USB2.0 一致性分析解决方案

USB2.0 一致性分析概述：

USB（通用串行总线 Universal Serial Bus）2.0 是成熟的外部连接规范，通过即插即用设计，避免用户拆装计算机板卡的复杂操作。该标准赋予设备操作简便、功能灵活、传输高效等优势。

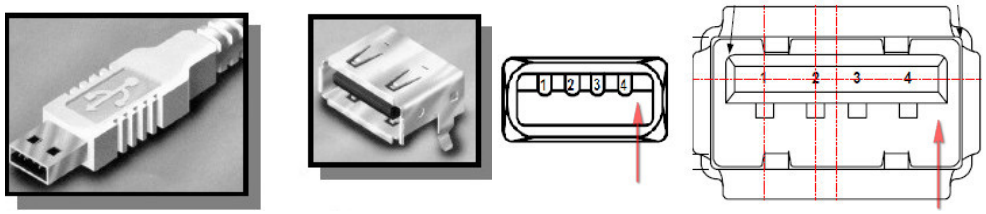
对于 USB2.0 设备设计人员而言，在设备进入市场之前，必须对其设计的 USB 方案进行严格评估，确保其完全符合行业标准要求。唯有通过严格的一致性测试，USB 设备制造商方可在产品包装上合法张贴“通过认证”的 USB-IF 徽标。在此过程中，利用专业分析工具执行一致性测试发挥着关键作用，尤其是针对低速、全速及高速设备和集线器的眼图分析及参数测试等核心测试项目。

本应用方案主要介绍：

- 认识 USB2.0
- USB2.0 一致性测试项目及规范解读
- 优利德支持的 USB2.0 一致性测试及方案
- USB2.0 一致性测试实例展示
- 订购信息

认识 USB2.0

USB2.0 包括三种不同的数据传输速率：低速、全速和高速。电缆系统由四根电线组成：V_{Bus}，D+，D-和接地。D+和 D-主要用于主机、集线器和设备之间的主要的信息载体，V_{Bus} 则为设备提供供电，可以自行供电，也可以从主机和集线器获得电源，最大消耗电流为 500mA。



USB-A 口 公头及母头

注：USB-OTG 接口有 5 条线，增加一条 ID 线用于标识。

USB2.0 速率规范：

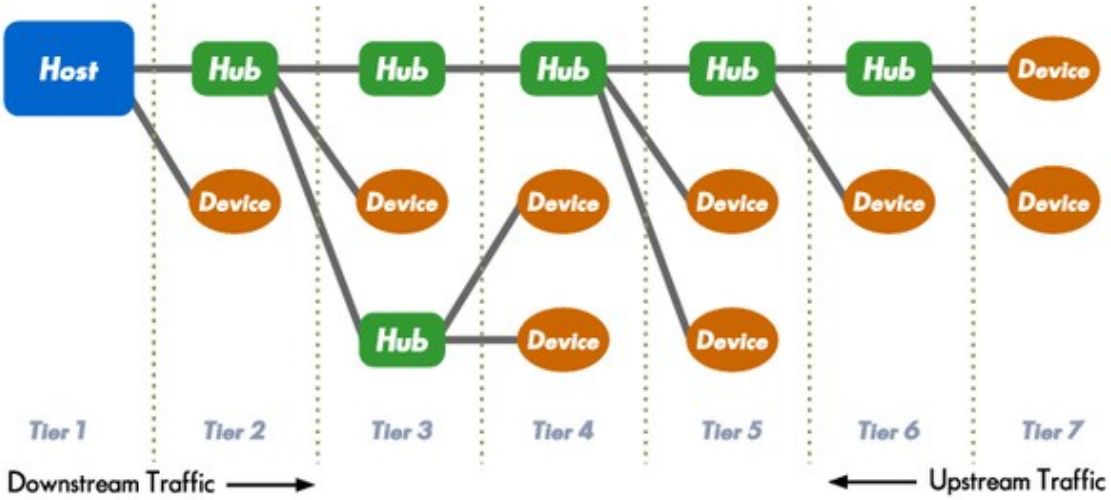
	数据速率	上升时间
低速（LS）	1.5Mbps	75ns~300ns
全速（FS）	12Mbps	4ns~20ns
高速（HS）	480Mbps	500ps

USB2.0 系统由主机（Host）、集线器（Hub）和设备（Device）组成。

- **主机（Host ）**:提供 USB 接口及接口管理能力的硬件、软件及固件的复合体，可以是 PC，也可以是 OTG 设备。USB 主机发送给 USB 设备的数据传输称为**下行通信，**USB 设备发送给 USB 主机的数据传输称为**上行通信。**
- **集线器（Hub）**:提供了一种低成本、低复杂度的 USB 接口扩展方法。HUB 的上行端口面向 HOST，下行端口面向设备（HUB 或功能设备）。在下行端口上，USB 提供了设备连接检测和设备移除检测的能力，并给各下行端口供电，HUB 可以单独使能下行端口，不同端口可以工作在不同的速度下（高速/全速/低速）。
- **功能设备（Device）**:USB 接口连接的各种设备。它可以是 U 盘、鼠标、键盘、打印机等等。

USB 拓扑结构：

USB 采用分层星型拓扑结构。根层是 USB 主机。所有设备都直接或通过集线器连接到主机。根据 USB 规范，USB 主机最多只能支持七层拓扑，内联最多 5 个集线器。



USB2.0 测试内容及规范

USB2.0 需对满足协会规范的 USB2.0 设备在高速/全速/低速下进行测试。USB2.0 电接口测试还包括信号质量测试、非信号质量（啁啾测试、包参数、接收机灵敏度）、以及相关电接口功率测试（浪涌电流及电压跌落和衰落）测试。本文仅讨论 USB2.0 信号质量和高速非信号质量测试部分。

信号质量测试包括：

- 眼图
- 包结束位宽
- 信号速率
- 边沿单调性
- 交叉点电压
- 连续抖动
- JK 配对抖动
- KJ 配对抖动
- 边沿上升速率
- 边沿下降速率
- 上升时间
- 下降时间

高速非信号质量测试包括：

- 啁啾时序测试
- 挂起测试
- 恢复测试
- 高速复位测试
- 挂起复位测试
- 包参数测试
- 无驱动电压测试
- SE0 电压测试
- 接收机灵敏度测试（后续支持）

