



RIGOL

RIGOL (普源精电)

关于 USB2.0 一致性分析 测试方案

应用指南

发布日期 2022 年 5 月

RIGOL TECHNOLOGIES CO., LTD.



前言

版权

© 2022 普源精电科技股份有限公司

商标信息

RIGOL 是普源精电科技股份有限公司的注册商标。

声明

- 本公司产品受中国及其它国家和地区的专利（包括已取得的和正在申请的专利）保护。
- 本公司保留改变规格及价格的权利。
- 本手册提供的信息取代以往出版的所有资料。
- 本手册提供的信息如有变更，恕不另行通知。
- 对于本手册可能包含的错误，或因手册所提供的信息及演绎的功能，以及因使用本手册而导致的任何偶然或继发的损失，**RIGOL** 概不负责。
- 未经 **RIGOL** 事先书面许可，不得影印、复制或改编本手册的任何部分。

产品认证

RIGOL 认证本产品符合中国国家产品标准和行业产品标准及 ISO9001:2015 标准和 ISO14001:2015 标准，并进一步认证本产品符合其它国际标准组织成员的相关标准。

联系我们

如您在使用此产品或本手册的过程中有任何问题或需求，可与 **RIGOL** 联系：

电子邮箱：service@**RIGOL**.com

网址：www.**RIGOL**.com



本应用指南

- 简要介绍 USB2.0 信号。
- 介绍了 USB2.0 信号质量测试。
- 说明了 USB2.0 信号质量测试仪器要求。
- 介绍选择 USB2.0 信号质量测试工具。

完成全文阅读，大概需要 10 分钟时间。

简介

USB (Universal Serial Bus, 通用串行总线) 是一种接口技术, 用于规范计算机系统与外部设备的连接和通信。自 1995 年推出以来, USB 以其高速、便捷、可扩展等特点, 逐渐取代传统的串口和并口, 被广泛地应用在各类外部设备, 受到消费者的青睐。

然而, 这也给 USB 设备制造商带来了一定的挑战。为了保证 USB 接口产品的合规性及一致性, “所有寻求在其产品上使用 USB-IF 徽标的公司都必须在 USB-IF 存档一份有效的 USB-IF 商标许可协议, 并且**产品必须经过认证**”。为满足负责产品设计、检测和验证的工程师对于快速检定 USB 设备的需求, **RIGOL** 提供了完备的 USB2.0 信号质量测试方案, 设计工程师可以通过 **RIGOL** 提供的设备配合软件及测试夹具来完成 USB2.0 信号质量一致性测试。

本测试方案将介绍 USB2.0 的信号质量一致性测试内容以及测试方法, 并讨论每种测试项对于测试设备的要求。

1. USB2.0 信号基础介绍

USB2.0 采用 4 线系统: V_{BUS} , D+, D- 和 GND。D+ 和 D- 是一个差分信号对, 作为主机、集线器和设备之间通信的主要载体。

USB 2.0 取代并合并了定义低速 (LS) 和全速 (FS) 数据传输的 USB 1.1 规范, 并新增了高速 (HS) 数据传输。USB2.0 向下兼容 USB1.1 和 USB1.0, 它有三种速率模式, 如下表所示:

表格 1 USB2.0 信号速率标准

	Data Rate	Rise Time
Low Speed (LS)	1.5 Mbps	75~300ns
Full Speed (FS)	12 Mbps	4~20ns
High Speed (HS)	480 Mbps	约 500ps

USB2.0 的电接口测试包含了信号质量、浪涌电流及下跌和衰落测试。本文主要介绍的是信号质量测试。

2. 信号质量测试

信号质量测试是一整套基础电气功能测试，是检验设备满足标准、获得 USB 认证标志的关键。USB2.0 信号质量测试用到的主要工具是数字示波器，在测试过程中，还需搭配合规的探头、线缆以及测试夹具，具体的测试设备要求将在后文中进行详细说明。

