

Rockchip

# USB SQ Test Guide

发布版本:1.0

作者邮箱:[wulf@rock-chips.com](mailto:wulf@rock-chips.com)

日期:2017.12.12

文档密级：公开资料

Copyright 2017 @Fuzhou Rockchip Electronics Co., Ltd.

## 前言

### 概述

本文档提供Rockchip平台USB 2.0/3.0信号完整性测试的方法。

USB 2.0信号完整性测试，包括：高速(High Speed)、全速(Full Speed)和低速(Low Speed)模式，测试项包括: High Speed Signal Quality、Packet Parameters、CHIRP Timing、Suspend/Resume/Reset Timing、Test J/K、SE0\_NAK、Receiver Sensitivity 等。本文档只提供常用的 High Speed Signal Quality的测试方法。

USB 3.0信号完整性测试，包括 Tx compliance test 和 Rx compliance test。由于 Rx compliance test 的测试环境和测试方法比较复杂，所以本文档没有提供详细的Rx测试方法，只提供 Tx的详细测试方法和Rx的测试原理说明。

Rockchip SOCs通常内置多个USB控制器，不同控制器之间互相独立，请在对应的芯片TRM中获取详细信息。因为不同的USB控制器，使用的测试命令和测试方法有所不同，所以测试USB信号完整性前，请先明确测试的USB接口所对应的USB控制器。

本文档提供的测试方法适用于Agilent、Tektronix、LeCroy示波器和USB测试夹具。

### 产品版本

芯片名称	内核版本
所有芯片(包括29系列、30系列、31系列、32系列、33系列、PX系列、Sofia、1108)	所有内核版本

**读者对象** 本文档（本指南）主要适用于以下工程师：硬件工程师 软件工程师 技术支持工程师

### 修订记录

日期	版本	作者	修改说明
2017.12.12	V1.0	吴良峰	

---

## USB SQ Test Guide

### 前言

#### 1 USB 2.0 SQ Test

- 1.1 USB 2.0 测试内容
- 1.2 USB 2.0 测试命令和测试工具
  - 1.2.1 USB 2.0 Device 测试命令和测试工具
  - 1.2.2 USB 2.0 Host 测试命令
- 1.3 USB 2.0 测试环境
- 1.4 USB 2.0 测试步骤
- 1.5 USB 2.0 测试结果分析
  - 1.5.1 USB 2.0 标准眼图分析
  - 1.5.2 USB 2.0 SQ测试常见问题分析

#### 2 USB 2.0 HUB SQ Test

#### 3 USB 3.0 Compliance Test

- 3.1 USB 3.0 新增测试规范
- 3.2 USB 3.0 Tx Compliance Test
  - 3.2.1 USB 3.0 Tx 测试要求
  - 3.2.2 USB 3.0 Tx 测试项目
  - 3.2.3 USB 3.0 Tx 测试模式
  - 3.2.4 USB 3.0 Tx 测试环境
  - 3.2.5 USB 3.0 Device Tx 测试方法
  - 3.2.6 USB 3.0 Host Tx 测试命令
  - 3.2.7 USB 3.0 Host Tx测试方法
- 3.3 USB 3.0 Rx Compliance Test

#### 4 USB 3.0 HUB Compliance Test

#### 5 参考文档

---

# 1 USB 2.0 SQ Test

## 1.1 USB 2.0 测试内容

- 眼图测试
- 信号速率
- 包尾宽度
- 交叉电压范围(用于低速和全速)
- JK 抖动、KJ 抖动
- 连续抖动
- 单调性测试(用于高速)
- 上升下降时间

## 1.2 USB 2.0 测试命令和测试工具

USB 2.0 SQ的测试原理是，设置USB控制器的Test Control寄存器，使USB控制器进入Test Packet Mode，USB控制器就会持续产生并发送周期性的Test Pattern。USB示波器通过检测Test Pattern的波形来分析USB的信号完整性。对于Rockchip平台的USB 2.0 Device和USB 2.0 Host接口，设置USB控制器进入Test Packet Mode的方法有所不同：

- USB 2.0 Device，可以使用测试命令或者测试工具设置USB控制器进入Test Packet Mode
- USB 2.0 Host，只能使用测试命令设置USB控制器进入Test Packet Mode

## 1.2.1 USB 2.0 Device 测试命令和测试工具

### 测试命令

测试命令如下表1-1所示，可以通过串口或者ADB执行命令。

表1-1 USB 2.0 Device SQ测试命令

芯片名称	DWC2 OTG 2.0 Device	DWC3_0 OTG 2.0 device	DWC3_1 OTG 2.0 device
RK29XX RK30XX RK31XX	io -4 0x10180804 0x40	N.A	N.A
RK3228	io -4 0x30040804 0x40	N.A	N.A
RK3288 RK3228H RK3328 RK3368	io -4 0xff580804 0x40	N.A	N.A
RV1108	io -4 0x30180804 0x40	N.A	N.A
SOFIA- 3GR	io -4 0xe2100804 0x40	N.A	N.A
RK3366	io -4 0xff4c0804 0x40	io -4 0xff50c704 0x8c000a08	N.A
RK3399	N.A	io -4 0xfe80c704 0x8c000a08	io -4 0xfe90c704 0x8c000a08

### 测试工具

Rockchip平台的USB 2.0 Device SQ测试，除了可以使用上述的测试命令外，还可以使用 USB-IF 官方组织提供的 USB HSET 测试工具，下载工具“USBHSET for EHCI”或者“USBHSET for XHCI”，下载地址如下: for EHCI：32 bit：

[http://www.usb.org/developers/tools/usb20\\_tools/EHSETT\\_Releasex86\\_1.3.1.1.exe](http://www.usb.org/developers/tools/usb20_tools/EHSETT_Releasex86_1.3.1.1.exe) 64 bit：

[http://www.usb.org/developers/tools/usb20\\_tools/EHSETT\\_Releasex64\\_1.3.1.1.exe](http://www.usb.org/developers/tools/usb20_tools/EHSETT_Releasex64_1.3.1.1.exe)

for xHCI：32 bit：[http://www.usb.org/developers/tools/XHSETT\\_Releasex86\\_1.3.2.2.exe](http://www.usb.org/developers/tools/XHSETT_Releasex86_1.3.2.2.exe) 64 bit：

[http://www.usb.org/developers/tools/XHSETT\\_Releasex86\\_1.3.2.2.exe](http://www.usb.org/developers/tools/XHSETT_Releasex86_1.3.2.2.exe)

测试工具的简单使用步骤如下：

1. 将待测试的USB device口通过USB线连接到PC
2. 打开测试工具，选择“Device”，然后点击“TEST”按钮，如下图 1-1 所示

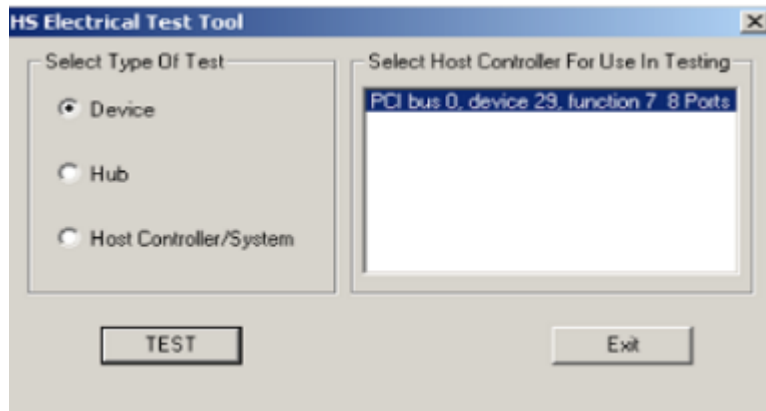


图1-1 选择测试类型

3. 如图 1-2所示，选择要测试的设备和测试命令“TEST PACKET”，然后点击“EXECUTE”按钮所示，执行完上述操作后，USB控制器就会自动进入Test Packet Mode，并连续发送周期性的测试包，测试波形如图 1-3 所示：

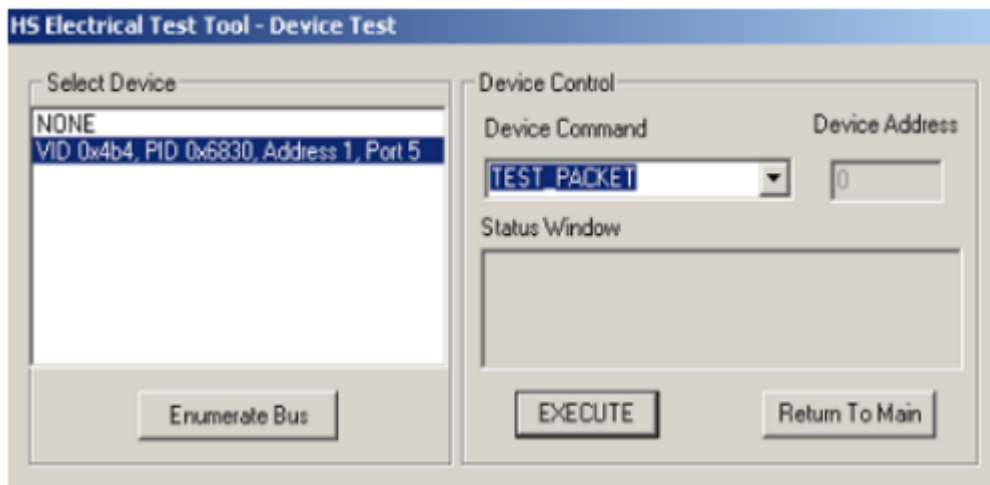


图1-2 选择测试设备和测试命令

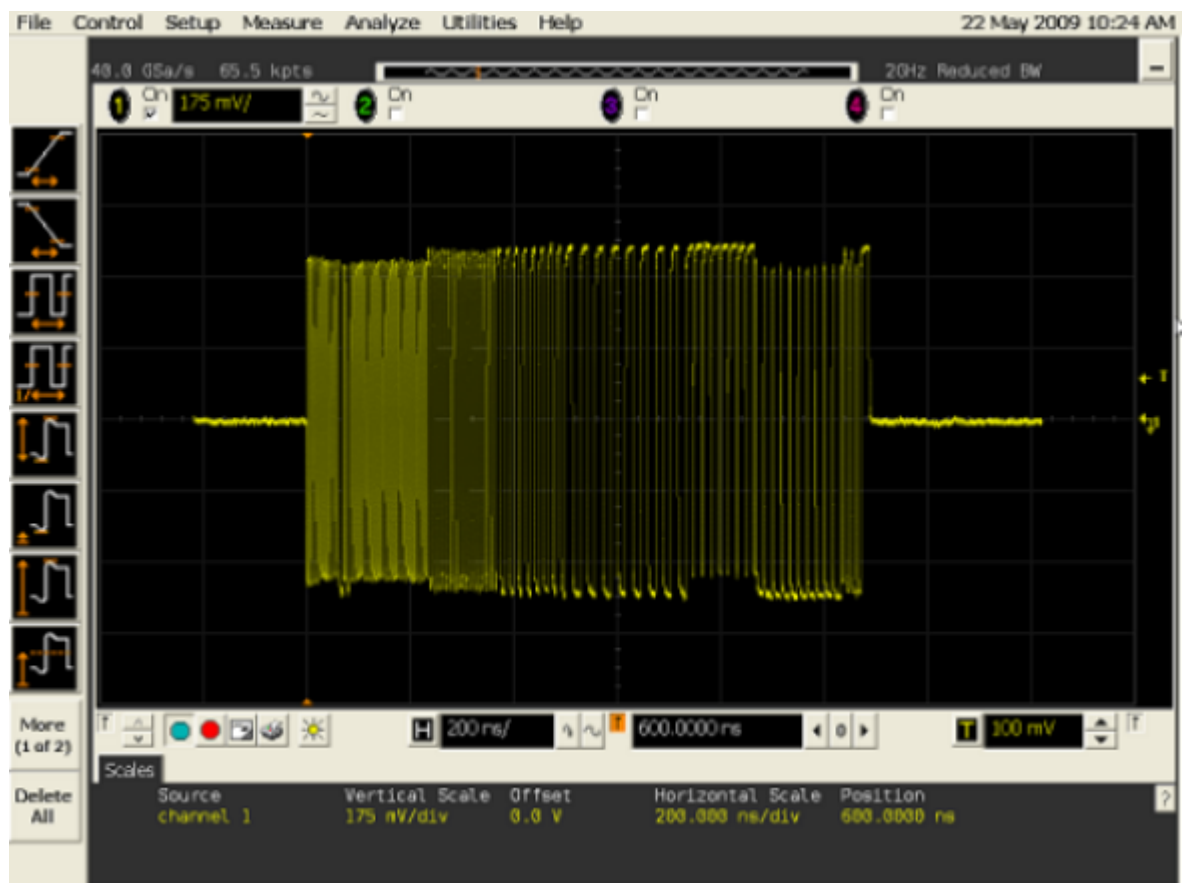


图1-3 测试波形

## 1.2.2 USB 2.0 Host 测试命令

USB 2.0 Host SQ测试，只能使用测试命令，没有专门的测试工具。测试命令如表1-2，表1-3，表1-4所示，测试命令可以通过ADB或者串口执行。

表1-2 USB 2.0 Host 测试命令(a)

芯片名称	DWC2 OTG Host 2.0	DWC2 Host 2.0	EHCI_0 Host 2.0
RK29XX RK30XX RK3188	io -4 0x10180440 0x8000	io -4 0x101c0440 0x8000	N.A
RK312X	io -4 0x10180440 0x8000	io -4 0x101c0440 0x8000	io -4 0x101c0054 0x40000
RK3228	io -4 0x30040440 0x8000	N.A	io -4 0x30080054 0x40000
RK3288	io -4 0xff580440 0x8000	io -4 0xff540440 0x8000	io -4 0xff500054 0x40000
RK3228H RK3328	io -4 0xff580440 0x8000	N.A	io -4 0xff5c0054 0x40000
RK3366	io -4 0xff4c0440 0x8000	N.A	io -4 0xff480054 0x40000
RK3368	io -4 0xff580440 0x8000	N.A	io -4 0xff500054 0x40000
RV1108	io -4 0x30180440 0x8000	N.A	io -4 0x30140054 0x40000
SOFIA-3GR	io -4 0xe2100440 0x8000	N.A	N.A
RK3399	N.A	N.A	io -4 0xfe380054 0x40000

表1-3 USB 2.0 Host 测试命令(b)

芯片名称	EHCI_1 Host 2.0	EHCI_2 Host 2.0	EHCI_HSIC Host 2.0
RK3168 RK3188	N.A	N.A	io -4 0x10240054 0x40000
RK3288	N.A	N.A	io -4 0xff5c0054 0x40000
RK3228	io -4 0x300c0054 0x40000	io -4 0x30100054 0x40000	N.A
RK3368	N.A	N.A	io -4 0xff5c0054 0x40000
RK3399	io -4 0xfe3c0054 0x40000	N.A	io -4 0xfe340054 0x40000

