

1 引言

本应用笔记介绍了如何对 i.MXRT 系列 MCU 进行 USB2.0 的一致性认证预测试。

本文档中详细介绍了 USB 认证预测试中的测试项，测试使用到的设备及工具以及测试的流程等。

2 测试准备工作

2.1 测试对象

以下的板卡已经通过了认证测试，相应芯片已注册至 USB-IF：

- MIMXRT1170-EVK
- MIMXRT1060-EVK
- IMXRT1050-EVKB
- MIMXRT1020-EVK
- MIMXRT1010-EVK
- MIMXRT685-EVK
- MIMXRT595-EVK

2.2 测试用到的设备及工具

本应用笔记中使用到的是 Keysight 的 USB 电气测试设备，包括高速示波器，USB 测试夹具，Keysight 配套的差分探头等。示波器中应该安装有 Keysight D9010USBC USB Compliance Test 应用软件。当然，各家厂商的 USB 自动化测试流程都大同小异，你也可以使用来自例如 Tektronix 或 Lecroy 的示波器及 USB 测试套件完成测试。

表 1. 示波器及软件

Test equipment			Tests		
Part number	Description	Manufacturer	Embedded host hi-speed	Device hi-speed	Low/Full-speed
DSOS604A	Digital real-time oscilloscope	Keysight (Agilent)	1	1	1
D9010USBC	USB 2.0 Compliance Test Software	Keysight (Agilent)	1	1	1

下页继续

目录

1	引言.....	1
2	测试准备工作.....	1
2.1	测试对象.....	1
2.2	测试用到的设备及工具.....	1
2.3	测试软件.....	3
3	测试流程.....	3
3.1	电气测试项及测试步骤.....	4
3.2	Device Framework 测试.....	45
4	注意事项及易失败项分析.....	47
4.1	注意事项.....	47
4.2	眼图测试失败调整方法.....	49
4.3	Inrush 测试失败调整方法.....	51
4.4	Drop 测试失败原因.....	51
5	在 USB-IF 中登记产品.....	52
6	参考资料.....	53
7	修订记录.....	53
A	缩略词.....	54



表 1. 示波器及软件 (续上页)

Test equipment			Tests		
Part number	Description	Manufacturer	Embedded host hi-speed	Device hi-speed	Low/Full-speed
1131B	Differential probe amplifier	Keysight (Agilent)	1	1	N/A
E2678B	Differential Probe Head	Keysight (Agilent)	1	1	N/A
N2873A	Single-ended probe	Keysight (Agilent)	2	2	3
81160A	Pulse generator	Keysight (Agilent)	N/A	1	N/A
N2774A	Current probe	Keysight (Agilent)	N/A	N/A	1

表 2. 测试夹具及配件

Test equipment			Tests		
Part number	Description	Manufacturer	Embedded host hi-speed	Device hi-speed	Low/Full-speed
E2649-66401	Device hi-speed signal quality test fixture	Keysight (Agilent)	N/A	1	N/A
E2649-66402	Host high speed signal quality test fixture	Keysight (Agilent)	1	N/A	N/A
E2649-66403	Receiver sensitivity test fixture	Keysight (Agilent)	N/A	1	N/A
E2649-66405	Droop/Drop test fixture	Keysight (Agilent)	N/A	N/A	1
E2646B	USB inrush (SQiDD) test fixture	Keysight (Agilent)	N/A	N/A	1
82357B	USB/GPIB interface	Keysight (Agilent)	N/A	1	N/A
8493C	6 dB attenuators	Keysight (Agilent)	N/A	1	N/A
8120-4948 or equivalent	50-ohm-coaxial cable with male SMA connectors at both ends	Keysight (Agilent)	N/A	2	N/A



图 1. E2649 系列高速测试夹具

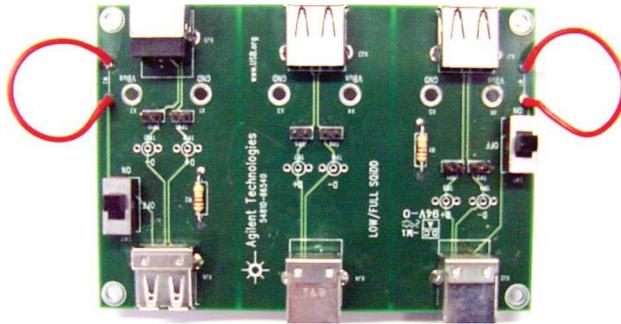


图 2. E2646B SOIDD 测试夹具



图 3. 带有 E2678B 接头的 1131B 差分探头

2.3 测试软件

- 作 Device 进行测试时使用 SDK 中的 `usb_device_hid_mouse_bm` 这个例程进行测试，测试时需要使能 `usb_device_config.h` 中的宏 `USB_DEVICE_CONFIG_COMPLIANCE_TEST`。
- 作 Embedded Host 进行测试时使用 SDK 中的 `usb_host_msd_fatfs_bm` 这个例程进行测试，测试时需要使能 `usb_host_config.h` 中的宏 `USB_HOST_CONFIG_COMPLIANCE_TEST`。

只有这两个例程包含有完整的认证测试的支持代码，所以当进行认证测试时只能使用这两个例程作为固件。

3 测试流程

3.1 电气测试项及测试步骤

进行电气测试时需要使用到示波器上的 USB 自动测试软件，进行自动测试时测试方式需要选择为 USBET，如图 4 所示。此软件可由示波器的主菜单中，选择 **Analyze > Automated Test Apps > D9010USBC USB Test App** 来打开。

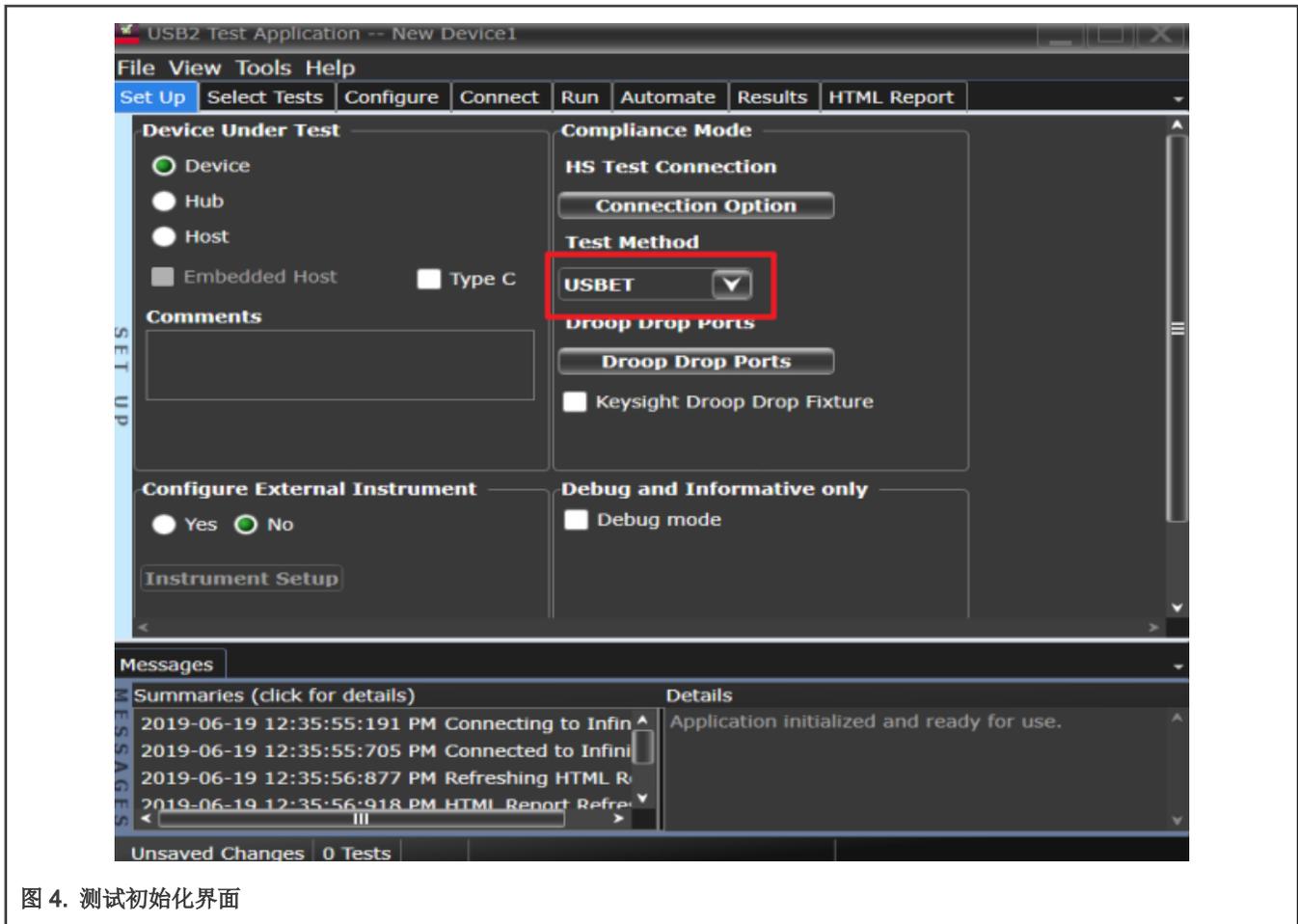


图 4. 测试初始化界面

3.1.1 Device 高速信号测试

进行 Device 的高速信号测试时，需要在所连接的 PC 端下载安装 HS Electrical Test Tool 软件，用以发送命令使被测 Device 进入特定的测试模式。在进行 Receiver Sensitive Test 时需要使用到额外的信号发生器设备（例如 Keysight 81160A）。

HSETT 软件可由以下链接下载：https://www.usb.org/documents?search=HSET&items_per_page=50。

Device 高速信号测试的测试项如下：

- Device Hi-Speed Signal Quality Test
- Device Packet Parameters test
- Device CHIRP Timing test
- Device Suspend/Reset/Resume Timing test
- Device Test J/K, SE0_NAK test
- Device Receiver Sensitivity test

表 3 展示了 Device 的高速电气测试的通过标准。

表 3. 高速 Device 电气测试标准

Test name	Pass limits
EL_2 Data Rate	Within 480 Mb/s +/-0.05%
EL_4 Eye Pattern (without captive cable)	Must meet template 1 transform waveform requirements at TP3 (see 图 5)
EL_6 Device Rise/Fall Time	> 500 ps
EL_7 Device Non-Monotonic Edge Test	Must have monotonic data transitions over the vertical openings
EL_21 Device Sync Field Length Test	32 bits, 65.62 ns <= VALUE <= 67.700 ns
EL_25 Device EOP Length Test	8 bits, 15.600 ns <= VALUE <= 17.700 ns
EL_22 Measure Interpacket Gap Between Second and Third Packets	16.640 ns <= VALUE <= 399.400 ns
EL_22 Measure Interpacket Gap Between First and Second Packets	16.640 ns <= VALUE <= 399.400 ns
EL_28 Measure Device CHIRP-K Latency	2.500 μ s <= VALUE <= 6.000000 ms
EL_29 Measure Device CHIRP-K Duration	1.000 ms <= VALUE <= 7.000 ms
EL_31 Device Hi-Speed Terminations Enable and D+ Disconnect Time	1 ns <= VALUE <= 500.000 μ s
EL_40 Device Resume Timing Response	Must transition back to high-speed operation within two-bit times from the end of resume time signaling
EL_27 Device CHIRP Response to Reset from Hi-Speed Operation	3.100 ms <= VALUE <= 6.000 ms
EL_28 Device CHIRP Response to Reset from Suspend	2.500 μ s <= VALUE <= 6.000000 ms
EL_38 EL_39 Device Suspend Timing Response	3.000 ms <= VALUE <= 3.125 ms
EL_8 Device J Test	360 mV <= D+ <= 440 mV -10 mV <= D- <= 10 mV
EL_8 Device K Test	360 mV <= D- <= 440 mV -10 mV <= D+ <= 10 mV
EL_9 Device SE0_NAK Test	-10 mV <= D+ <= 10 mV -10 mV <= D- <= 10 mV
EL_18 Minimum SYNC Field	Detect the end of the SYNC field within 12-bit times
EL_17 Receiver sensitivity	VALUE <= +/- 200 mV
EL_16 Squelch	VALUE >= +/- 100 mV

根据 USB2.0 的规格书的规定，如果被测设备没有带有固定式的电缆，需在 TP3 进行测试，且需通过模板 1 的眼图测试。眼图指定了信号的最小和最大限制，以及时序和抖动的限制，驱动器必须在每个指定的测试平面上驱动信号。测试点的选择如 图 5。模板 1 如 图 6 所示。

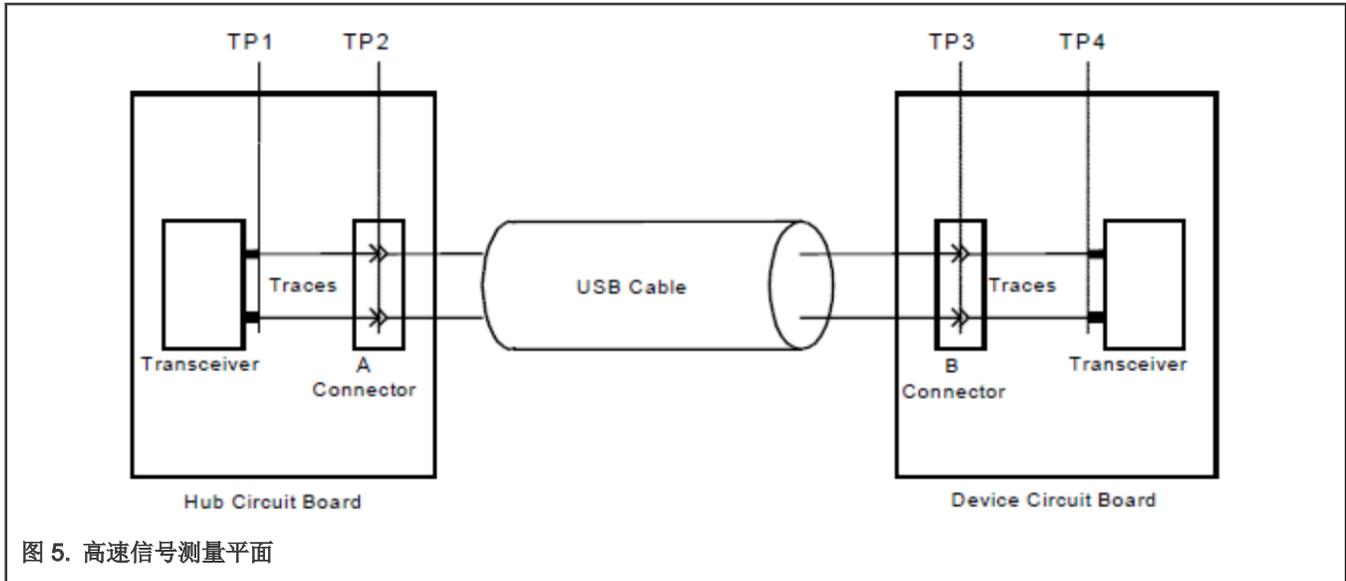


图 5. 高速信号测量平面

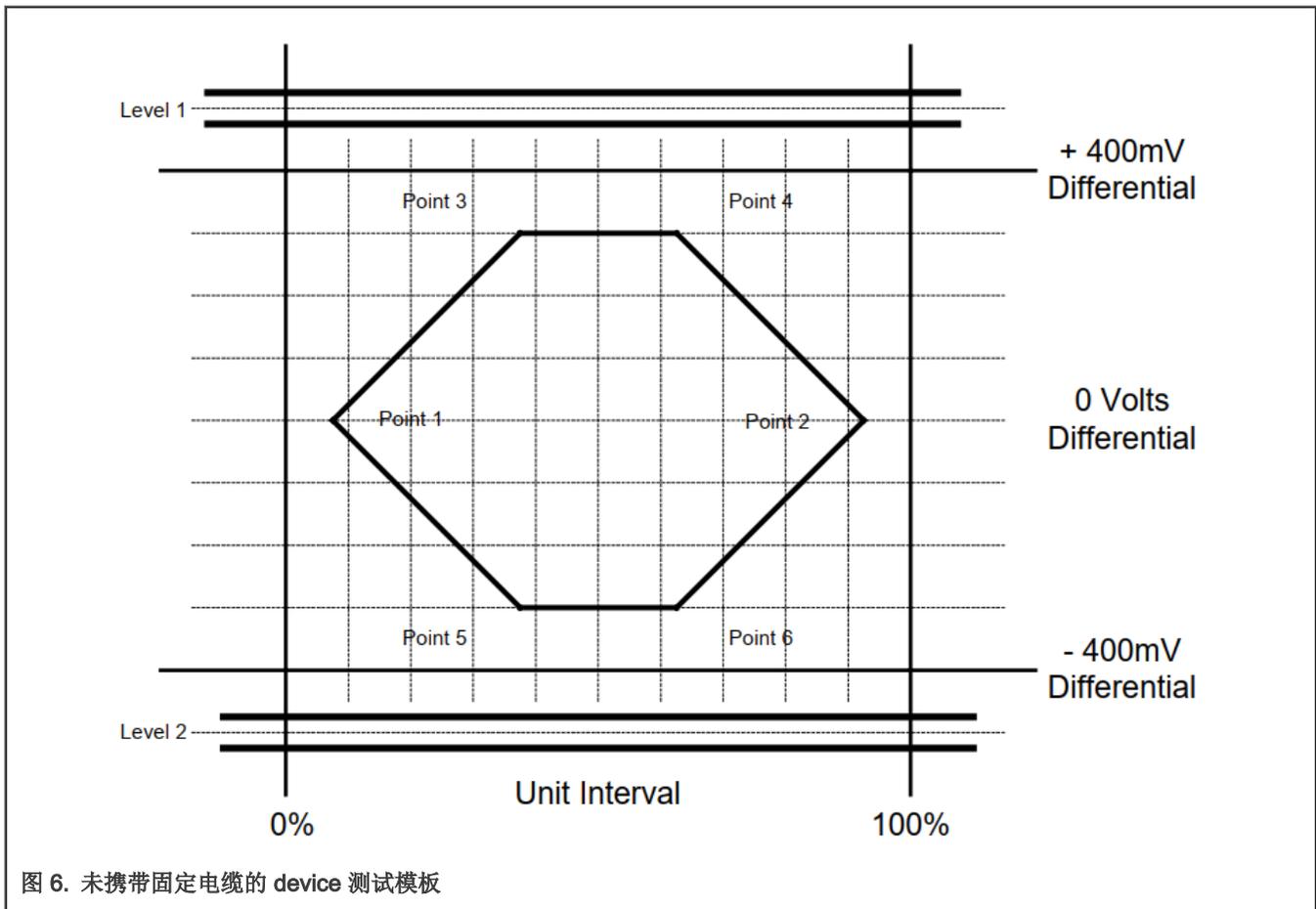


图 6. 未携带固定电缆的 device 测试模板

3.1.1.1 Device Hi-speed Signal Quality Test 流程

这一部分测试主要是用于衡量发射机进行有效的高速信号传输的能力。对于 Device，需要在上行端口上测量高速信号质量。测试过程中需要用到如表 4 所示的一些设备。

表 4. Device Hi-Speed Signal Quality Test 所需设备

设备	型号	数量
示波器	Keysight DSOS604A	1
差分探头	Keysight 1131B with E2678B	1
测试主机 PC	Any computer with hi-speed USB ports	1
Device 高速信号测试夹具及 4" USB 线	Keysight E2649-66401	1
电源适配器	Keysight 0950-2546 或其他 5 V 电源	1

