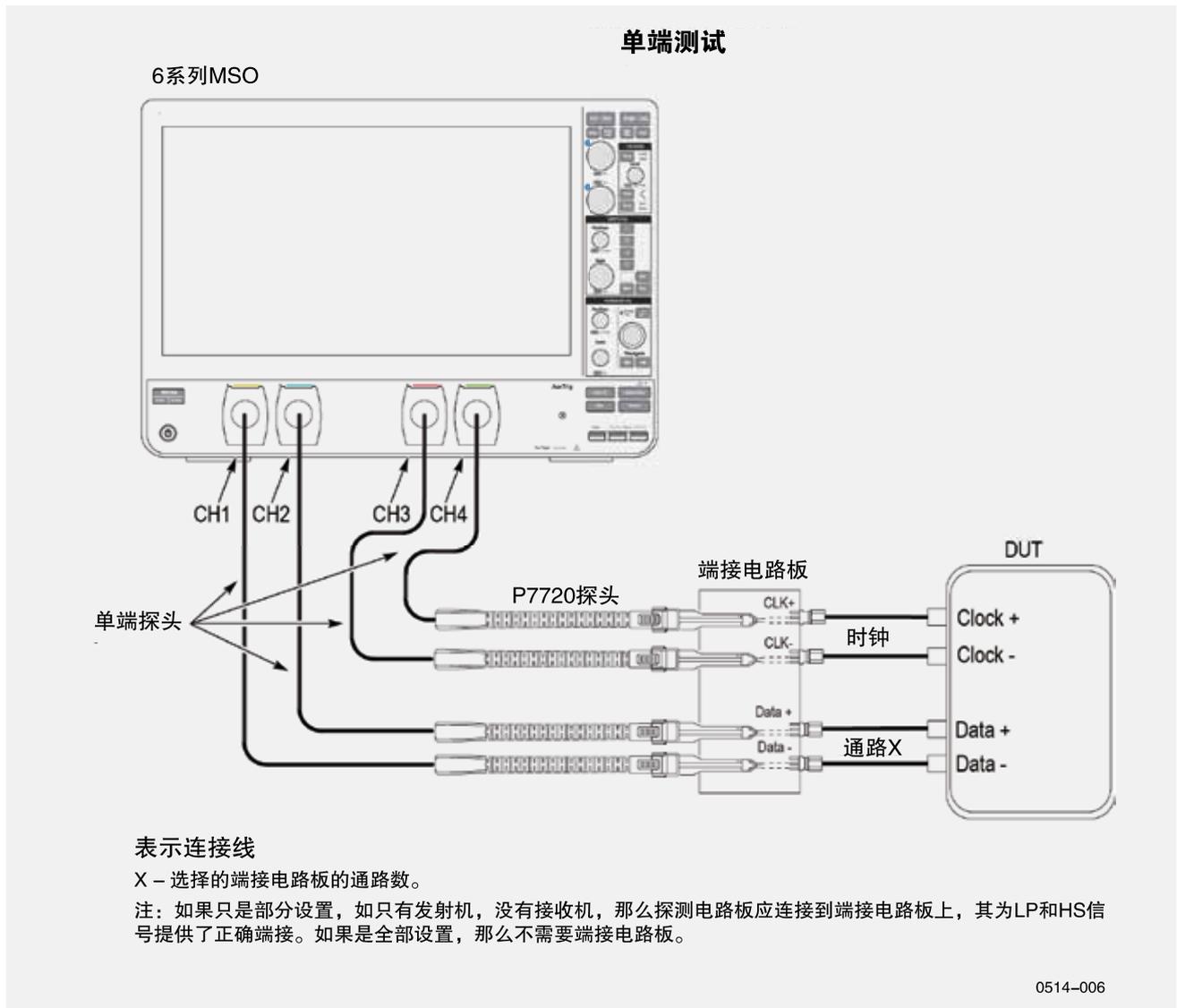


图 6. 采用 6 系列 MSO 的单端测试设置。

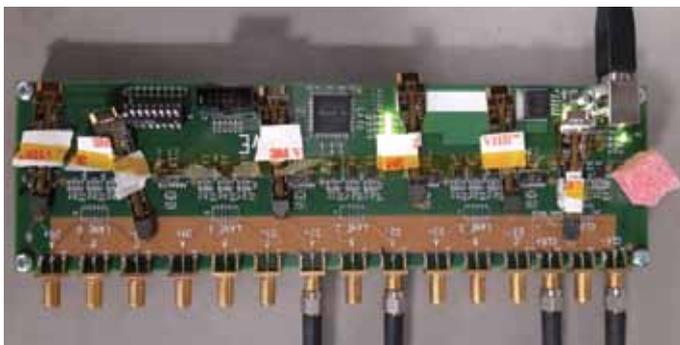


图 7. D-PHY 端接电路板，TriMode 探头焊接在相应位置。

物理层 / 电接口层分成不同的子群组，即第 1 组到第 6 组：

- 第 1 组数据通路 LP-TX 信令
- 第 2 组时钟通路 LP-TX 信令
- 第 3 组数据通路 HS-TX 信令
- 第 4 组时钟通路 HS-TX 信令
- 第 5 组时钟到数据通路定时 HS-TX 信令
- 第 6 组 INIT、ULPS 和 BTA 行为

