

Rockchip

USB SQ Test Guide

发布版本:1.0

作者邮箱: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 64 bit : 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 64 bit : 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

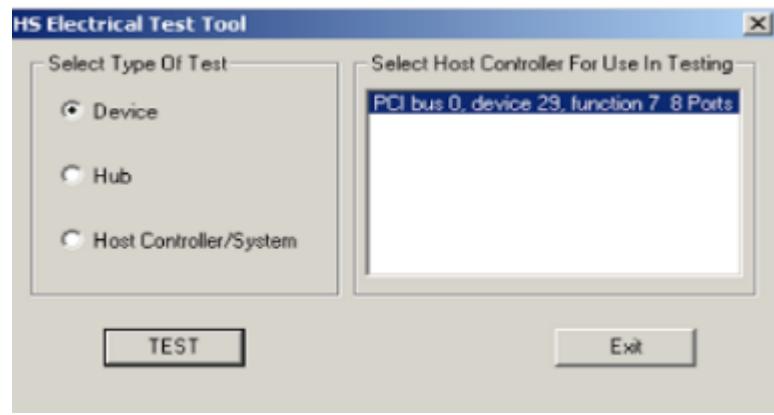


图1-1 选择测试类型

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：

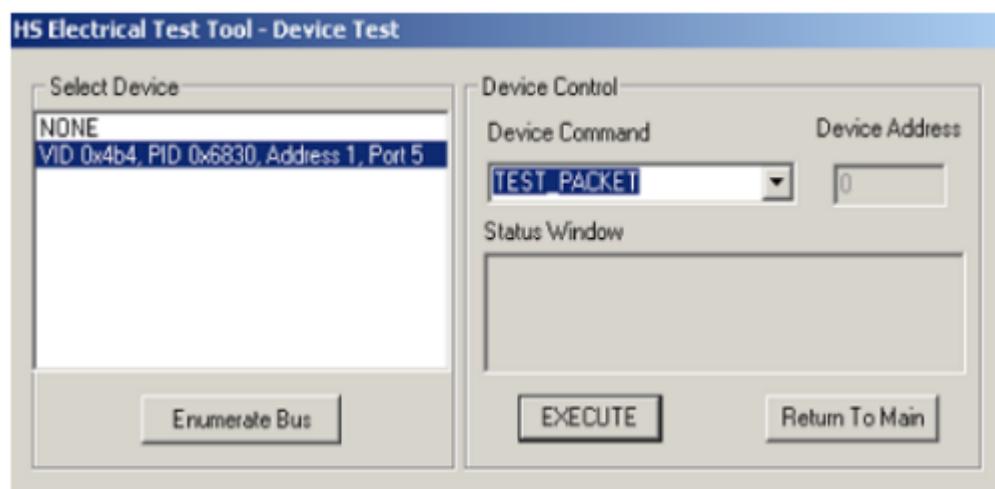


图1-2 选择测试设备和测试命令

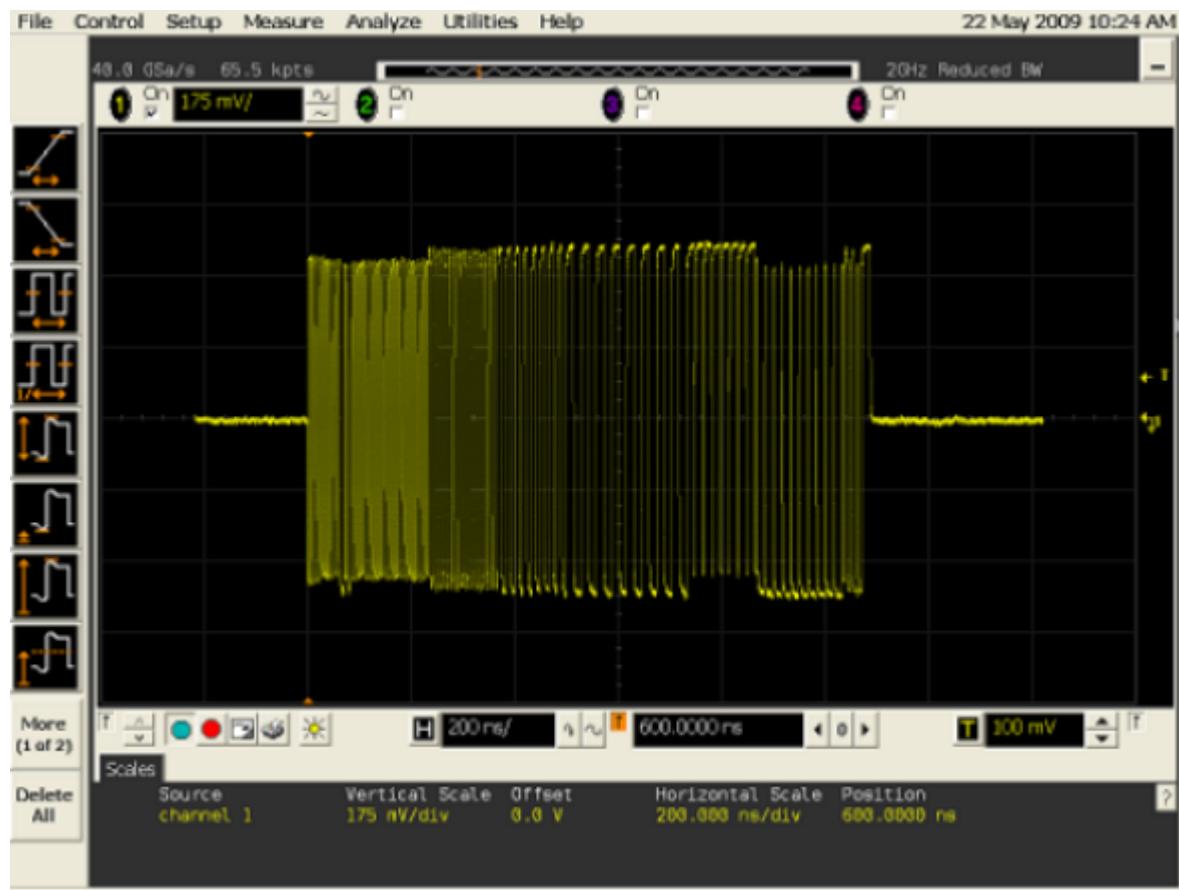


图1-3 测试波形

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：

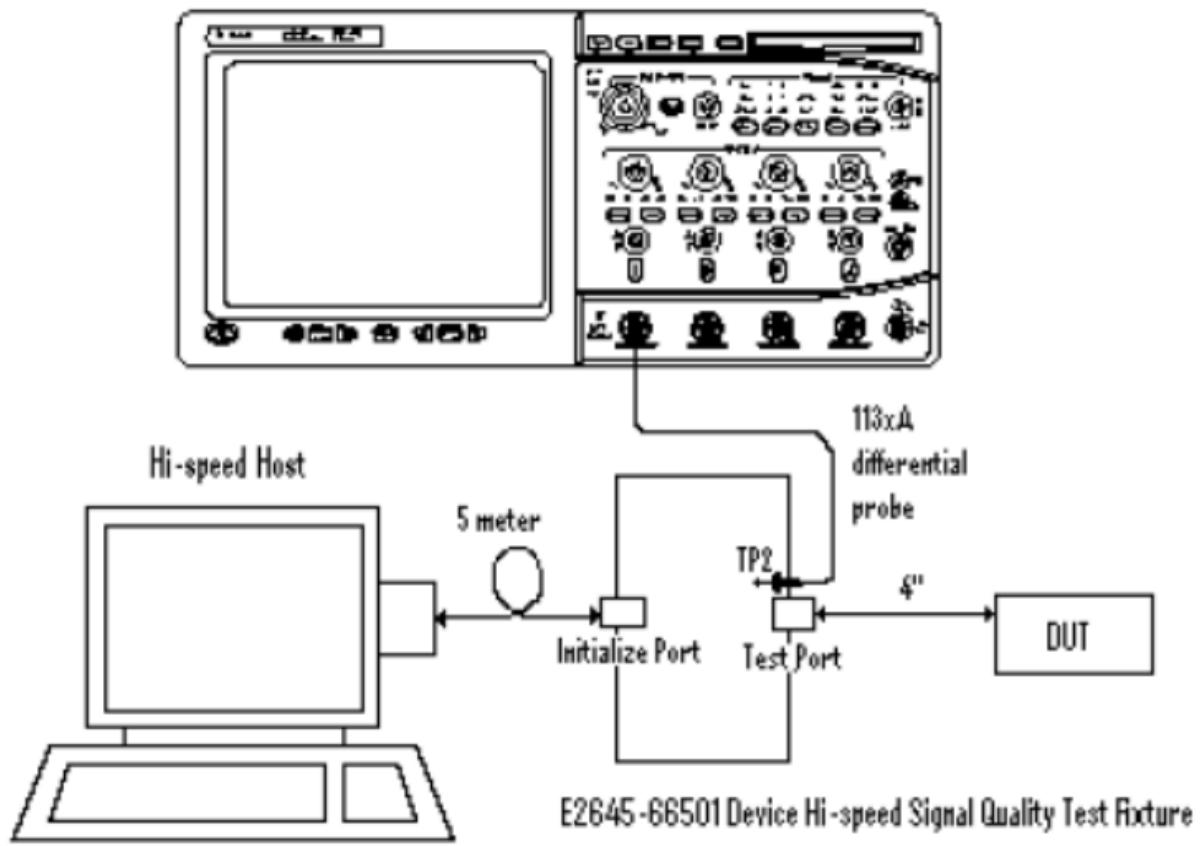


图1-4 Agilent USB 2.0 SQ测试环境

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。

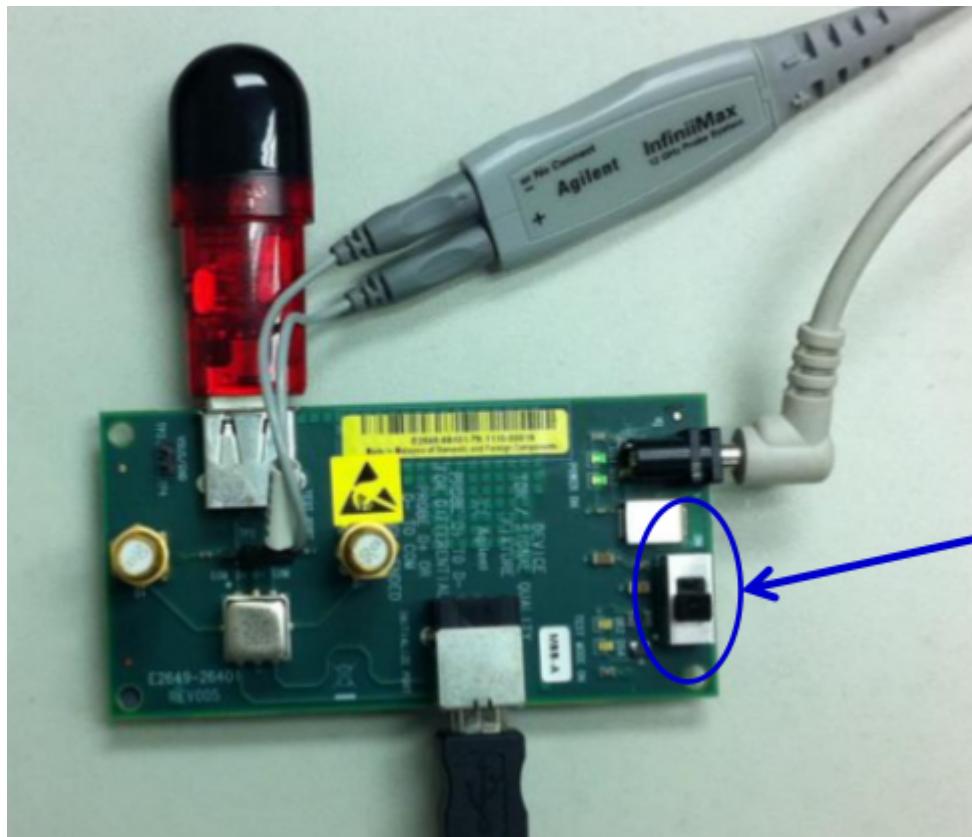


图1-5 Agilent USB 2.0 SQ测试夹具连接方法

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。