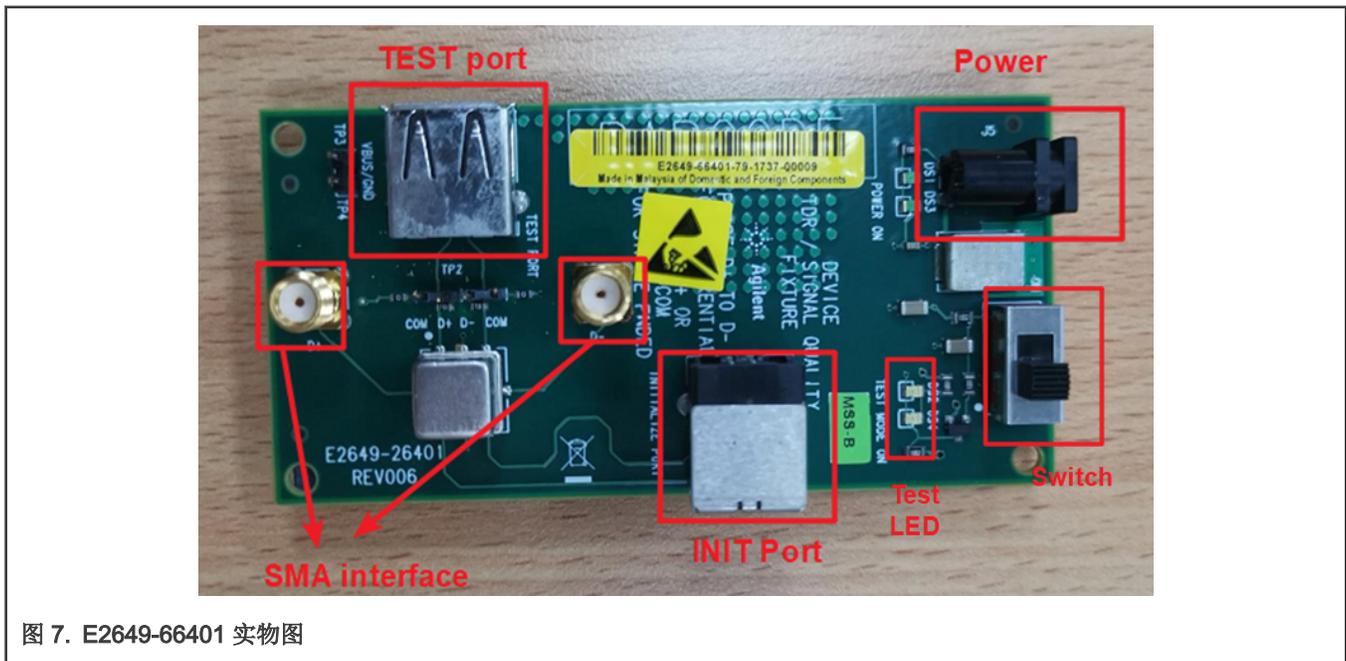


图 7. E2649-66401 实物图

测试步骤如下：

1. 在示波器上搭建好测试环境后，选择 Device 作为 DUT，勾选如图 8 所示的测试项，并在 configure 选项卡中将测试类型设置为 Hi-Speed Near End。

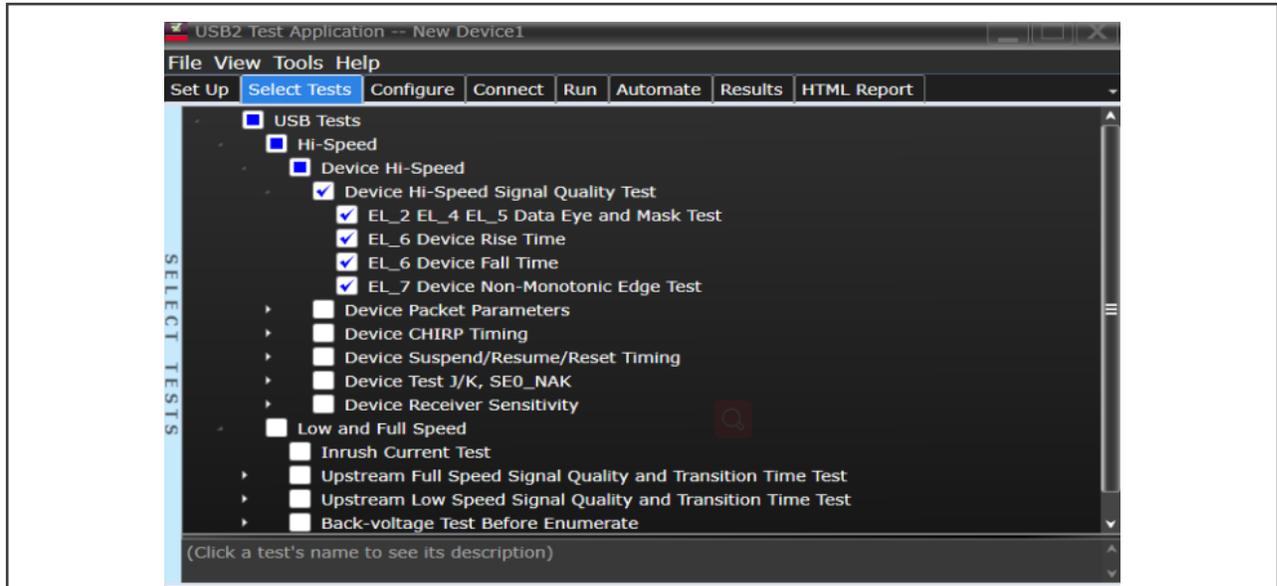


图 8. Device Hi-Speed Signal Quality Test

2. 将如 图 9 所示的 50 欧姆的终端电阻接入夹具上的 SMA 接口。



图 9. 50 ohm SMA terminator

3. 按照图 10 连接好测试设备，夹具以及示波器。

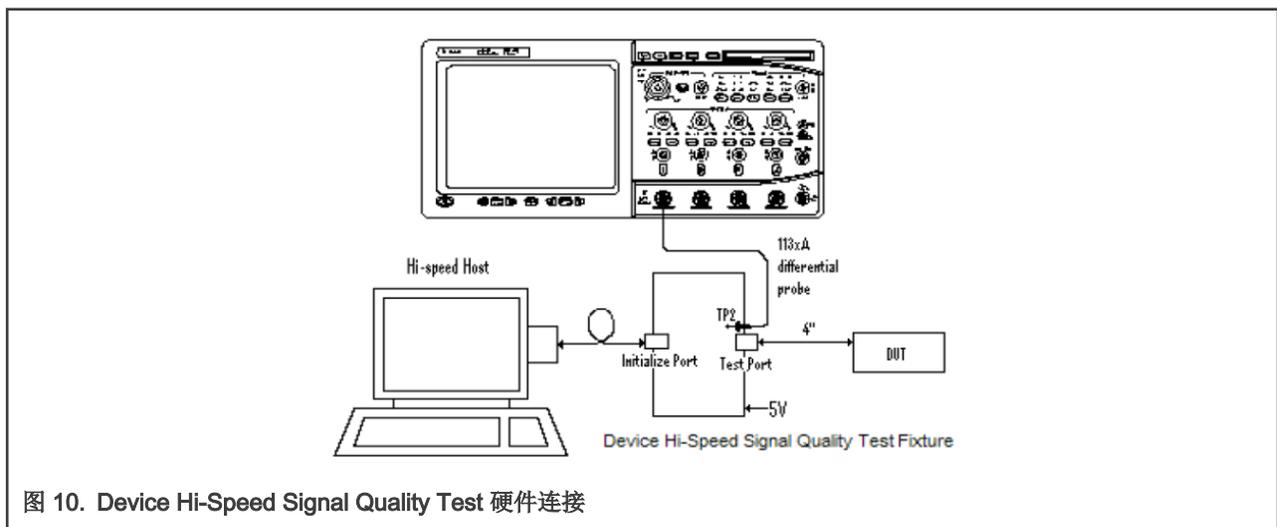


图 10. Device Hi-Speed Signal Quality Test 硬件连接

4. 将 5 V 电源连接到 Device 高速信号质量测试夹具的 J5。保持测试夹具上的电源开关处于 OFF 状态。确认绿色电源 LED 亮起，同时黄色 LED 熄灭。

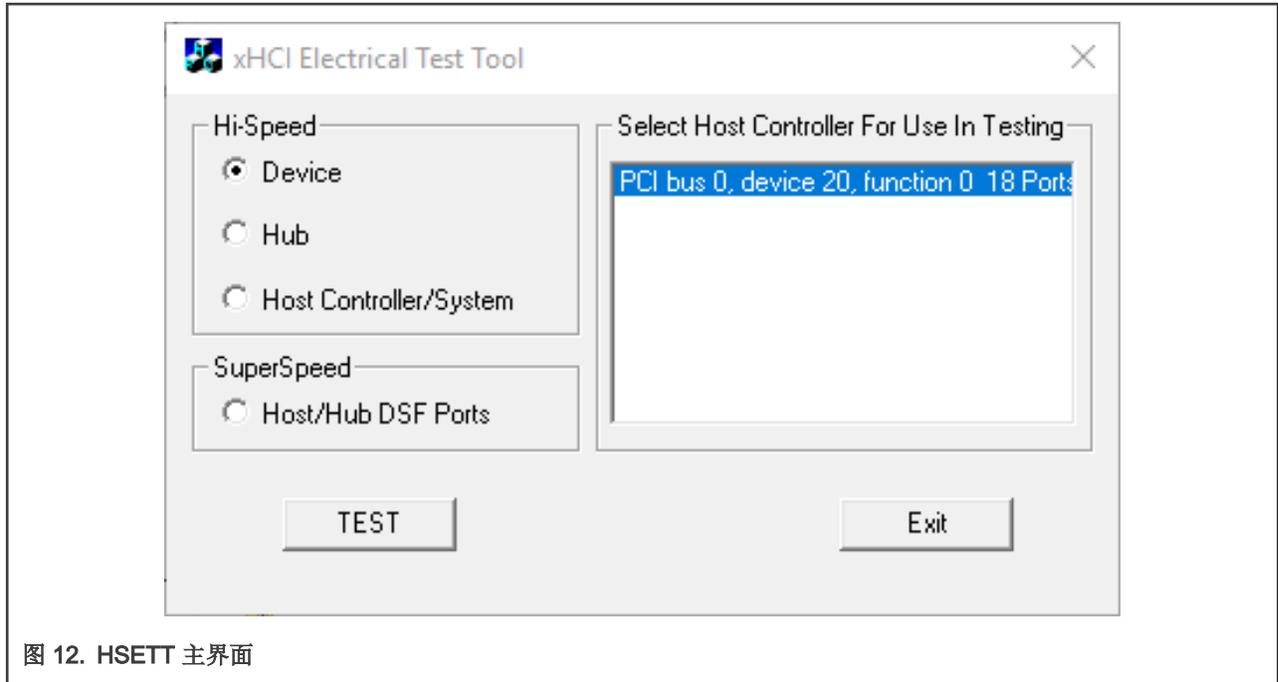


图 12. HSETT 主界面

8. 进入如图 13 的设备测试菜单后，从设备命令下拉菜单中选择 TEST_PACKET，单击执行。此操作会让被测设备连续传输测试包以便示波器抓取眼图。

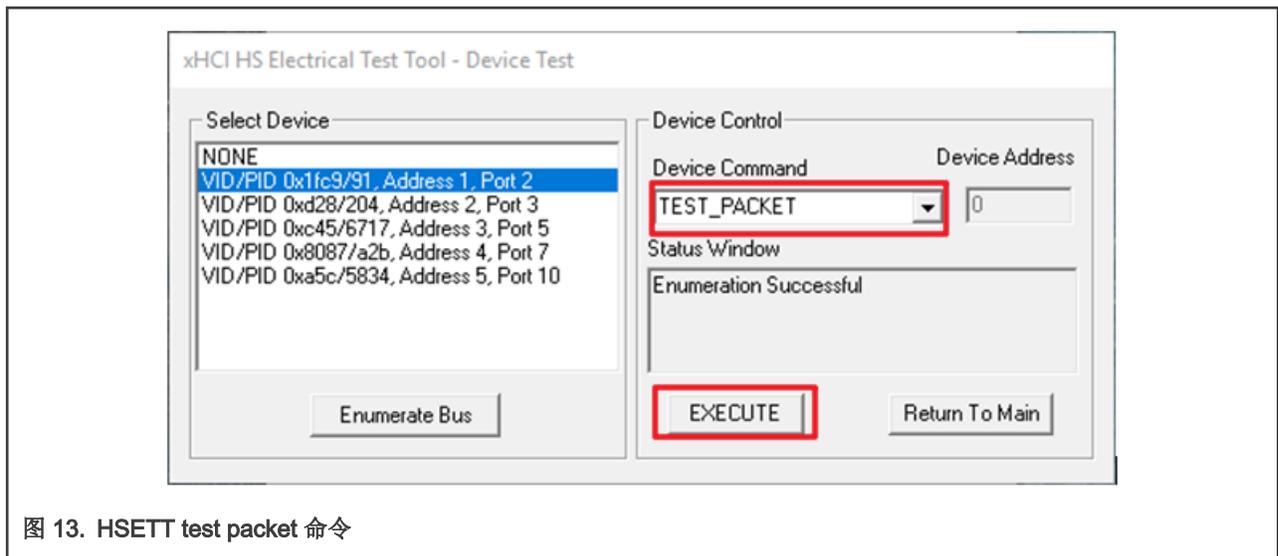


图 13. HSETT test packet 命令

9. 根据示波器上的测试提示将夹具上的开关打开，确认黄色 LED 是否亮起。

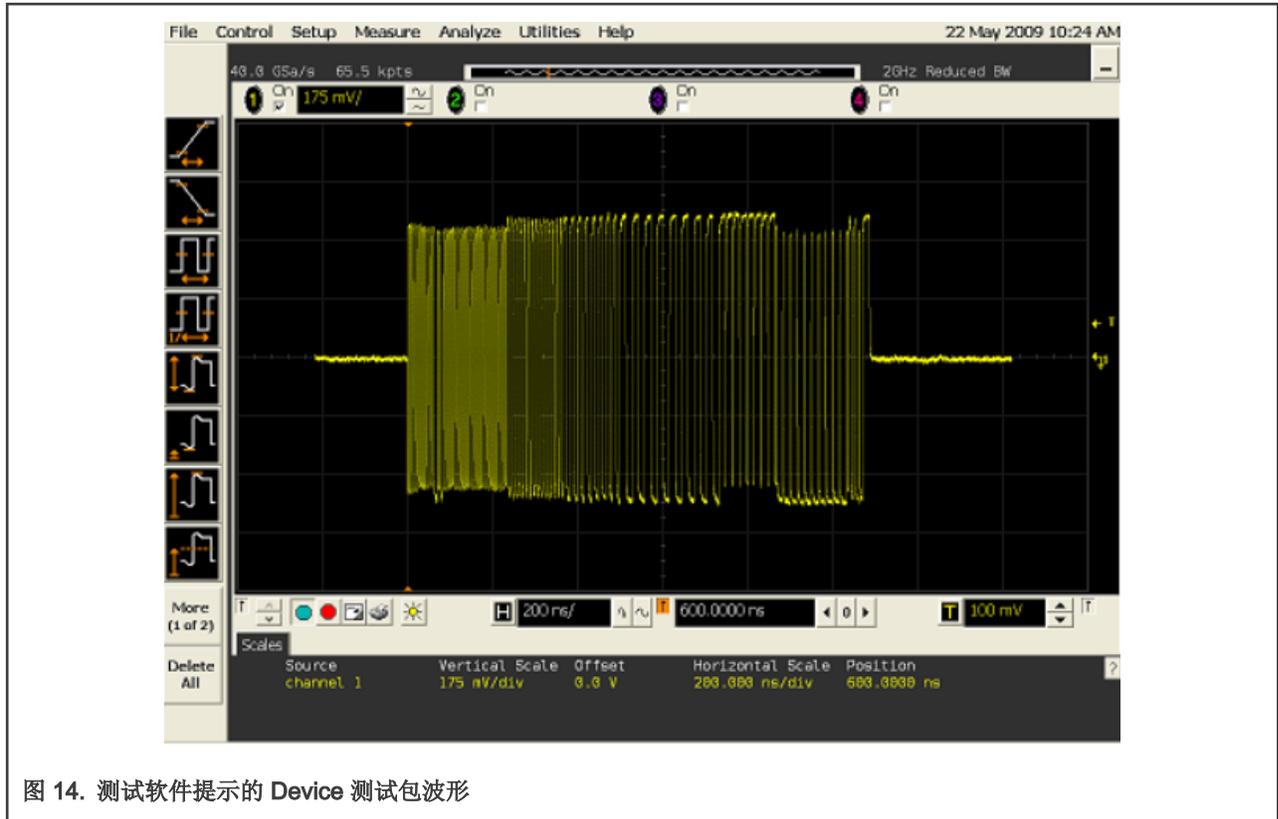


图 14. 测试软件提示的 Device 测试包波形

10. 等待测试完成，当测试完成对话框出现，单击确定，在结果选项卡内查看此次测试的结果。

Pass	# Failed	# Trials	Test Name	Actual Value	Margin	Pass Limits
✓	0	1	EL_2 EL_4 EL_5 Data Eye and Mask Test	Pass	100.0 %	Pass/Fail
ⓘ		1	EL_6 Device Rise Time	769.220 ps		Information Only
ⓘ		1	EL_6 Device Fall Time	718.730 ps		Information Only
✓	0	1	EL_7 Device Non-Monotonic Edge Test	Pass	100.0 %	Pass/Fail

图 15. Device High-Speed Signal Quality 测试结果

3.1.1.2 Device Packet Parameters Test 流程

这一部分测试主要是用于检验 USB 传输报文中各域及报文间间隔的长度是否准确。测试过程中需要用到的设备同 Device High-Speed Signal Quality Test，只是 5 V 电源可以一直保持 OFF。