表1-4 USB 2.0 Host 测试命令(c)

芯片名称	DWC3_0 OTG Host 2.0	DWC3_1 OTG Host 2.0
RK3228H	io -4 0xff600424 0x40000000	N.A
RK3366	io -4 0xff500424 0x40000000	N.A
RK3399	io -4 0xfe800424 0x40000000	io -4 0xfe900424 0x40000000

## 1.3 USB 2.0 测试环境

---

测试USB 2.0 SQ，需要使用已安装USB专业测试软件的示波器，比如Agilent 9000系列示波器（或90000系列）、Tektronix、LeCroy系列的示波器。本文档主要介绍Agilent 9000系列示波器的USB 2.0测试环境，需要的工具如下：

- MSO9254A示波器，安装USB 2.0测试软件N5416A
- 113xA差分有源探头
- E2678A差分探头前端
- E2649-66401 device夹具和E2649-66402 host夹具
- USB 2.0 cable

USB 2.0 cable的线材需要严格符合USB 2.0 Spec的规定，如果USB cable的线长小于10cm，则眼图测试时，应采用Near End 模板，如果线长大于10cm，则眼图测试应采用Far End模板。近端（Near End）测试时，如果使用太长的USB线缆或者USB线缆的阻抗匹配不好，可能导致眼图测试指标不通过。

## 1.4 USB 2.0 测试步骤

---

### 1). 搭建测试环境

如果使用的是Agilent的测试套件，测试环境的搭建和示波器的设置方法，请参考如下的文档：

《Agilent N5416A USB 2.0 Compliance Test Option》

《Agilent USB2.0 High Speed Device SQ Test》

如果使用的是Tektronix或LeCroy的测试套件，请到Tektronix和LeCroy的官网上搜索测试说明文档。

以Agilent示波器测试USB2.0 Device SQ为例，搭建好的测试环境如图1-4所示：

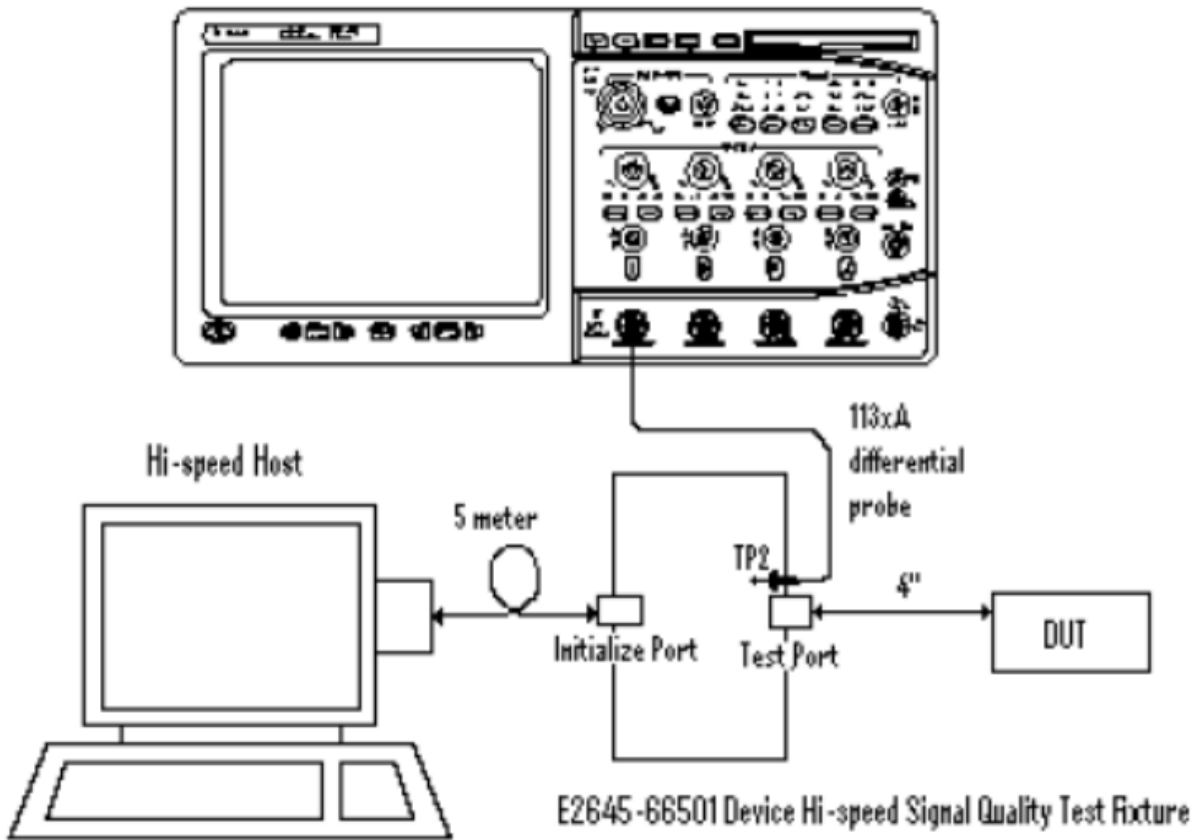


图1-4 Agilent USB 2.0 SQ测试环境

## 2). 设置USB进入测试模式[Test Packet Mode]

设置USB控制器进入Test Mode前，需要先确认USB已经可以正常通信。

如果是测试USB 2.0 OTG Device接口，要保证待测试的USB口已经通过测试夹具和线缆连接到PC，并且PC可以正常识别到USB设备。然后，再通过1.2.1节提到的PC端测试工具，或者使用ADB (或串口)发送1.2.1节的测试命令，设置USB控制器进入测试模式。

如果测试USB 2.0 Host接口，不同的示波器和测试夹具，设置USB控制器进入测试模式的方法有所不同，下面分别对使用Agilent测试套件和使用Tektronix测试套件的设置方法做简要说明：

### a). Agilent测试套件

先将待测的Host口连接到测试夹具的测试接口一端，然后将高速设备（如U盘）连接到夹具的另一端接口，如下图1-5，再执行测试命令，设置USB进测试模式。



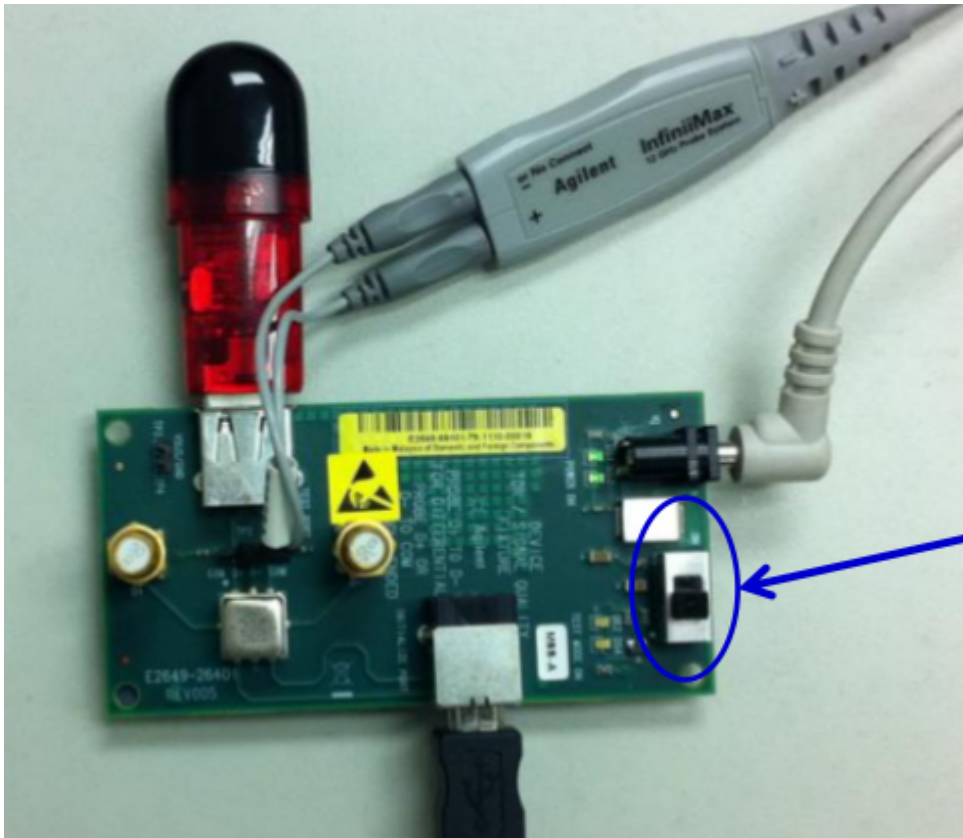


图1-5 Agilent USB 2.0 SQ测试夹具连接方法

### b). Tektronix测试套件

如果使用Tektronix的测试夹具，由于测试夹具上只有一个接口用于连接待测的HOST口，无法再连接其他高速设备，所以，先断开待测的Host接口与测试夹具连接，然后将高速USB设备（如U盘）插到待测试的HOST口，再执行测试命令，等测试命令发送完成后，USB控制器就会自动进入测试模式，然后再拔出高速USB设备，将测试夹具连接到待测试的Host接口，开始测试。

**Note：**测试USB 2.0 Host接口，必须在Host口上接一个**高速USB设备**(如U盘)，不能接鼠标、键盘等全速或者低速的USB设备。

### 3). USB自动化测试软件分析波形

在USB控制器成功进入测试模式后，会产生并发送持续的Test Packet Pattern，可以从示波器观察到周期性的测试波形，如图1-6所示。示波器的USB自动化测试软件，会自动对测试波形进行分析，并生成完成的测试报告。

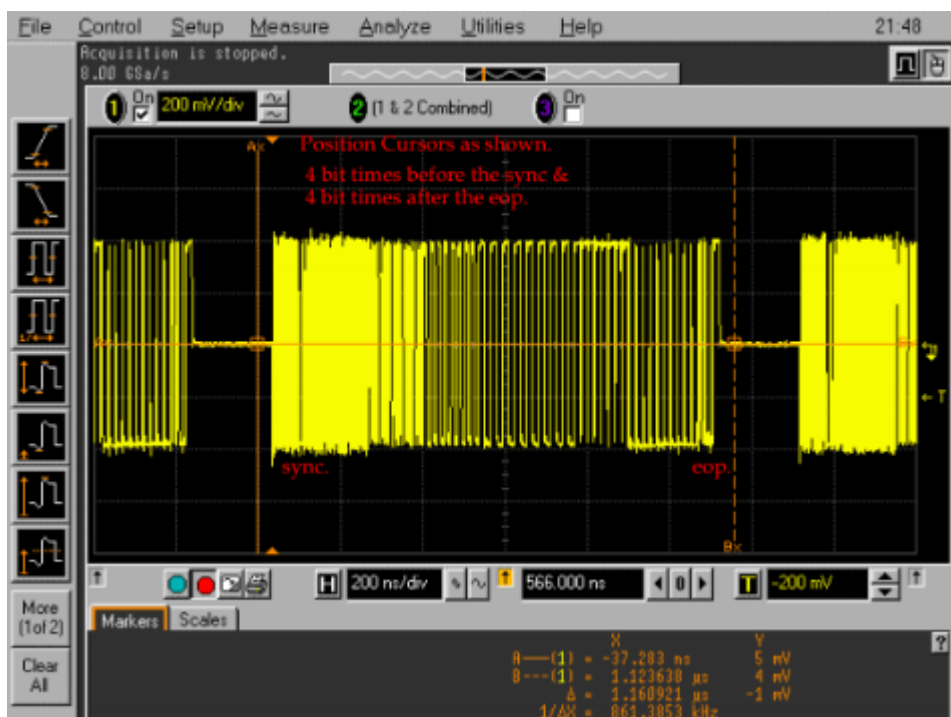


图1-6 USB 2.0 信号质量分析界面

## 1.5 USB 2.0 测试结果分析

### 1.5.1 USB 2.0 标准眼图分析

USB 2.0眼图模板有两种不同的标准：近端（Near End）和远端（Far End）。在High Speed Signal Quality测试中，若待测USB的端口直接通过小于10cm的线缆与测试夹具相连，则采用Near End眼图模板。若待测的USB端口通过大于10cm的线缆与测试夹具相连，则采用Far End眼图模板。在Rockchip平台的USB 2.0眼图测试中，为保证USB 2.0信号质量的可靠性，建议统一采用更为严格的Near End眼图模块作为参考标准。图1-7和图1-8分别是使用Near End和Far End眼图模板的标准USB眼图。

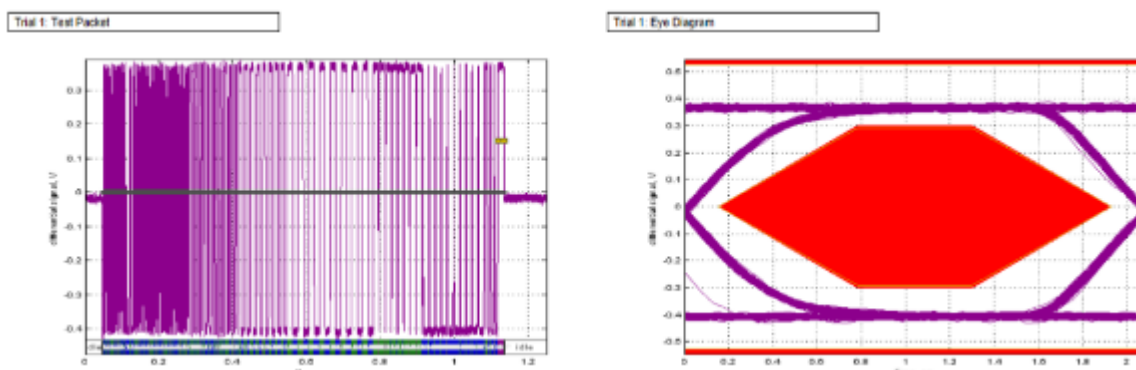


图1-7 USB 2.0 High-speed Near End SQ Eye Diagram

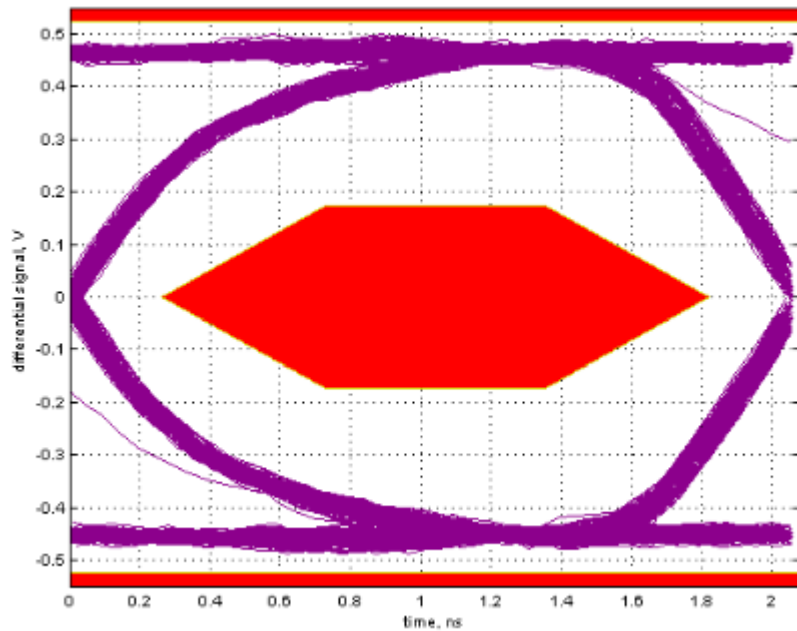


图1-8 USB 2.0 High-speed Far End SQ Eye Diagram

从图1-7和图1-8中，可以看出，标准的USB 2.0眼图呈现为一个迹线又细又清晰的“眼睛”，“眼”张开得很大。当有码间串扰时，波形失真，码元不完全重合，眼图的迹线就会不清晰，引起“眼”部分闭合。若再加上噪声的影响，则使眼图的线条变得模糊，“眼”开启得小了，因此，“眼”张开的大小表示了失真的程度，反映了码间串扰的强弱。