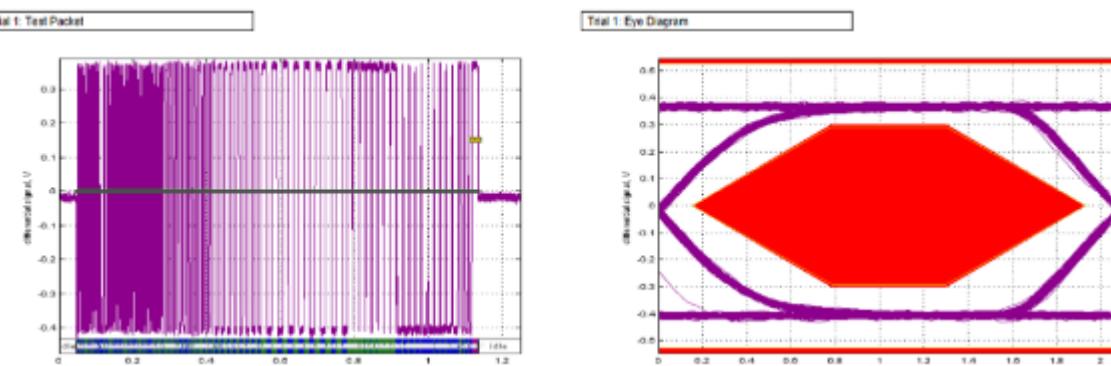


图1-7 USB 2.0 High-speed Near End SQ Eye Diagram

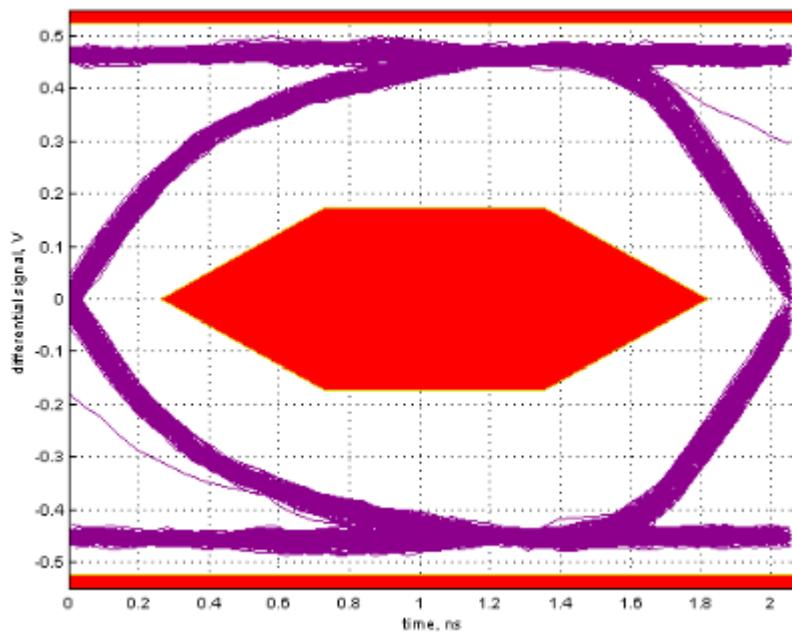


图1-8 USB 2.0 High-speed Far End SQ Eye Diagram

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。

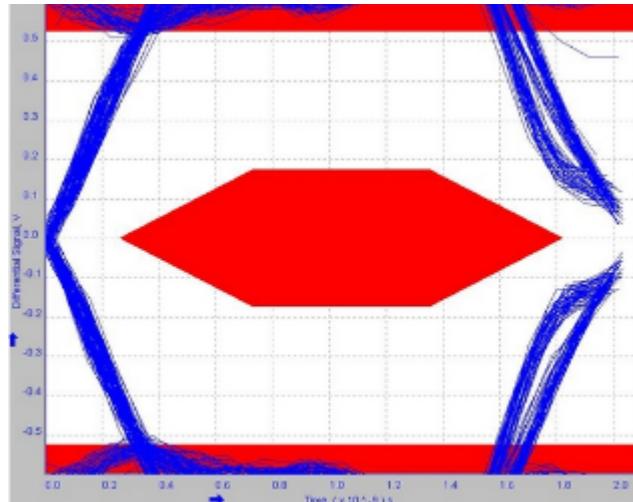


图1-9 USB眼图幅度失真

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。

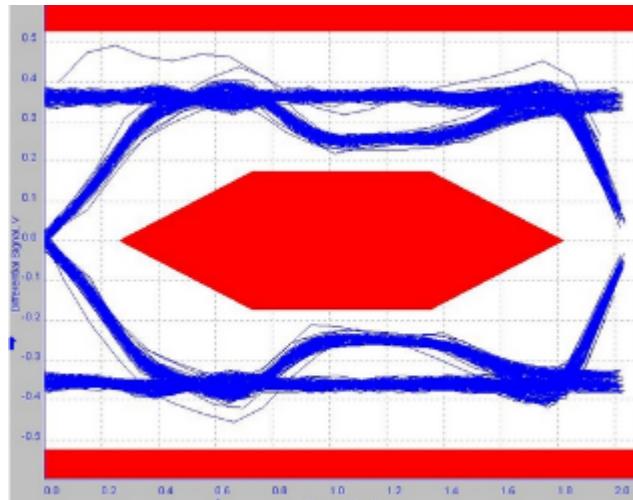


图1-10 USB眼图信号塌陷失真

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驱动的工程师协助调试。

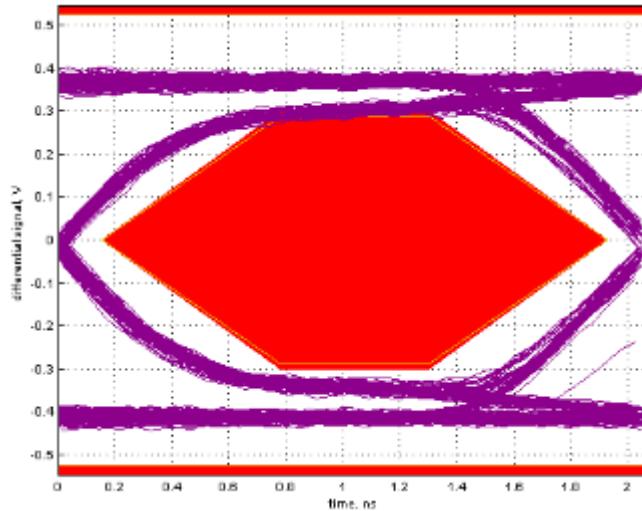


图1-11 USB眼图没有张开

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

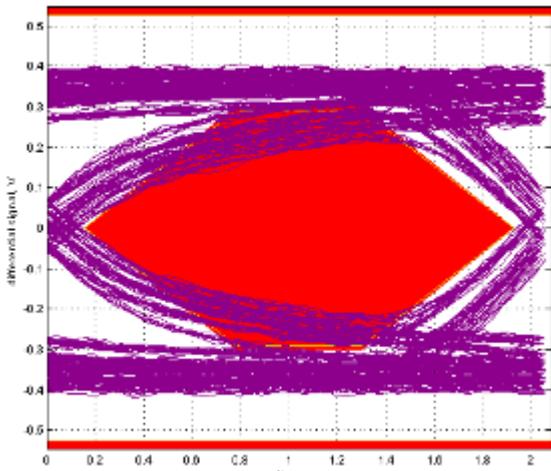


图1-12 USB眼图模糊

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data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。