DUT 必须提供两个测试信号：

- 第 1 组、第 2 组、第 6 组要求 DUT 提供一个 Escape Mode 信号
- 第 3 组、第 4 组和第 5 组要求 DUT 提供一个 Normal Mode 信号

例如，第 5 组数据到时钟时延测试会针对数据启动时间与理想的 1/2 Ulinst 之间允许的偏差来检查 DUT 性能。这决定着相对于时钟解释数据的程度。如图 8 所示，眼图给出了信号质量及数据与时钟时延的详细视图。

组号	说明	测试信号要求
1	DATA LANE LP-TX SIGNALING	Escape Mode 逸出模式，(超低功率序列) ULPS Entry
2	CLOCK LANE LP-TX SIGNALING	Escape Mode 逸出模式，ULPS 进入、退出顺序
3	DATA LANE HS-TX SIGNALING	HS Burst 高速突发，LP 进入和退出
4	CLOCK LANE HS-TX SIGNALING	1. Burst Mode 突发模式；HS Burst 高速突发，LP 进入 / 退出，适用于支持突发模式的 DUTs 2. Continuous Mode 连续模式：这个群组中的 LP 特定测试可能要在前 / 后 HS 进入 / 退出顺序上单独执行，在启用 / 禁用连续时钟模式时会发生前 / 后 HS 进入 / 退出顺序
5	HS-TX CLOCK-TO-DATA LANE TIMING	HS Burst 高速突发，LP 进入和退出
6	LP-TX INIT, ULPS, AND BTA	Escape Mode 逸出模式，INIT、ULPS 和 BTA