USB-IF 在 USB2.0 标准中对于每个测试项的内容及合规范围都有明确的规定，并给出了手动测试的方法。但是手动进行测试配置、验证并汇总结果报告会提高重复性工作量，降低效率。

RIGOL USB2.0 一致性测试软件将测试过程自动化，方便工程师高效准确地进行一致性测试。图 1 即为在 **RIGOL** DS70000 系列数字示波器上运行的 USB2.0 一致性测试软件。



图 1 **RIGOL** DS70000 USB2.0 一致性测试软件

信号质量测试项包括：

- 同步域测量 (SYNC)
- 边沿单调性测试
- JK 对抖动测试
- 结束域 (EOP) 位宽
- 上升时间/速率
- KJ 对抖动测试
- 信号速率
- 下降时间/速率
- 眼图测试

2.1. 同步域测量 (SYNC)

SYNC 是 Synchronized 的缩写，即同步。对于 USB 协议来说，所有的包都开始于同步域，同步域的作用是做本地时钟和对端时钟的同步。USB2.0 总线中用的是很简单的时钟恢复机制，使用 SYNC 包实现高速对端和本地时钟的同步。用于高速传输的 SYNC 码型要求是 15 个 KJ 对信号后接 2 个 K 信号，一共 32bits 信号。简单来说，USB2.0 高速信号的 SYNC 要求是 32bit。

2.2. 结束域 (EOP) 位宽

对于 USB 协议来说，所有的包都以结束域 EOP(End-of-Packet)结束。结束域位宽用 bit 时间定义，对于起始帧包 (SOF) 的结束域 (EOP) 的位宽，要求在 39.5bits 和 40.5bits 之间，对于非起始帧包 (SOF) 的结束域 (EOP) 的位宽，要求在 7.5bits 和 8.5bits 之间。

2.3. 信号速率

高速数据速率 (THSDRAT) 标称 480.00 Mb/s，传输时所需的数据速率精度为 480.00 Mb/s \pm 0.05% (500 ppm)。全速数据速率(TFDRATE)标称 12.000 Mb/s，传输时所需的数据速率为 12.000 Mb/s \pm 0.25% (2,500 ppm)。低速数据速率(TLDRATE)标称 1.50 Mb/s，传输时所需的数据速率为 1.50 Mb/s \pm 1.5% (15,000 ppm)。

2.4. 边沿单调测量

高速数据转换要求在眼图模板中指定的最小垂直开口上是单调的，所以在 USB2.0 高速一致性测试中，开发人员需要验证被测信号的单调性。单调性验证发送的信号幅度应该平滑提高或下降而没有反方向偏差。单调信号与非单调信号的示意图如图 2：

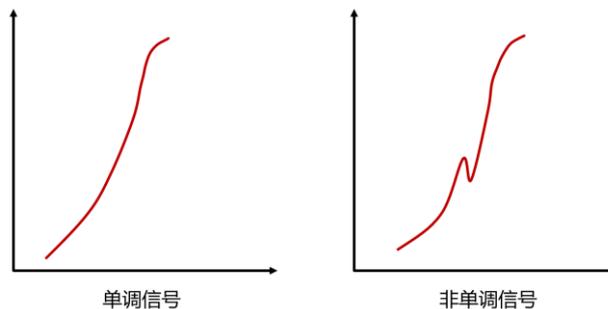


图 2 单调和非单调 USB2.0 高速信号示意图

2.5. 上升时间/速率、下降时间/速率

对于低速和全速信号，上升时间和下降时间指的是从信号幅度的 10% 上升到 90% 的所需的时间（如图 3），该要求适用于差分信号的转换以及差分信号和单端信号之间的转换。对于高速信号，边沿上升、下降时间需 $\geq 500\text{ps}$ ，上升、下降速率需 $\leq 1600\text{ V}/\mu\text{s}$ 。