测试步骤如下：

1. 选择如图 16 所示的测试项，按照图 10 连接好测试设备，夹具以及示波器。将 50 欧姆的终端电阻接入夹具上的 SMA 接口。

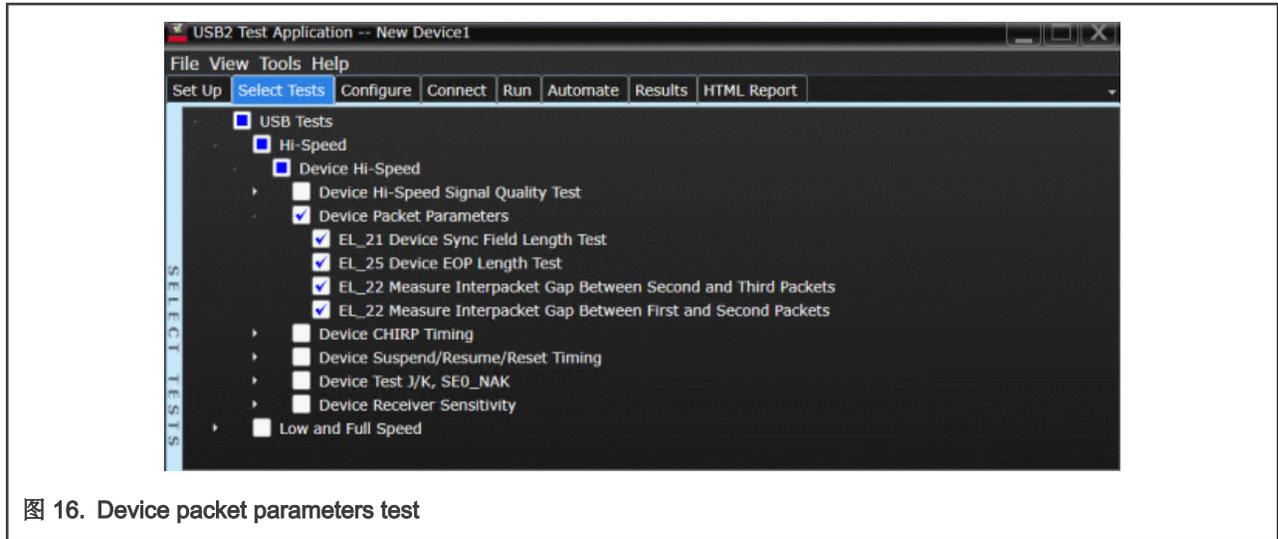


图 16. Device packet parameters test

2. 被测设备及 PC 和示波器探头的连接与信号质量测试相同。
3. 给被测 EVK 板重新上电，在示波器上点击 Run Tests。如图 17 点击 HSETT 软件的设备测试菜单内的 Enumerate Bus 一次，并且观察示波器，验证 SOF 包被监测到。

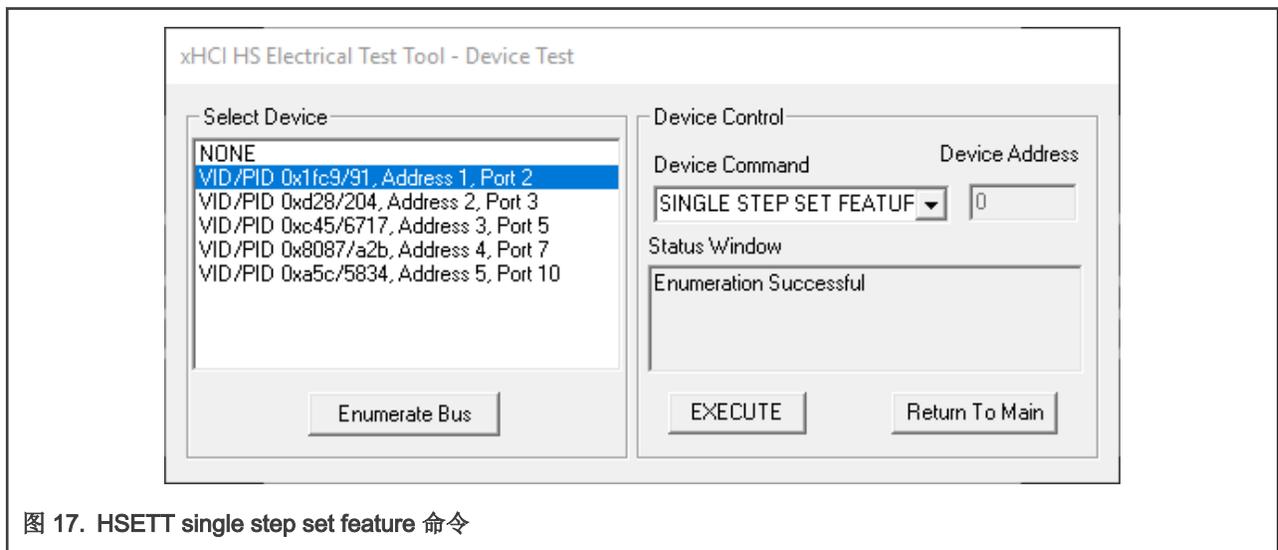


图 17. HSETT single step set feature 命令

4. 完成上一步后根据示波器的指示，从设备命令下拉菜单中选择 SINGLE STEP SET FEATURE，单击执行一次，确认示波器中的波形与软件中出现的波形相似，然后点击 OK 进行下一步。



图 18. 测试软件的提示波形

5. 根据示波器上软件的指示再次点击 **Step** 执行一次，这是第二次执行 **SINGLE STEP SET FEATURE** 指令，验证示波器上的波形是否与软件中波形相似，然后完成测试。

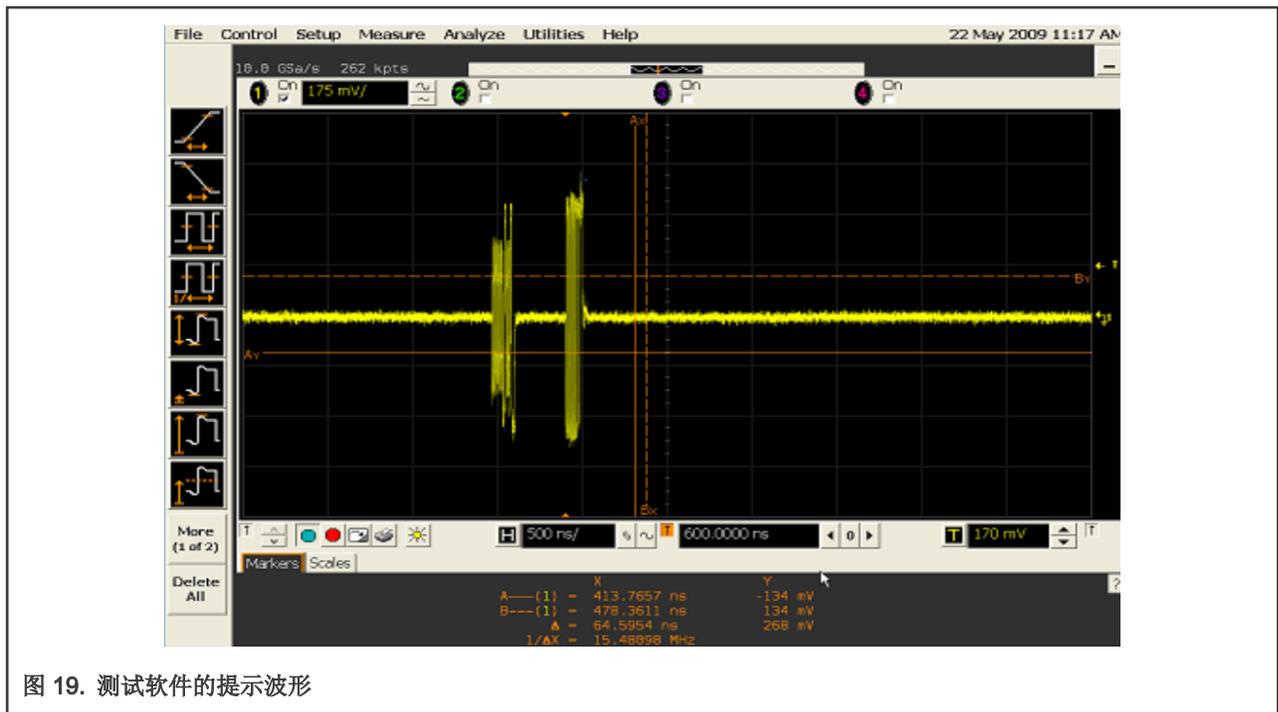


图 19. 测试软件的提示波形

3.1.1.3 Device CHIRP Timing Test 流程

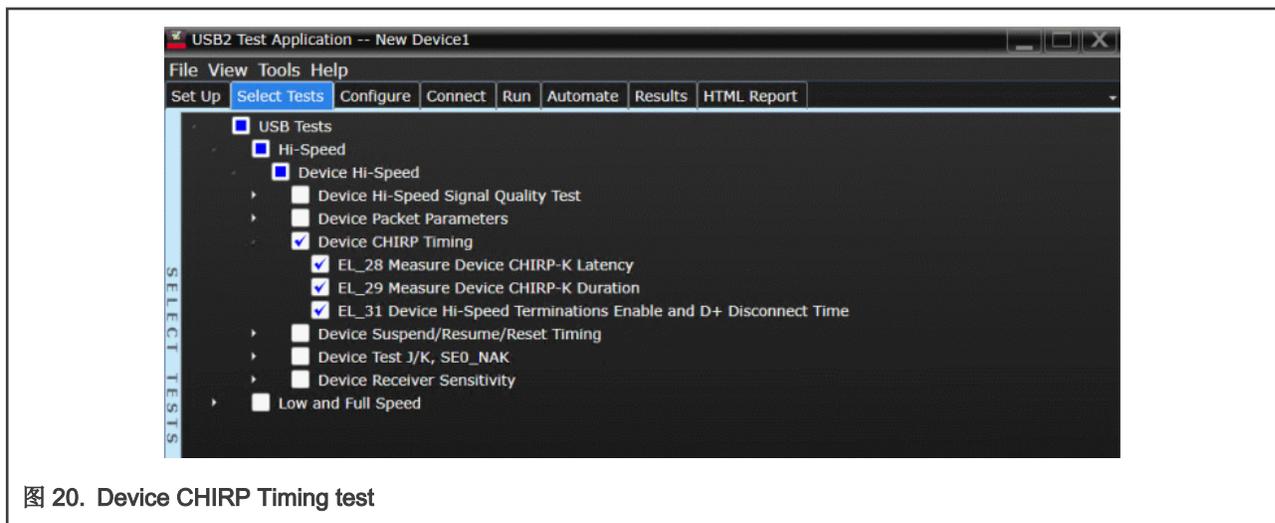
这部分测试主要目的是测试高速 USB 设备发起握手协议时产生的 ChirpJ 与 ChirpK 信号。测试过程中需要用到如表 5 所示的一些设备。

表 5. Device CHIRP Timing Test 所需设备

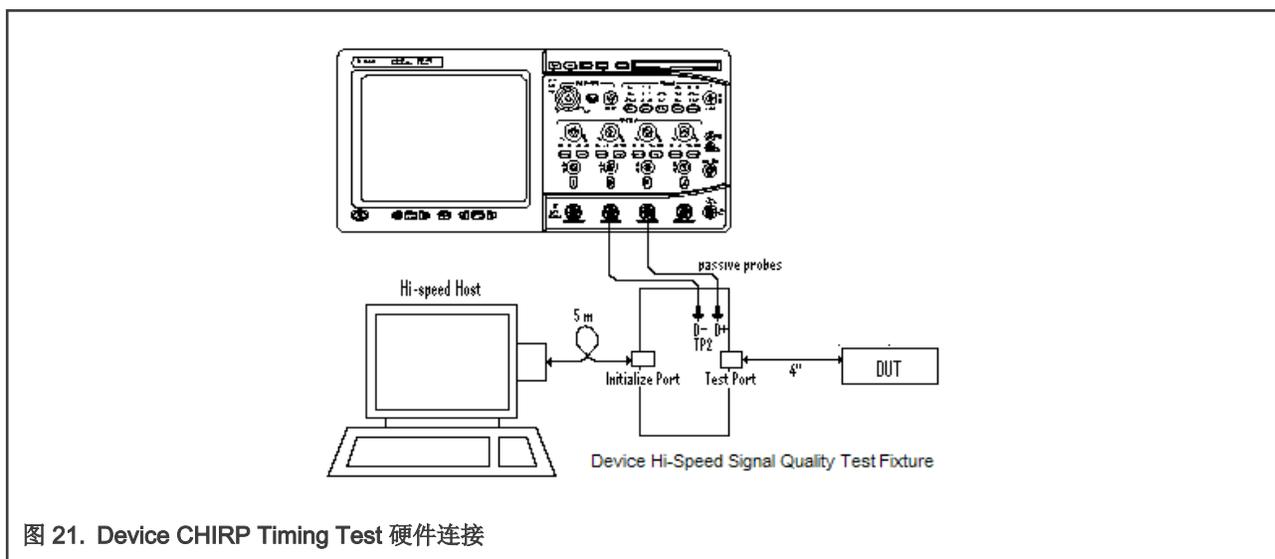
设备	型号	数量
示波器	Keysight DSOS604A	1
单端探头	Keysight N2873A	2
测试主机 PC	Any computer with hi-speed USB ports	1
Device 高速信号测试夹具及 4" USB 线	Keysight E2649-66401	1
5 m 长高速 USB 线	任意符合 USB-IF 要求的	1

测试步骤如下：

1. 在示波器上的 USB 自动测试软件中勾选如图 20 测试项。



2. 按照图 21 连接好测试设备，夹具以及示波器。注意，连接到测试计算机的 USB 线需要 5 米长，按照测试软件内的提示，将两个单端探头连接到夹具上的指定测试点，并且将 50 欧姆的终端电阻接入夹具上的 SMA 接口。



3. 给被测 EVK 板重新上电，在示波器上点击 Run Tests。在测试计算机上点击 HSETT 软件的设备测试菜单内的 Enumerate Bus 一次，示波器将会捕获枚举过程中的 Chirp 握手过程。
4. 当测试完成对话框出现时，单击确定。

3.1.1.4 Device Suspend/Reset/Resume Timing Test 流程

这部分的测试主要测量 Device 对 Host 发出的 Suspend, Resume 以及 Reset 信号的响应的 Timing。测试过程中所用到的设备与 Device CHIRP Timing Test 中的设备一致。

测试步骤如下：

1. 在示波器上的 USB 自动测试软件中勾选如测试项。

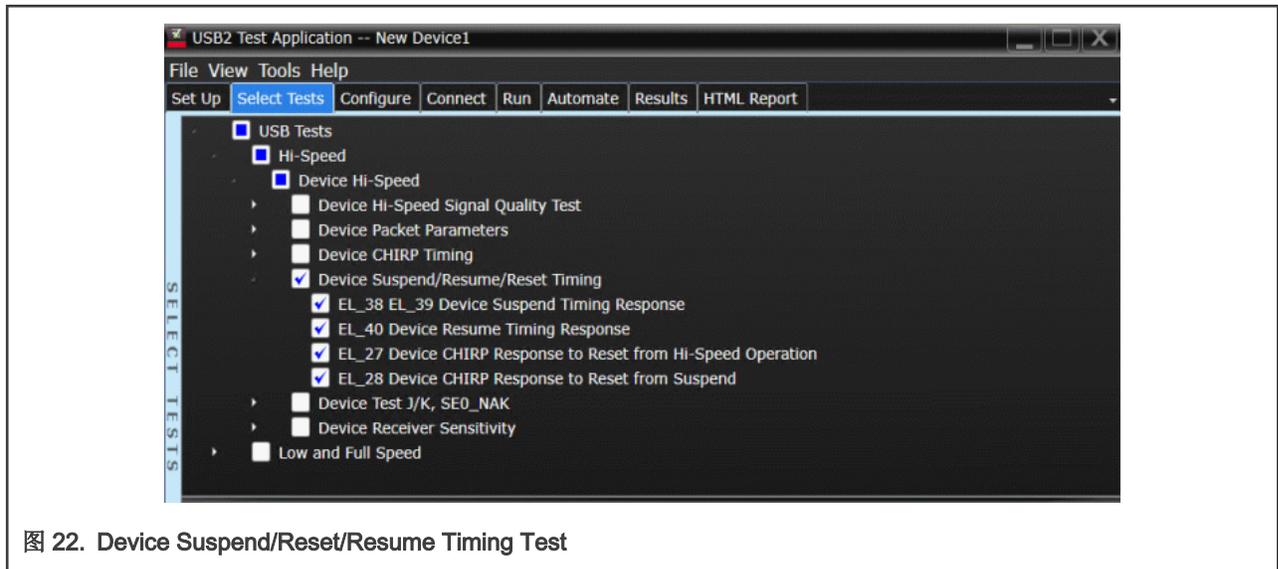


图 22. Device Suspend/Reset/Resume Timing Test

2. 被测设备及 PC 和示波器探头的连接与 Device CHIRP Timing Test 相同。
3. 给被测 EVK 板重新上电，在示波器上点击 Run Tests。在测试计算机上点击 HSETT 软件的设备测试菜单内的 Enumerate Bus 一次。