## 1.5.2 USB 2.0 SQ测试常见问题分析

### 1). 示波器无法检测到眼图测试的触发信号

- 检查测试夹具是否连接正确，以及示波器的USB测试软件是否设置正确
- 从示波器上观察是否有检测到如图1-3的周期性测试波形
- 如果没有图1-3的周期性测试波形，可能是测试命令没有执行成功或者测试命令有误

### 2). 测试的眼图严重失真

测试的眼图严重失真，比如幅度失真、信号塌陷，一般是因为测试的操作方法有误。

如图1-9所示，USB眼图的信号幅度比标准的大一倍，如果使用的是Agilent测试套件，一般是因为测试夹具的D+和D-没有挂上50欧的终端SMA电阻。

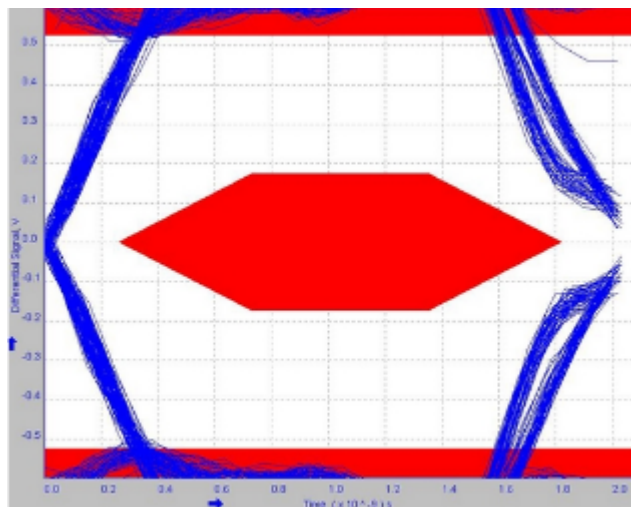


图1-9 USB眼图幅度失真

如图1-10所示，USB眼图的信号中间有明显的塌陷，如果使用的是Agilent测试套件，一般是因为没有将测试夹具的开关切到ON档。

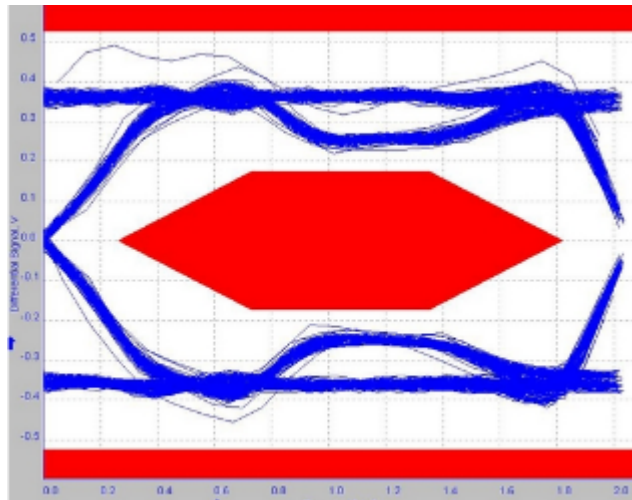


图1-10 USB眼图信号塌陷失真

### 3). USB眼图没有张开

如图1-11所示，USB眼图没有张开，会压到USB眼图的测试模板。

- 检查USB的DP和DM线上是否连接了内部电容较大的ESD或者电子开关，如果有，可以去掉这些器件再测试
- 通过软件调整USB PHY的驱动强度和上升沿、下降沿，请联系负责USB驱动的工程协助调试。

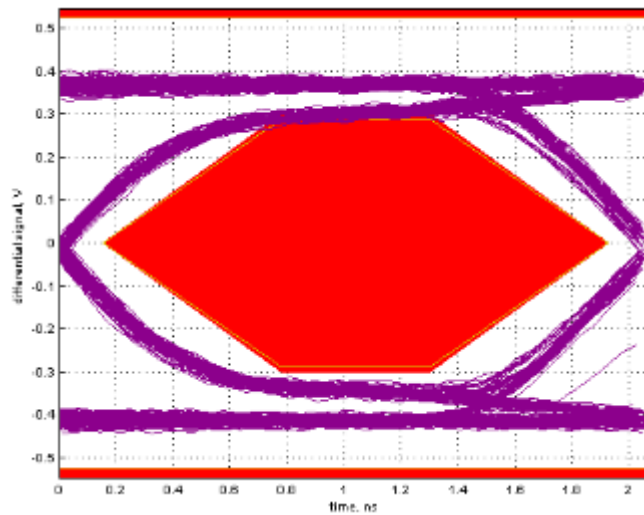


图1-11 USB眼图没有张开

### 4). USB眼图模糊甚至布满血丝

如图1-12所示，USB眼图的轮廓线条模糊，说明USB的串扰十分严重，还可能存在阻抗不匹配、噪声干扰的问题。

- 检查USB的DP和DM线上是否连接了内部电容较大的ESD或者电子开关，如果有，可以去掉这些器件再测试
- 检查测试使用的USB线缆是否存在阻抗不匹配的问题，或者换条USB线缆重新测试
- 检查USB的PCB走线、USB的24MHz时钟源、USB PHY的供电电源纹波

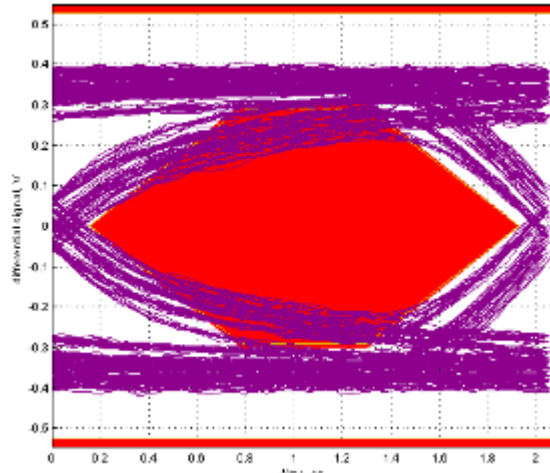


图1-12 USB眼图模糊

## 2 USB 2.0 HUB SQ Test

USB 2.0 HUB的SQ test包括了upstream ports和downstream ports，但实际应用中，我们一般只需测试提供给用户使用的downstream ports。因此，本文档只提供了测试USB2.0 HUB downstream ports的SQ测试方法。

常见的USB 2.0 HUB芯片型号主要有：FE1.1、FE1.1S、GL850、GL852、USX2064、HX2VL等。常见的HSIC HUB型号主要有：USB4604、GL850H。对于USB 2.0 HUB，Rockchip平台有两种测试方法，详见下面的方法1-命令测试和方法2-脚本测试，对于HSIC HUB，只能使用方法2-脚本测试。

### 方法1-命令测试

该测试方法使用的测试命令与“[1.2.2 USB 2.0 Host 测试命令](#)”一样，测试步骤如下：

- 确定HUB连接的USB HOST控制器，然后查表1-2，表1-3，表1-4，找到HOST控制器对应的测试命令
- 参考“[1.4 测试步骤](#)”，完成HUB的所有downstream ports的SQ测试

**Note**：不同的HUB downstream ports，测试命令和测试方法都是一样的。

### 方法2-脚本测试

相比方法1-命令测试，方法2-脚本测试比较复杂，需要编译和运行脚本，但更具有通用性，可以测试所有类型的HUB，包括USB 2.0 HUB和HSIC HUB。

#### 1). 编译测试脚本

脚本源码和编译方法见“usb2\_hub\_Compliance\_test\_script”，该脚本适用于Linux-3.3以后的内核，更早的kernel版本请自行修改测试脚本源码。

#### 2). 执行测试脚本

将编译生成的可执行文件linux-eye拷贝到系统的数据目录下，并执行命令

```
chmod 777 linux-eye
```

执行测试脚本linux-eye，然后，根据脚本的提示，输入测试命令，参考如下：

```
1 [root@hari LinuxEye]# ./linuxEye
2 LinuxEye - select one of the following hub for testing.
```

```

3 [ 0] 4-port Full-Speed hub at tier 2 of Bus 3
4 (VID: 0451, PID: 1446, Address: 3)
5 [ 1] 4-port High-Speed hub at tier 2 of Bus 1
6 (VID: 1A40, PID: 0101, Address: 15)
7 [ 2] 4-port High-Speed hub at tier 2 of Bus 1
8 (VID: 1A40, PID: 0101, Address: 10)
9 [ 3] 7-port High-Speed hub at tier 3 of Bus 1
10 (VID: 1A40, PID: 0201, Address: 50)
11 Please enter [0 ~ 3] to select a hub or 'q' to quit: 2 (表示共有4个HUB, 测试HUB[2])
12 [ 1] is connected to Low-Speed device
13 [ 2] is open
14 [ 3] is connected to High-Speed device
15 [ 4] is connected to Low-Speed device
16 Please enter [1 ~ 4] to select a port or 'q' to quit: 2 (表示测试HUB的第2个port)
17 LinuxEye - Start testing port 2 of device 10 on bus 1
18 Type 'q' to stop the test: q (退出测试脚本)
19 [root@hari LinuxEye]#

```

## 3 USB 3.0 Compliance Test

USB 3.0是双总线架构，在USB 2.0的基础上增加了超高速(Super Speed)总线部分。超高速总线的信号速率达到5Gbps，采用ANSI 8b/10b编码，全双工方式工作，最大支持的电缆长度达3米。如下图3-1是典型的USB3.0的总线架构。

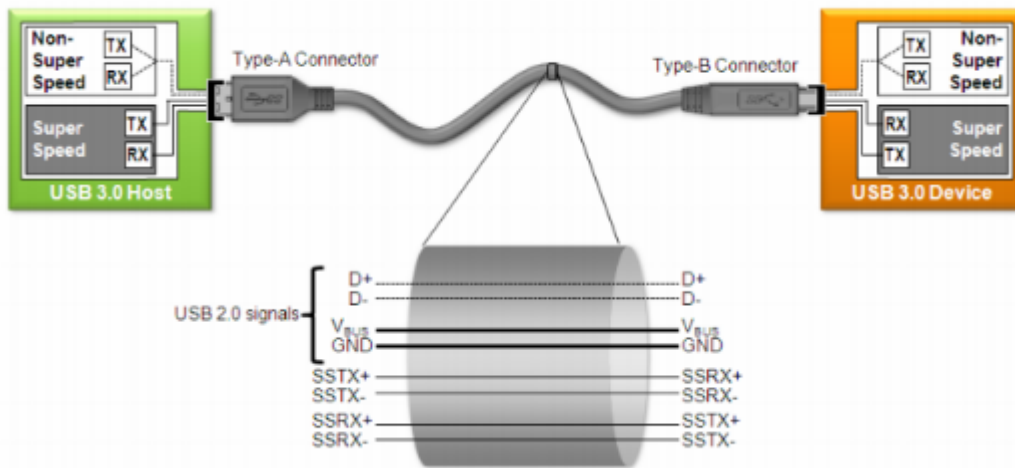


图3-1 USB 3.0 总线架构

### 3.1 USB 3.0 新增测试规范

- 一致性校准和测试在一致性通道末端进行
  - 一致性通道用来表征测试TX和RX时最差的互连通道情况
  - Host : 3米电缆+5英寸的走线
  - Device : 3米电缆+11英寸走线
- TX测试允许使用通道嵌入,选择黄金S参数做嵌入测试



- 需要计算基于 $10e-12$ 误码率的DJ, RJ和TJ  
增加了10MHz, 20MHz 和33MHz一致性Pj测试频点
- 后处理需要使用CTLE均衡器, 在均衡器后观察和分析眼图及其参数。由于5Gbps的信号经过长电缆和PCB传输以后有可能眼图就张不开了, 所以USB 3.0的芯片接收端内部会提供CTLE(连续时间线性均衡)功能以补偿高频损耗。所以测试时示波器的测试软件也要能支持CTLE才能得到真实的结果。
- Device 接收端眼图幅度校准标准为145mVp-p
- Host 接收端眼图幅度标准为180mVpp

USB 3.0的电气性能测试分为**发送信号测试(Tx)**、**接收容限测试(Rx Tolerance Compliance Test)**以及电缆/连接器的测试。

## 3.2 USB 3.0 Tx Compliance Test

### 3.2.1 USB 3.0 Tx 测试要求

在进行发送端测试时, 要求测试对象发出特定的测试码型, 实时示波器对该码型进行眼图分析, 测量信号的幅度、抖动、平均数据率及上升下降时间。USB3.0针对超高速部分的信号测试与以前USB2.0的测试方法有较大的不同。

首先, 由于USB3.0 SuperSpeed的信号速率达到5Gbps, 同时信号的幅度更小, 因此测试中需要**12GHz以上带宽**的示波器, 同时要示波器的底噪声更低才能保证准确的测量。

其次, USB 3.0 发送端测试, 不是用夹具直接连接DUT, 其定义的被测点是“**一致性通道 (Compliance Channel)**”的末端。一致性通道模拟PCB走线和电缆对信号的影响。对于HOST的测试, 它模拟的是3m长电缆 + 5英寸PCB走线的影响; 对于Device的测试, 它模拟的是3m长电缆 + 11英寸PCB走线的影响。USB3.0的测试规范里会以S参数文件的形式提供一致性通道的模型。在真正测试时是用测试夹具直接连接DUT, 然后用示波器的S参数嵌入的方式加入通道影响。如图3-2 Tx测试模型, TP1为示波器的测试点。