功率测试：

- 浪涌电流测试（后续支持）
- 背板电压测试（后续支持）
- VBus 电压下跌（后续支持）
- VBus 电压压降（后续支持）

阻抗测试：（后续支持）

USB-IF

USB-IF 全称 USB Implementers Forum。USB-IF 组织的成立旨在推广通用串行总线技术并提供相应的技术规范，以促进高质量的 USB 外设(设备)的开发，使符合规范的产品顺利通过兼容性测试。一致性测试的相关标准皆有 USB-IF 协会制定并维护更新，USB2.0 一致性测试规范是成熟的协议测试规范，目前市场绝大多数 USB 产品皆采用该规范检验。 值得一提的是，不同行业对 USB 规范测试的要求不尽相同，如手机行业就仅针对浪涌电流，信号质量等进行检验。

USB-IF USB 2.0 Certification

Mandatory Test Matrix

USB Peripherals	Upstream									Function/Interface			
Category	Inrush	Back-voltage	LSSQ	FSSQ	HSSQ	Electrical Protocols	Receiver Sensitivity	BC v1.2 Check PET Test	Battery Charging v1.2	Gold-tree Interoperability	Avg Current Draw	USB20CV	USB30CV
Low-speed Peripheral	✓	✓	✓					✓	①	✓	✓	✓	✓
Full-speed Peripheral	✓	✓		✓				✓	①	✓	✓	✓	✓
High-speed Peripheral	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	①	✓	✓	✓	✓
SuperSpeed Peripheral	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	①	✓	✓	✓	✓

USB Hubs	Upstream								Downstream								Function/Interface			
Category	Inrush	Back-voltage	FSSQ Upstream	HSSQ Upstream	Electrical Protocols	Receiver Sensitivity	BC v1.2 Check PET Test	Battery Charging v1.2	LSSQ Downstream	FSSQ Downstream	HSSQ Downstream	Drop	Droop	USBHTT	BC v1.2 Check PET Test	Battery Charging v1.2	Gold-tree Interoperability	Avg Current Draw	USB20CV	USB30CV
High-speed Hub	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	①	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	①	✓	✓	✓	✓
Full-speed Hub (prohibited)																				

Compound USB Devices	Upstream								Each Exposed Downstream Port								Function/Interface			
Category	Inrush	Back-voltage	FSSQ Upstream	HSSQ Upstream	Electrical Protocols	Receiver Sensitivity	BC v1.2 Check PET Test	Battery Charging v1.2	LSSQ Downstream	FSSQ Downstream	HSSQ Downstream	Drop	Droop	USBHTT	BC v1.2 Check PET Test	Battery Charging v1.2	Gold-tree Interoperability	Avg Current Draw	USB20CV	USB30CV
High-speed Hub	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	①	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	①	✓	✓	✓	✓
Full-speed Hub	✓	✓	✓		✓	✓	✓	①	✓	✓		✓	✓		✓	①	✓	✓	✓	✓

Systems (standard hosts)	Each Exposed Downstream Port							
Category	Gold-tree Interoperability	Drop	Droop	LSSQ Downstream	FSSQ Downstream	HSSQ Downstream	Electrical Protocols	BC v1.2 Check PET Test	Battery Charging v1.2
High-speed host	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	①
Full-speed host (prohibited)									

USB-IF 针对不同 USB2.0 设备进行规范的测试矩阵

优利德 USB2.0 一致性测试及方案

USB-IF 协会要求进行 USB2.0 一致性测试需要测试仪器及测试设备具有足够的配置，其中要求：

- 示波器：带宽：≥2GHz，采样率：≥5GSa/s

【为捕获边沿速率 500ps 信息，在边沿上至少需要 10 个采样点，以及系统上升时间应控制在 180ps 以内，采样率最低应为 10GSa/s，误差百分比将＜10%，在执行高速测试的边沿单调性能检验时至关重要，**在后一节推荐示波器中请注意】**

- 有源单端探头：带宽：≥1.5GHz
- 有源差分探头：带宽：≥1.5GHz
- 测试软件：执行自动化测试的一致性分析软件
- 测试夹具：符合协会规范的 USB 测试夹具
- 发包软件：协会提供的发包软件【HSETT】或【XHSETT】，可在协会官方网站：www.usb.org 下载

优利德 USB 一致性分析方案现可覆盖 USB 高速/全速/低速信号质量和高速信号测试，如果用户想要执行 USB 电接口功率测试以及额外的接收机灵敏度以及系统阻抗测试时，还需额外配置**信号源、电流探头**以及 **TDR 或网络分析仪**等仪器，在此不做讨论。

推荐示波器

优利德高带宽示波器为 USB 一致性分析的测试做好准备，其优越的性能及快速指令响应速度将您的一致性分析测试缩短至十几分钟之内。其中 MSO8000HD/HDP 全系列搭载 12bit ADC，高速的 20GSa/s 采样让您看到更真实的 USB 信号，8GHz 超高带宽将使您测试时不丢失任何信号幅度，凭借其优良的信号完整性，50mV/div 满带宽下底噪低至 800μV，超过 7 位的 ENOB 和精密的 150ps 固有抖动都将使您的一致性测试更具信心。

MSO7204X 也将作为用户测试的低成本方案，将搭载于 USB2.0 一致性分析解决方案中。



MSO8000HDP | 8GHz/CH | 20GSa/s/CH



MSO8000HD | 8GHz | 20GSa/s

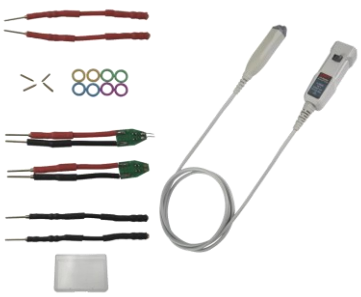
推荐有源探头：

探头是执行各种 USB2.0 一致性测试的测量系统的关键组件。优利德提供有源单端探头（UT-PA2000）和有源差分探头（UT-PA1500、UT-PA2500），可以接入带有精细间隙、难以接入元件的高密度电路板，同时保持最大的信号保真度。