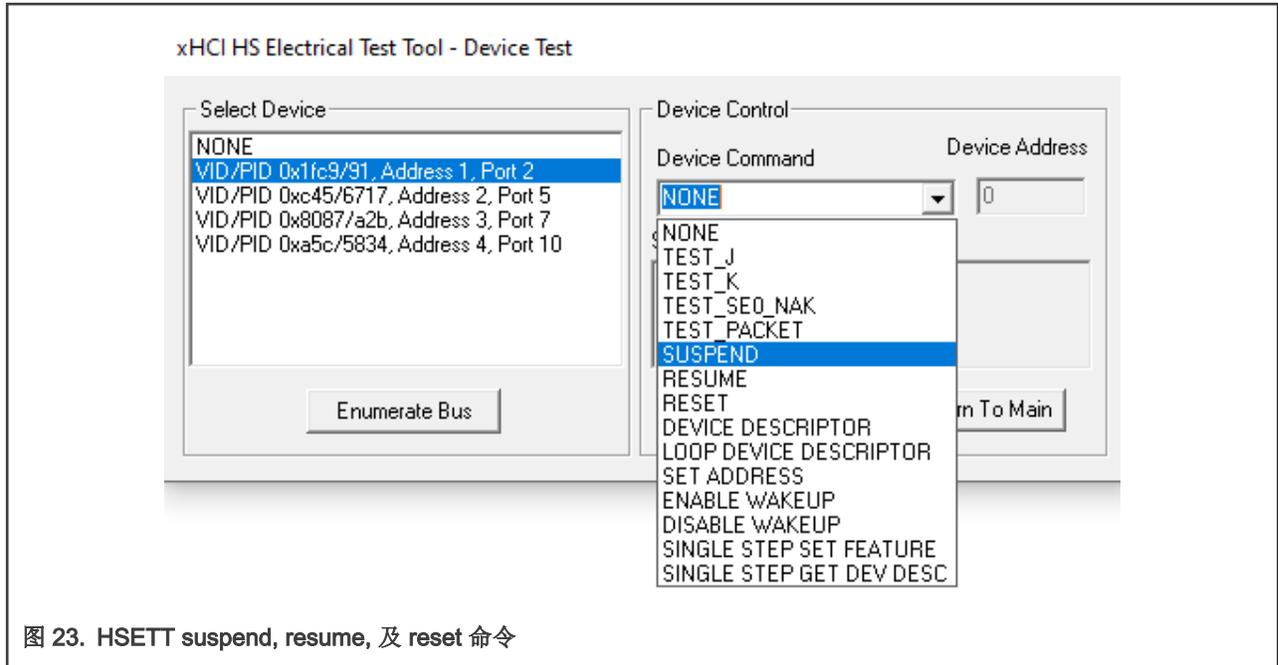


图 23. HSETT suspend, resume, 及 reset 命令

4. 如图 23 所示，选择正确的设备，从设备命令下拉菜单中选择 **SUSPEND**，然后单击执行一次以将设备置于挂起状态。示波器捕获的波形应该与软件中提示的波形相似，点击 **OK** 进行下一步。

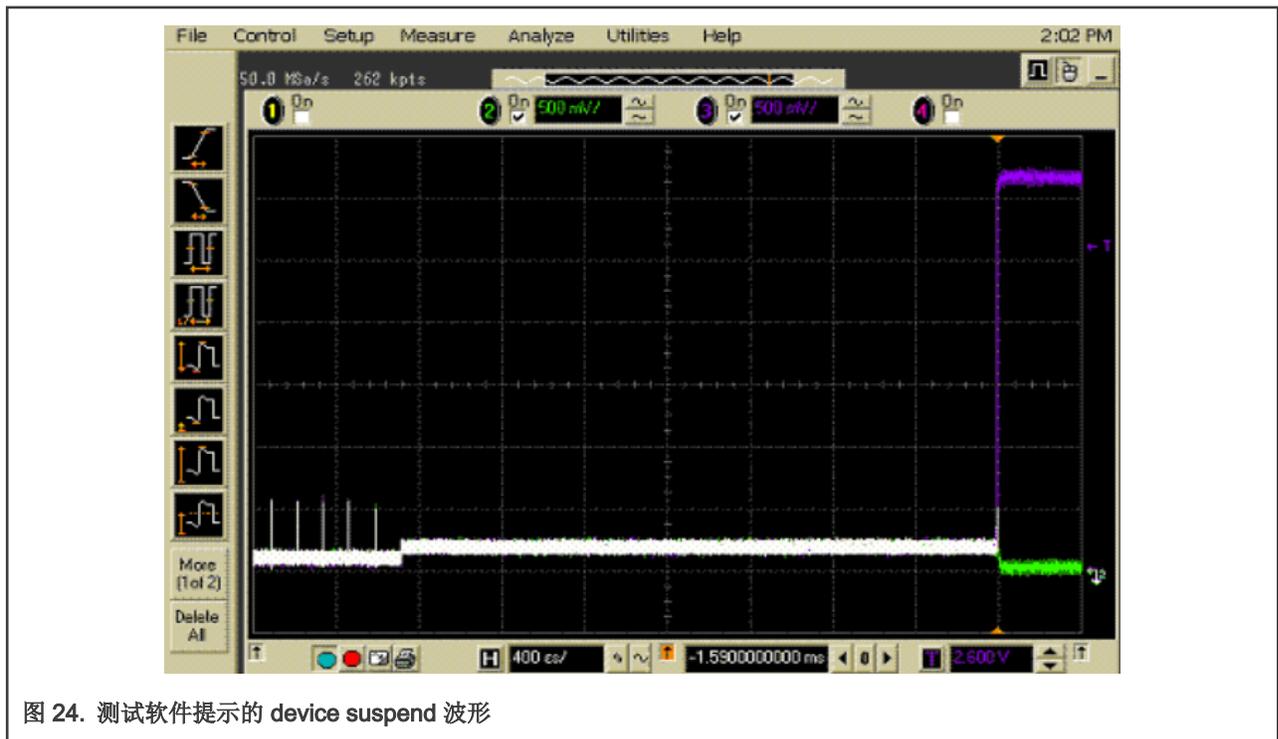


图 24. 测试软件提示的 device suspend 波形

5. 设备挂起的波形抓取完成后，从设备命令下拉菜单中选择 **RESUME**，然后单击执行一次以唤醒设备。示波器捕获的波形应该与软件提示的波形相似，点击 **OK** 进行下一步。

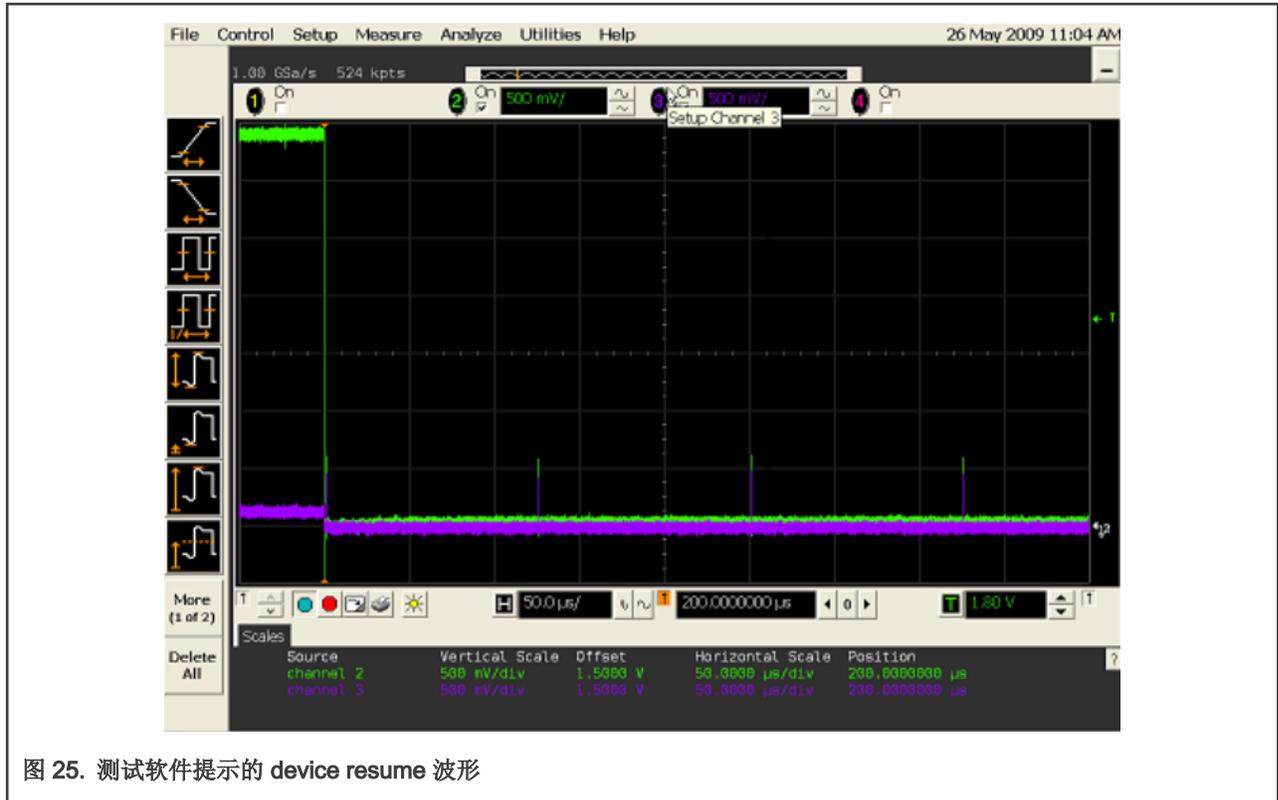


图 25. 测试软件提示的 device resume 波形

- 从设备命令下拉菜单中选择 RESET 命令，然后执行一次以让测试计算机对 Device 进行重置，示波器捕获的波形应该与软件提示波形相似，点击 OK 进行下一步。

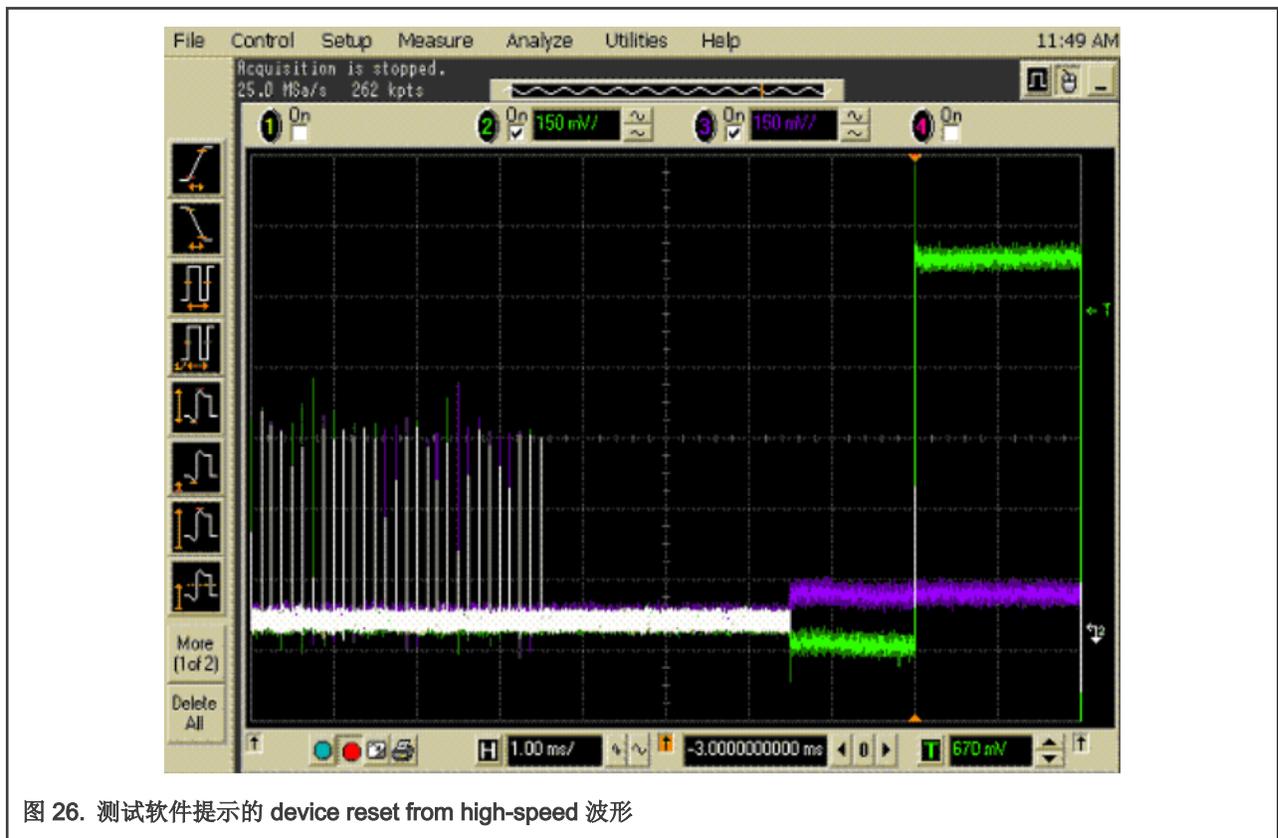
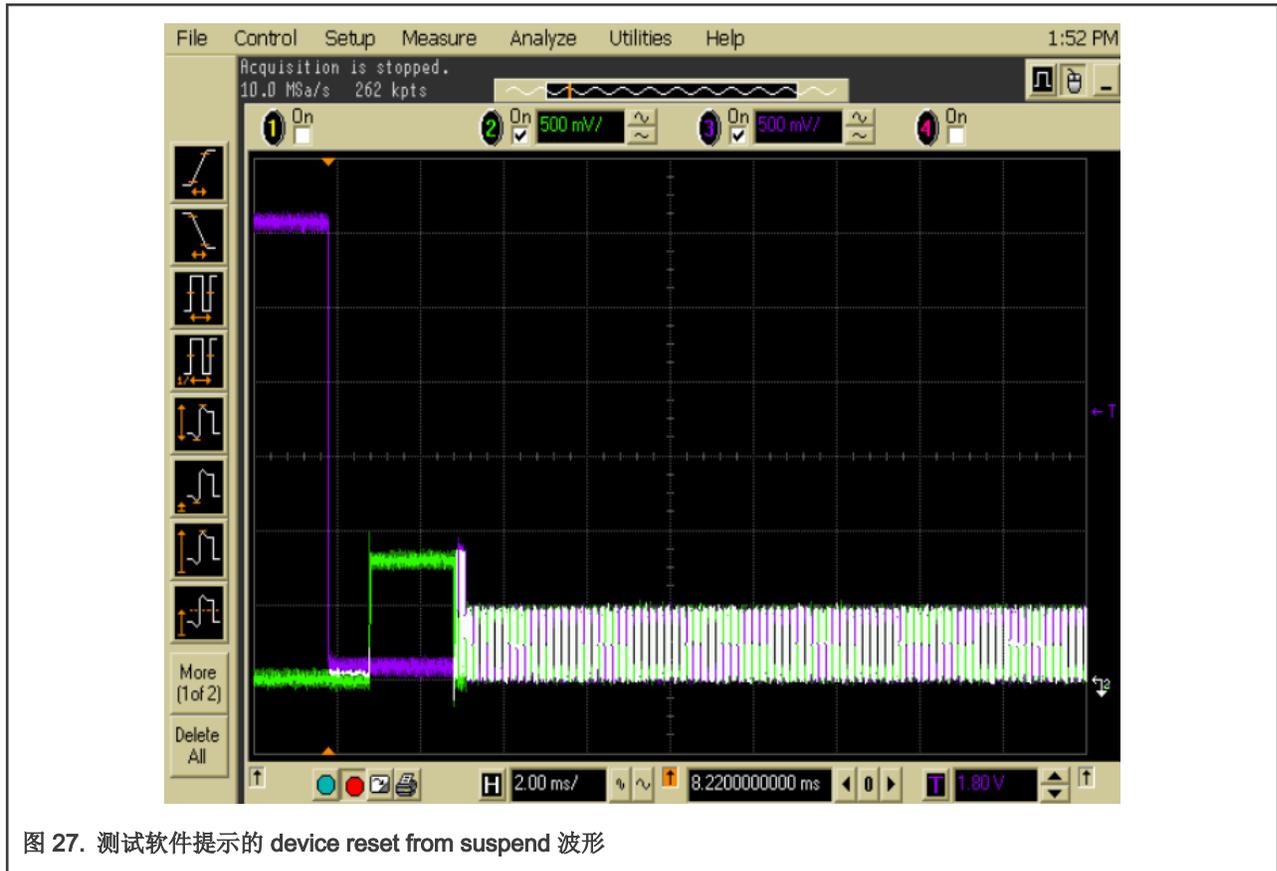


图 26. 测试软件提示的 device reset from high-speed 波形

7. 重新选择 SUSPEND 命令，执行一次，再次将设备置于挂起状态，然后选择 RESET 指令，并且执行一次将 Device 从挂起状态直接重置，示波器应该捕获到与软件提示类似的波形，点击 OK 完成测试。



3.1.1.5 Device Test J/K, SE0_NAK Test 流程

此测试主要是为了确认 Device 在 J, K 及 SE0 这三种差分信号状态下，两根数据线的电压是否满足要求。此测试中用到的设备如表 6 所示。

表 6. Device Test J/K, SE0_NAK Test 所需设备

设备	型号	数量
万用表	Any	1
测试主机 PC	Any computer with hi-speed USB ports	1
Device 高速信号测试夹具及 4" USB 线	Keysight E2649-66401	1
电源适配器	Keysight 0950-2546 or equivalent	1
5 m 长高速 USB 线	任意符合 USB-IF 要求的	1

测试步骤如下：

- 如图 28 所示，在示波器上的 USB 自动测试软件中选择测试项目，虽然此测试中不需要使用示波器抓取波形，但是为了形成完整的报告，需要将万用表所测得的电压输入测试软件。