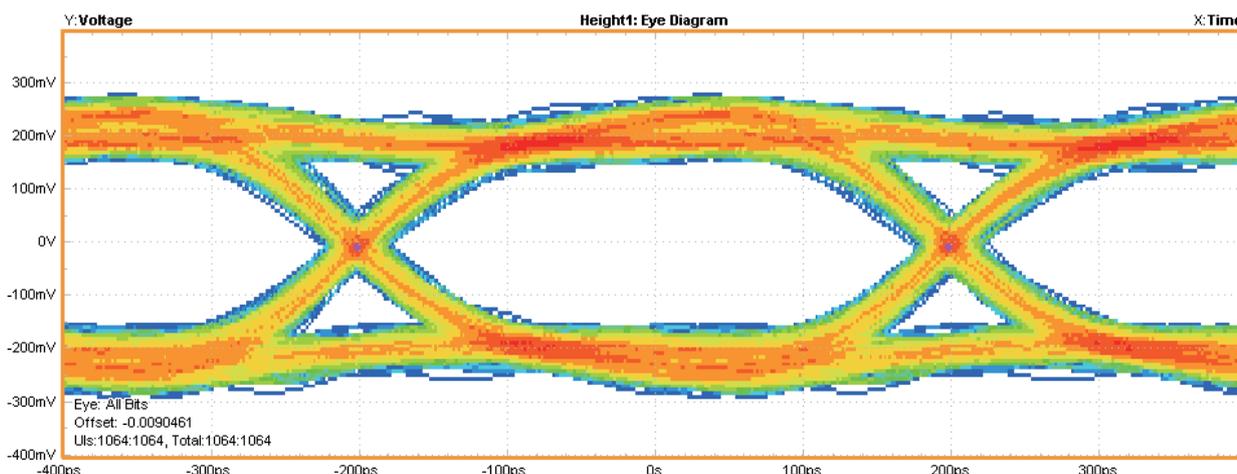


图 8. HS-TX 时钟到数据通路定时测试中使用的眼图。

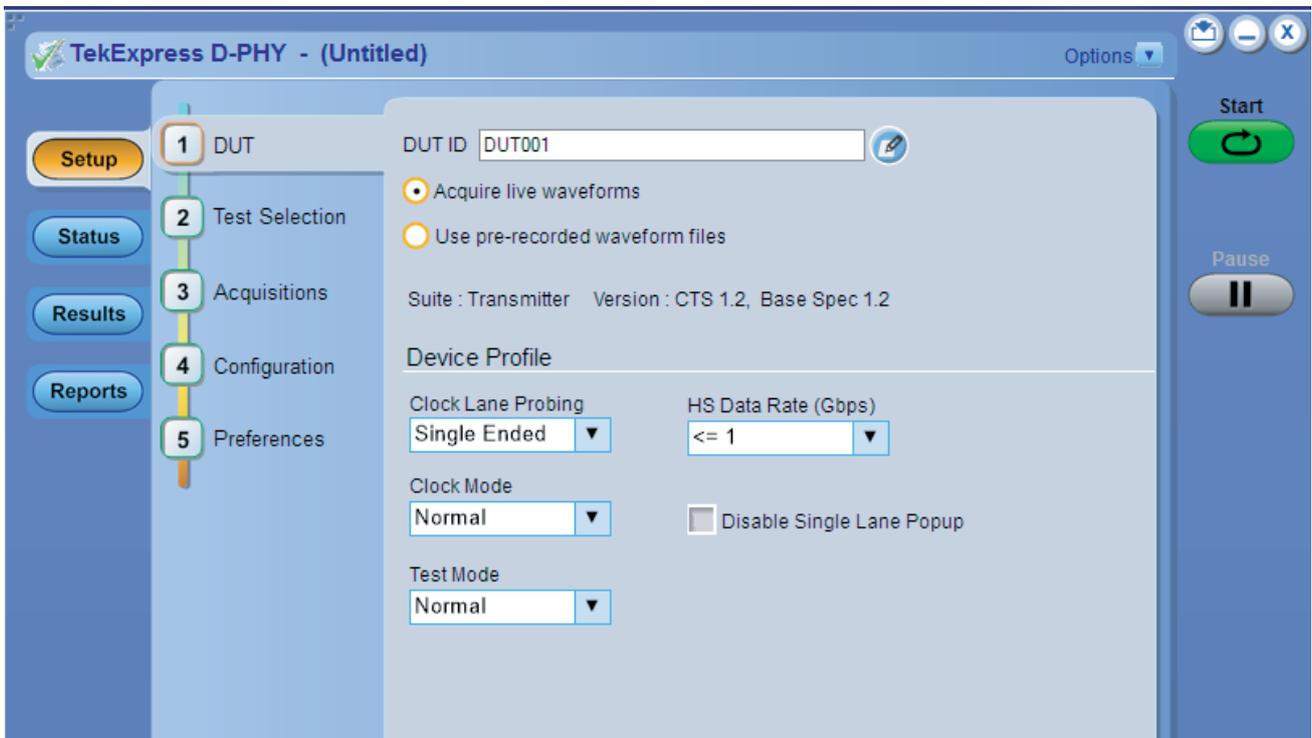


图 9. TekExpress D-PHY 自动软件会引导用户从设置到报告完成整个测试。

自动测试和 TekExpress 解决方案

TekExpress 解决方案把速度最快的自动测试解决方案与 6 系列 MSO、MSO/DPO7000/DX 和 DPO7000SX 示波器整合在一起。TekExpress 软件提供了一个图形用户界面 (GUI)，其架构包含从设置到测试的直观工作流程，而不管采用哪个通路端接。您可以在在线工作情况下执行一致性测量，并可以针对特定 DUT 数据速率来配置设置，调节极限，并进行量身定制。在配置高级抖动分析 (选项 DJA) 的仪器上，TekExpress D-PHY 解决方案为数据到时钟时延测试 (测试号 1.5.4) 绘制眼图，清楚地表明数据和时钟之间的时延信息。

TekExpress 自动测试框架是市场上速度最快的 D-PHY 合规性解决方案，明显节省了测试时间，特别是在各种环境条件下表征 DUT 性能时。

该解决方案还可以在预录模式下测试离线波形，可以先捕获多轮数据，后面再对数据进行处理，省时省力。

报告功能支持多种格式和定制内容。结果可以按测试名称 (默认值)、通路名称或测试结果分组。可以作为选项包括第一个分析区域的图像。报告不仅提供了测试合格 / 不合格摘要表，还包括每项测试的裕量细节，这些都包括在一个合并报告中，并可以导出。

自动一致性测试的速度和可重复性都要远远高于手动测试，特别是在测试 MIPI D-PHY 物理层时。TekExpress 自动软件与相应的示波器和探头相结合，如 6 系列 MSO 和 TDP7700，可以帮助您加快测试速度，改善可重复性，简化报告编制工作。



泰克官方微信

如需所有最新配套资料，请立即与泰克本地代表联系！

或登录泰克公司中文网站：www.tek.com.cn

泰克中国客户服务中心全国热线：400-820-5835

泰克科技(中国)有限公司

上海市浦东新区川桥路1227号
邮编：201206
电话：(86 21) 5031 2000
传真：(86 21) 5899 3156

泰克北京办事处

北京市朝阳区酒仙桥路6号院
电子城·国际电子总部二期
七号楼2层203单元
邮编：100015
电话：(86 10) 5795 0700
传真：(86 10) 6235 1236

泰克上海办事处

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

泰克深圳办事处

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

泰克成都办事处

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

泰克西安办事处

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

泰克武汉办事处

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

泰克香港办事处

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

更多宝贵资源，敬请登录：WWW.TEK.COM.CN

© 年泰克科技版权所有，侵权必究。泰克产品受到美国和其他国家已经签发及正在申请的专利保护。本资料中的信息代替此前出版的所有材料中的信息。本文中的技术数据和价格如有变更，恕不另行通告。TEKTRONIX 和 TEK 是泰克科技公司的注册商标。本文中提到的所有其他商号均为各自公司的服务标志、商标或注册商标。

10/19 EA 48C-61638-0