UT-PD4000 | 4GHz | 88ps

UT-PD2500 | 2.5GHz | 150ps

UT-PD1500 | 1.5GHz | 245ps



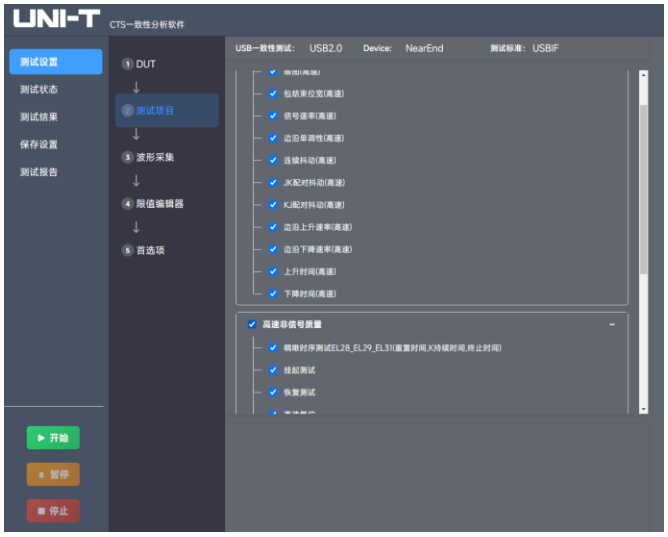
UT-PA2000 | 2GHz | 175ps



测试软件：

CTS-USB20 是优利德推出的 USB2.0 一致性分析软件，通过脚本语言自动化执行全部的一致性测试内容，有效地将用户手动执行一致性测试的时间大大缩短至十几分钟以内，软件具备自动判定、自定义编辑、自动报告生成，仅需简单设置即可在十几分钟内完成一致性分析并生成完整报告，减少用户干预。

- 允许用户执行的单项或多项测试；
- 高度优化的直观用户界面，用户可视化的示波器和被测试连接流程，迅速配置测试，验证电气性能；
- 全自动化示波器测试流程，为每个测试项目自动设置示波器软件；
- 详细的测试报告带有结果、通过/失败信息、测试裕量和测试波形图像；
- 配置测试参数和迹线，进行调试和表征；
- 允许进行的多轮测试，验证分析测试结果；





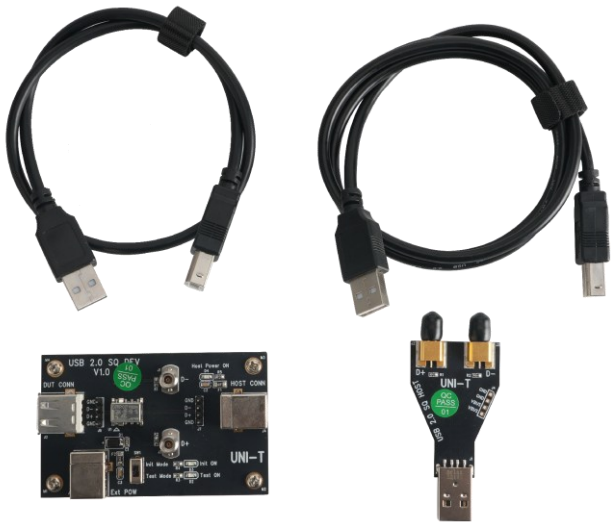
UNI-T USB2.0 Compliance Test Report

Overall Information	
DUT ID	DUT_1
Overall Test Result	Pass
Start Time	2025-06-27 17:20:21.000
Excute Time	00:16:39.026
Acquisition Mode	Live
Suite	Device

Test Result Summary	
Eye Diagram	Pass
Consecutive Jitter	Pass
Paired JK Jitter	Pass
Paired KJ Jitter	Pass
EOP Width	Pass
Signalling Rate	Pass
Edge Monotonicity	Pass
Rise Time	Pass
Fall Time	Pass
Rising Edge Rate	Pass
Falling Edge Rate	Pass
EL28_EL29_EL31(Reset time, K Duration, Termination Time)	Pass
Suspend	Pass
Resume	Pass
Reset From HS	Pass
Reset From Suspend	Pass
EL21_EL22_EL25(SYNC Bit, Inter Packet Gap, EOP Width)	Skipped
EL22(Inter Packet Gap)	Skipped
Undriven J Voltage	Pass
Undriven K Voltage	Pass
Undriven SE0_NAK Voltage	Pass

测试夹具：

USB2.0 测试夹具分为 HOST 测试夹具（右下角）和 Device 测试夹具（左下角）和通信 USB2.0 cable（10cm）和供电 USB2.0 Cable（20cm）组成，该夹具可覆盖完成全部高速/全速/低速信号质量测试和除接收机灵敏度外的全部高速非信号质量测试内容。此套夹具不支持功率测试、阻抗测试。