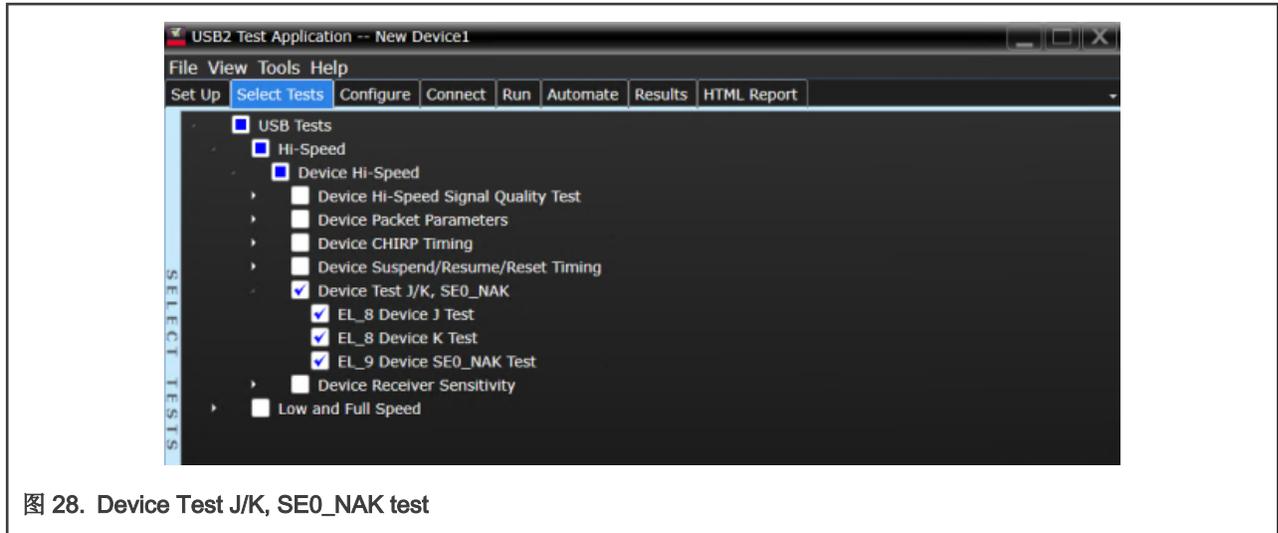


图 28. Device Test J/K, SE0_NAK test

- 按照图 29 连接好被测 Device，测试计算机以及测试夹具，保证测试开关保持在关闭，确认绿色电源灯亮，黄色测试灯不亮。

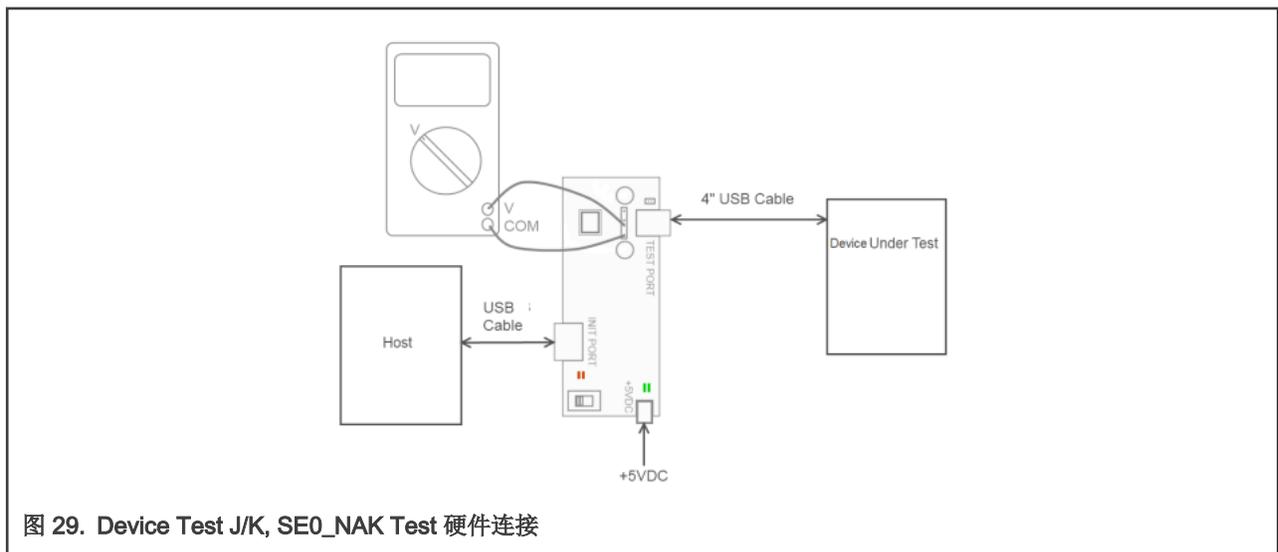


图 29. Device Test J/K, SE0_NAK Test 硬件连接

- 对被测 EVK 重新上电，在示波器上点击 Run Tests。在测试计算机上点击 HSETT 软件的设备测试菜单内的 Enumerate Bus 一次。
- 如图 30 从设备命令下拉菜单中选择 TEST_J，然后单击执行将设备置于 TEST_J 测试模式。

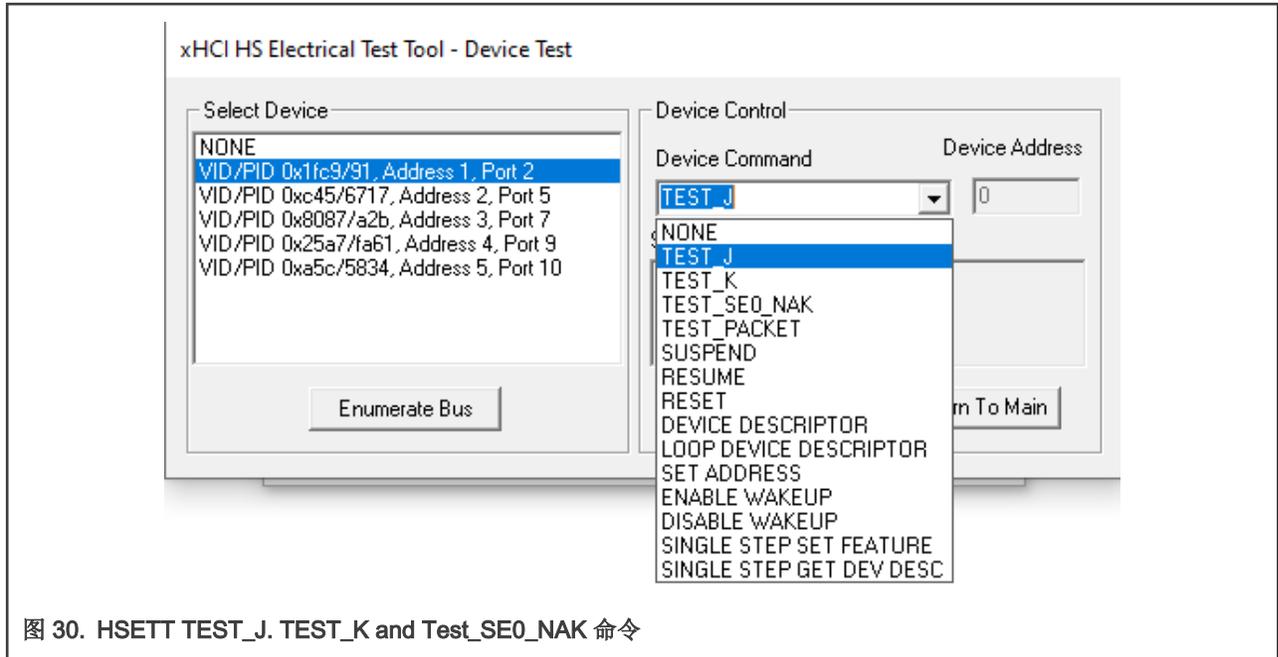


图 30. HSETT TEST_J. TEST_K and Test_SE0_NAK 命令

- 将测试夹具的开关切换到测试挡，此时黄灯亮起。使用万用表测量 TP2 上 D+/- 线上相对于 GND 的直流电压，然后在示波器中弹出的对话框中记录测量结果，并且点击 OK 进行下一步。

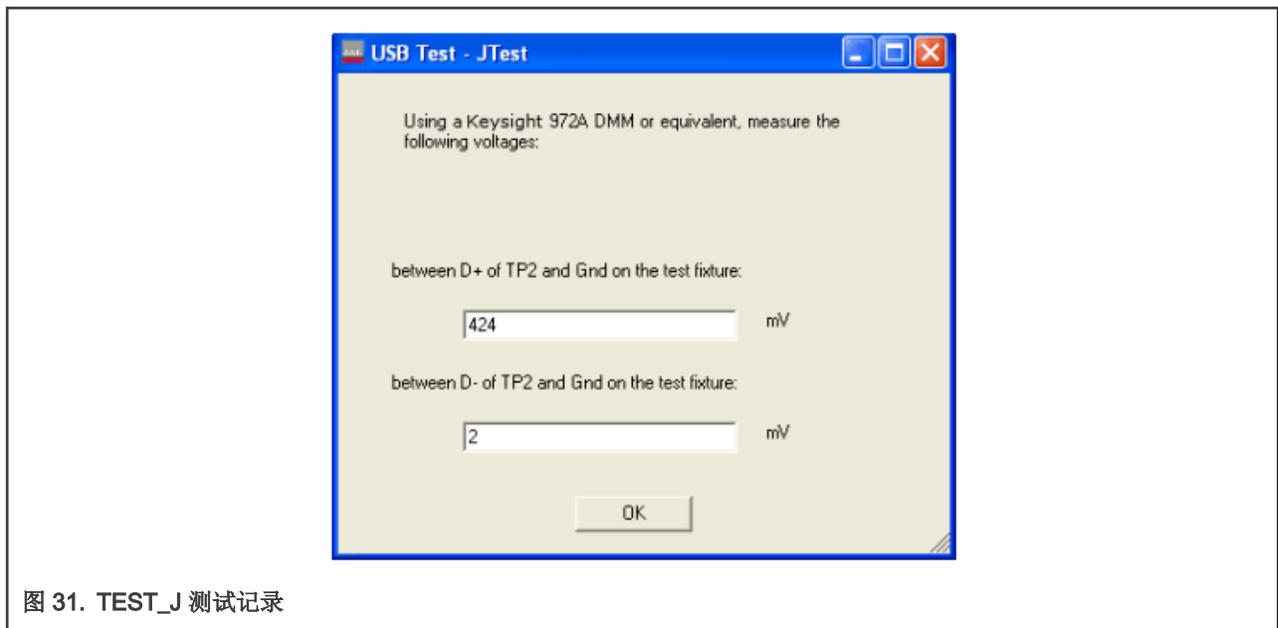


图 31. TEST_J 测试记录

- 对被测 EVK 重新上电，使 USB 设备恢复正常运行，将夹具上的开关切换回关闭挡，此时亮起绿灯，单击测试主机上 HS Electrical Test Tool 菜单上的 Enumerate Bus。
- 从下拉菜单中选择 TEST_K，然后单击 EXECUTE 一次将设备置于 TEST_K 测试模式。
- 将测试夹具的开关切换到测试挡，此时黄灯亮起。使用万用表测量 TP2 上 D+/- 线上相对于 GND 的直流电压，然后在弹出的对话框中记录测量结果，并且点击 OK 进行下一步。

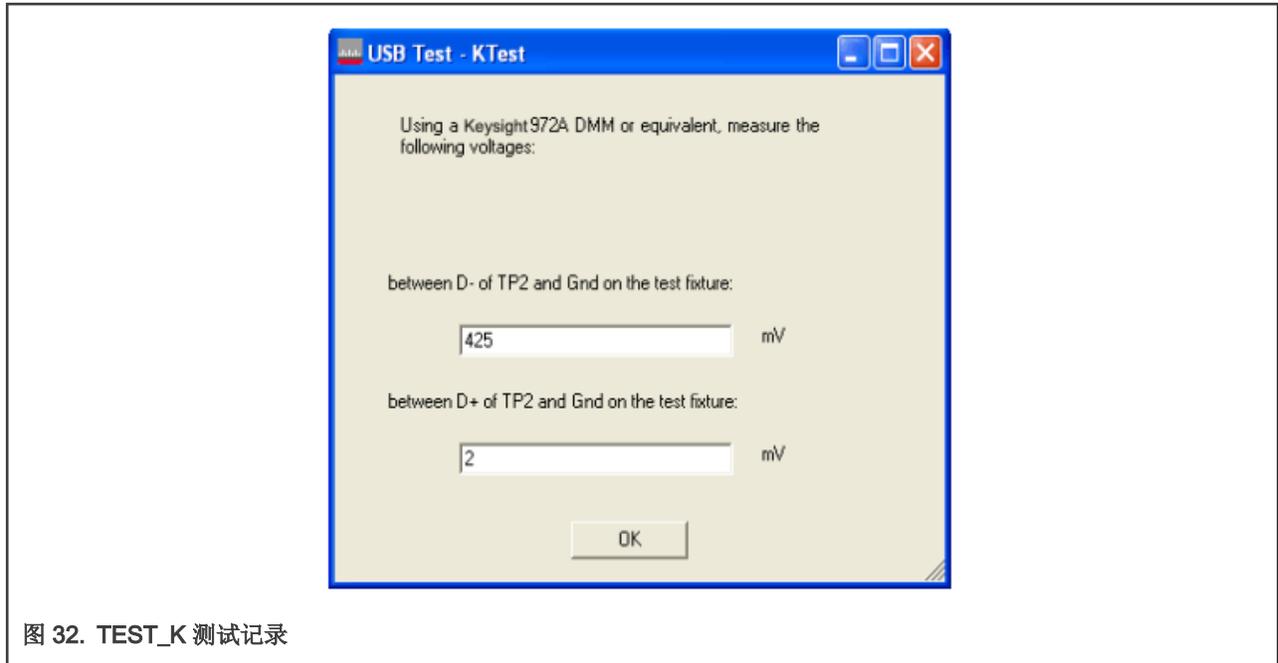


图 32. TEST_K 测试记录

- 对被测 EVK 重新上电，使 USB 设备恢复正常运行，将夹具上的开关切换回关闭挡，此时亮起绿灯，单击测试主机上 HS Electrical Test Tool 菜单上的 Enumerate Bus。
- 从下拉菜单中选择 TEST_SE0_NAK，然后单击执行一次，将设备置于 TEST_SE0_NAK 测试模式。
- 将测试夹具切换到测试档。使用万用表测量 TP2 上 D+/- 线上相对于 GND 的直流电压，然后在弹出的对话框中记录测量结果，点击 OK 完成测试。

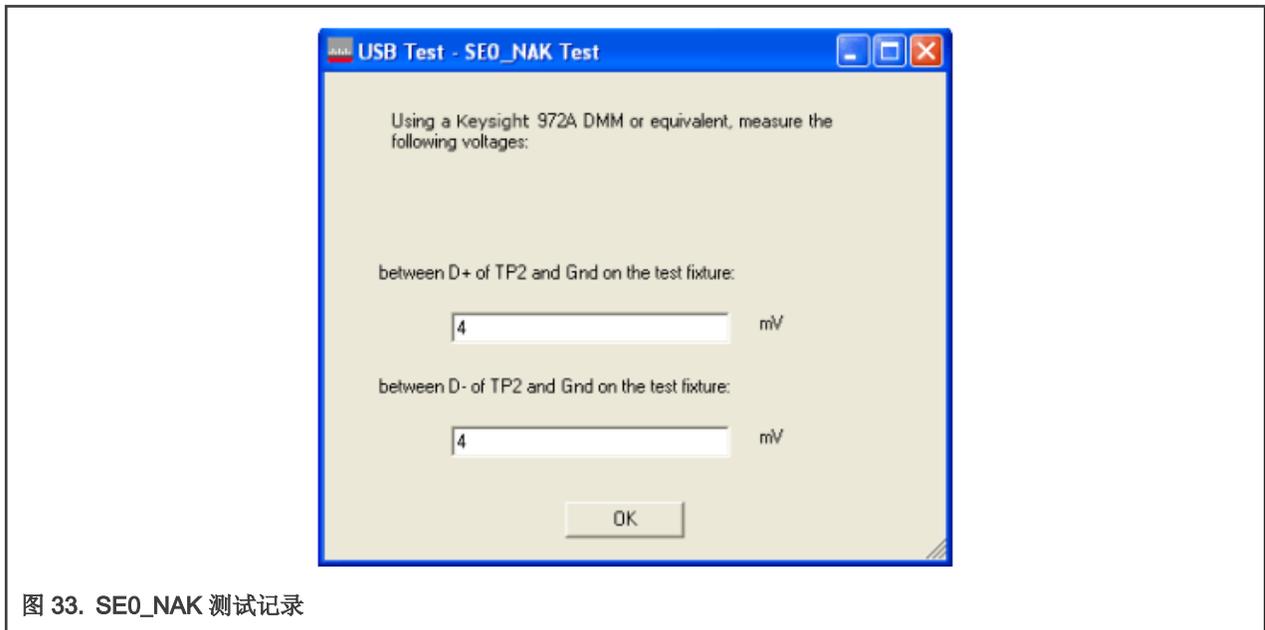


图 33. SE0_NAK 测试记录

3.1.1.6 Device Receiver Sensitivity Test 流程

由于缺少信号发生设备，在本应用笔记中未进行 Receiver Sensitivity 的预测试，但是仍然会列出测试的步骤及流程。所需设备如表 7 所示。

表 7. Device Receiver Sensitivity Test 所需设备

设备	型号	数量
示波器	Keysight DSOS604A	1
差分探头	Keysight 1131B with E2678B	1
测试主机 PC	Any computer with hi-speed USB port	1
Receiver Sensitivity 测试夹具及 4" USB 线	Keysight E2649-66403	1
电源适配器	Keysight 0950-2546 or equivalent	1
数字信号发生器	Keysight 81160A	1
USB/GPIB 接口	Keysight 82357B	1
6 dB attenuators	Keysight 8493C	2
两端为 SMA 公头的 50 欧姆同轴电缆	Keysight 8120-4948	2
5 m 长高速 USB 线	任意符合 USB-IF 要求的	1

测试步骤如下：

1. 如图 34 所示，在示波器上勾选 Device Receiver Sensitivity 测试项。按照图 35 所示连接设备以及测试夹具，保证测试夹具的开关处于关闭，绿灯亮，黄灯不亮。

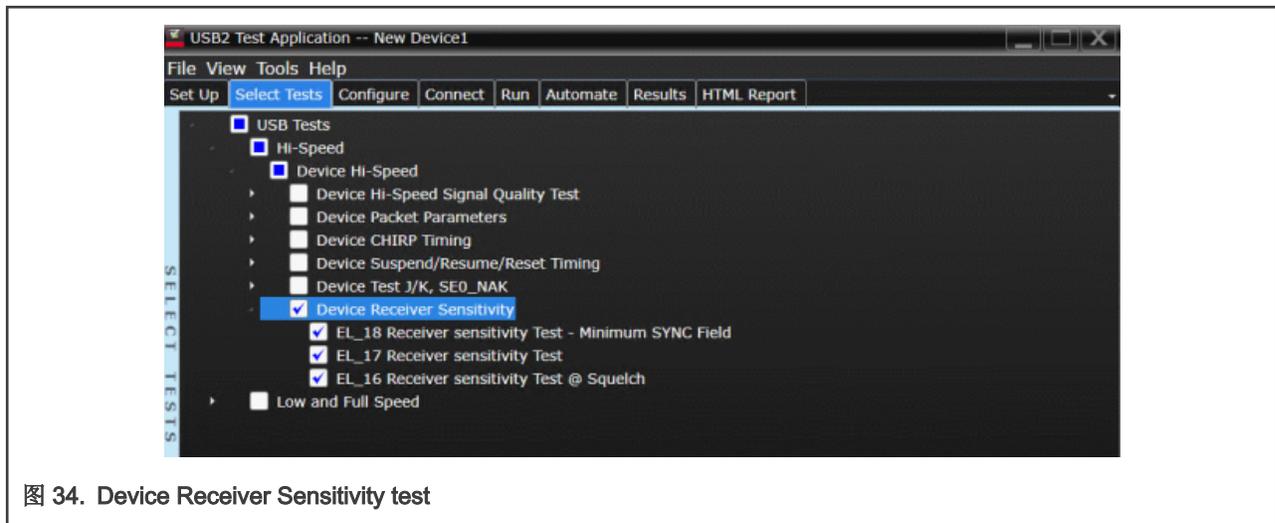
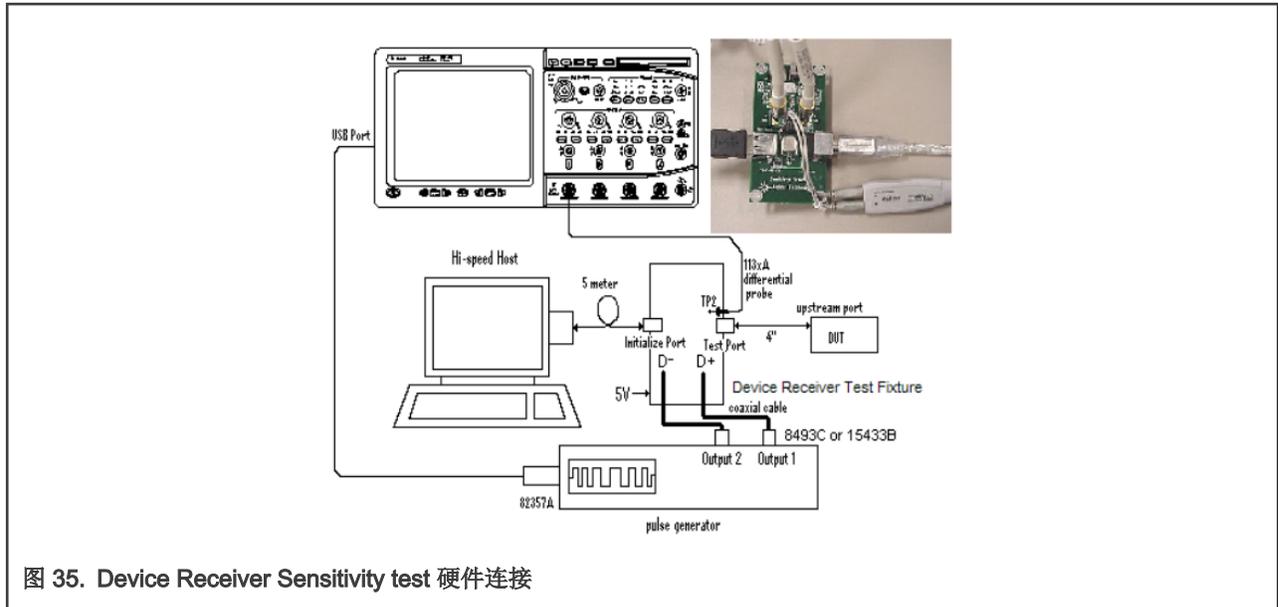