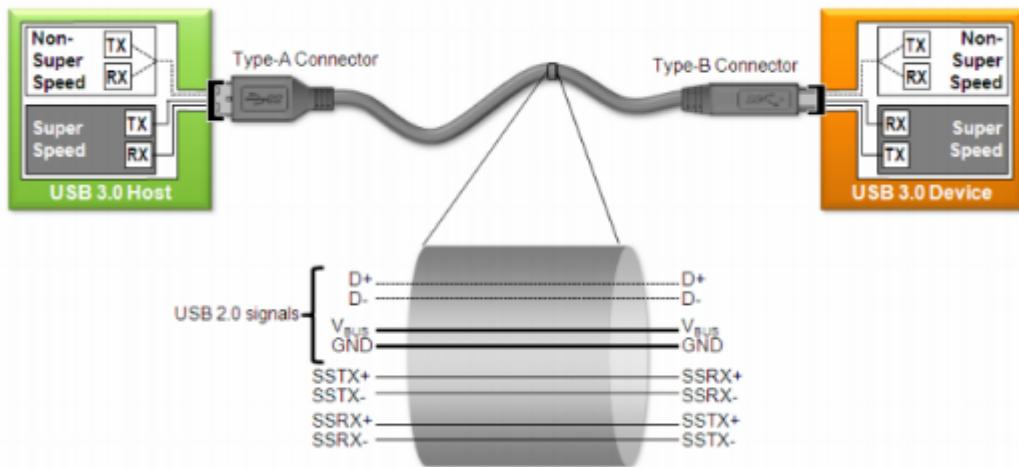


图3-1 USB 3.0 总线架构

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。

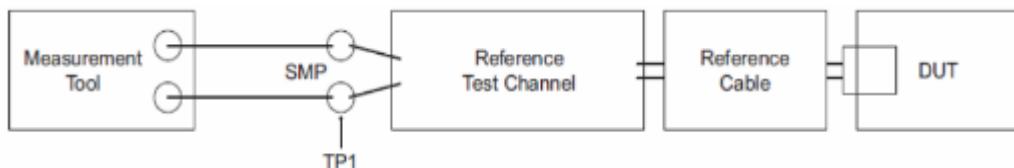


图3-2 USB 3.0 Tx测试模型

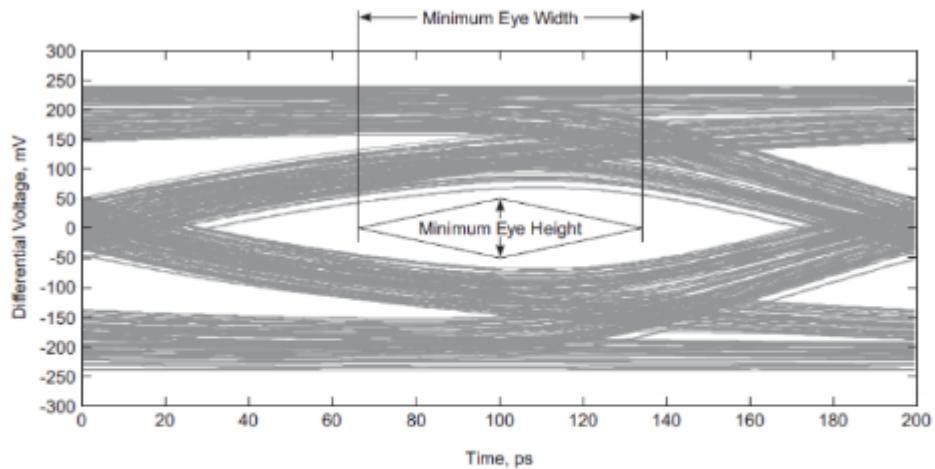


Table 6-12. Normative Transmitter Eye Mask at Test Point TP1

| Signal Characteristic | Minimal | Nominal | Maximum | Units | Note |
|-----------------------|---------|---------|---------|-------|----------|
| Eye Height | 100 | | 1200 | mV | 2, 4 |
| D _j | | | 0.43 | UI | 1,2,3 |
| R _j | | | 0.23 | UI | 1,2,3, 5 |
| T _j | | | 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 ±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 ; T_j , R_j , D_j ; 幅度 ;