UT-USB20-SQ-HD

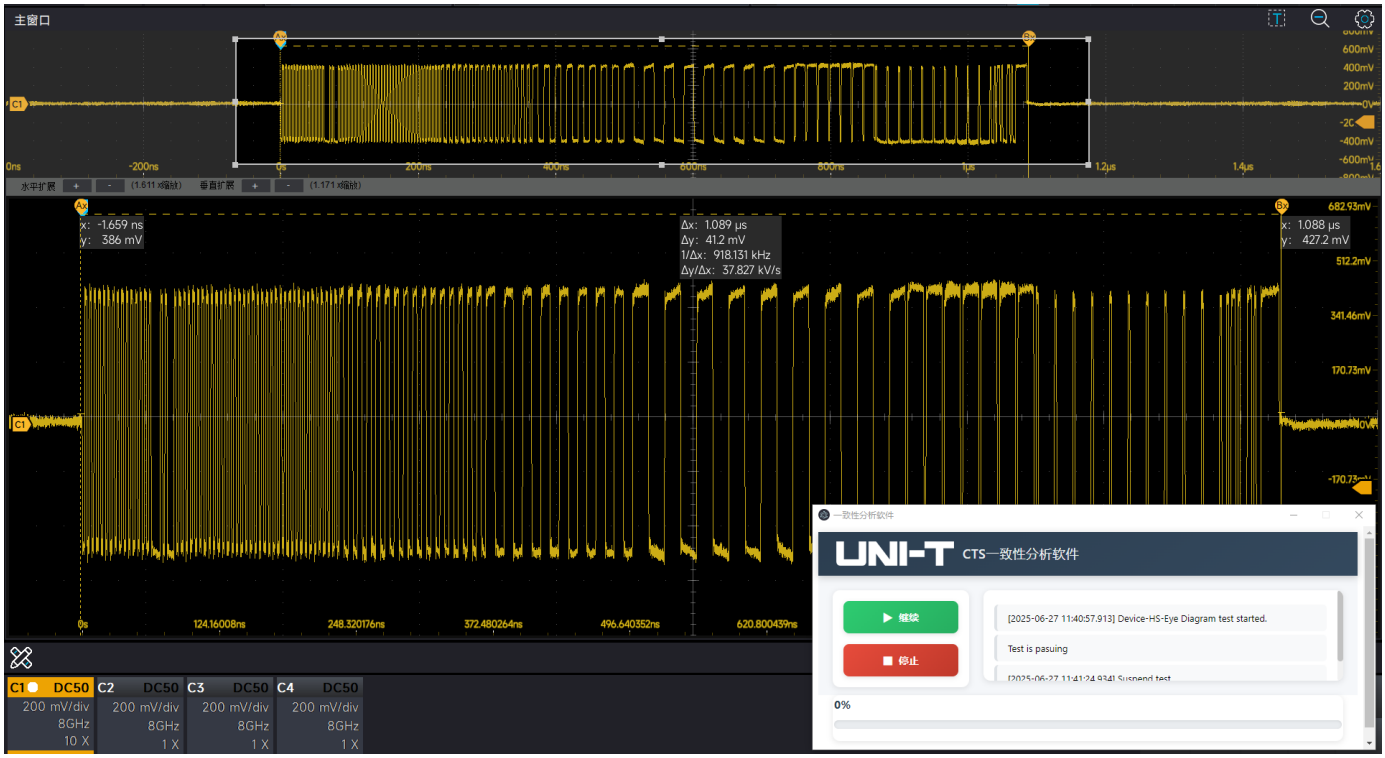
USB2.0 一致性测试实例

MSO8000HD-CTSUSB20 一致性分析软件全面实现信号质量测试过程自动化，允许设计人员快捷简便地执行测试。仅需为特定信号速率(低速、全速或高速)选择要执行的测量，然后根据提示链接框图配置测试连接，测试软件消除了麻烦耗时的手动示波器设置、光标放置及与 USB2.0 规范比较测试结果的过程。



信号质量测试

信号质量测试要针对上行数据和下行数据进行，在上行测试中，会捕获并分析从设备传输到主机的信号。下行测试则刚好相反，捕获从主机传输到设备或终端集线器的信号。下图展示使用 USB 测试软件在 MSO8000HD 上捕获了一个下行数据包。



利用协会标准发包软件发出的 Test Packet 码型，用于高速 Device 信号质量测试

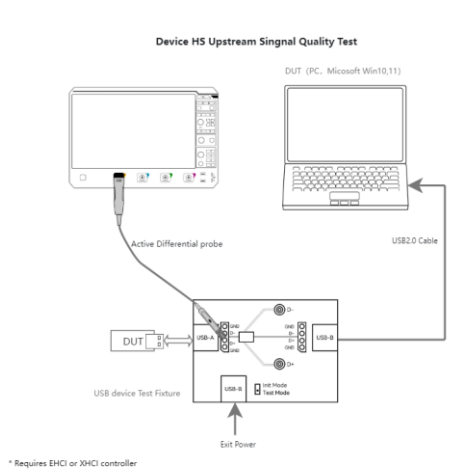
高速信号质量

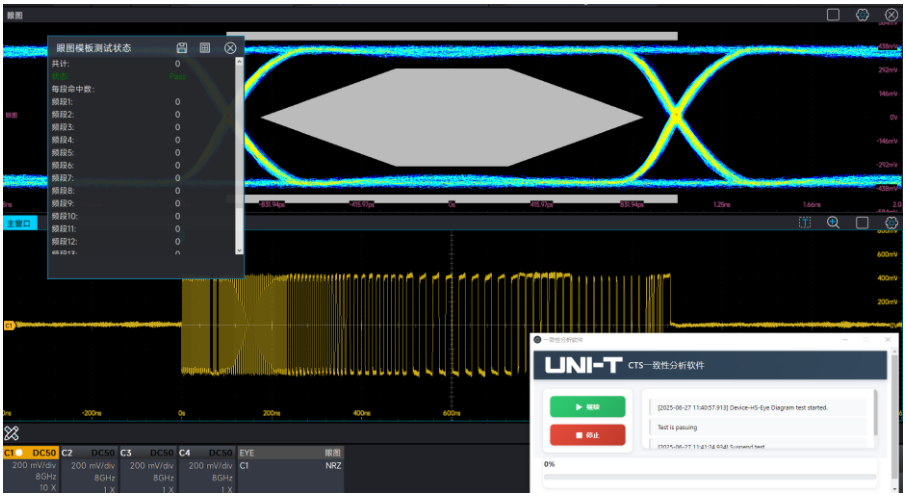
USB2.0 高速信号质量测试旨在信号上行/下行速率达到 480Mbps 时对信号质量的评估，在 HOST、Device 和 HUB 都需要进行，其中包括眼图及眼图模版测试、包结束位宽检验、信号速率检验、边沿单调性、交叉点电压测试、连续抖动和 J-K/K-J 对抖动以及边沿上升/下降速率，上升/下降时间测试等一系列测试项目。

眼图

高速眼图测试是 USB2.0 高速部分中最重要的测试，可以展示绝大部分的信号完整性，对抖动、上升速度等等都可以进行判断。因此这种测试需要多进行几次，以确保结果的准确性。眼图测试结果必须通过。

测试方法：在高速上行/下行传输中通过标准测试夹具模拟接收端和发送端信号情况，由协会统一发包软件发出特定码型【Test Packet】，通过差分探头（≥1.5GHz）探头测试点（近端/远端），再通过示波器眼图及模版测试判定是否达标。针对近端/远端的信号质量，协会预留了 Template1~Template5 共五个模版用于判定 USB 芯片 Tx 端到系统级的判断。