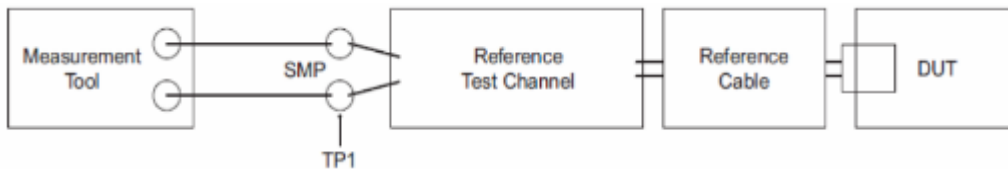
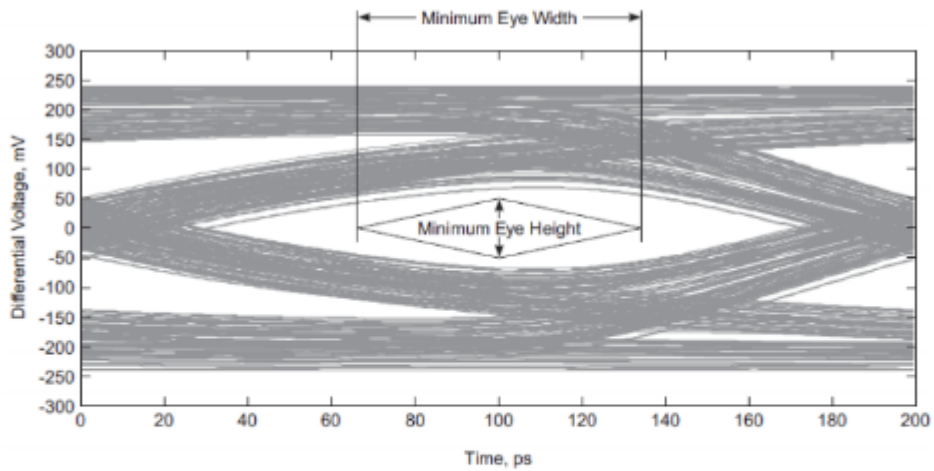


图3-2 USB 3.0 Tx测试模型



**Table 6-12. Normative Transmitter Eye Mask at Test Point TP1**

Signal Characteristic	Minimal	Nominal	Maximum	Units	Note
Eye Height	100		1200	mV	2, 4
Dj			0.43	UI	1,2,3
Rj			0.23	UI	1,2,3, 5
Tj			0.66	UI	1,2,3

图3-3 USB 3.0 Tx测试眼图要求

**Table 6-10. Transmitter Normative Electrical Parameters**

Symbol	Parameter	5.0 GT/s	Units	Comments
UI	Unit Interval	199.94 (min) 200.06 (max)	ps	The specified UI is equivalent to a tolerance of $\pm 300$ ppm for each device. Period does not account for SSC induced variations.
$V_{TX-DIFF-PP}$	Differential p-p Tx voltage swing	0.8 (min) 1.2 (max)	V	Nominal is 1 V p-p
$V_{TX-DIFF-PP-LOW}$	Low-Power Differential p-p Tx voltage swing	0.4 (min) 1.2 (max)	V	Refer to Section 6.7.2. There is no de-emphasis requirement in this mode. De-emphasis is implementation specific for this mode.
$V_{TX-DE-RATIO}$	Tx de-emphasis	3.0 (min) 4.0 (max)	dB	Nominal is 3.5 dB

图3-4 USB 3.0 Tx测试电气参数要求

### 3.2.2 USB 3.0 Tx 测试项目

- LFPS(近端)
- SSC(近端)
- Tx(近端/远端) : 眼图 ; Tj , Rj , Dj ; 幅度 ;



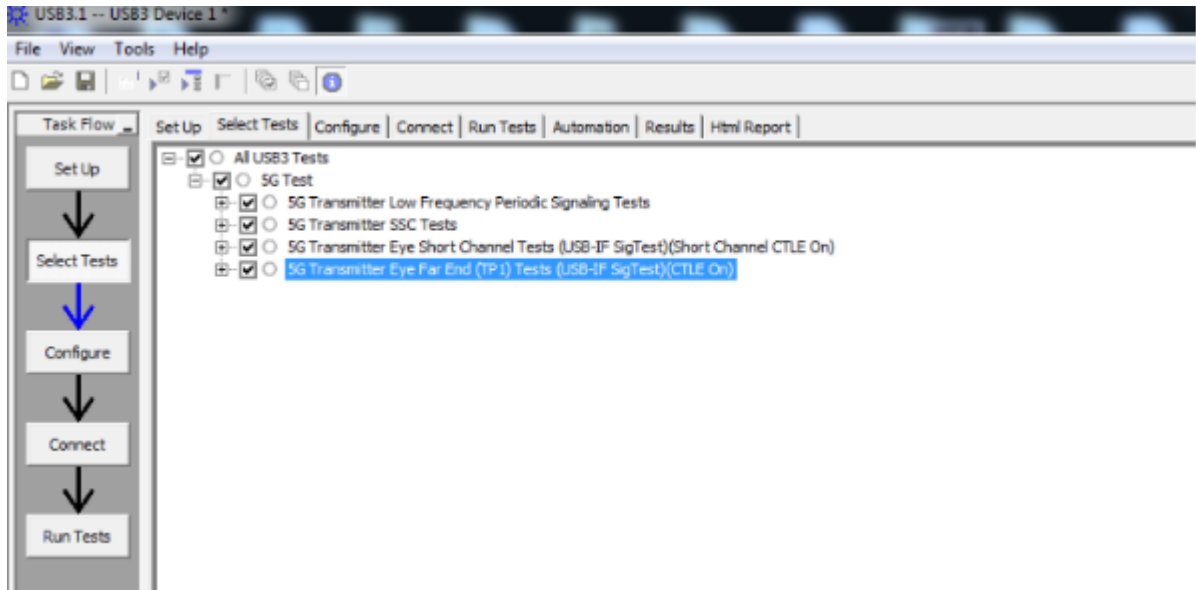


图3-5 Agilent USB 3.0 Tx测试选项

### 3.2.3 USB 3.0 Tx 测试模式

根据USB 3.0 spec规定，USB 3.0控制器要先进入测试模式(Compliance Mode)，才能开始USB 3.0 Tx的信号完整性测试。如图3-6所示，在Polling阶段的**第一个LFPS timeout**后，控制器就会从Polling.LFPS退出到Compliance Mode。

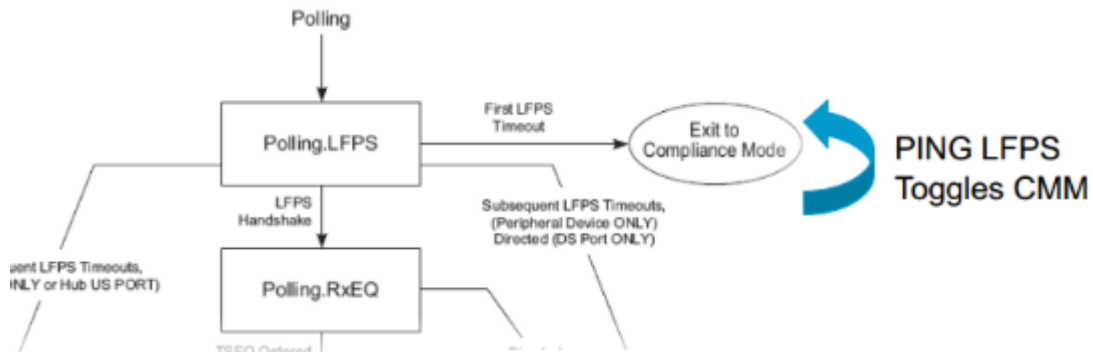


图3-6 USB 3.0 进入Compliance Mode的流程

### 3.2.4 USB 3.0 Tx 测试环境

#### 1). Agilent USB 3.0 Tx测试套件

对于USB 3.0 Tx信号的测试，Agilent 推荐使用 90000 系列示波器(提供高达13GHz 的带宽)，配上自动的一致性测试软件U7243A 和测试夹具U7242A来完成USB 3.0 规范要求的发送端测试和验证。

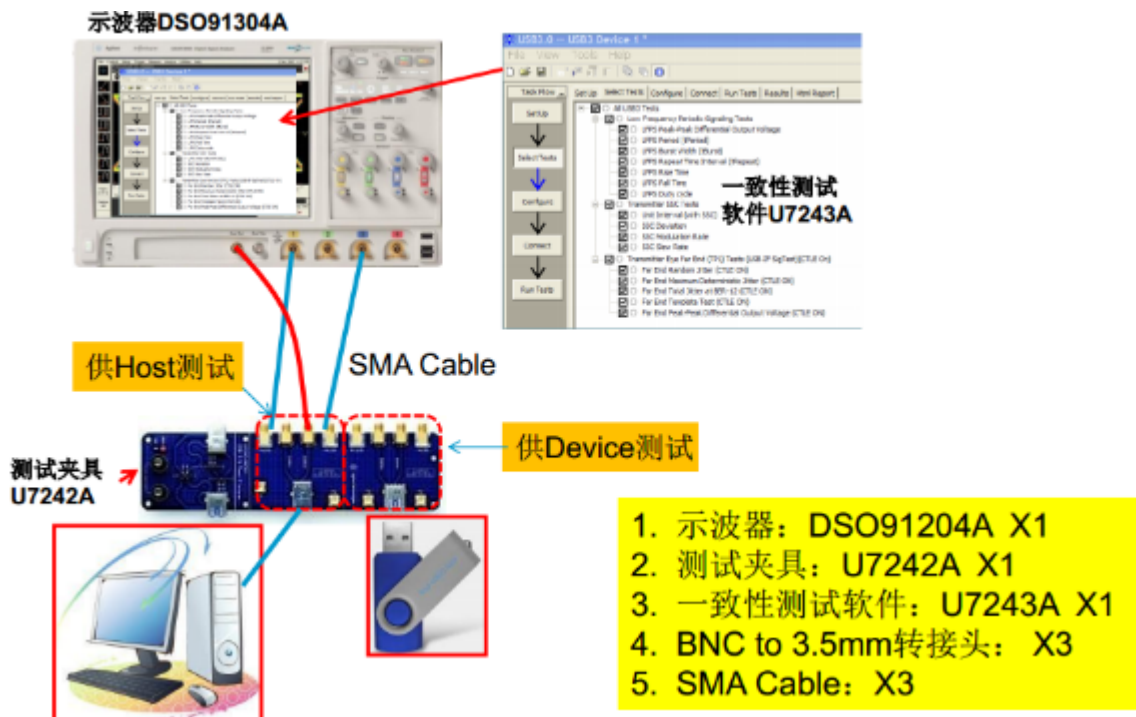


图3-7 Agilent USB 3.0 Tx测试环境

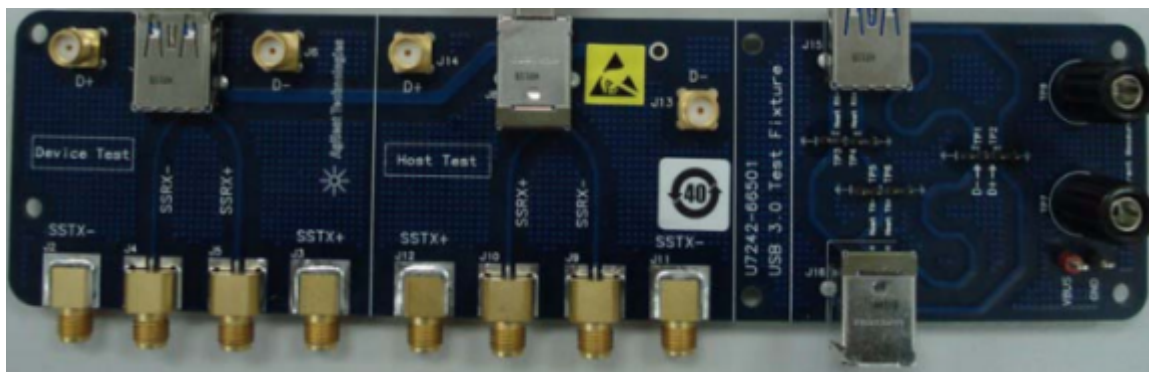


图3-8 Agilent USB 3.0 Tx测试夹具U7242

此外，Agilent 还提供了USB 3.1 Gen1 Type-C测试夹具N7015A，如下图3-9，用于测试USB 3.0/3.1 Type-C接口的信号完整性，测试软件与U7242A夹具一样。Type-C测试夹具的具体使用方法，请参考文档《Keysight N7015A-16A Type-C Test Kit》。