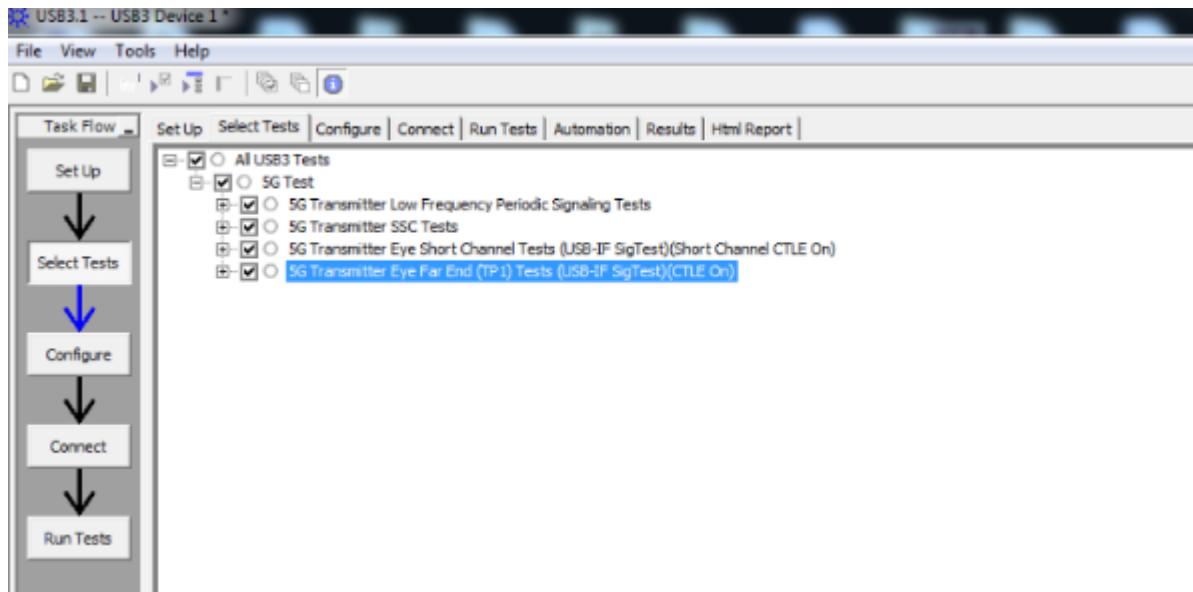


图3-5 Agilent USB 3.0 Tx测试选项

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。

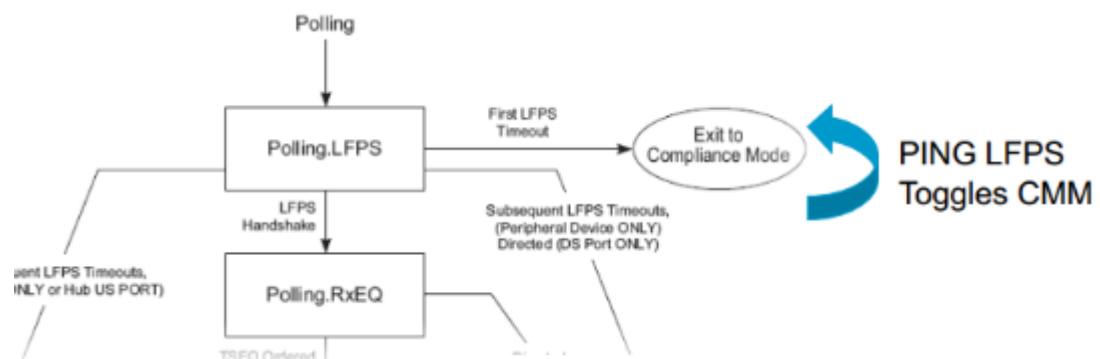


图3-6 USB 3.0 进入Compliance Mode的流程

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。

示波器 DSO91304A

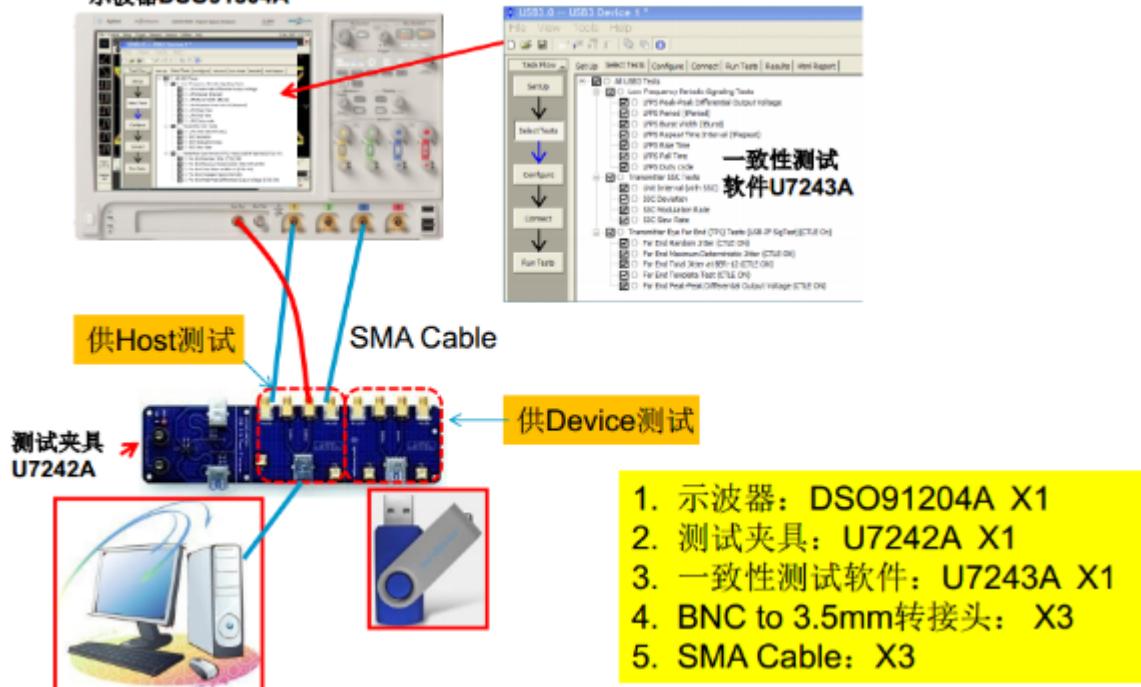


图3-7 Agilent USB 3.0 Tx测试环境

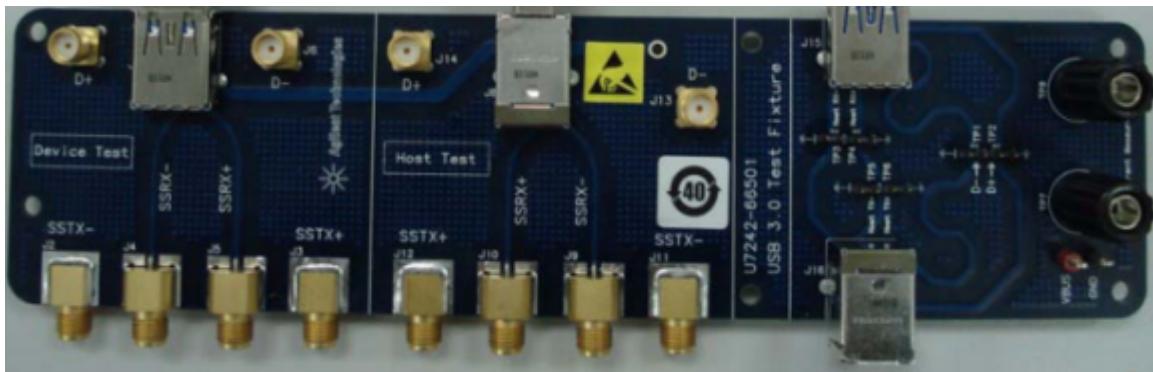


图3-8 Agilent USB 3.0 Tx测试夹具U7242

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》。