图 34. Device Receiver Sensitivity test



2. 使用 82357B USB/GPIB 接口将 81160A 脉冲发生器连接到示波器，将 8493C 6 dB attenuators 连接到脉冲发生器的 OUTPUT1 和 OUTPUT2。在 USB 测试软件中选择 Configure Devices 按钮，选择 SICL 地址项，将 IO Controls 上的 SICL 的地址复制过来，然后点击 Get IDN。
3. 使用 8120-4948 SMA 电缆分别将 OUTPUT1 连接到测试夹具的 SMA1，OUTPUT2 连接到测试夹具的 SMA2。
4. 重新给 EVK 板上电，在示波器上点击 Run Tests。在测试计算机上点击 HSETT 软件的设备测试菜单内的 Enumerate Bus 一次。
5. 从 Device Command 下拉菜单中选择 TEST_SE0_NAK，然后单击执行，将设备置于 TEST_SE0_NAK 测试模式。
6. 将测试夹具的开关设置到测试档，这将会利用数据生成器代替主机控制器，数据生成器将会模拟来自主机控制器的 IN 数据包。
7. 当测试完成对话框出现时，点击 OK 完成测试。

3.1.2 Embedded Host 高速信号测试

进行 Host 的高速信号测试时，需要使用到一个专用的测试板，叫做 PIDVID 板，这块测试板可以通过拨码修改自身的 PIDVID 以让连接的 Host 进入不同的测试。PIDVID 板如图 36 所示。

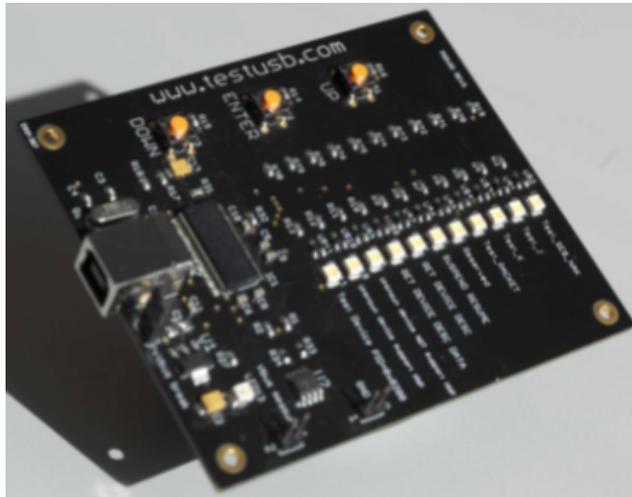


图 36. PIDVID 板

由于缺少此测试板，所以本应用笔记中使用另外一块 EVK，通过灌入不同的 PID 的程序来实现相同的功能。在进行测试时，保证 EVK 的 VID 固定为 0x1A0A，修改 EVK 的 PID，然后通过测试夹具连接到被测 Host 可以使 Host 进入相应的测试状态，不同 PID 所代表的指令如表 8 所示。

表 8. 测试模式 PID 定义

PID	Test mode
0x0101	TEST_SE0_NAK
0x0102	TEST_J
0x0103	TEST_K
0x0104	TEST_PACKET
0x0105	RESERVED
0x0106	HS_HOST_PORT_SUSPEND_RESUME
0x0107	SINGLE_STEP_GET_DEV_DESC
0x0108	SINGLE_STEP_GET_DEV_DESC_DATA

Embedded Host 高速信号测试的测试项如下：

- Embedded Host Hi-Speed Signal Quality test
- Embedded Host Controller Packet Parameters test
- Host CHIRP Timing test
- Host Suspend/Resume Timing test
- Host Test J/K, SE0_NAK test

表 9 展示了 Embedded Host 的高速电气测试的通过标准。

表 9. 高速 Host 电气测试标准

Test name	Pass limits
EL_2 Data rate	Within 480 Mb/s +/-0.05%
EL_3 Data Eye and Mask Test	Must meet Template 1 transform waveform requirements at TP2
EL_6 Host rise/fall time	>500 ps
EL_7 Host Non-Monotonic Edge Test	Must have monotonic data transitions over the vertical openings
EL_21 Sync Field Length Test	32 bits, 65.62 ns <= VALUE <= 67.700 ns
EL_25 EOP Length Test	8 bits, 15.620 ns <= VALUE <= 17.700 ns
EL_23 Inter-packet gap between first 2 Packets Test	183.000 ns <= VALUE <= 399.400 ns
EL_55 SOF EOP Width Test	40 bits, 81.100 ns <= VALUE <= 83.388 ns
EL_22 Inter-packet gap between Host and Device Packet Test	16.640 ns <= VALUE <= 399.90 ns
EL_33 CHIRP timing response	1 ns <= VALUE <= 100.000 μ s
EL_34 CHIRP J/K width	40.000 μ s <= VALUE <= 60.000 μ s
EL_35 SOF Timing Response	100.000 μ s <= VALUE <= 500.000 μ s
EL_39 Suspend Timing Response	3.000 ms <= VALUE <= 3.125 ms
EL_41 Resume Timing Response	VALUE <= 3.000 ms
EL_8 Host J Test	360 mV <= D+ <= 440 mV -10mV <= D- <= 10 mV
EL_8 Host K Test	360 mV <= D- <= 440 mV -10 mV <= D+ <= 10 mV
EL_9 Host SE0_NAK Test	-10 mV <= D+ <= 10 mV -10 mV <= D- <= 10 mV

如图 37 所示在示波器上的 USB 自动化测试软件中选择 Host，并且勾选 Embedded Host 选项。

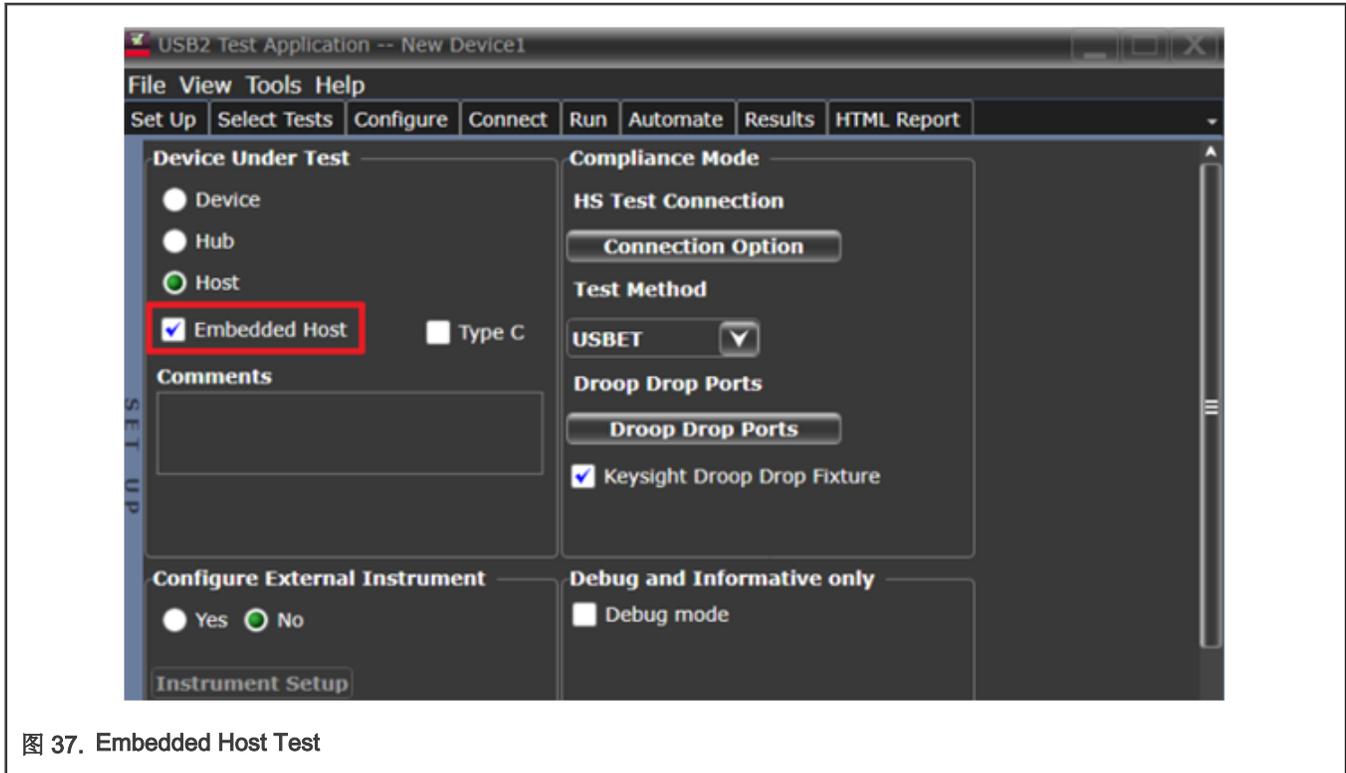


图 37. Embedded Host Test

3.1.2.1 Host Hi-Speed Signal Quality Test 流程

与 Device 的信号质量测试类似，Host 同样要进行信号质量的测试，测试过程中需要用到如表 10 所示的一些设备。

表 10. Device Hi-Speed Signal Quality Test 所需设备

设备	型号	数量
示波器	Keysight DSOS604A	1
差分探头	Keysight 1131B with E2678B	1
PIDVID 板	MIMXRT1010-EVK simulated	1
Host 高速信号测试夹具及 4" USB 线	Keysight E2649-66402	1
电源适配器	Keysight 0950-2546 或其他 5 V 电源	1
USB 线	Micro-B 接口 OTG 线	1

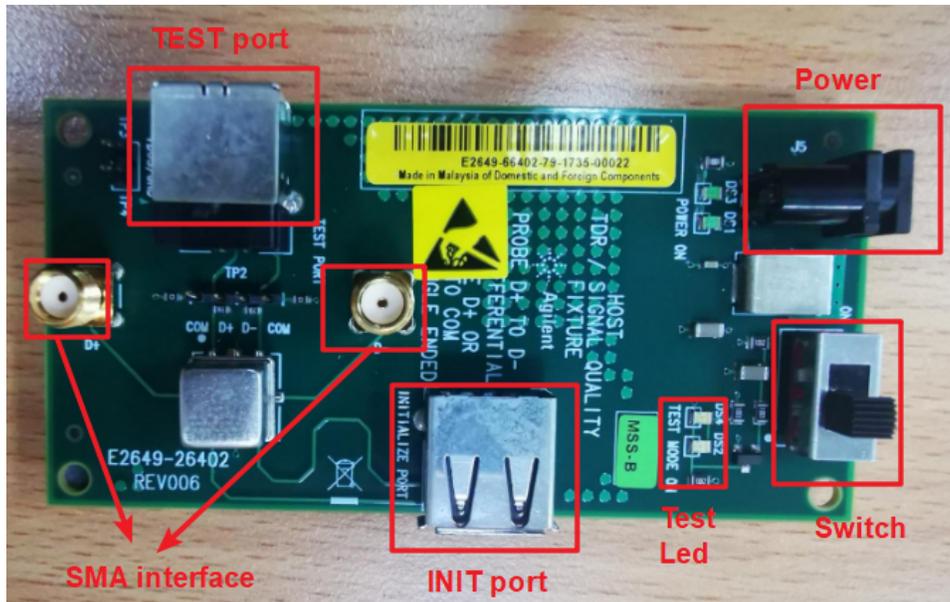


图 38. E2649-66402 实物图

测试步骤如下：

1. 在示波器上的 USB 自动测试软件中选择测试项目，勾选如图 39 所示的测试项，并在 configure 选项卡中将测试类型设置为 Hi-Speed Near End。

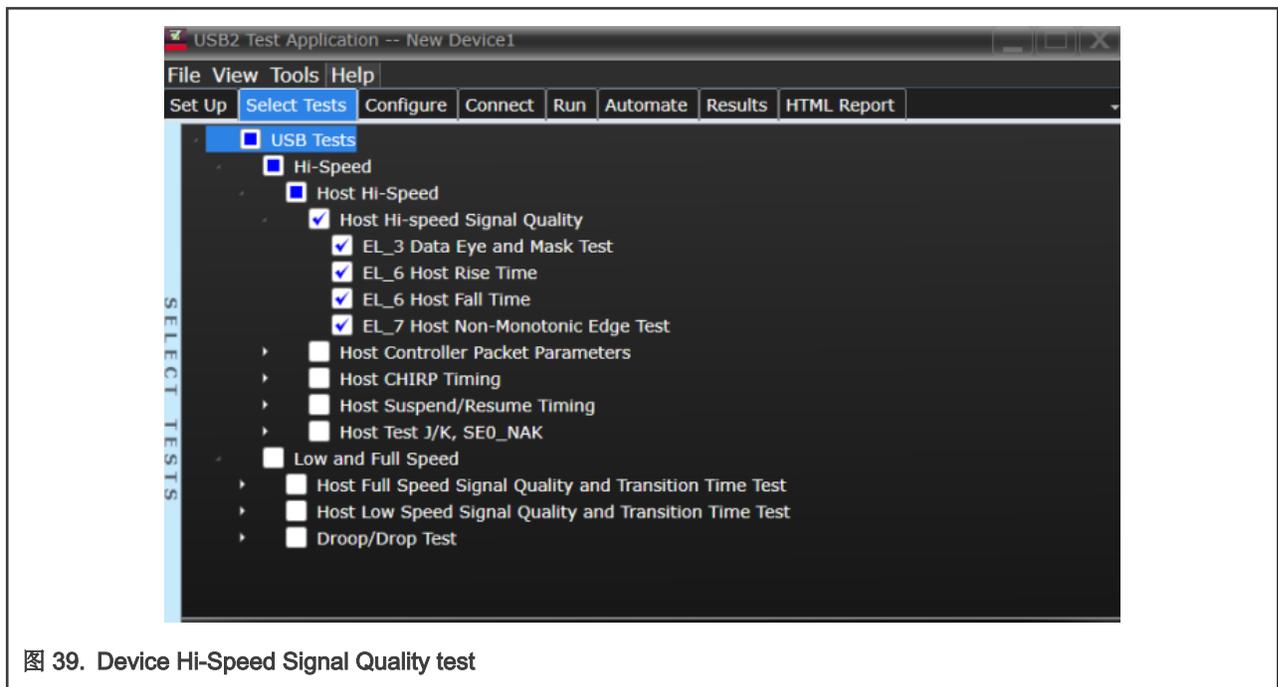


图 39. Device Hi-Speed Signal Quality test

2. 按照图 40 连接好测试 Embedded Host 板，夹具以及示波器。将 50 欧姆的终端电阻接入夹具上的 SMA 接口。

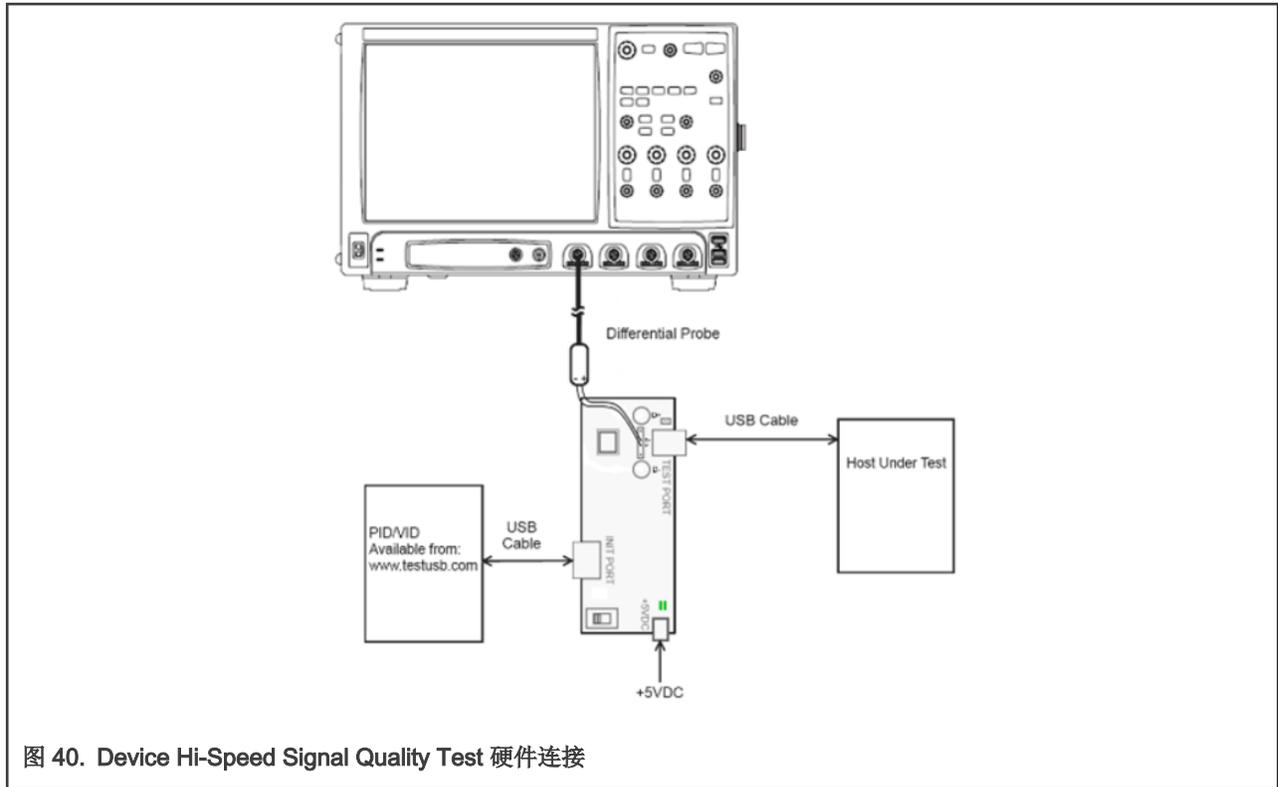


图 40. Device Hi-Speed Signal Quality Test 硬件连接

3. 将 5 V 电源连接到 Host 高速信号质量测试夹具，将测试开关保持在关闭位置。确保绿色电源灯亮起，黄色测试灯不亮。
4. 使用 OTG 线连接被测 EVK 的 USB 口，然后使用 4 英寸 USB 线连接 Host 高速信号质量测试夹具的 TEST PORT 与被测 Host 通过 OTG 线扩展出的 Type-A 母口。
5. 修改任意 USB device 例程的 VID 为 0x1A0A，PID 为 0x0104，下载例程到 MIMXRT1010-EVK 中，将 MIMXRT1010-EVK 的 USB 端口连接到测试夹具的 INIT 端口。
6. 将示波器上通道 1 的差分探头连接到测试夹具上 TP2 的 D+ 与 D-（此处的差分探头需要连接一个小的差分测试头 E2678B），确保探头上的极性与夹具上的 D+/D- 的极性相对。