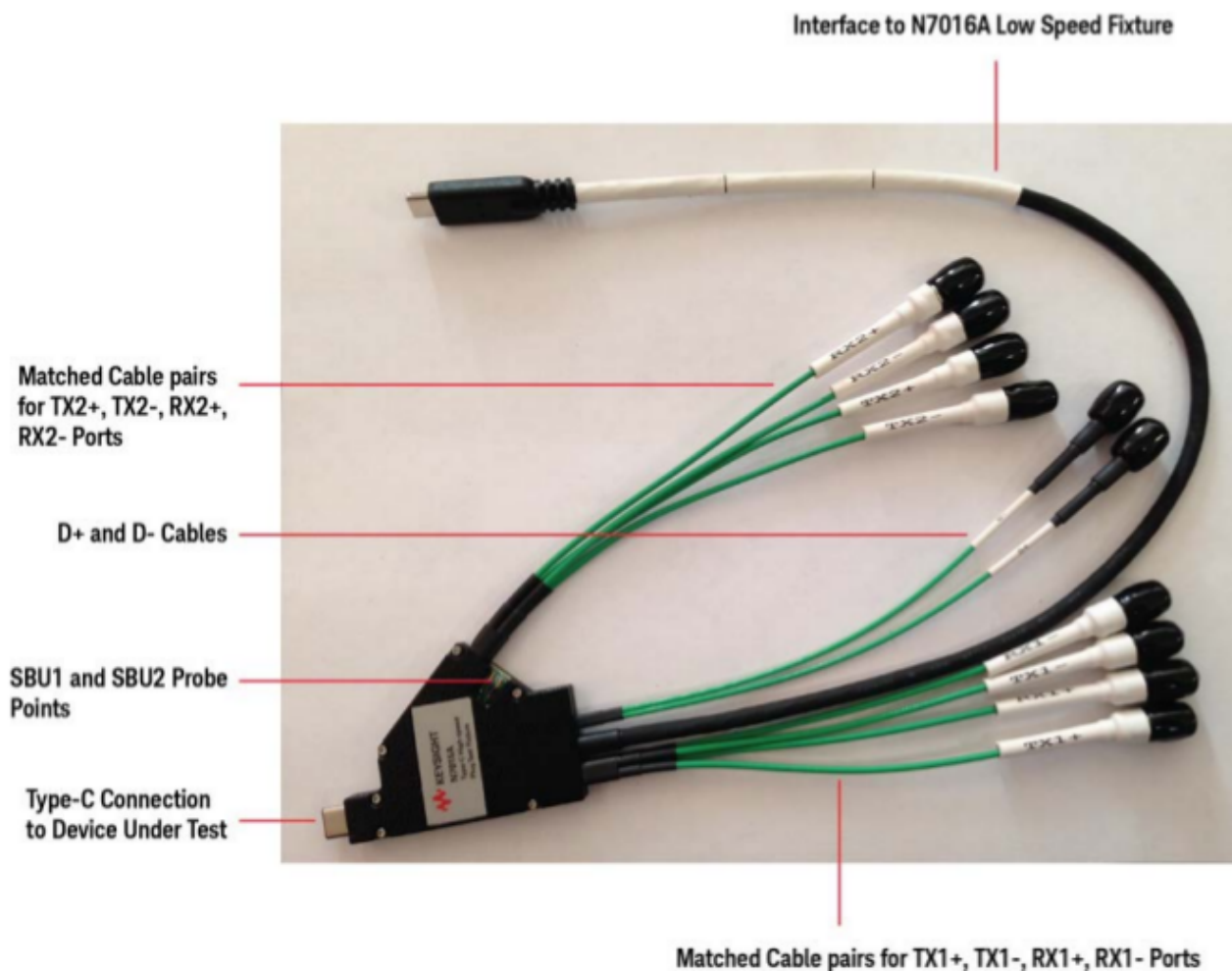


图3-9 Agilent USB 3.0 Type-C测试夹具N7015A

## 2). Tektronix USB 3.0 Tx 测试套件

Tektronix的Tx测试示意图如图3-10所示，Tektronix USB 3.0 发射机测量（选项USB-Tx）适用于 DPO/MSO70000 系列示波器，提供了自动 USB 3.0发射机解决方案。

具体测试方案请参考：<https://www.tek.com.cn/datasheet/usb3-transmitter-and-receiver-solutions-datasheet>

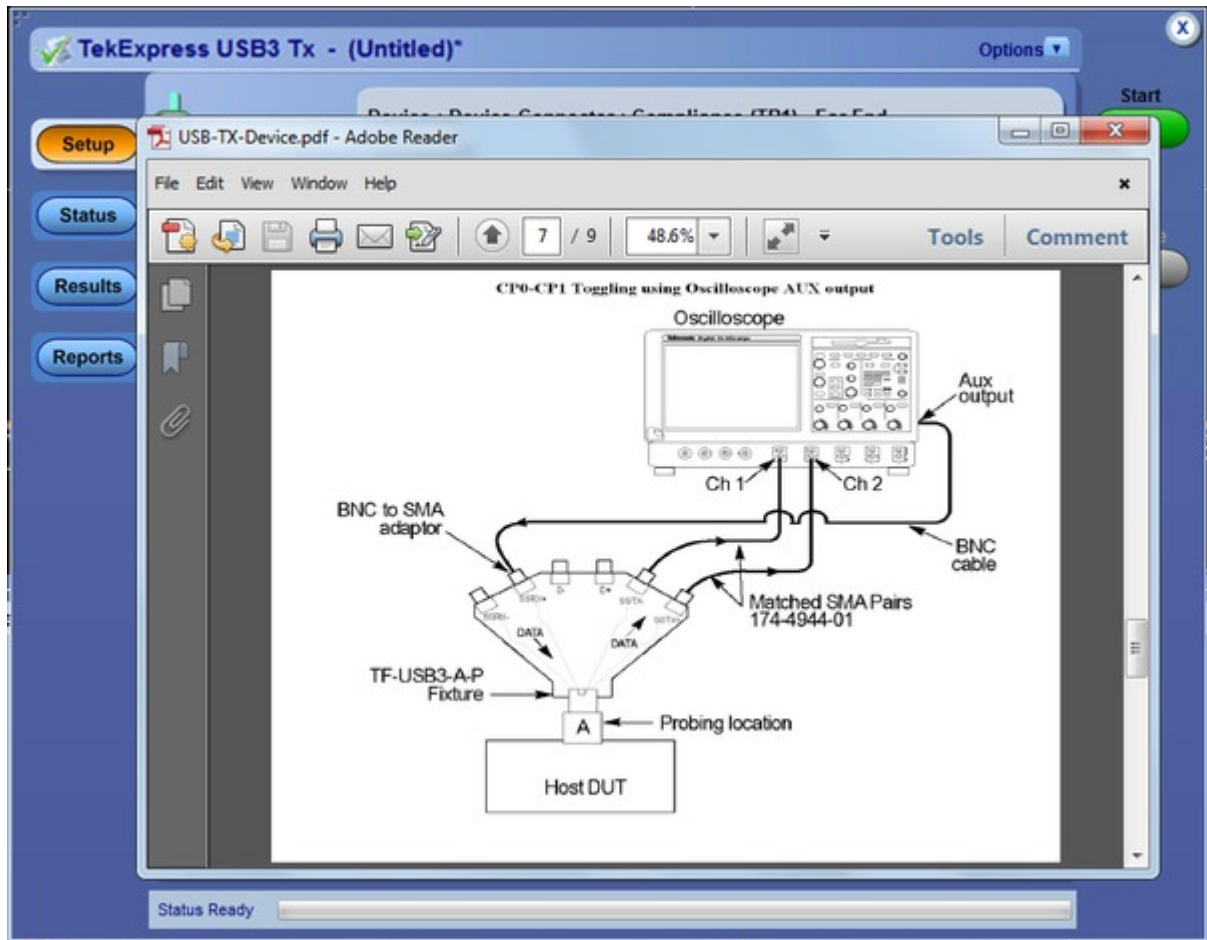


图3-10 Tektronix USB 3.0 Tx测试示意图

### 3.2.5 USB 3.0 Device Tx 测试方法

本文档主要说明使用Agilent 90000系列示波器(型号：DSO91204A和测试夹具U7242A)的USB 3.0 Device Tx测试方法。如果使用的是Tektronix或者LeCroy的示波器，请自行搜索Tektronix和LeCroy官方发布的测试指南。

#### 测试注意事项：

1). 测试USB 3.0 Device Tx时，**不用输入任何测试命令**，只要按照示波器测试软件提示的测试步骤操作，将待测试的Device USB口连接到测试夹具，USB 3.0控制器就会自动进入Compliance mode。而**测试host Tx时，需要输入测试命令**，具体命令将在[3.2.6 USB 3.0 Host Tx 测试方法](#)章节中详细描述。

2). 执行如下命令，可以查询USB 3.0控制器是否进入Compliance mode：

```
cat /sys/kernel/debug/xxxx.dwc3/link_state (xxxx表示USB3控制器基地址)
```

返回的值如果为“compliance”，表示控制器已进入Compliance mode

3). 测试USB 3.0 Device Tx时，**VBus 5V不能自供电，否则会导致USB 3.0控制器无法进入Compliance mode**。VBus的供电需要由测试夹具U7242A提供，可以通过USB线将测试夹具的USB供电口与示波器或者PC的USB口连接，实现VBus 5V的供电。

#### USB 3.0 Device Tx测试步骤

##### 1). 自动化测试软件设置

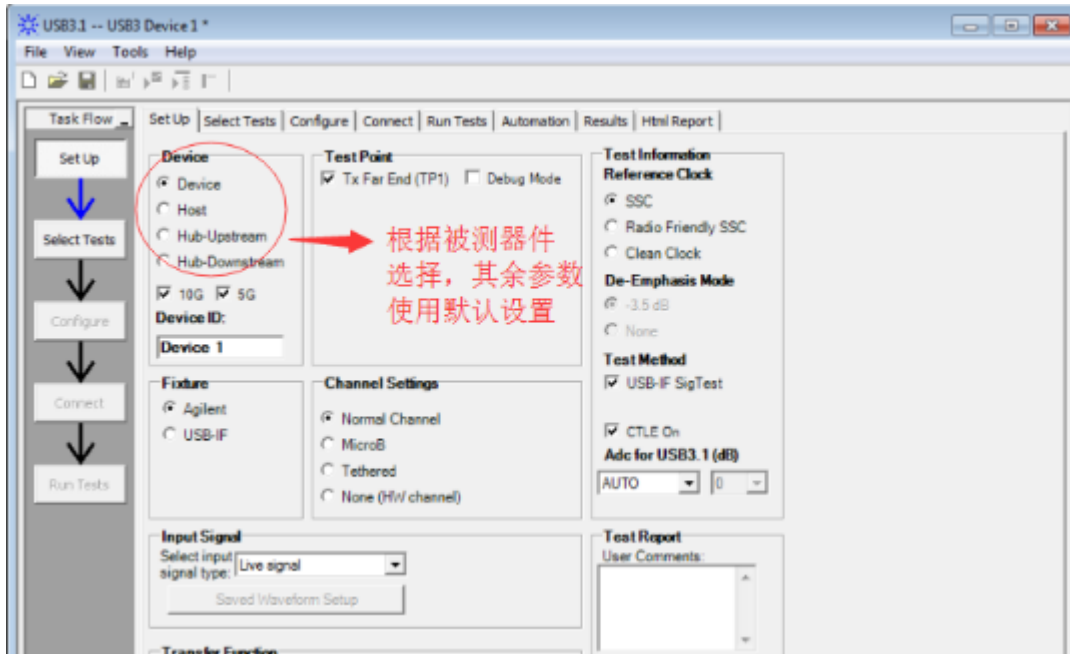
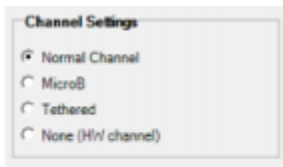


图3-11 USB 3.0 Device Tx测试软件设置界面

**Note :**

- a). 使用的测试软件版本为**V2.01**，如果使用更新的测试版本(如V3.00.0001)，软件设置方法会有所不同
- b). Channel Setting的设置方法如下：



- **Normal Channel** – This option turns on the InfiniiSim function on the channel under test that uses a standard super speed connector.
- **MicroB** – This option turns on the InfiniiSim function on the channel under test that uses a MicroB super speed connector.
- **Tethered** – This option turns on the InfiniiSim function on the channel under test that has an attached cable.
- **None** – No embed or de-embed takes place and the original differential source is used to perform the analysis.

图3-12 USB 3.0 Device Tx测试软件中Channel的设置方法

Channel Settings默认选择Normal Channel，即嵌入S参数，来模拟3m长usb cable + 5”PCB走线的影响。因此，要求测试时，用测试夹具直接连接待测试设备（DUT）。如果测试使用的usb cable太长（大于10 cm），可能导致Far End测试项fail，建议Channel Settings选择None，或者使用小于10cm的短线测试。