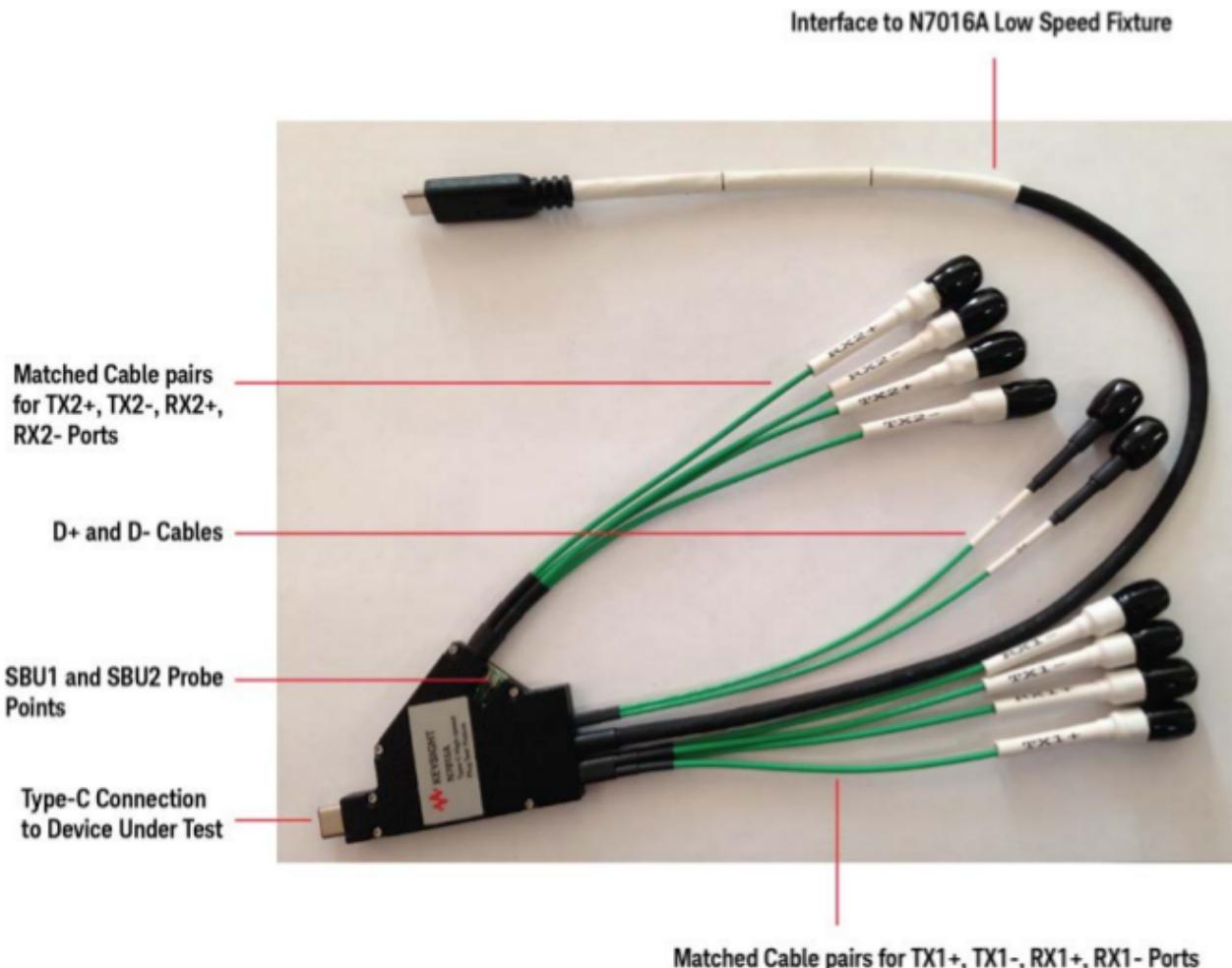


图3-9 Agilent USB 3.0 Type-C测试夹具N7015A

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>

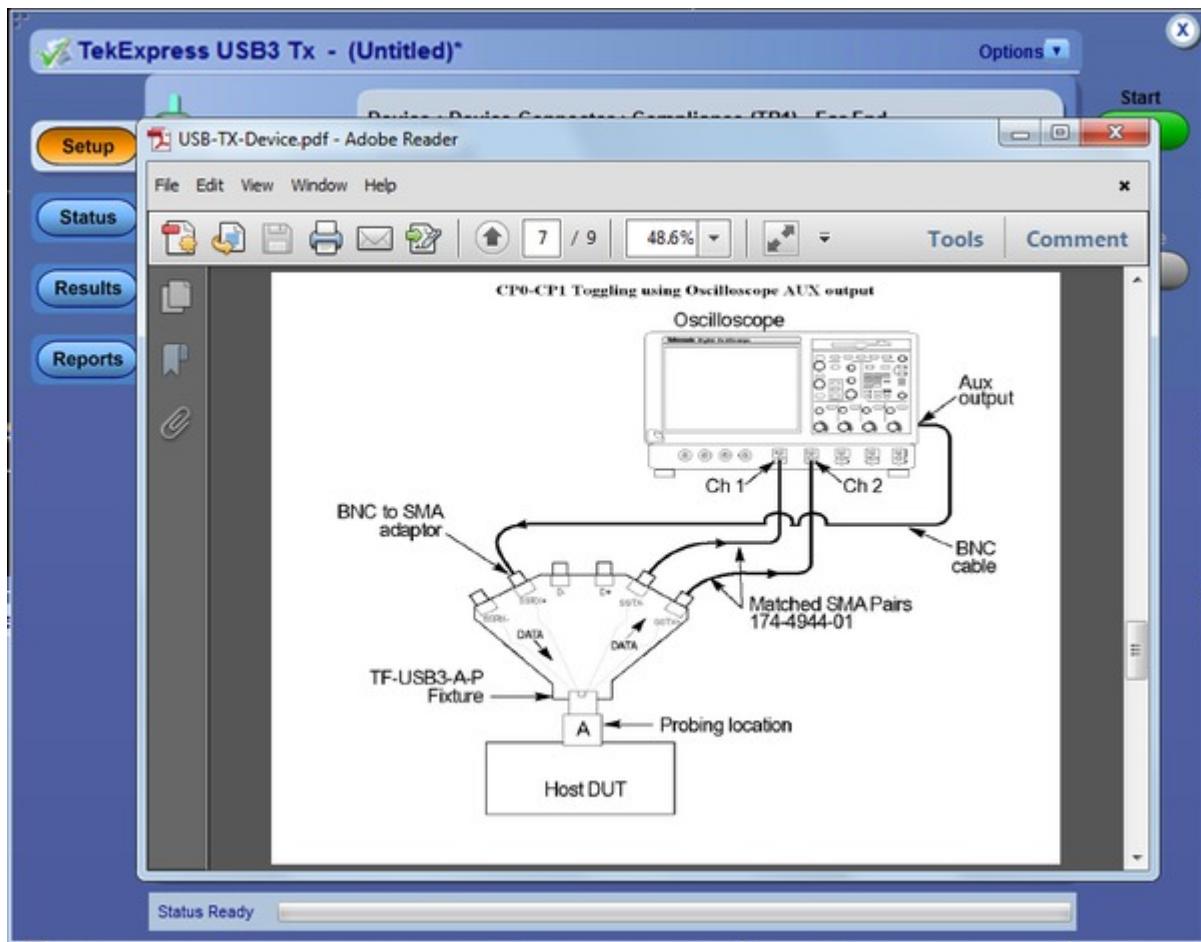


图3-10 Tektronix USB 3.0 Tx测试示意图

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

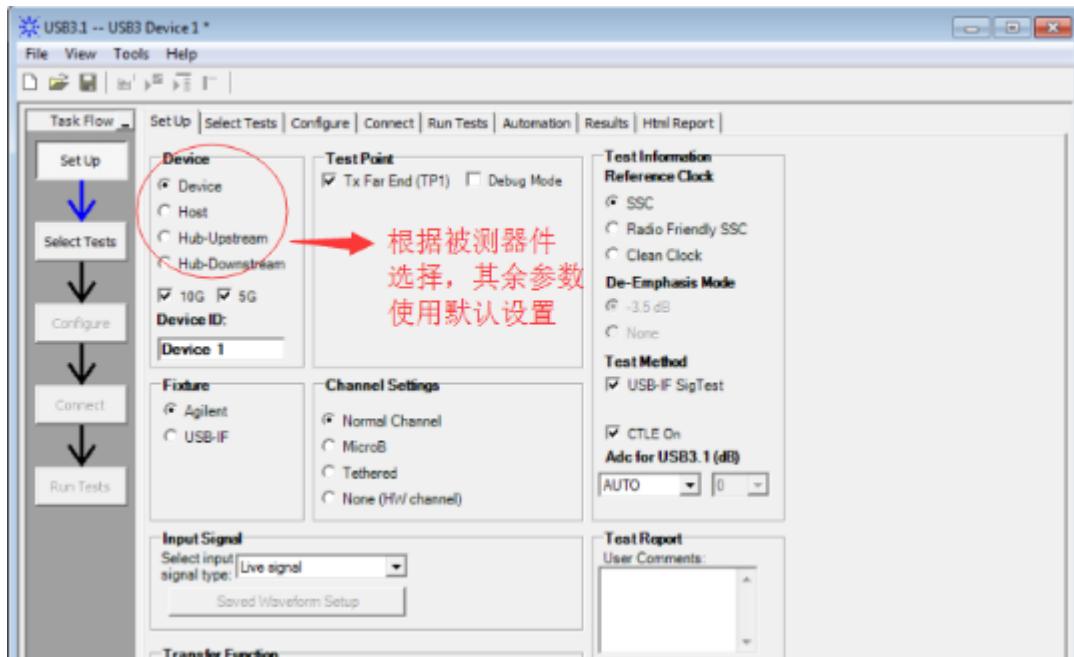


图3-11 USB 3.0 Device Tx测试软件设置界面

Note :

- 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
- 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。