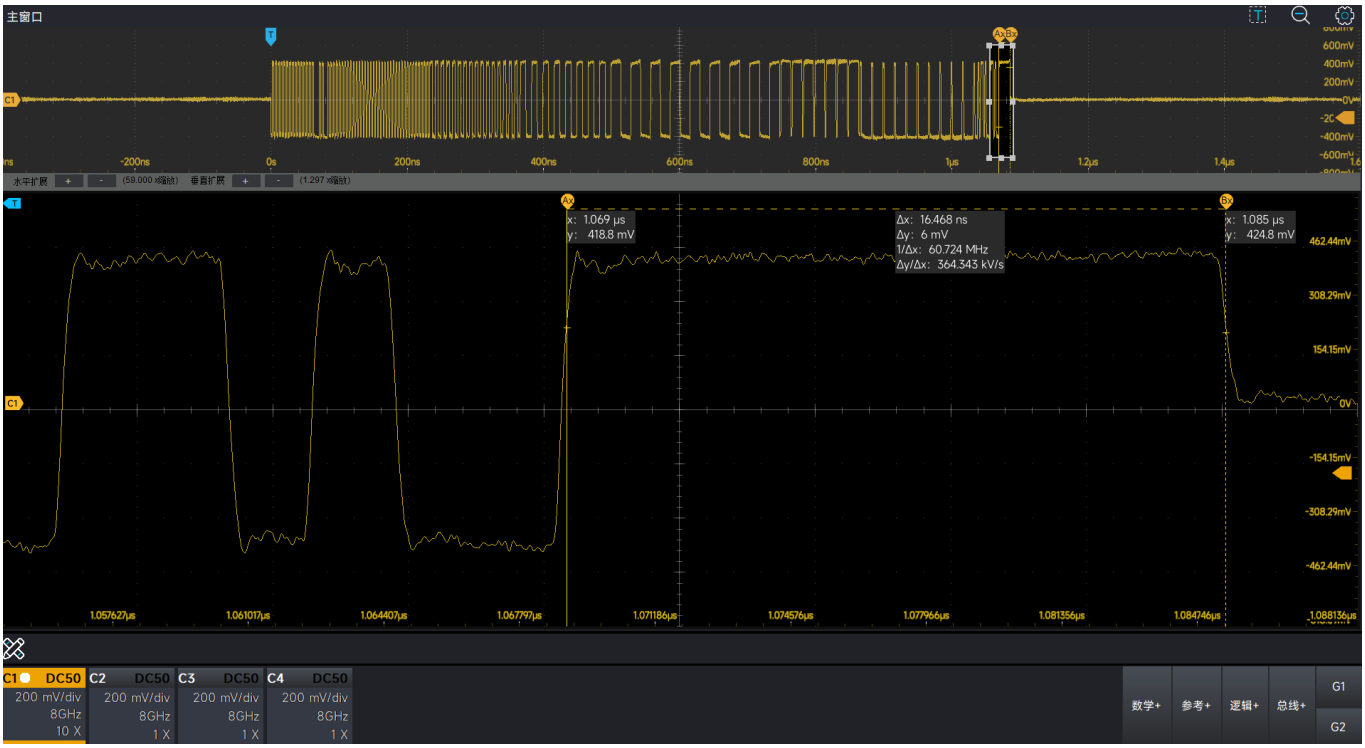




眼图模版测试及示意图

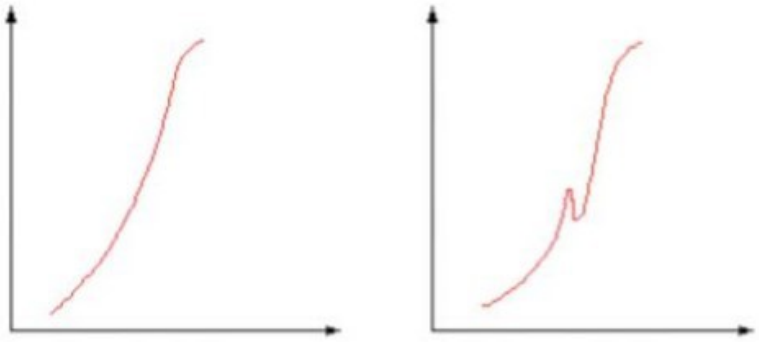
包结束位宽

USB2.0 高速协议包结束位宽要求在 7.5bit~8.5bit 之间，即 15.62ns~17.70ns 之间。



边沿单调性

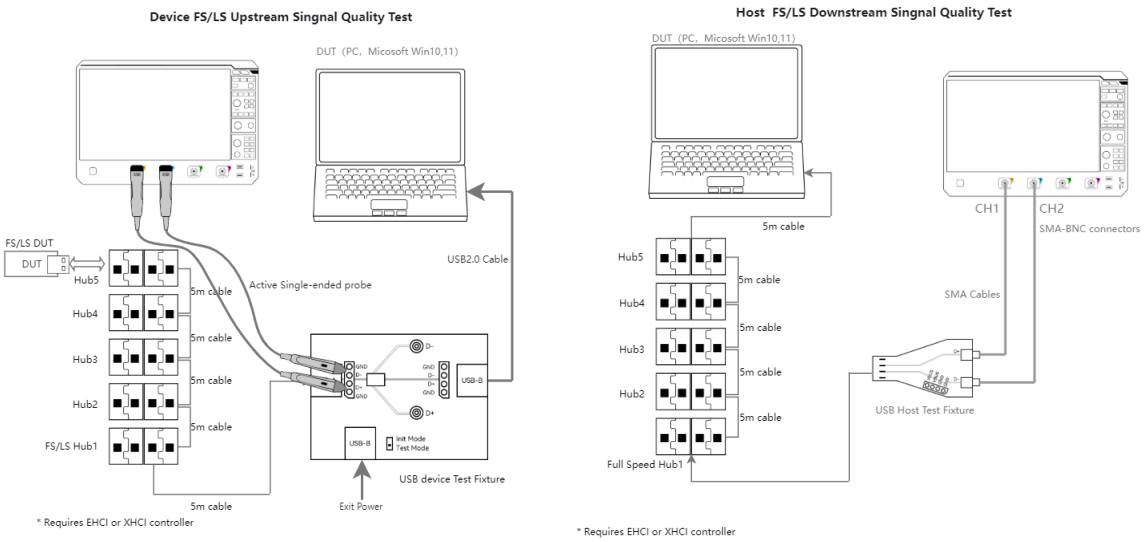
边沿单调性需要在整个上行/下行数据包的每个边沿进行，在此项测试以及边沿的上升时间/下降时间，边沿上升/下降速率测试时中需要特别注意，为捕获 500ps 的边沿信息，在边沿上至少需要 10 个采样点，以及系统上升时间应控制在 180ps 以内，采样率最低应为 10GSa/s，误差百分比应控制在＜10%才是准确的测试。