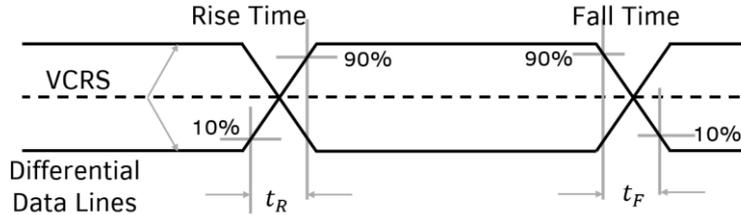


图 3 上升时间和下降时间

2.6. 抖动测试

USB2.0 高速抖动测试结果包含在眼图测试的结果中，抖动包含连续抖动，JK 配对抖动，KJ 配对抖动，抖动测试的主要项目及标准如下：

表格 2 USB2.0 高速抖动测试的主要项目及标准

USB2.0 高速抖动测量项	标准范围
consecutive Jitter & RMS Jitter 连续抖动范围	$-100\text{ ps} \leq X \leq 100\text{ ps}$
Paired JK Jitter & RMS Jitter JK 配对抖动范围	$-100\text{ ps} \leq X \leq 100\text{ ps}$
Paired KJ Jitter & RMS Jitter KJ 配对抖动范围	$-100\text{ ps} \leq X \leq 100\text{ ps}$

2.7. 眼图测试

USB2.0 信号的眼图测试结果需要符合 USB-IF 协会提供的标准眼图模板，在 USB2.0 的一致性测试中，眼图测试结果是重要的参考项，**RIGOL** 提供的 USB2.0 一致性测试解决方案中包含了 USB2.0 的眼图模板，可以实现自动眼图绘制并与标准眼图模板进行对比，直接给出眼图测试结果。