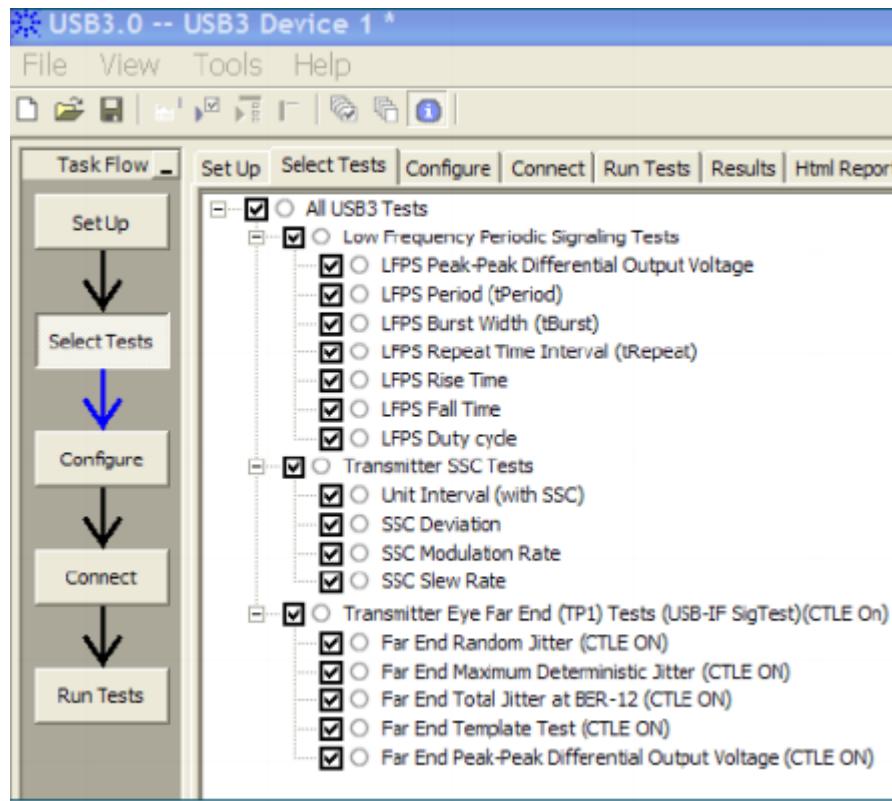


图3-13 USB 3.0 Device Tx测试项的设置

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。

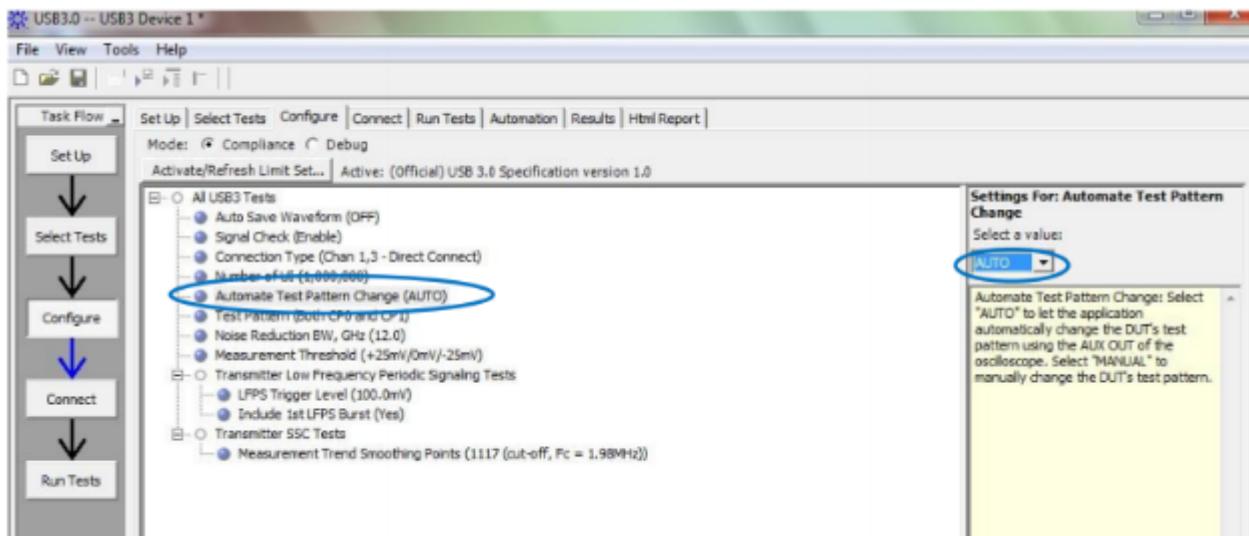


图3-14 USB 3.0 Device Tx测试条件设置

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。

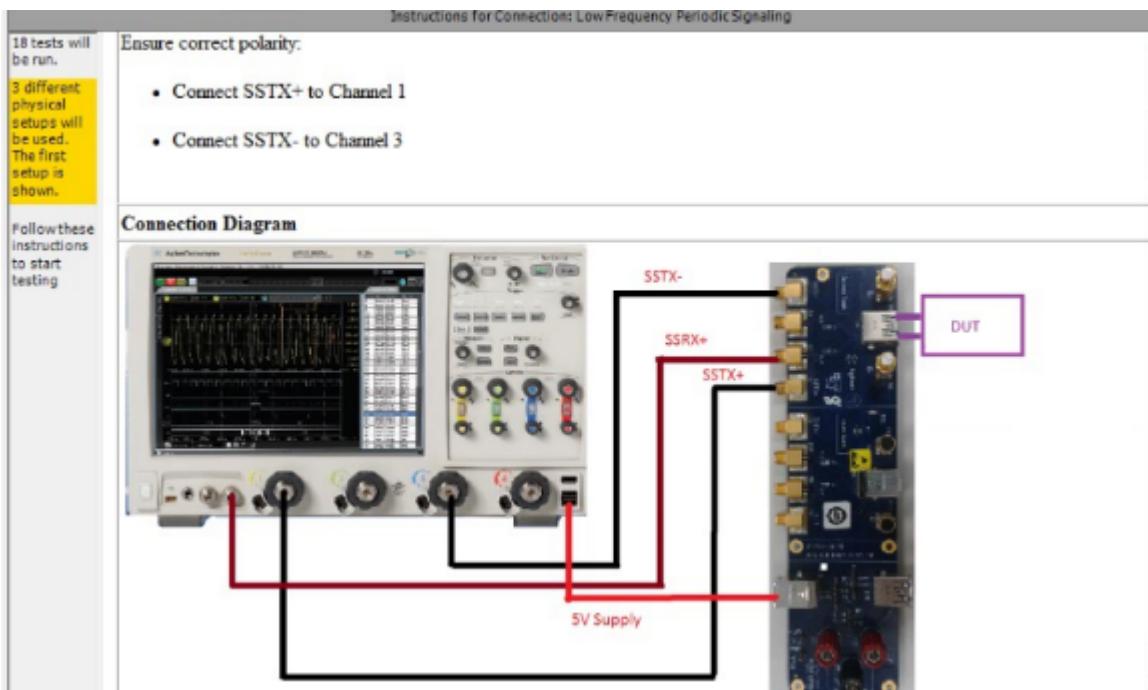


图3-15 USB 3.0 Device Tx测试连接示意图

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

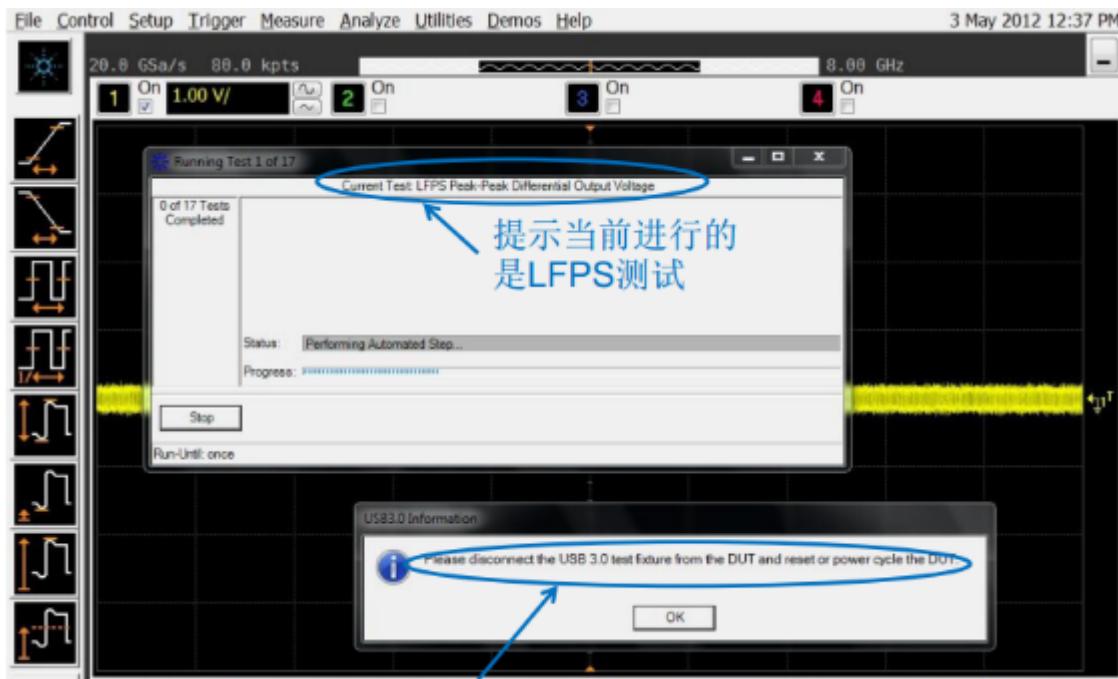


图3-16 LFPS测试界面

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。

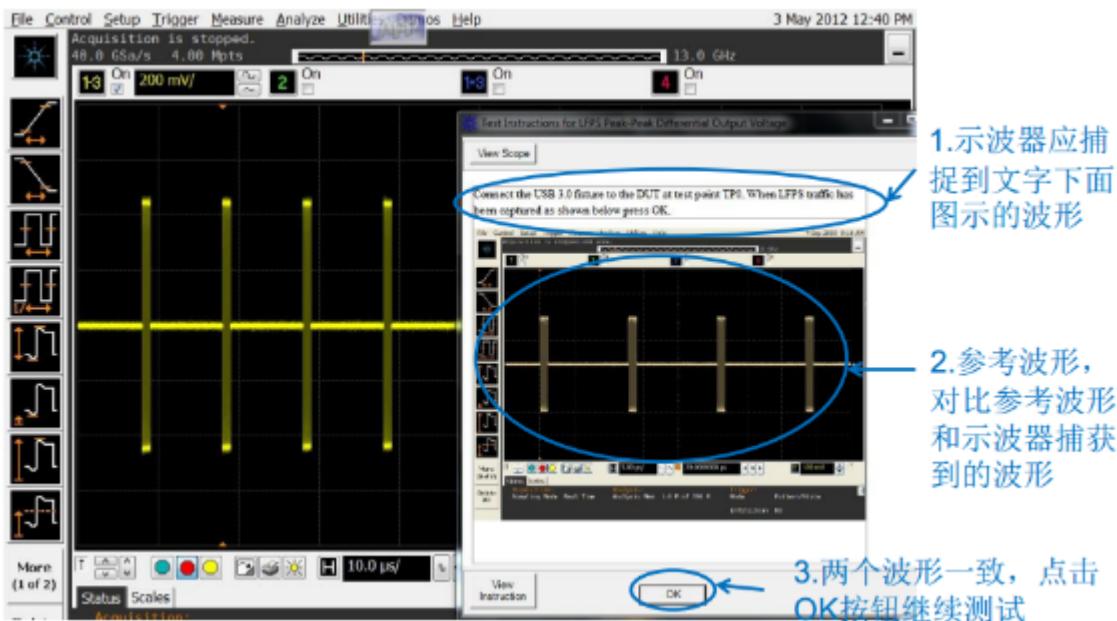


图3-17 USB 3.0 Device Tx LFPS参考波形

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

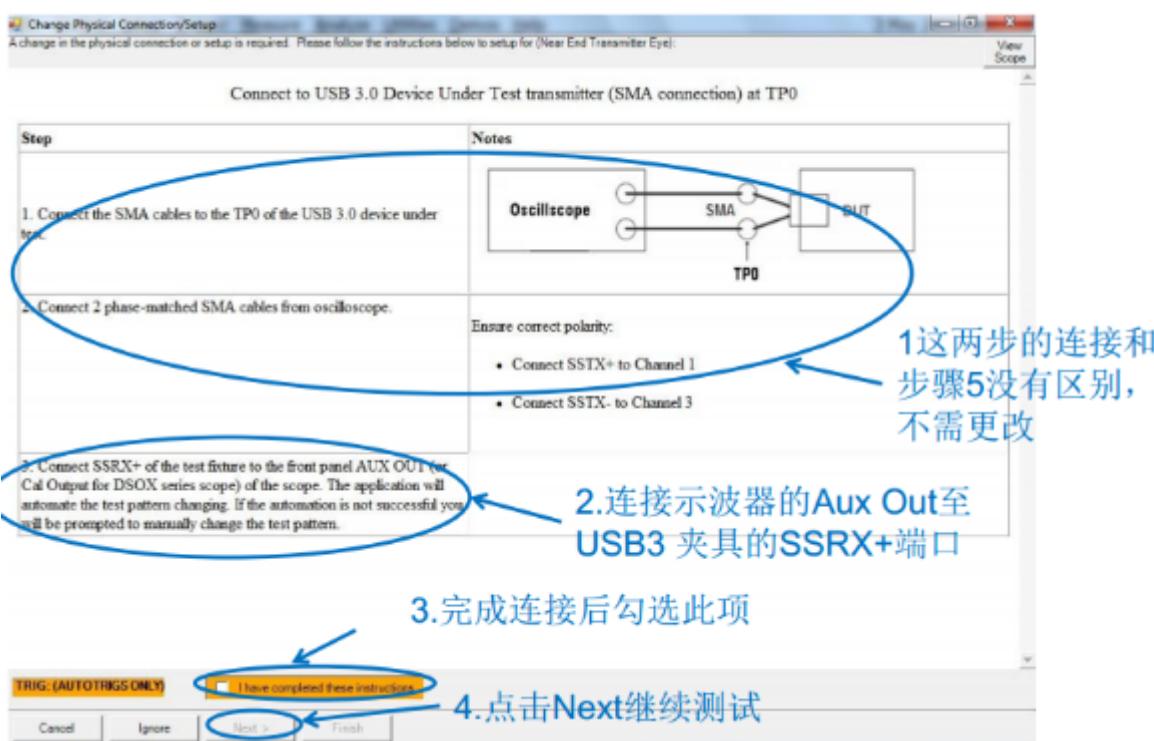


图3-18 USB 3.0 Device Tx SSC测试

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。

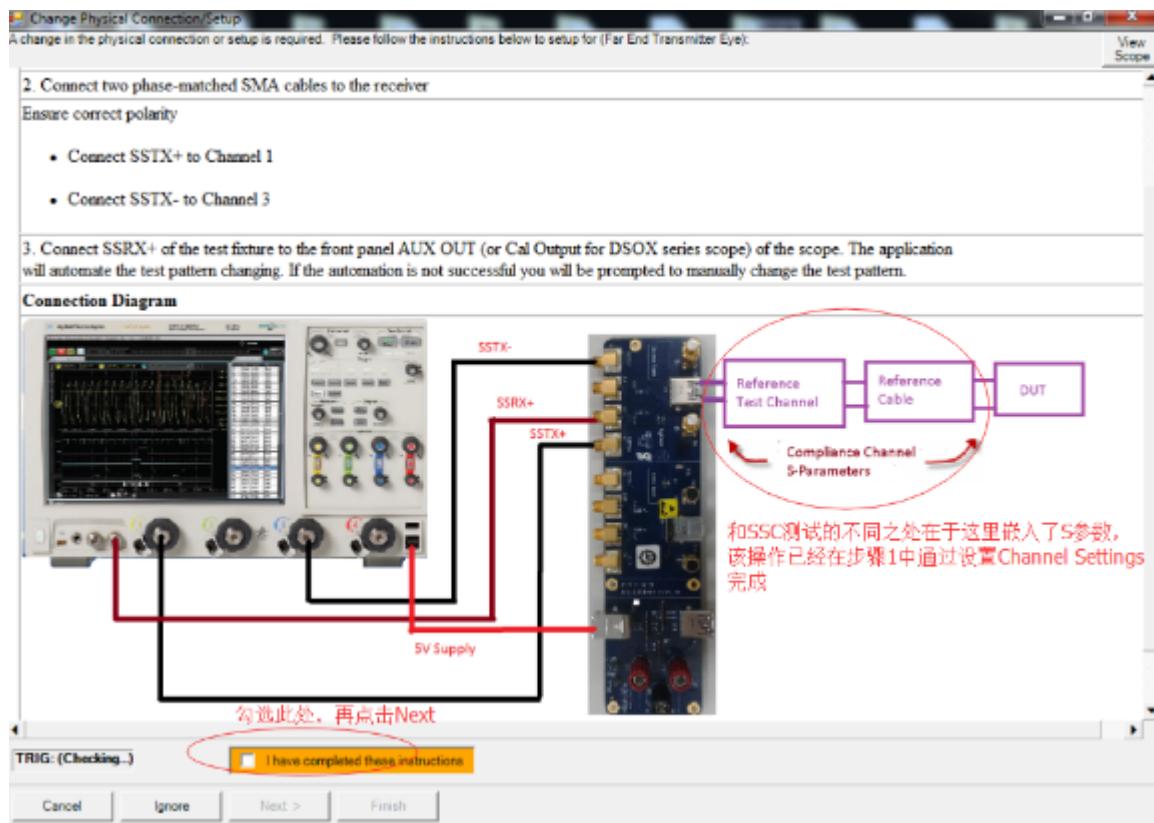


图3-19 USB 3.0 Device Tx眼图及抖动测试

5.4). 测试完成，自动生成测试报告，查看测试报告

| Margin Thresholds | | | | | |
|-------------------|----------|----------|---|---------------|--------------|
| | Warning | < 2 % | Critical | < 0 % | |
| Pass | # Failed | # Trials | Test Name | Worst Actual | Worst Margin |
| ✓ | 0 | 2 | 5G LFPS Peak-Peak Differential Output Voltage | 897.4 mV | 24.4 % |
| ✓ | 0 | 2 | 5G LFPS Period (tPeriod) | 41.6532 ns | 27.1 % |
| ✓ | 0 | 2 | 5G LFPS Burst Width (tBurst) | 939.4 ns | 42.4 % |