单调信号　　非单调信号

全速/低速信号质量

一旦需要 USB 全速/低速测试，还必须在软件中设置其他条件。对于信号质量测试，这些额外条件包括层级以及近端/远端。层级是指设备与主机之间的距离。如果设备直接连接到主机，层级为 1。如果设备与主机之间隔 3 个集线器，层级则为 4。一致性要求低速/全速测试要求至少在层级为 6 的条件下进行测试；



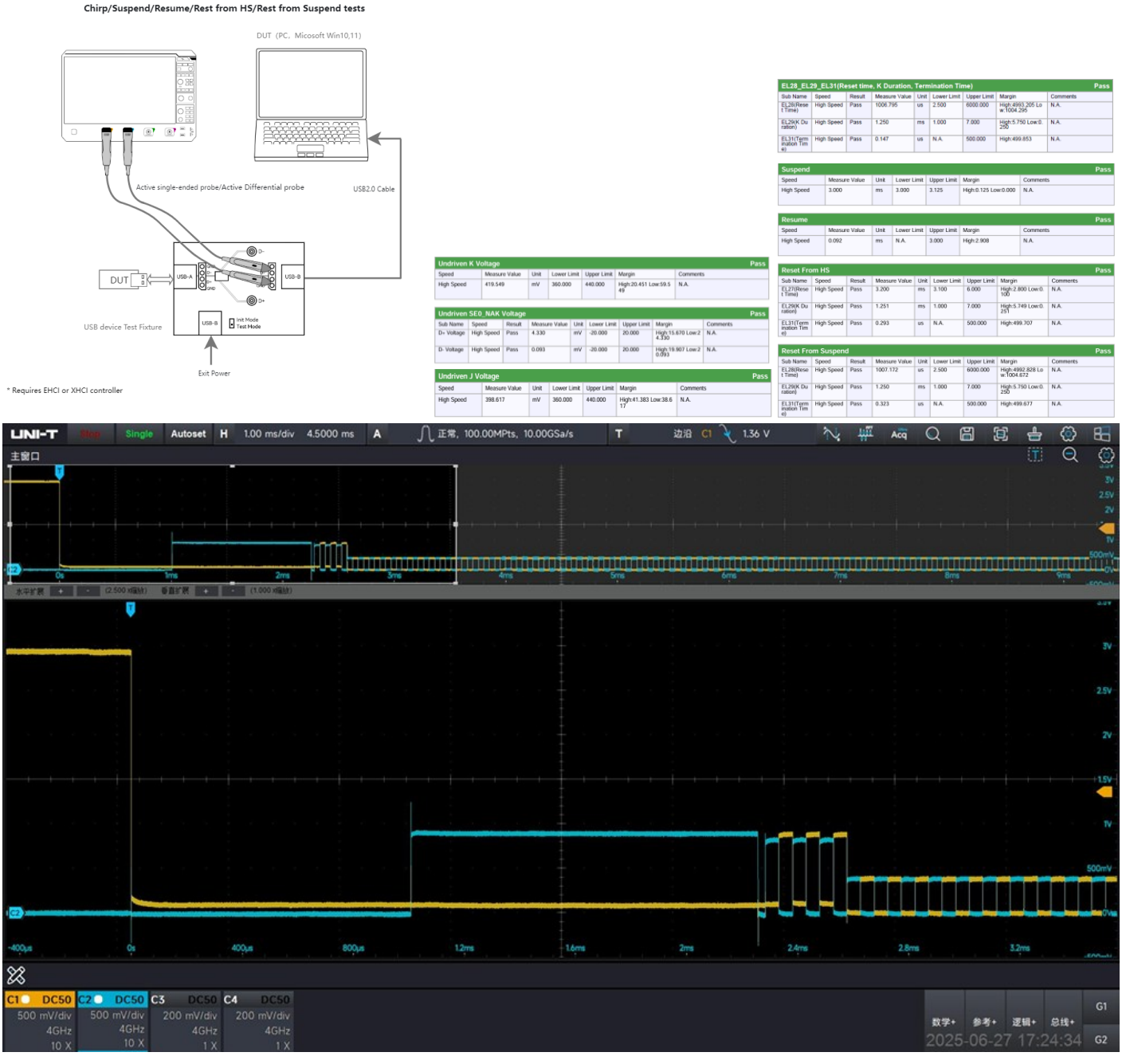
低速/全速信号质量测试需要层级在 6 情况下进行，需要外接 5 个低速/全速 Hub，并每一层之间相距 5m

高速非信号质量测试

啁啾（Chirp）测试

啁啾（Chirp）测试是针对主机和设备之间进行高速协商过程中的测试，用于识别高速设备。当协商不成功，设备将会返回全速状态（12Mbits）。CHIRP 考察速度检测协议期间上行端口和下行端口的基本定时和电压。对于 HUB，必须同时在上行端口和下行端口上执行 CHIRP 测试。