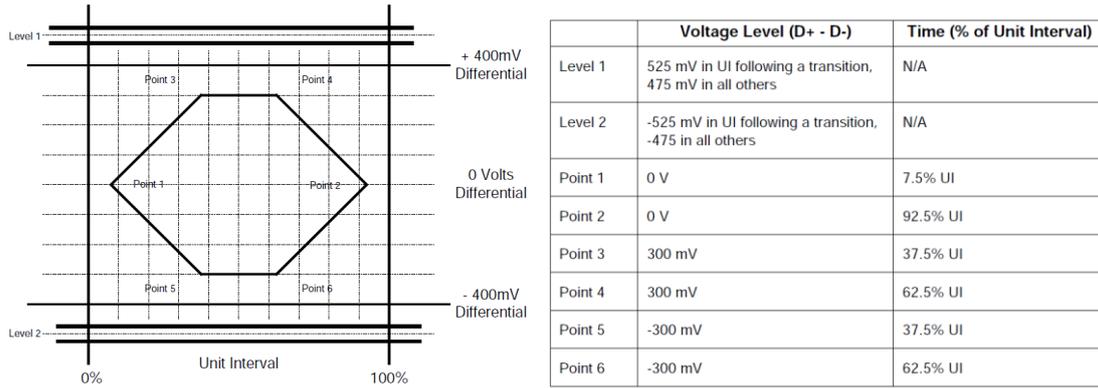


图 4 在 TP2 处测量的集线器和在 TP3 处测量的设备（无固定电缆）的传输波形要求

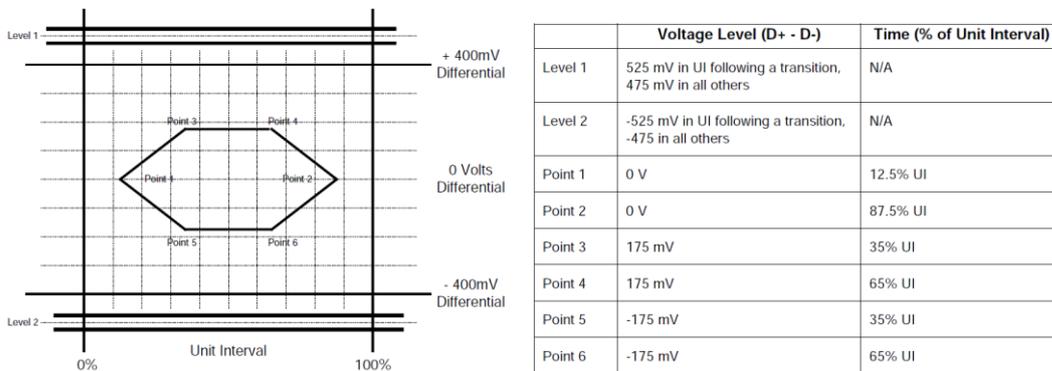


图 5 在 TP2 处测量的设备（带有固定电缆）的传输波形要求

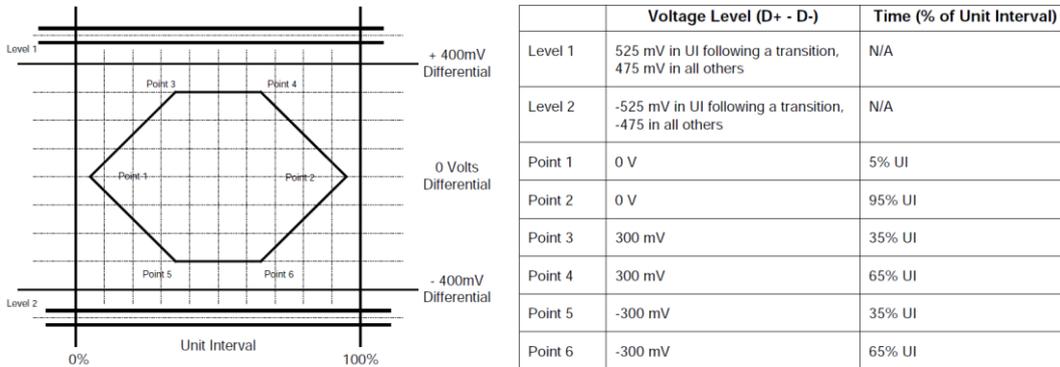


图 6 在 TP1 测量的集线器收发器和在 TP4 测量的设备收发器的传输波形要求

2.8. USB2.0 信号质量测试实际结果展示

DS70000 的 USB2.0 一致性测试分析截图如图 7 所示。图 7 显示的是 USB2.0 一致性分析的结果，包含了信号质量分析的各个测试项，各个测试项对应的合规指标范围以及实测的值，通过对比将测试结果显示在最后一列，本次测试的是一个完好的 USB2.0 U 盘，所以各个测试项均满足标准，显示结果为 Passes，否则会显示 Failure。

USB2.0 Far End Test Results (Ref: USB Specification Revision 2.0)					
Test Information	Report Time: 2021-11-04 11:04:34				
	1.0.0.0				
Measure	Item	Measured Value	Minimum	Maximum	Result
	SYNC	32 bits	32 bits	32 bits	Passes
	EOP Width	7.749 bits	7.5 bits	8.5 bits	Passes
	Signal Rate	480.134 Mb/s	479.76 Mb/s	480.24 Mb/s	Passes
	Edge Monotonicity	0 mV	0 mV	50 mV	Passes
	Rise Edge Time	726.14 ps	500 ps	NA	Passes
	Fall Edge Time	736.46 ps	500 ps	NA	Passes
	Rise Edge Rate	1029.88 V/us	NA	1600 V/us	Passes
	Fall Edge Rate	1015.45 V/us	NA	1600 V/us	Passes
	Consecutive Jitter	Range: -61 ps to 48 ps; RMS jitter: 29.09 ps	-100 ps	100 ps	Passes
	Paired JK Jitter	Range: -35 ps to 36 ps; RMS jitter: 16.98 ps	-100 ps	100 ps	Passes
	Paired KJ Jitter	Range: -37 ps to 36 ps; RMS jitter: 21.86 ps	-100 ps	100 ps	Passes
	Signal Eye	0 data points violate eye	0	0	Passes