| ✓ | 0 | 2 | 5G LFPS Repeat Time Interval (tRepeat) | 10.0303 µs | 49.6 % |
| ✓ | 0 | 2 | 5G LFPS Rise Time | 320.2 ps | 92.0 % |
| ✓ | 0 | 2 | 5G LFPS Fall Time | 326.4 ps | 91.8 % |
| ✓ | 0 | 2 | 5G LFPS Duty cycle | 51.3539 % | 43.2 % |
| ✓ | 0 | 2 | 5G LFPS AC Common Mode Voltage | 42.6 mV | 57.4 % |
| ✓ | 0 | 1 | 5G TSSC-Freq-Dev-Min | -5.014726 ppm | 17.8 % |
| ✓ | 0 | 1 | 5G TSSC-Freq-Dev-Max | 25.001 ppm | 45.8 % |
| ✓ | 0 | 1 | 5G SSC Modulation Rate | 31.500990 kHz | 50.0 % |
| ✓ | 0 | 1 | 5G SSC Slew Rate | 5,350 ms | 46.5 % |
| ✓ | 0 | 1 | 5G Short Channel Random Jitter | 70 mUI | 69.6 % |
| ✓ | 0 | 1 | 5G Short Channel Maximum Deterministic Jitter | 221 mUI | 48.6 % |
| ✓ | 0 | 1 | 5G Short Channel Total Jitter at BER-12 | 291 mUI | 55.9 % |
| ✓ | 0 | 1 | 5G Short Channel Template Test | 0.000 | 100.0 % |
| ✓ | 0 | 1 | 5G Short Channel Differential Output Voltage | 166.3 mV | 6.0 % |
| ✓ | 0 | 1 | 5G Far End Random Jitter (CTLE ON) | 69 mUI | 70.0 % |
| ✓ | 0 | 1 | 5G Far End Maximum Deterministic Jitter (CTLE ON) | 211 mUI | 50.9 % |
| ✓ | 0 | 1 | 5G Far End Total Jitter at BER-12 (CTLE ON) | 280 mUI | 57.6 % |
| ✓ | 0 | 1 | 5G Far End Template Test (CTLE ON) | 0.000 | 100.0 % |
| ✓ | 0 | 1 | 5G Far End Differential Output Voltage (CTLE ON) | 113.7 mV | 1.2 % |