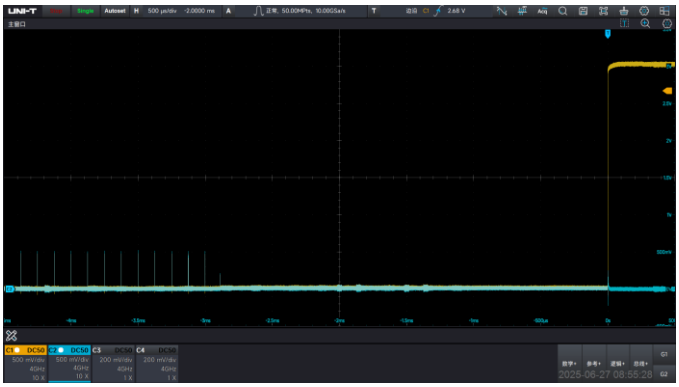
设备热插拔到端口，并立即枚举以捕获 CHIRP 握手。在握手中，测量 CHIRP-K 持续时间，以验证它是否在 1.0ms 和 7.0 毫秒允许的延迟范围内。在 CHIRP K-J、K-J、K-J 序列之后，该器件通过打开其高速终端来响应。振幅从 800mV 标称值下降到 400mV 标称值。必须测量 CHIRP K-J、K-J、K-J 序列中最后一个 J 开始与器件开启启动高速终止之间的时间，以验证其是否小于或等于 500μs。除了测量 CHIRP 中最后一个 J 与高速终止开始之间的时间外，CHIRP 测试还测量器件的挂起/恢复/复位时序以及 K 和 J 幅度。



啁啾时序测试，上行端口针对 EL28_EL29_EL31(重置时间，K 持续时间以及终止时间)时序进行测试分析

挂起、恢复、高速复位、挂起复位测试

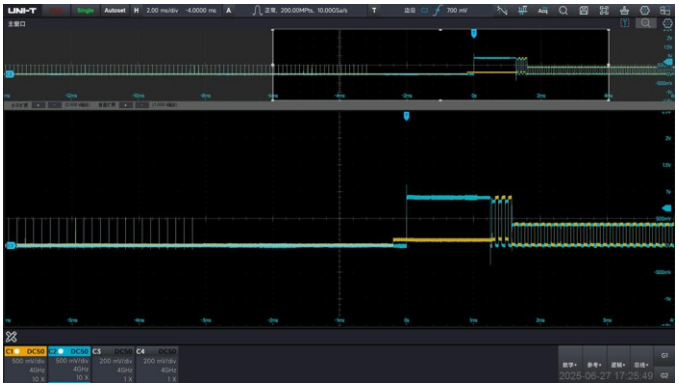
挂起和复位等测试主要针对设备、HUB 以及 Windows 主机，使用 XHSETT 软件进入测试模式，而嵌入式设备通常不考虑，加入支持复位和恢复，则使用 PIDVID 软件进入测试模式。