**2). 选择测试项目**

勾选All USB3 Tests，可选择全部USB 3.0 Tx一致性测试项目。



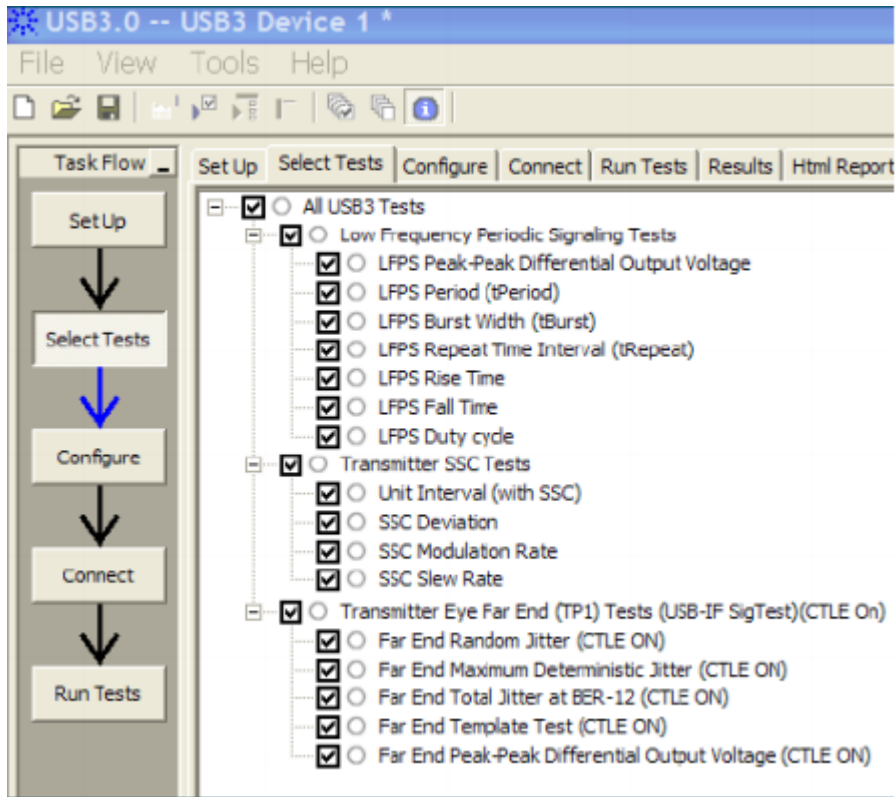


图3-13 USB 3.0 Device Tx测试项的设置

### 3). 配置测试条件

将Automate Test Pattern Change设置为Auto，其余使用默认配置即可。

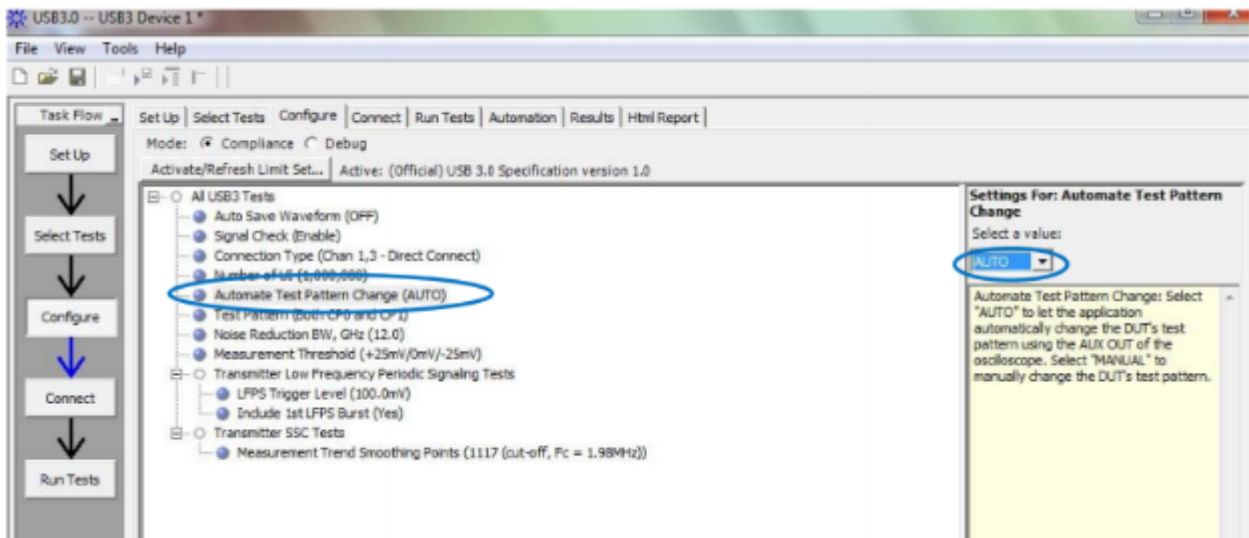


图3-14 USB 3.0 Device Tx测试条件设置

### 4). 连接示波器、夹具和待测USB设备

按照示波器的提示进行连接，如下图所示。VBus 5V供电也要连接。

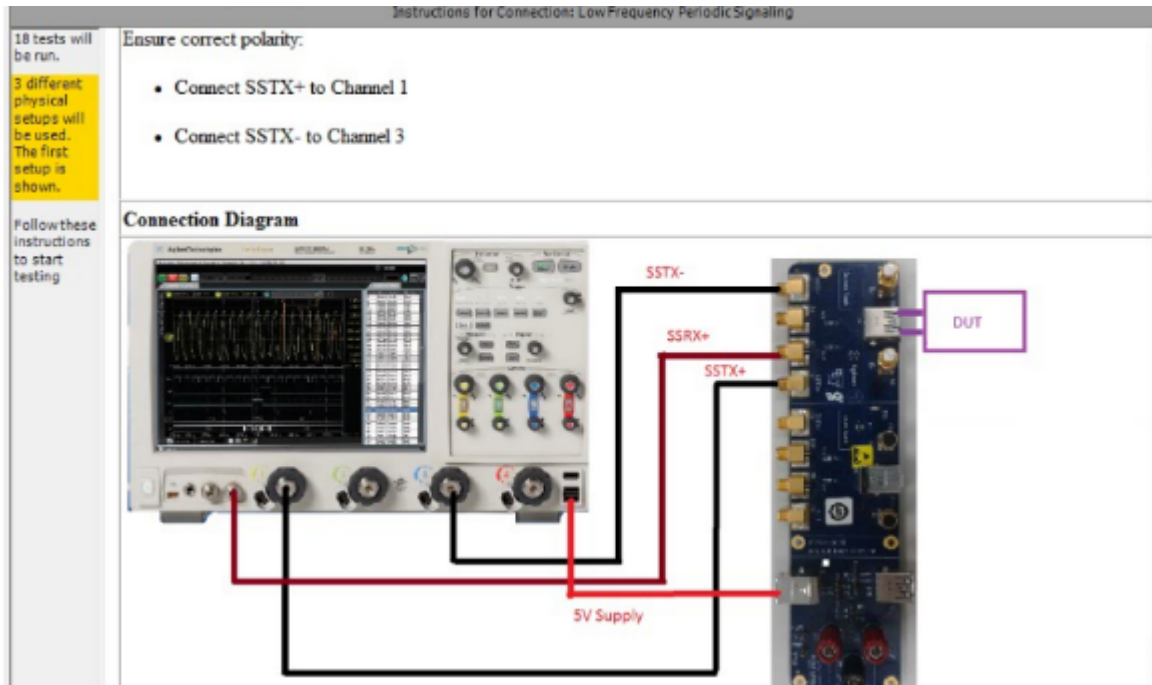


图3-15 USB 3.0 Device Tx测试连接示意图

## 5). 开始Tx测试

5.1). 测试过程中，自动化软件提示测试LFPS的操作方法

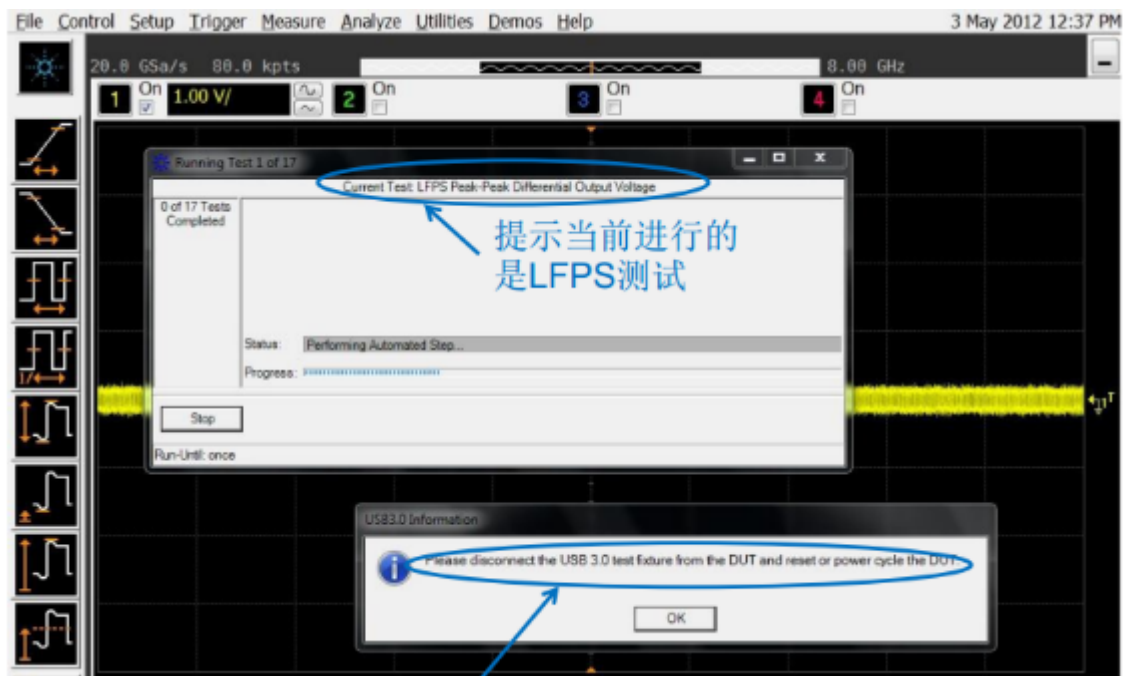


图3-16 LFPS测试界面

**Note**：进行LFPS测试前，要先断开USB3.0夹具和被测件，然后点击“OK”，再重新连接到夹具。

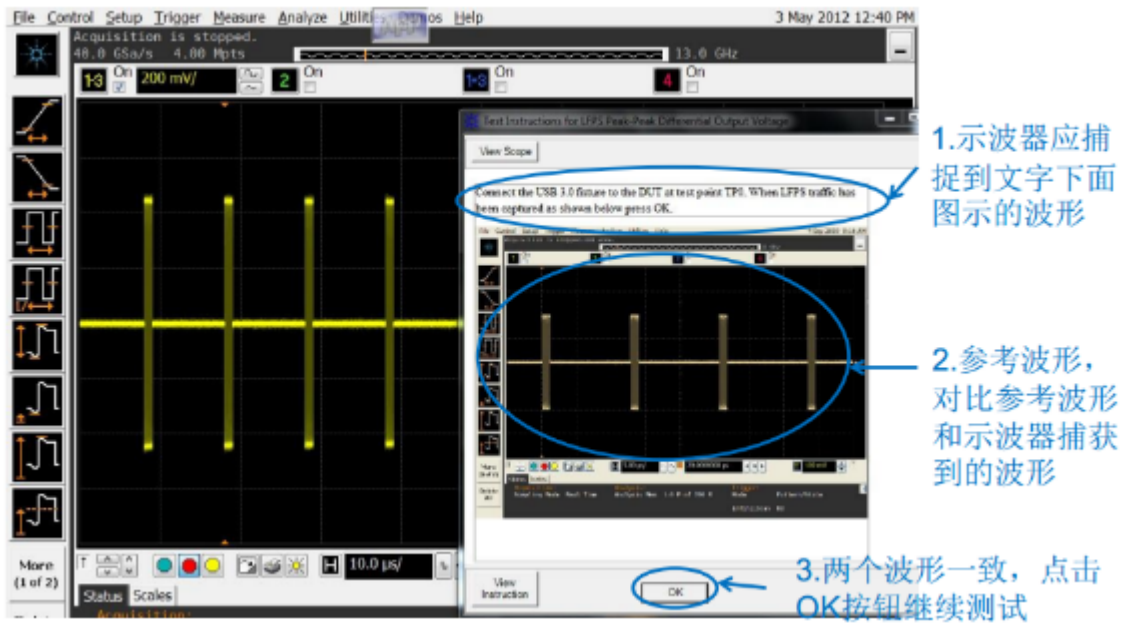


图3-17 USB 3.0 Device Tx LFPs参考波形

5.2). LFPs测试完成后, 开始SSC测试, 自动化软件提示更改示波器、夹具和被测件的连接

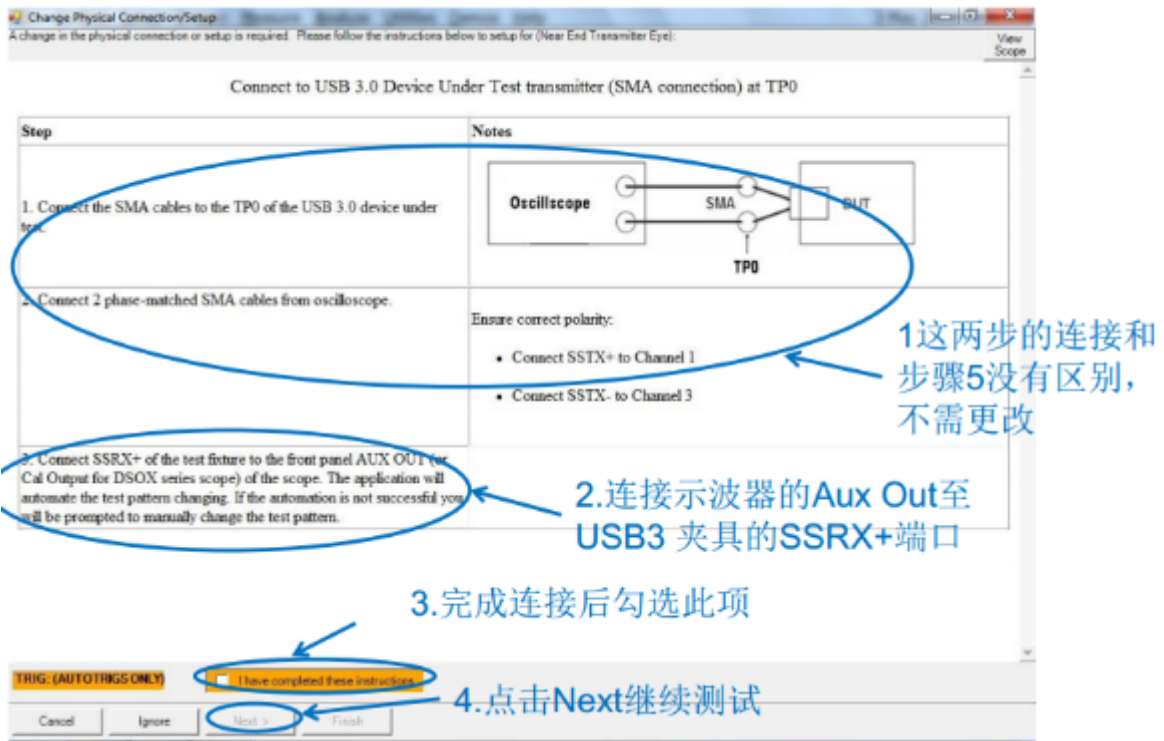


图3-18 USB 3.0 Device Tx SSC测试

5.3). SSC测试完成后, 开始眼图/抖动测试, 自动化软件提示更改示波器、夹具和被测件的连接。



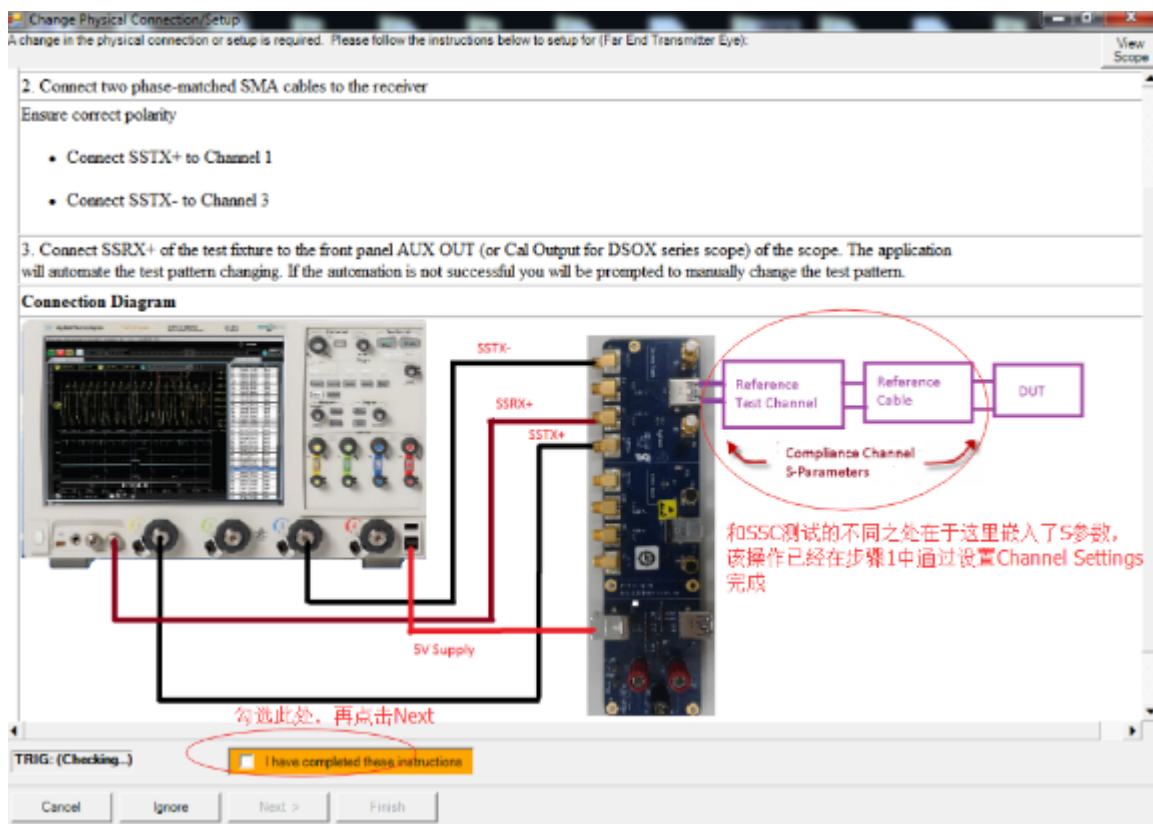
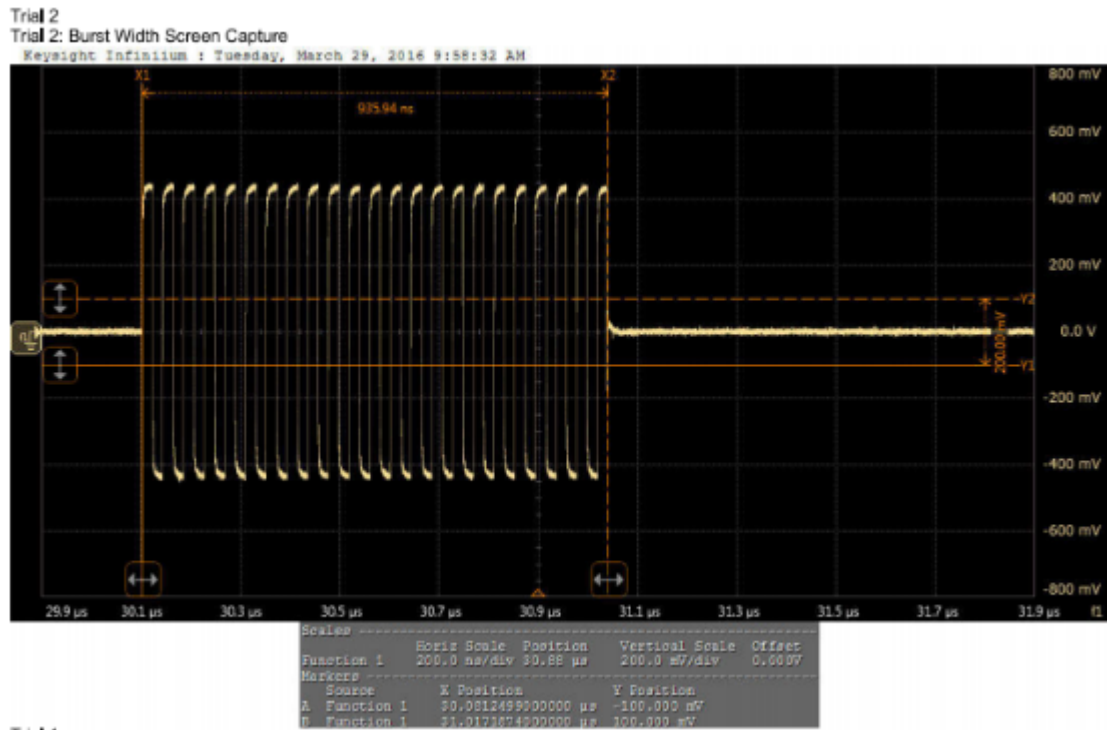


图3-19 USB 3.0 Device Tx眼图及抖动测试

5.4). 测试完成，自动生成测试报告，查看测试报告

Pass	# Failed	# Trials	Test Name	Worst Actual	Worst Margin	Pass Limits
✓	0	2	5G LFPS Peak-Peak Differential Output Voltage	897.4 mV	24.4 %	800.0 mV <= VALUE <= 1.2000 V
✓	0	2	5G LFPS Period (tPeriod)	41.6532 ns	27.1 %	20.0000 ns <= VALUE <= 100.0000 ns
✓	0	2	5G LFPS Burst Width (tBurst)	939.4 ns	42.4 %	600.0 ns <= VALUE <= 1.4000 μs
✓	0	2	5G LFPS Repeat Time Interval (tRepeat)	10.0303 μs	49.6 %	6.0000 μs <= VALUE <= 14.0000 μs
✓	0	2	5G LFPS Rise Time	320.2 ps	92.0 %	VALUE <= 4.0000 ns
✓	0	2	5G LFPS Fall Time	326.4 ps	91.8 %	VALUE <= 4.0000 ns
✓	0	2	5G LFPS Duty cycle	51.3539 %	43.2 %	40.0000 % <= VALUE <= 60.0000 %
✓	0	2	5G LFPS AC Common Mode Voltage	42.6 mV	57.4 %	VALUE <= 100.0 mV
✓	0	1	5G TSSC-Freq-Dev-Min	-5.014726 kppm	17.8 %	-5.300000 kppm <= VALUE <= -3.700000 kppm
✓	0	1	5G TSSC-Freq-Dev-Max	25.001 ppm	45.8 %	TSSCMin ppm <= VALUE <= TSSCMax ppm