图3-20 USB 3.0 Device Tx测试报告

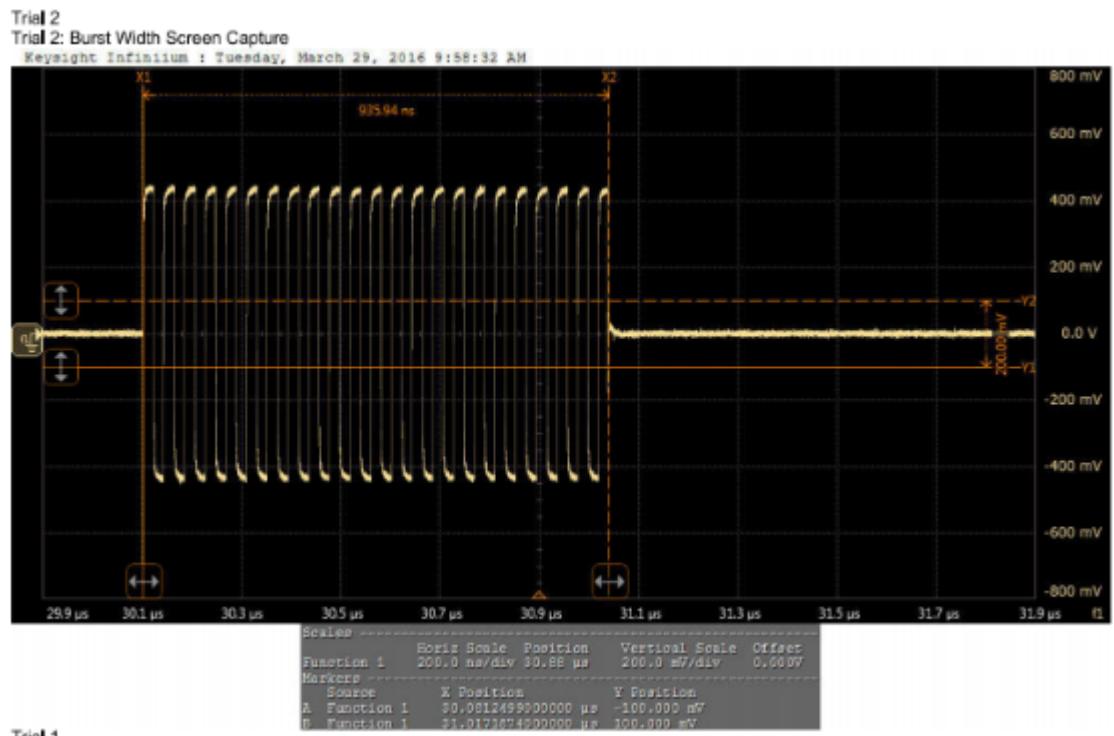


图3-21 USB 3.0 Device Tx LFPS Burst Width

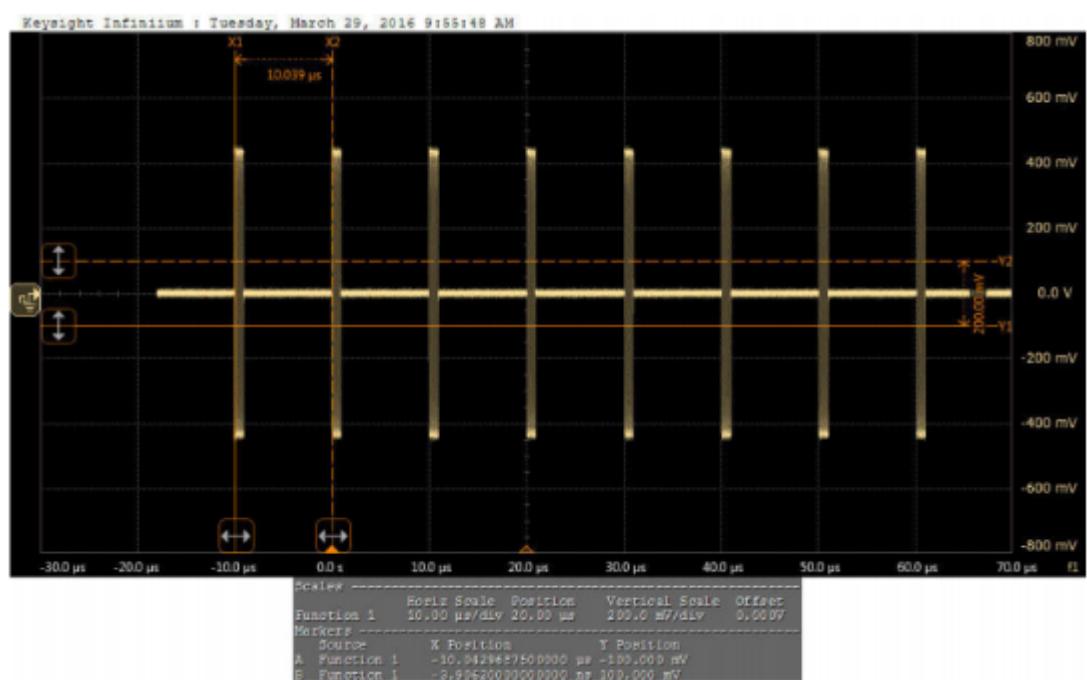


图3-22 USB 3.0 Device Tx LFPS Repeat Time Interval

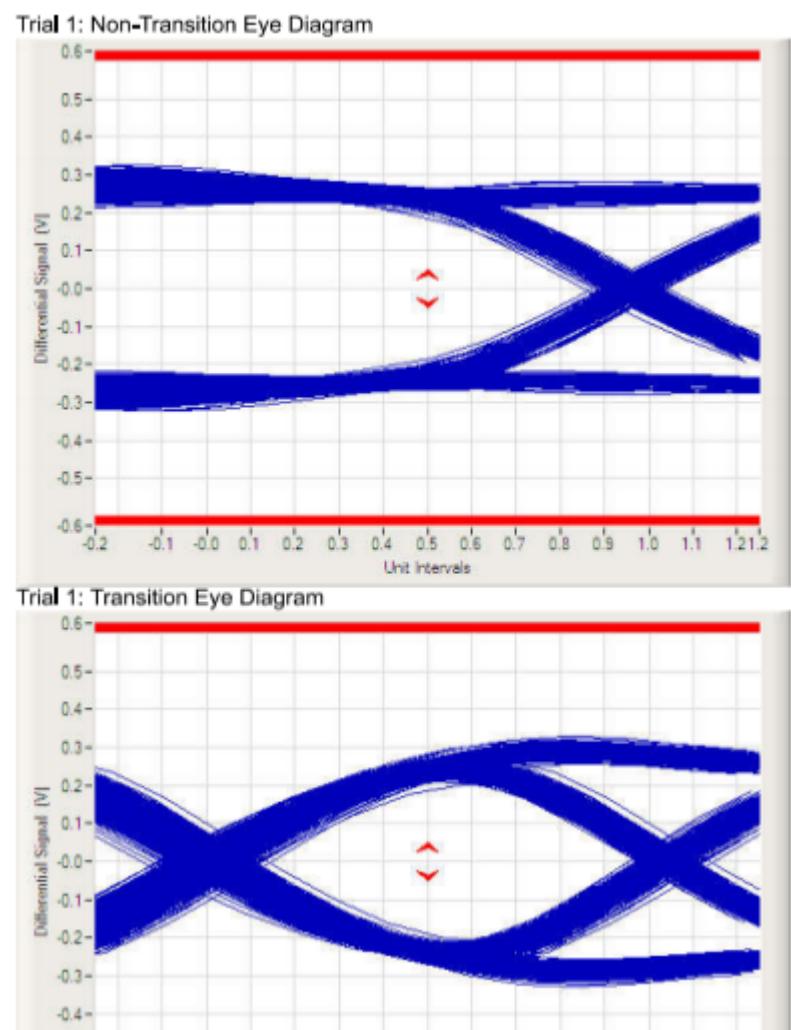


图3-23 USB 3.0 Device Tx Short Channel Eye Diagram

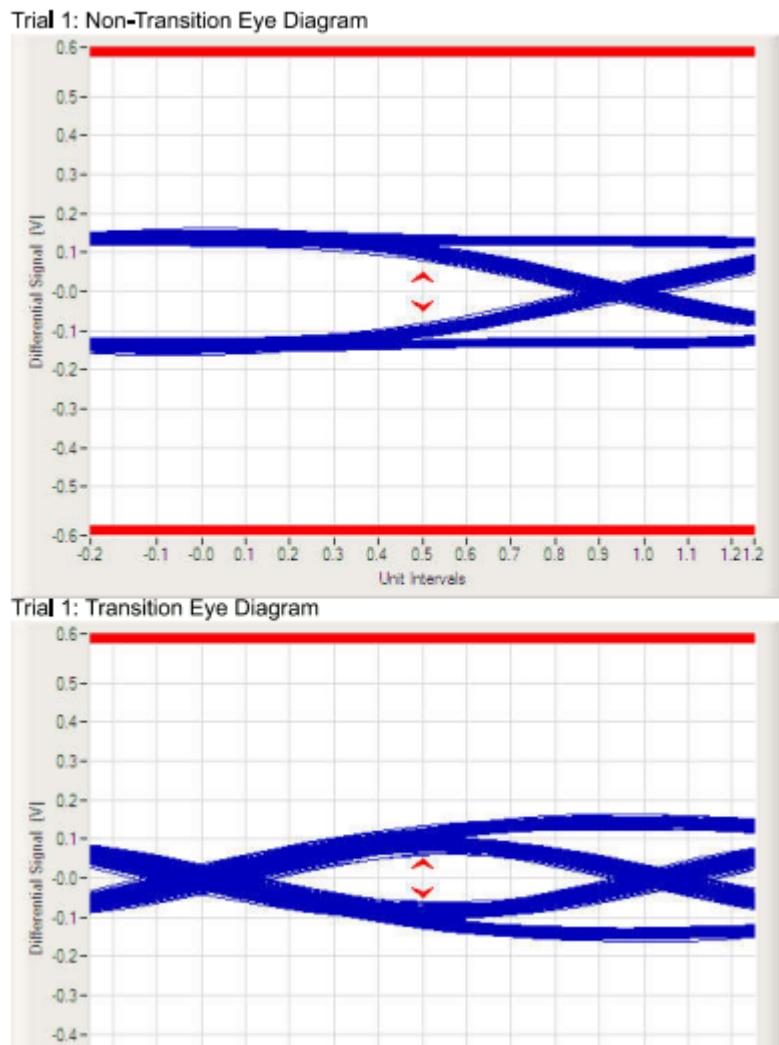


图3-24 USB 3.0 Device Tx Far End Eye Diagram

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，另外一种是写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

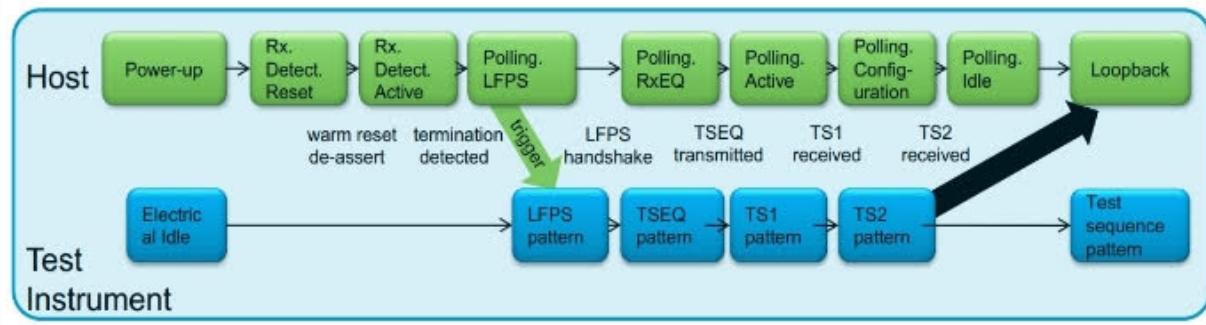


图3-25 USB 3.0进入Loopback mode的流程

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》