挂起（Suspend）



恢复（Resume）



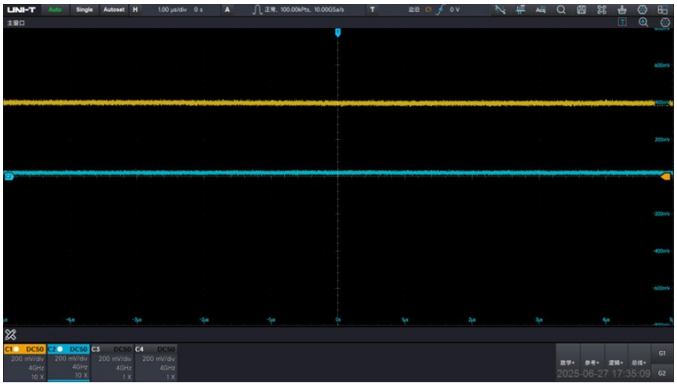
高速复位（Reset From HS）

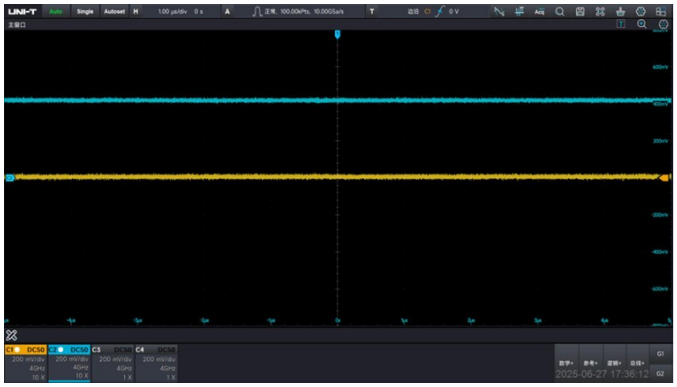


挂起复位（Reset From Suspend）

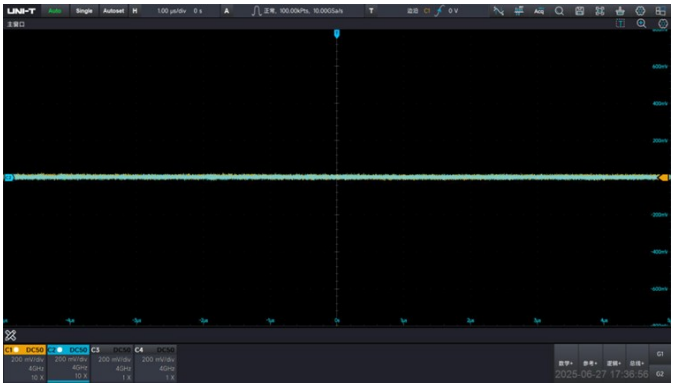
无驱动 K 电压、无驱动 J 电压、SE0 电压

该项测试用于保证数据线不传输数据时电平的稳定，对于所有类型的端口都需要测试。





无驱动 J/K 电压需满足在 400mV±10%之间



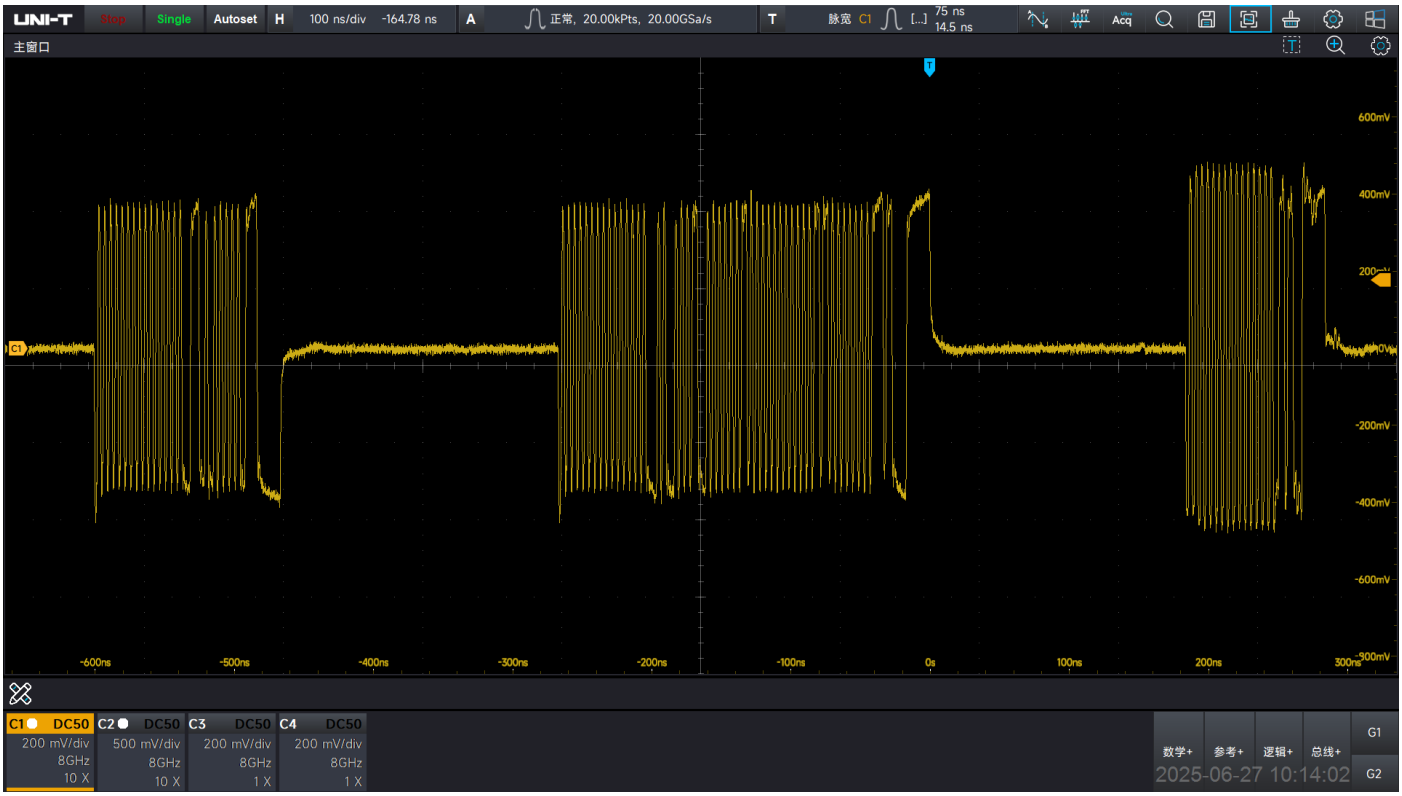
SE0_NAK 电压需在 D+和 D-线上进行，且电压范围不得超过-20mV~20mV

包参数测试

包参数测试主要观察上行和下行信令的几个重要数据包特性，包括同步位，数据包间隔以及包结束位宽，Host 测试时，使用【XHSETT】进入测试模式“SINGLE_STEP_SET_FEATURE”，Device 测试时，进入测试模式“SINGLE STEP_GET_DEV_DESC”。之后通过示波器捕获第三份数据包，测量 32 位的 SYNC 以及 8 位 EOP。

测试 EOP、SYNC 信号中数据包的持续时间、包数据之间的延时差：

- Data Packet Sync Bit Count: x ≥32 bits
- Data Packet EOP Bit Count: x ≥8 bits
- Host/Host Interpacket Delay: 88 bits times≤x≤192 bits
- Device/Host Inter-packet Delay: 8 bits times≤x≤192bits
- SOF EOP Bit Count: x ≥40 bits



包参数测试需要同时捕获到 SYNC、Inter Packet Gap、EOP 三个包参数，并分析其同步位，数据包的间隔和 EOP 位宽

订购信息

优利德推出的 USB2.0 一致性分析方案具备高度自动化的测试控制流程，以直观的 UI 界面引导用户完成各项设置和操作，生成测试报告。您可以根据自己所需的测试场景配置您的测试方案。

第一步，先选择示波器，支持 USB2.0 一致性分析的示波器：

UPO71304	13GHz，40GSa/s（每通道），4Gpts
UPO71304	10GHz，40GSa/s（每通道），4Gpts
MSO8804HDP	8GHz，20GSa/s（每通道），4Gpts
MSO8604HDP	6GHz，20GSa/s（每通道），4Gpts
MSO8804HD	8GHz，20GSa/s，2Gpts
MSO8504HD	5GHz，20GSa/s，2Gpts
MSO7308HD	3GHz，10GSa/s，1Gpts，8CH
MSO7208HD	2GHz，10GSa/s，1Gpts，8CH
MSO7204X	2GHz，10GSa/s，1Gpts
MSO6204HDP	2GHz，10GSa/s，1Gpts

第二步，选择 USB2.0 分析软件；

JITTER	抖动分析和眼图选件
CTSUSB20	USB2.0 一致性分析软件（需选择抖动分析和眼图选件）

第三步，选择 100BASE-Tx 测试夹具

UT-USB20-SQ-HD	支持 USB2.0 Host/Device/Hub 测试的一致性分析夹具

第四步，选择用于测试的示波器探头，推荐

UT-PD4000	4GHz 有源差分探头
UT-PD2500	2.5GHz 有源差分探头
UT-PA2000	2GHz 有源单端探头（需要 2 根）

第五步，需用户自配置的设备

经过认证的自供电的高速 HUB×4，用于全速/低速测试
经过认证的自供电的全速/低速 HUB×1，用于全速/低速测试
5m 长 USB 线缆×6，用于全速/低速测试
1m 长 USB 线缆（数量视测试项目而定），用于高速/全速/低速测试
经过认证的低速设备（如鼠标）×1
经过认证的全速设备×1
经过认证的高速设备（如 U 盘）×1
笔记本电脑（带触摸屏），用于安装【HSETT】或【XHSETT】
注：若无笔记本电脑，台式电脑可替代，但需要支持 PS/2 鼠标或使用触摸板，测试过程中请勿重启电脑。

关于软件发包操作请参考《USB2.0 一致性分析用户手册》