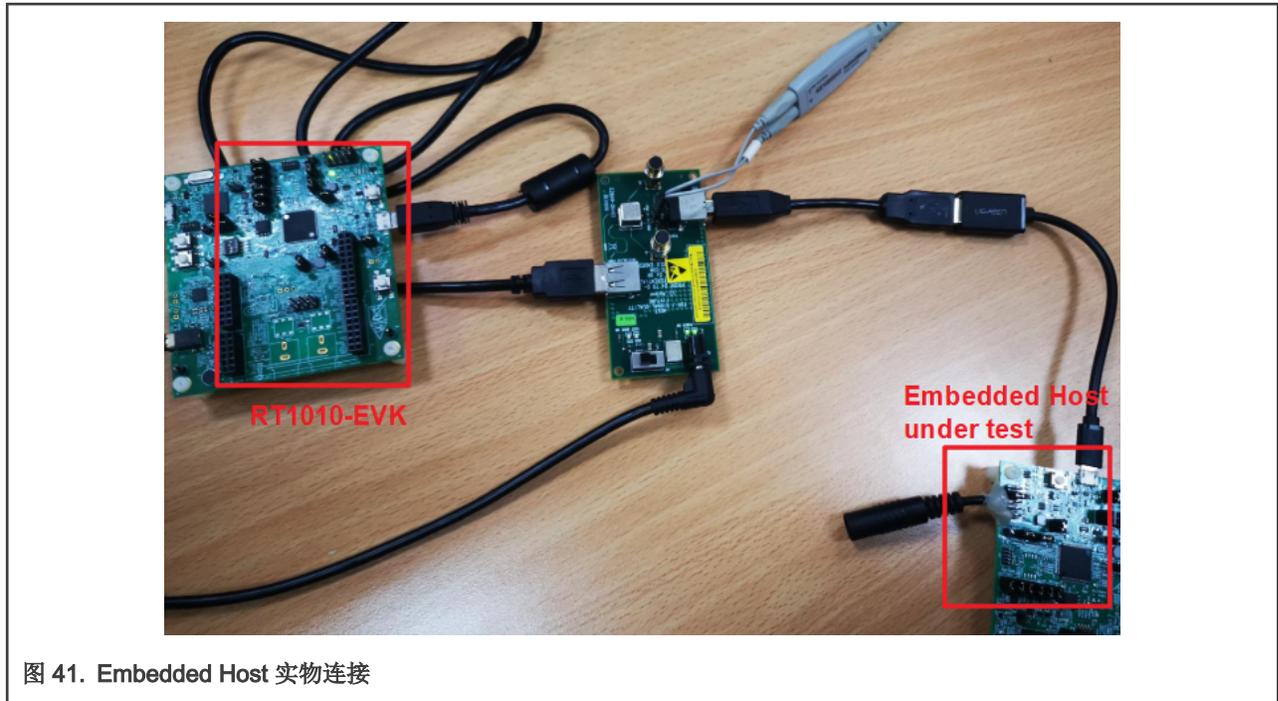


图 41. Embedded Host 实物连接

7. 单击示波器上自动测试软件的运行测试按钮，给被测主机及 MIMXRT1010-EVK 上电，主机枚举 RT1010-EVK 板并响应连续发送测试包。
8. 根据示波器提示打开测试夹具上的开关，确保黄色测试灯亮起。确认示波器抓取的波形与软件提示的波形相似。

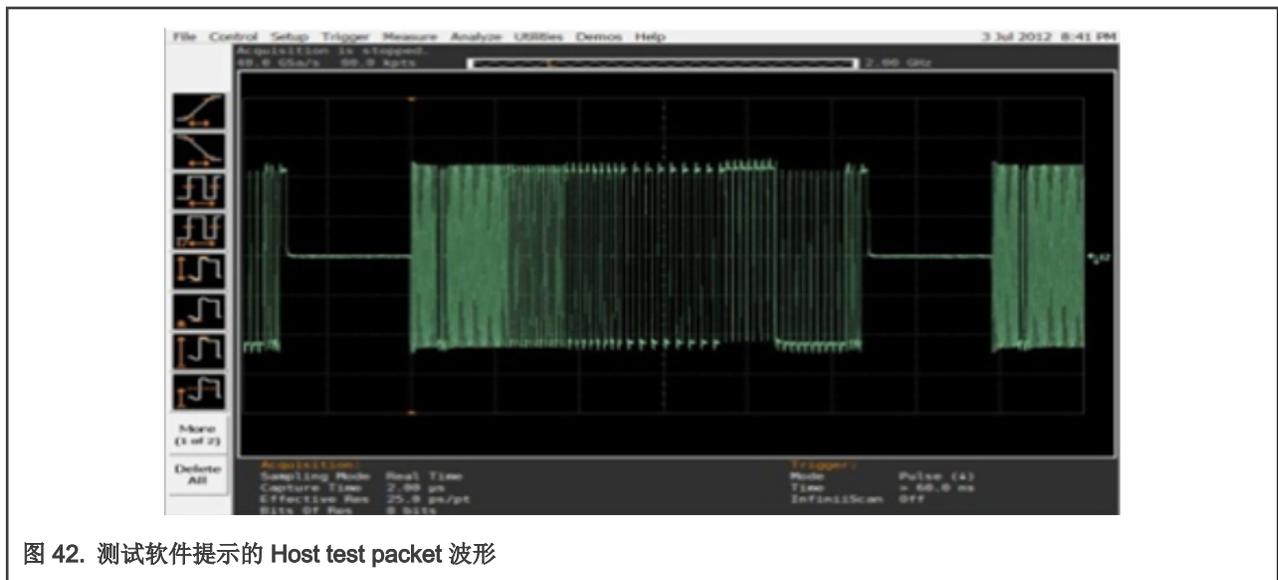


图 42. 测试软件提示的 Host test packet 波形

9. 等待测试完成，当测试完成对话框出现，单击 OK 完成测试。

3.1.2.2 Embedded Host Controller Packet Parameters Test 流程

此部分测试过程中需要用到的设备同 Embedded Host High-Speed Signal Quality Test，夹具上的电源开关需要一直保持 OFF。测试步骤如下：

1. 选择如图 43 所示的测试项，按照图 40 连接好测试设备，夹具以及示波器。将 50 欧姆的终端电阻接入夹具上的 SMA 接口。

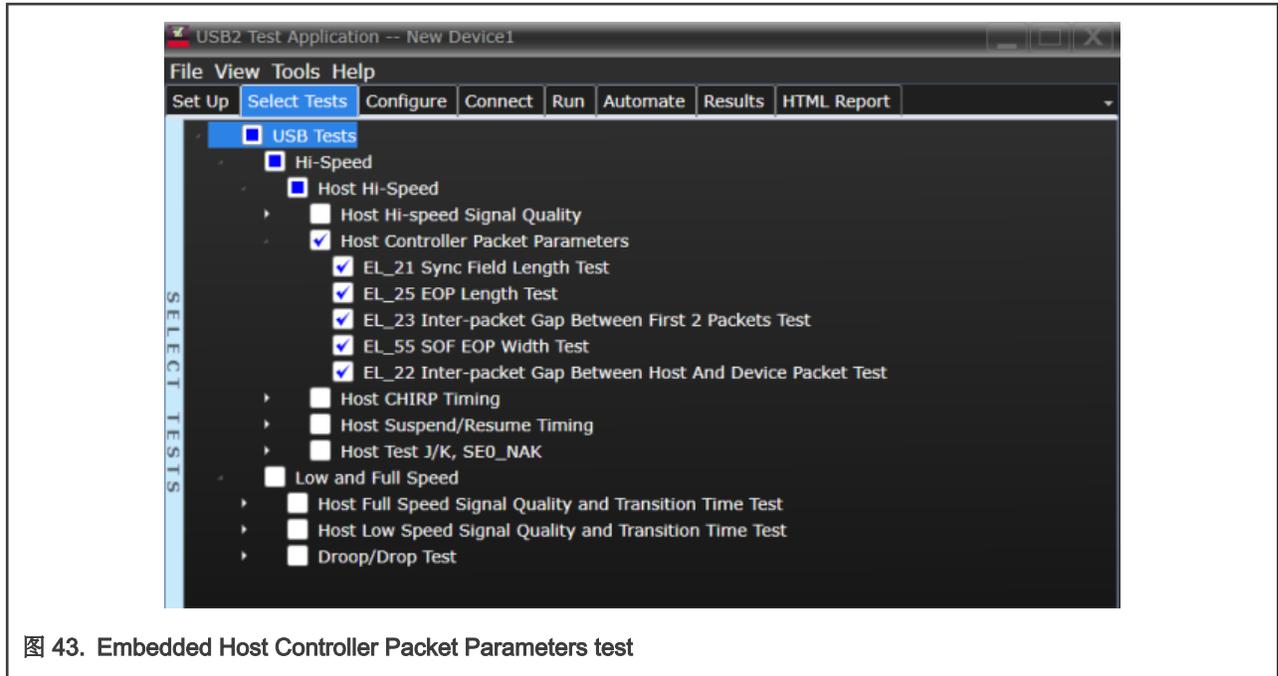


图 43. Embedded Host Controller Packet Parameters test

2. 被测 Embedded Host 与示波器探头的连接与信号质量测试相同。
3. 修改 RT1010-EVK 内例程的 PID 为 0x0107，下载例程到 RT1010-EVK 中，将 RT1010-EVK 的 USB 端口连接到测试夹具的 INIT 端口。
4. 点击示波器上的 Run Tests 开始测试，被测主机会枚举用于替代 PIDVID 板的 RT1010-EVK 板，并且发送 15 秒的 SOF 包，照示波器提示点击 OK，进行下一步测试。
5. SOF 发送完成后，主机进入 GetDescriptor() 命令的设置阶段。主机发送 SETUP 和 DATA (第一个和第二个数据包) ，然后设备发送一个 ACK。此时示波器抓取的包的波形应该与软件提示的波形类似。点击 OK，进行下一步测试。

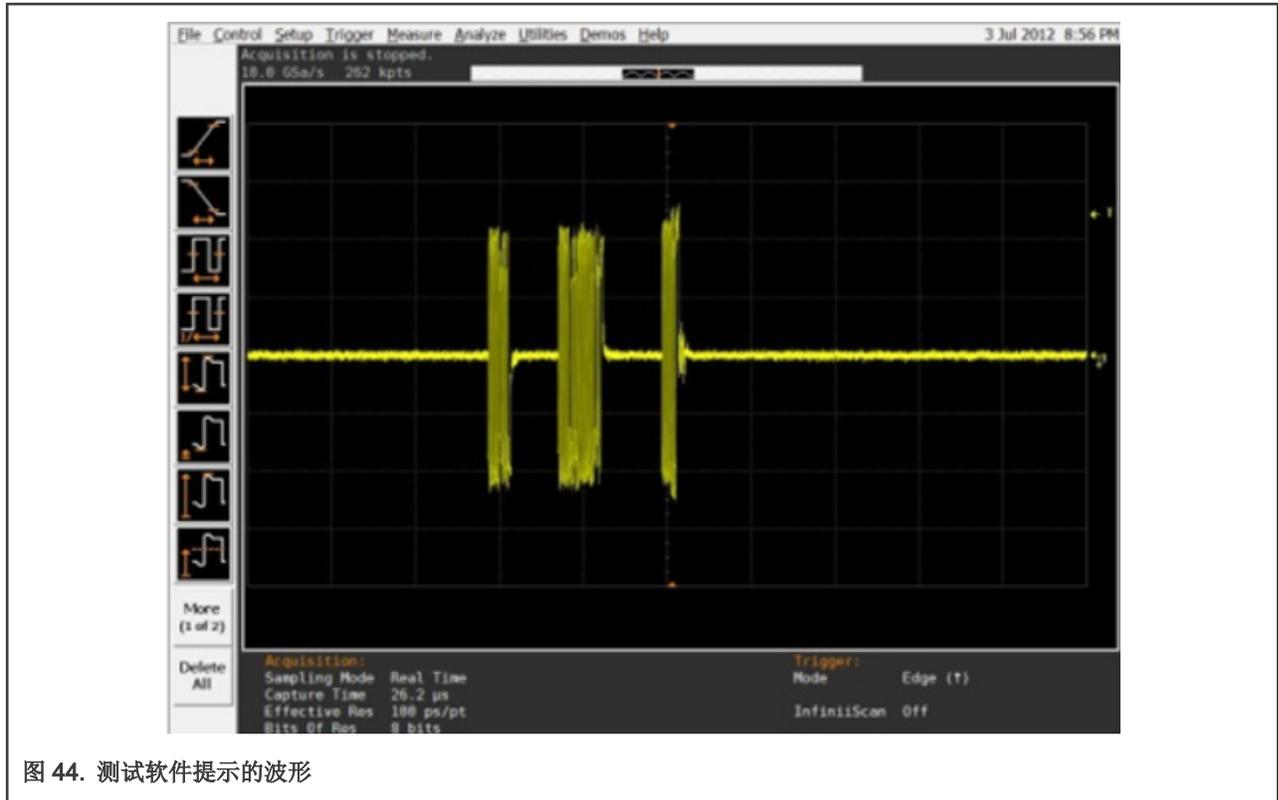


图 44. 测试软件提示的波形

6. 断开 RT1010-EVK 的连接，修改例程的 PID 为 0x0108，并重新连接到夹具的 INIT 端口。
7. 主机枚举 RT1010-EVK 板，发起 GetDescriptor() 请求，并且等待 15 秒。然后主机发起一个 IN 令牌包，设备会回复 DATA 包，然后主机发送一个 ACK 包。整个过程中的三个包会被示波器抓取，应该与软件提示的波形类似。点击 OK，完成测试。

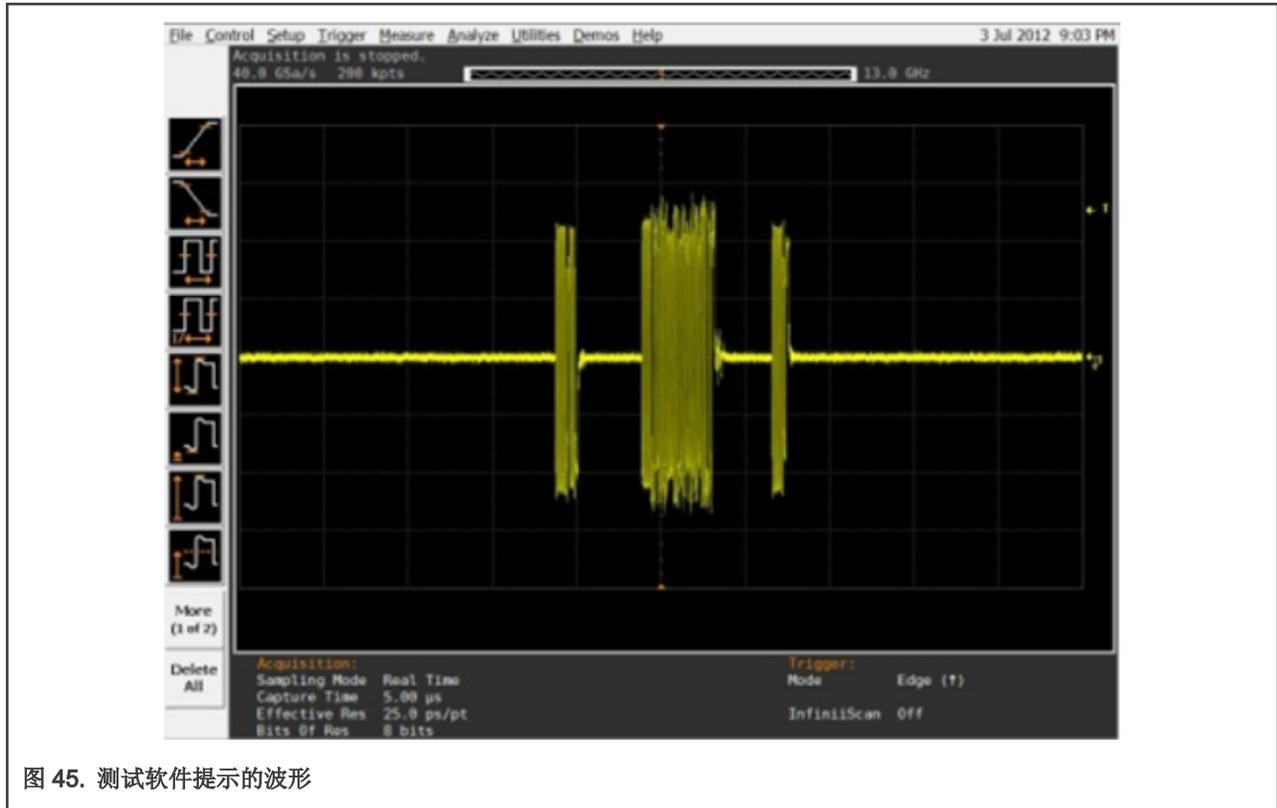


图 45. 测试软件提示的波形

3.1.2.3 Host CHIRP Timing Test 流程

Host CHIRP Timing Test 的过程中需要用到如表 11 所示的一些设备。

表 11. Host CHIRP Timing Test 所需设备

设备	型号	数量
示波器	Keysight DSOS604A	1
单端探头	Keysight N2873A	2
PIDVID 板	MIMXRT1010-EVK simulated	1
Host 高速信号测试夹具及 4" USB 线	Keysight E2649-66402	1
电源适配器	Keysight 0950-2546 or equivalent	1
USB 线	Micro-B 接口 OTG 线	1