✓	0	1	5G SSC Modulation Rate	31.500990 kHz	50.0 %	30.000000 kHz <= VALUE <= 33.000000 kHz
✓	0	1	5G SSC Slew Rate	5.350 ms	46.5 %	VALUE <= 10.000 ms
✓	0	1	5G Short Channel Random Jitter	70 mUI	69.6 %	VALUE <= 230 mUI
✓	0	1	5G Short Channel Maximum Deterministic Jitter	221 mUI	48.6 %	VALUE <= 430 mUI
✓	0	1	5G Short Channel Total Jitter at BER-12	291 mUI	55.9 %	VALUE <= 660 mUI
✓	0	1	5G Short Channel Template Test	0.000	100.0 %	VALUE = 0.000
✓	0	1	5G Short Channel Differential Output Voltage	166.3 mV	6.0 %	100.0 mV <= VALUE <= 1.2000 V
✓	0	1	5G Far End Random Jitter (CTLE ON)	69 mUI	70.0 %	VALUE <= 230 mUI
✓	0	1	5G Far End Maximum Deterministic Jitter (CTLE ON)	211 mUI	50.9 %	VALUE <= 430 mUI
✓	0	1	5G Far End Total Jitter at BER-12 (CTLE ON)	280 mUI	57.6 %	VALUE <= 660 mUI
✓	0	1	5G Far End Template Test (CTLE ON)	0.000	100.0 %	VALUE = 0.000
✓	0	1	5G Far End Differential Output Voltage (CTLE ON)	113.7 mV	1.2 %	100.0 mV <= VALUE <= 1.2000 V

图3-20 USB 3.0 Device Tx测试报告



Trial 1

图3-21 USB 3.0 Device Tx LFPs Burst Width

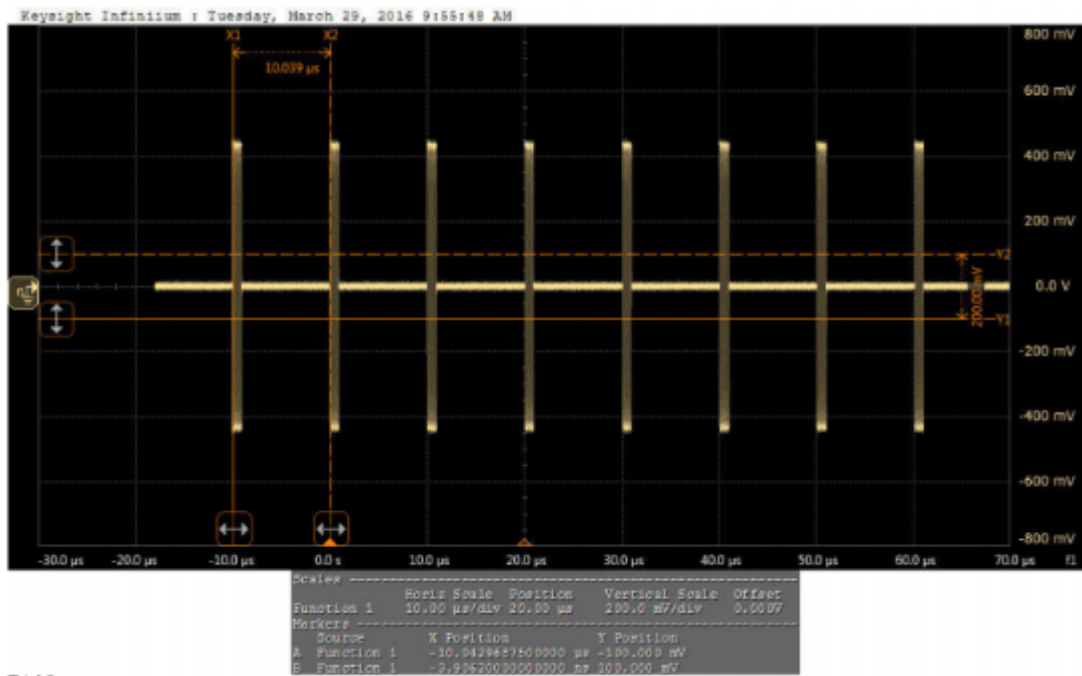
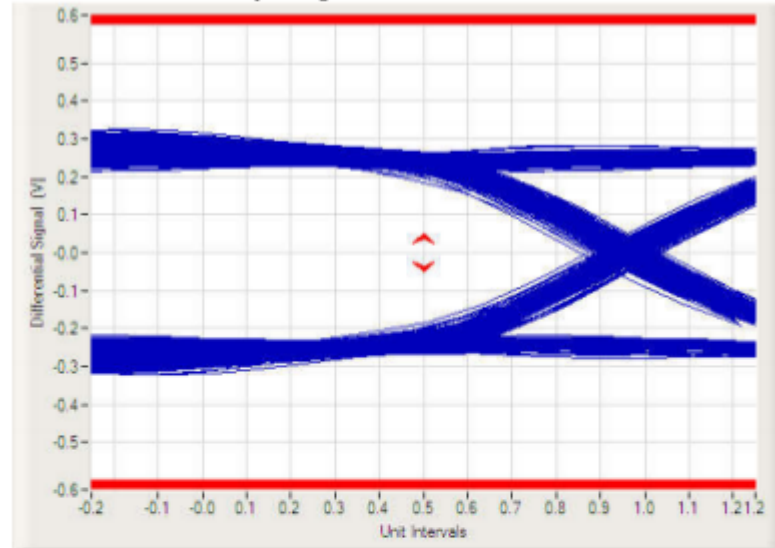


图3-22 USB 3.0 Device Tx LFPs Repeat Time Interval

Trial 1: Non-Transition Eye Diagram



Trial 1: Transition Eye Diagram

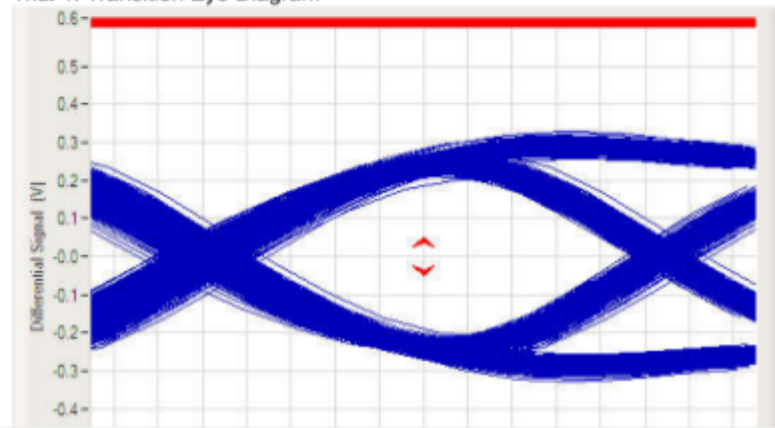


图3-23 USB 3.0 Device Tx Short Channel Eye Diagram

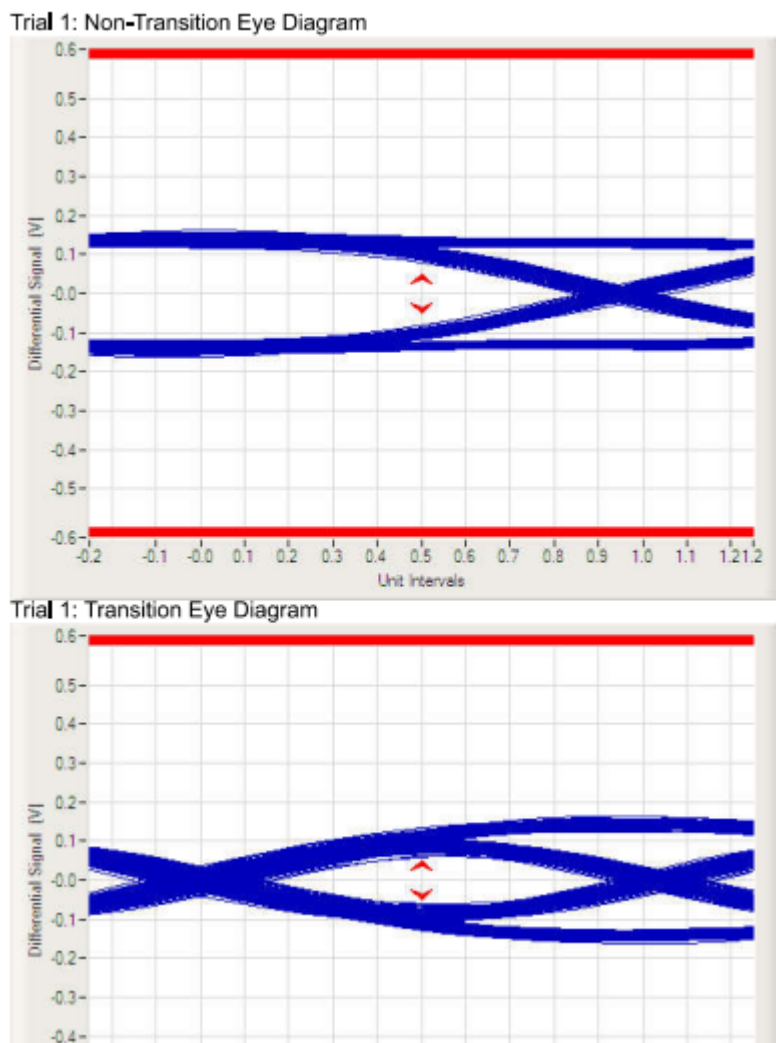


图3-24 USB 3.0 Device Tx Far End Eye Diagram

### 3.2.6 USB 3.0 Host Tx 测试命令

Android平台和Chrome平台的USB 3.0 Host Tx测试命令有所不同，以下分别说明。

#### 1). Android 平台USB 3.0 Host Tx测试命令

Android平台支持两种不同的测试命令，一种是io命令写寄存器的方式，另外一种是与内核设备节点的方式。**推荐优先使用写内核节点的方式，尤其是3399平台。**

##### 1.1) Android平台io测试命令

表3-1 USB 3.0 Host Tx测试命令-Android平台

芯片名称	DWC3_0 OTG Host 3.0	DWC3_1 OTG Host 3.0
RK3228H	io -4 0xff478408 0x0000000c io -4 0xff600430 0x0a010340	N.A
RK3366	io -4 0xff500430 0x0a010340	N.A
RK3399	io -4 0xfe800430 0x0a010340	io -4 0xfe900430 0x0a010340