图 7 DS70000 USB2.0 一致性测试结果报告

USB2.0 一致性分析软件在分析信号质量时通过对接口所发出的标准信号（通过 USB-IF 协会推荐的 USB 接口控制软件 XHCI HSETT 进行发包），如图 8 所示，这一帧波形即为分析的波形，图 9 中的眼图模型也是用这一帧中的波形进行叠加后的结果。

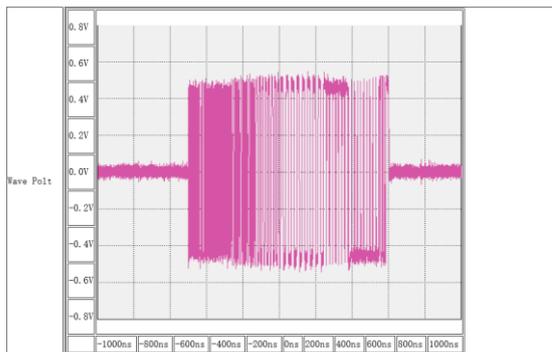


图 8 用于一致性分析截取的信号

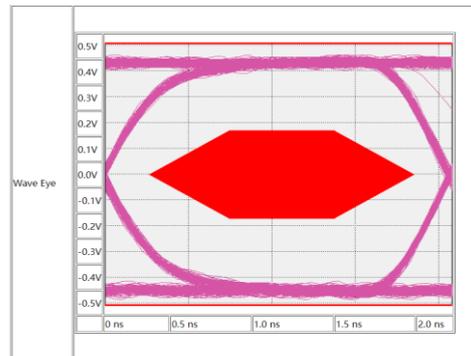


图 9 眼图模板分析结果

与标准眼图相比而言，USB2.0 的眼图结果要求也类似，眼睛张开的越“大”越好，并且测量的结果需在眼图的模板可通过区域，任何“压模板”的结果即意味着眼图的信号质量不合格。

3.USB2.0 信号质量测试仪器要求

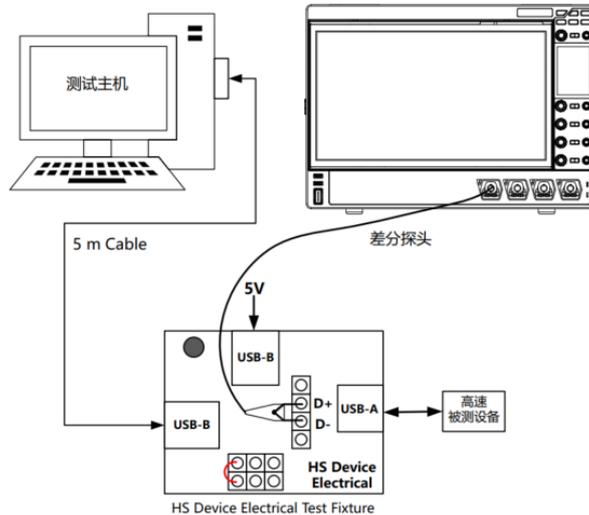


图 10 USB2.0 设备 (Device) 信号质量测试连线图

USB2.0 高速测试设备推荐:

- 使用有源差分探头配置方案:

表格 3 包含有源差分探头设备配置方案

数量	项目	说明/型号
1	示波器	DS70304/DS70504
1	USB2.0 一致性分析软件	DS70000-USBC
1	差分探头	PVA7250 有源差分探头, PVA8000 系列有源差分探头
1	测试夹具	USB 协会指定的标准测试夹具 或 RIGOL 符合 USB 协会认证标准的测试夹具
1	协会控制发包软件	USBHSETT (USB-IF 协会官网可下载)
1	5V 供电线缆	USB-A 公头转 USB-B 公头电缆 (Cable_USB)

- 使用同轴线缆配置方案:

表格 4 包含同轴线缆设备配置方案

数量	项目	说明/型号
1	示波器	DS70304/DS70504
1	USB2.0 一致性分析软件	DS70000-USBC
1	测试夹具	USB 协会指定的标准测试夹具 或 RIGOL 符合 USB 协会认证标准的测试夹具
2	SMA-BNC 线缆	SMA-BNC 测试线缆
1	5V 供电线缆	USB-A 公头转 USB-B 公头电缆 (Cable_USB)