## 1.2) Android平台写内核设备节点的方法[推荐优先使用]

`echo test_u3 > /sys/kernel/debug/usb3控制器节点/host_testmode`

其中，“usb3控制器节点”应该根据芯片的USB 3.0控制器节点的名称进行修改。

比如，rk3399平台的USB3 Host Tx测试命令如下：

```
USB3 Host0 : echo test_u3 > /sys/kernel/debug/usb@fe800000/host_testmode
```

```
USB3 Host1 : echo test_u3 > /sys/kernel/debug/usb@fe900000/host_testmode
```

## 2). Chrome平台USB 3.0 Host Tx测试命令

Chrome平台可使用表3-1和表3-2两种测试命令，效果一样，但Chrome平台不支持写内核设备节点的方法。

表3-2 USB 3.0 Host Tx测试命令-Chrome平台

芯片名称	DWC3_0 OTG Host 3.0	DWC3_1 OTG Host 3.0
RK3228H	mem w 0xff600430 0x0a010340	N.A
RK3366	mem w 0xff500430 0x0a010340	N.A
RK3399	mem w 0xfe800430 0x0a010340	mem w 0xfe900430 0x0a010340

## 3.2.7 USB 3.0 Host Tx测试方法

本文档主要说明使用Agilent 90000系列示波器(型号：DSO91204A和测试夹具U7242A)的USB 3.0 Device Tx测试方法。如果使用的是Tektronix或者LeCroy的示波器，请自行搜索Tektronix和LeCroy官方发布的测试指南。

### 测试注意事项：

- 1). 测试USB 3.0 Host Tx，需要先输入测试命令，USB 3.0控制器才能进入测试模式(Compliance mode)
- 2). 测试Host Tx时，待测USB接口的VBus需要对外输出5v供电，而测试夹具U7242A则不需要5V供电(这与Device Tx测试恰好相反)。

### USB 3.0 Host Tx测试步骤

USB 3.0 Host Tx测试过程中，示波器的自动化测试软件的设置与USB 3.0 Device Tx类似，所以测试软件的设置请参考Device Tx测试步骤中的说明，此处不再赘述。

以下分别介绍基于Android平台和基于Chrome平台的USB 3.0 Host Tx测试步骤。

### 1). 基于Android平台的USB 3.0 Host Tx测试步骤

#### 1.1) 基于Android平台的io命令测试步骤

**Note：**该方法不适用于RK3399 Type-C USB 3.0

- 将测试夹具的一端连接到示波器，测试夹具的另外一端先不要连接到待测试的USB 3.0 Host port；
- 设置示波器进入USB 3.0的LFPS测试项，示波器会提示断开测试夹具与待测的USB 3.0 Host port的连接；
- 查表3-1，输入对应的测试命令；
- 连接测试夹具与待测试的USB 3.0 Host port，则USB 3.0控制器会自动进入测试模式。

注意：一定要先输入测试命令，再连接测试夹具与待测试的USB3 port，否则可能导致USB 3.0控制器没有成功进入测试模式。

- 根据示波器的操作提示，完成所有的测试项；

## 1.2) 基于Android平台的写内核设备节点的测试步骤

**Note：该方法适用于包括RK3399在内的所有Rockchip SoCs**

- 将测试夹具的一端连接到示波器，**测试夹具的另外一端先不要连接到待测试的USB 3.0 Host port**；
- 设置示波器进入USB 3.0的LFPS测试项，示波器会提示断开测试夹具与待测的USB 3.0 Host port的连接；
- 输入测试命令：`echo test_u3 > /sys/kernel/debug/usb3控制器节点/host_testmode`

其中，“usb3控制器节点”应根据芯片的USB 3.0控制器节点的名称进行修改

如rk3399平台的USB3 Host Tx测试命令如下：

```
USB3 Host0 : echo test_u3 > /sys/kernel/debug/usb@fe800000/host_testmode
```

```
USB3 Host1 : echo test_u3 > /sys/kernel/debug/usb@fe900000/host_testmode
```

- 连接测试夹具与待测试的USB 3.0 Host port，则USB 3.0控制器会自动进入测试模式。

可以执行如下的命令，查看USB是否进入测试模式：

```
cat /sys/kernel/debug/usb3控制器节点/host_testmode
```

返回的结果参考如下：

```
U2: test_packet // means that U2 in test mode
```

```
U3: compliance mode // means that U3 in test mode
```

(如果返回的是 U3: UNKNOWN，表示USB没有进入测试模式)

- 根据示波器的操作提示，完成所有的测试项；

## 2). 基于Chrome平台的USB 3.0 Host Tx测试步骤

Chrome平台支持USB 3.0的芯片，目前只有RK3399，以下提供两种Chrome平台RK3399的测试方法，分别是基于io/mem命令的测试方法和基于自动输入命令的补丁的测试方法。

### 2.1) 基于io/mem命令测试步骤

- 将测试夹具的一端连接到示波器，**测试夹具的另外一端先不要连接到待测试的USB 3.0 Host port**；
- 设置示波器进入USB 3.0的LFPS测试项，示波器会提示断开测试夹具与待测的USB 3.0 Host port的连接；
- 连接测试夹具与待测试的USB 3.0 Host port，则示波器会检测到LFPS，开始进入LFPS测试项；
- LFPS测试完成后，会进入SSC测试项，需要检测CP0 test pattern，在示波器弹出CP0 test pattern界面时，同时断开测试夹具与示波器、RK3399待测试USB3 port的连接。然后，先连接测试夹具与K3399待测试的USB3 port，再查表3-2，输入对应的测试命令。最后，连接测试夹具与示波器，USB控制器就能自动进入测试模式，同时会自动触发CP0 test pattern；
- 按照示波器操作提示,完成所有的测试项；

### 2.2) 基于自动输入命令的补丁的测试

该方法目前仅适用于Chrome平台RK3399芯片。需要先打补丁chrome\_usb3\_compliance\_test.patch，更新该补丁后，不需要再手动输入测试命令(如"mem w 0xfe800430 0x0a010340")，只要将待测试的USB 3.0 port连接到测试夹具，软件会自动写入测试命令。

**如果使用Agilent U7242夹具，测试步骤,建议如下:**

- 将测试夹具的一端连接到示波器，测试夹具的另一端连接到Type-C 转Type-A线，但先不要连接到RK3399待测试的USB3 Host port；
- 设置示波器进入USB 3.0 的LFPS测试项，示波器会提示断开测试夹具和待测的USB3 port；
- 连接Type-C 转Type-A 线与RK3399待测试的USB3 port，则示波器会检测到LFPS，开始进入LFPS测试项；
- LFPS测试完成后，会进入SSC测试项，需要检测CP0 test pattern，如果没有检测到CP0的test pattern，说明USB3控制器没有进入测试模式。此时，保持测试夹具U7242与示波器、Type-C转Type-A 线的连接，**只要重新拔插一次Type-C转Type-A线与RK3399待测试的USB3 port的连接**，USB控制器就能自动进入测试模式，同时会自动触发CP0 test pattern；
- 按照示波器操作提示,完成所有的测试项；

**如果使用Tektronix夹具或者Agilent Type-C夹具N7015A，测试步骤,建议如下:**

- 将测试夹具的一端连接到示波器，测试夹具的另外一端Type-C接口，先不要连接到RK3399待测试的USB3 Host port；
- 设置示波器进入USB 3.0 的LFPS测试项，示波器会提示断开U3测试夹具和待测的U3 port；
- 连接测试夹具的Type-C接口与RK3399待测试的USB3 port，则示波器会检测到LFPS，开始进入LFPS测试项
- LFPS测试完成后，会进入SSC测试项，需要检测CP0 test pattern，如果没有检测到CP0的test pattern，说明USB3控制器没有进入测试模式，此时，**需要先同时断开测试夹具与示波器、RK3399 USB3 port的连接，然后，先连接测试夹具的Type-C接口与RK3399 USB3 port，再将测试夹具的另一端连接到示波器**，USB3控制器就能自动进入测试模式，同时会自动触发CP0 test pattern；
- 按照示波器操作提示,完成所有的测试项；

## 3.3 USB 3.0 Rx Compliance Test

USB 3.0 Rx的电气性能测试，我们称之为接收容限测试(Rx Tolerance Compliance Test)，测试过程中，**不需要输入任何的测试命令**，只要搭建好测试环境，USB 3.0控制器在连接到测试仪器后，会自动进入**Loopback mode**，开始进行Rx测试。由于USB 3.0 Rx测试环境搭建比较复杂，并且不同示波器，测试步骤有所不同，所以本文档没有提供Rx的详细测试方法，请参考测试示波器的操作说明。

本文档只简单说明进入Loopback mode的原理，以及确认已经进入Loopback mode的方法。

### 1). 进入Loopback mode的流程

USB 3.0控制器在link training的Polling.Configuration阶段，如果检测到T2 pattern中Loopback bit位，就会自动配置USB 3.0 PHY进入Loopback mode。如下图3-25所示。



## Host/Device Training Sequence

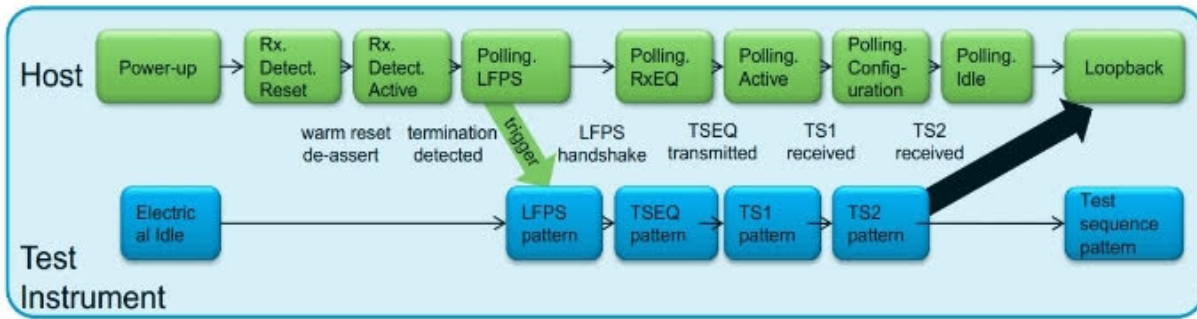


图3-25 USB 3.0进入Loopback mode的流程

### 2). 确认进入Loopback mode的方法

读USB 3.0 xHCI控制器的寄存器PORTSC，bit8:5 Port Link State (PLS)，如果PORTSC.PLS = 11(十进制)，则表示已经处于Loopback mode。

不同芯片，PORTSC的地址也不同，请查芯片的TRM。

比如，RK3399 USB3 Host0的PORTSC的地址为0xfe800430，USB3 Host1的PORTSC地址为0xfe900430。

## 4 USB 3.0 HUB Compliance Test

USB 3.0 HUB的Compliance test包括了upstream ports和downstream ports，但实际应用中，我们一般只需测试提供给用户使用的downstream ports。因此，本文档只提供了测试USB3.0 HUB downstream ports的Compliance test测试方法。

常见的USB 3.0 HUB芯片型号主要有：GL352x系列、VL812、VL813、USB5734、RTS5411、CYPRESS HX3系列等。与USB 2.0 HUB的测试方法不同，Rockchip平台的USB 3.0 HUB Compliance Test只能使用**脚本测试方法**。

脚本源码和编译方法见“usb3\_hub\_Compliance\_test\_script”，该脚本适用于Linux-3.3以后的内核，更早的kernel版本请自行修改测试脚本源码。

以RK3399 平台测试GL3523 HUB为例，测试步骤如下：

```
1 1. 使用adb push 脚本到Android系统，如：
2   adb push C:\Users\user\Desktop\linux-eye /data
3
4 2. 修改linux-eye的权限
5   root@rk3399:/data # chmod 777 linux-eye
6
7 3. 执行脚本，开始设置USB3 HUB port 进入测试模式：
8
9 3.1 根据kernel log 确定待测试的USB3 HUB信息
10 [ 139.427845] usb 6-1: new SuperSpeed USB device number 2 using xhci-hcd
11 [ 139.445641] usb 6-1: New USB device found, idVendor=05e3, idProduct=0612
12 [ 139.445708] usb 6-1: New USB device strings: Mfr=1, Product=2, SerialNumber=0
13 [ 139.445738] usb 6-1: Product: USB3.0 Hub
```



```

14 [ 139.445763] usb 6-1: Manufacturer: GenesysLogic
15 [ 139.452409] usb 5-1: new high-speed USB device number 2 using xhci-hcd
16 [ 139.463572] hub 6-1:1.0: USB hub found
17 [ 139.465861] hub 6-1:1.0: 4 ports detected
18 [ 139.589854] usb 5-1: New USB device found, idVendor=05e3, idProduct=0610
19 [ 139.589920] usb 5-1: New USB device strings: Mfr=1, Product=2, SerialNumber=0
20 [ 139.589950] usb 5-1: Product: USB2.0 Hub
21 [ 139.589975] usb 5-1: Manufacturer: GenesysLogic
22 [ 139.607244] hub 5-1:1.0: USB hub found
23 [ 139.609146] hub 5-1:1.0: 4 ports detected
24
25 3.2 执行测试脚本
26 root@rk3399:/ # ./data/linux-eye
27
28 LinuxEye - select one of the following hub for testing.
29
30     [ 0]    4-port Super-Speed hub at tier 2 of Bus 6
31             (VID: 05E3, PID: 0612, Address: 2)
32
33     [ 1]    4-port High-Speed hub at tier 2 of Bus 5
34             (VID: 05E3, PID: 0610, Address: 2)
35
36     Please enter [0 ~ 1] to select a hub or 'q' to quit: 0 (输入0, 表示测试super-speed)
37             [ 1] is open
38             [ 2] is open
39             [ 3] is open
40             [ 4] is open
41     Please enter [1 ~ 4] to select a port or 'q' to quit: 1 (输入1, 表示测试USB3 HUB port1,
如果测试port2, 则输入2, 以此类推)
42     device file /dev/bus/usb/006/002 opened successfully
43             Port (1) Status: 02A0
44     LinuxEye - Start testing port 1 of device 2 on bus 6 (开始测试)
45             Type 'q' to stop the test: q (测试结束, 输入q, 退出)
46
47 重复上述步骤, 测试其他port

```

## 5 参考文档

1. 《USB 2.0 Specification》
2. 《USB 3.1 Specification》
3. 《Agilent N5416A USB 2.0 Compliance Test Option》
4. 《Agilent USB2.0 High Speed Device SQ Test》》
5. 《Keysight N7015A-16A Type-C Test Kit》