4. 选择 USB2.0 信号质量测试工具

USB2.0 信号是最高比特率是 480Mbps、频率 240MHz 的差分信号。Tr 大约是周期的 1/10，即 $Tr=417ps$ 。如果只考虑信号速率，满足观察波形的五次谐波，示波器带宽就可以根据信号速率乘以 2.5 计算，也就是说示波器带宽只需要 $480M*2.5=1.2GHz$ 就能够捕获 USB2.0 的波形了。但是根据 USB-IF 协会的要求，考虑到上升/下降沿 500ps 以内，对于 $Tr=417ps$ ，要想获得 10% 测量精度，示波器的带宽要求是 $1/Tr=2.4GHz$ 。

虽然 USB-IF 协会要求用 2GHz 以上带宽，采样率 5GSa/s 的示波器，但是为了获得最高的测试精度，本文中我们用于演示 USB2.0 一致性测试的示波器为 **RIGOL** DS70000 系列实时采样数字示波器，最大带宽 5GHz，采样率 20GSa/s。



图 11 DS70000 系列数字示波器

除数字示波器以外，还需要其他附件，例如高速有源差分探头和有源单端探头，USB2.0 信号质量测试夹具等。**RIGOL** 提供了满足测试要求的探头附件来完成 USB2.0 测试，包含高速有源差分探头（PVA7000、PVA8000 系列），高速单端有源探头（RP7000S 系列）等。



图 12 PVA8000 系列有源差分探头

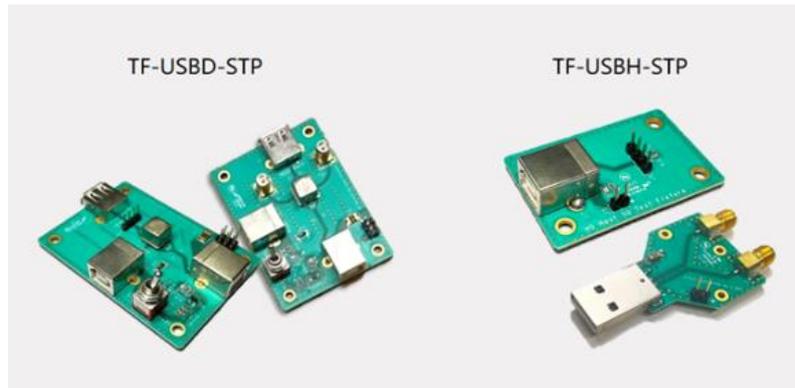


图 13 USB 一致性测试夹具

此外，USB2.0 测试还需要配合 USB-IF 协会认可的 USB 一致性测试夹具，测试夹具包含两大类和四种，分别是用于设备测试的夹具（TF-USB-D-STP）以及用于主机测试的夹具（TF-USB-H-STP）。

5. 总结

USB2.0 接口具备更高传输速度，支持热插拔以及多个设备连接的特点，能够满足用户对于简便易用的需求，已成为多数外部设备制造商的最终选择。但是，这种快速提升的标准和兼容能力也给设备设计人员带来了必须解决的新型设计挑战。

RIGOL 提供了一套完善的工具，包括数字示波器、专业的测试夹具和探头以及全自动一致性测试软件，使得 USB 2.0 设备设计人员能够高效精确地进行信号捕捉、测试与分析。

RIGOL 致力于为工程师们不断提供完善的解决方案，详情请访问网址：www.RIGOL.com



RIGOL 服务与支持专线 4006 200 002

RIGOL®是普源精电科技股份有限公司的英文名称和商标。本文档中的信息可不经通知而变更，有关 **RIGOL** 最新的产品、应用、服务等方面的信息，请访问 **RIGOL** 官方网站：www.RIGOL.com