测试步骤如下：

1. 在示波器的自动化测试软件上勾选如图 46 所示的测试项。

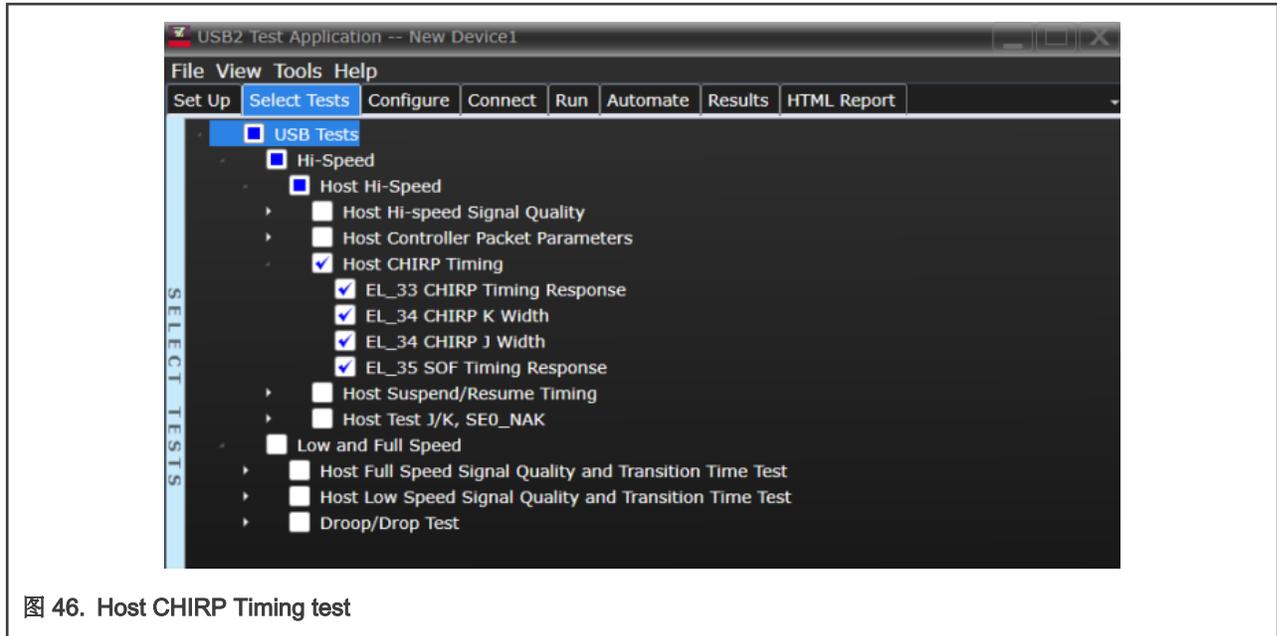


图 46. Host CHIRP Timing test

- 按照图 47 连接好被测 Host，夹具以及示波器。将 50 欧姆的终端电阻接入夹具上的 SMA 接口，保证夹具上的开关处于 OFF 状态，绿色电源灯亮。

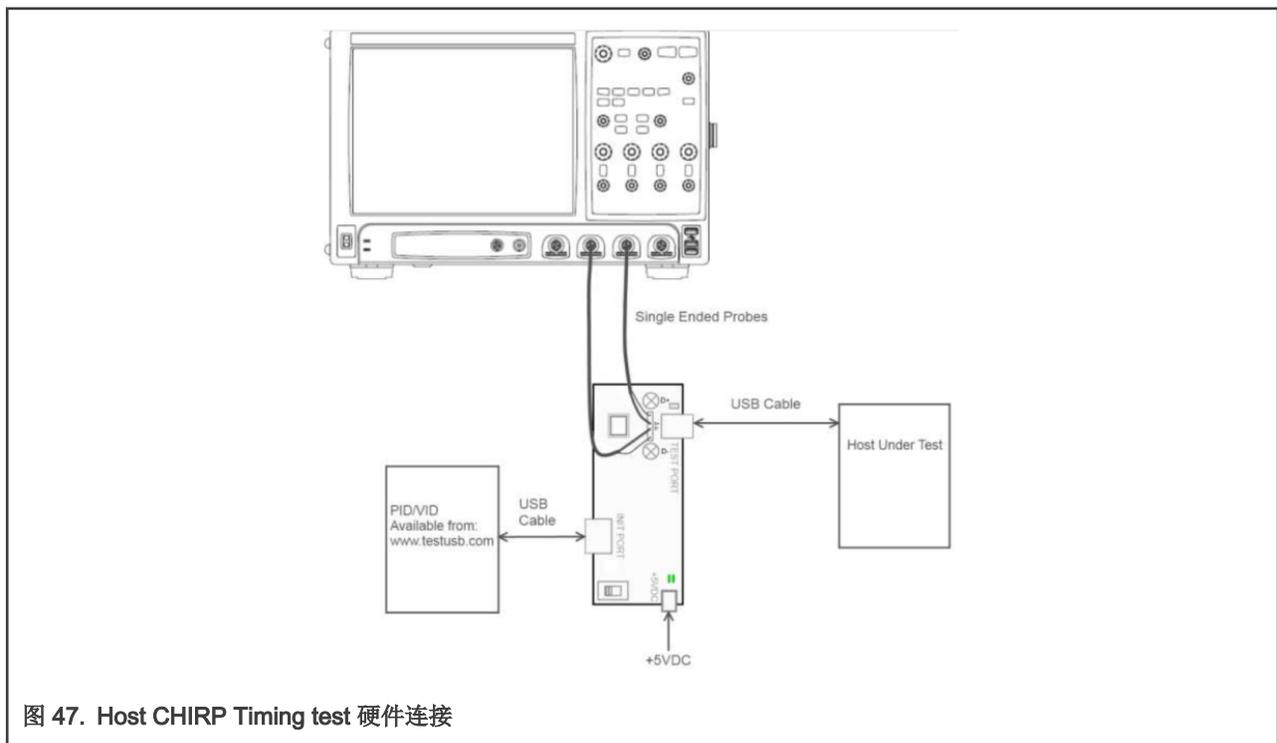


图 47. Host CHIRP Timing test 硬件连接

- Chirp 测试中无需修改 Device 的 PIDVID，直接将之前的 RT1010-EVK 或任意一个高速 USB 设备连接到夹具的 INIT 端口。
- 点击示波器上的 Run Tests 开始测试，示波器会抓取高速握手协议中的 Chirp 信号。示波器的波形应与软件提示的波形相似，点击 OK，完成测试。

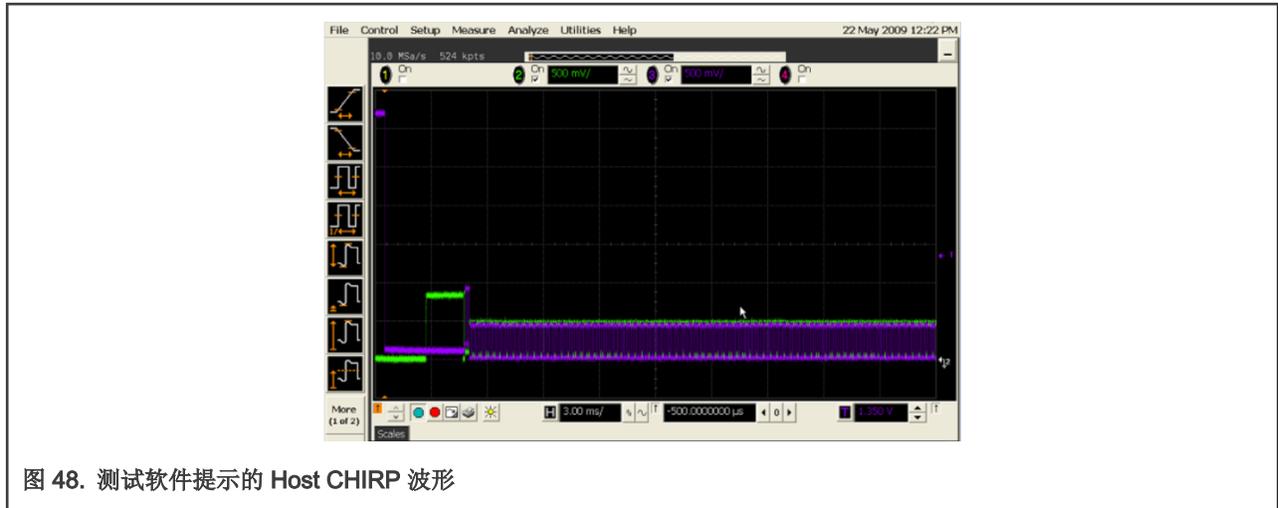


图 48. 测试软件提示的 Host CHIRP 波形

3.1.2.4 Host Suspend/Resume Timing Test 流程

此项测试中所使用到的设备如表 11 与 Host CHIRP Timing Test 一致。

测试步骤如下：

1. 在示波器上的自动测试软件勾选如图 49 所示的测试项目。

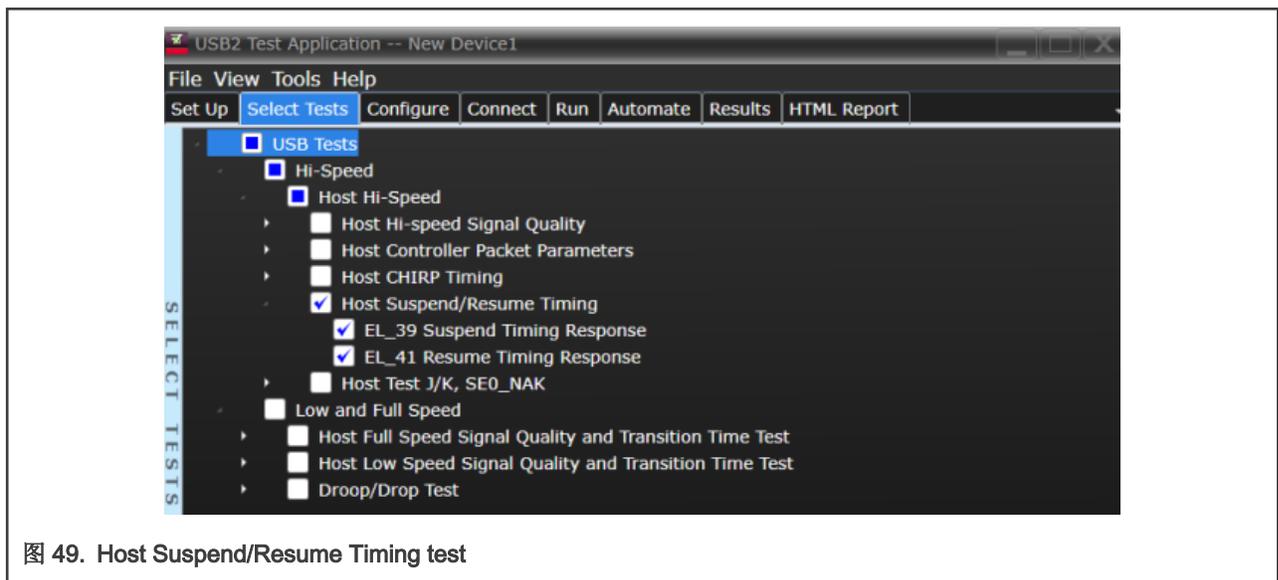
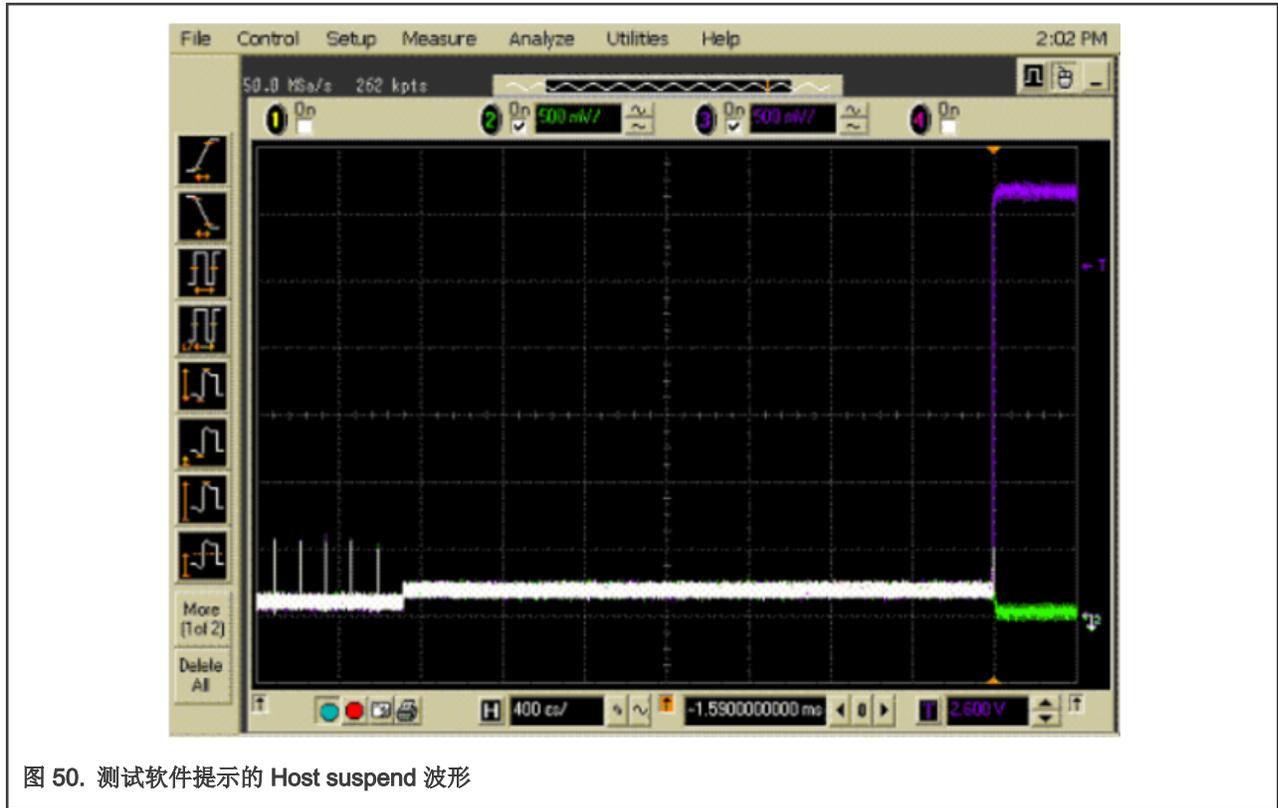
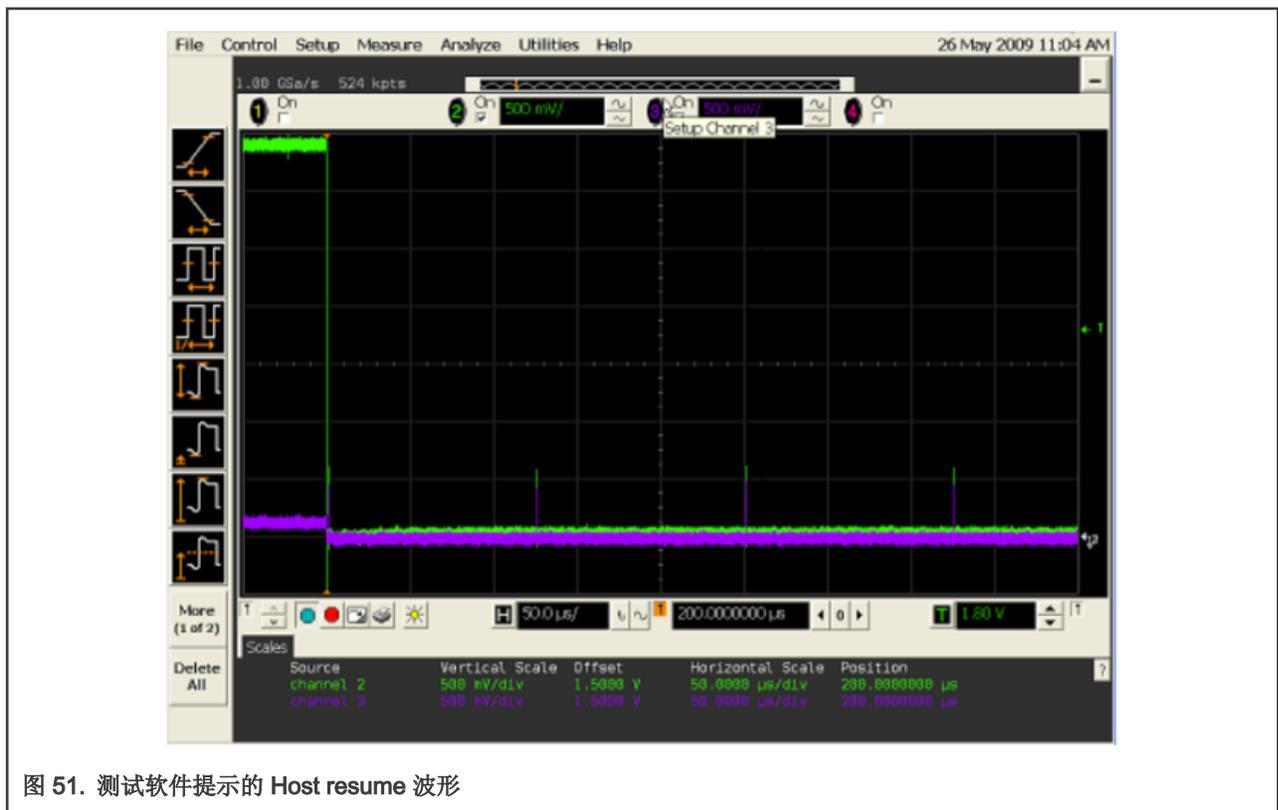


图 49. Host Suspend/Resume Timing test

2. 按照图 47 连接好被测 Host，夹具以及示波器。将 50 欧姆的终端电阻接入夹具上的 SMA 接口，保证夹具上的开关处于 OFF 状态，绿色电源灯亮，黄色测试灯不亮。
3. 修改 RT1010-EVK 内例程的 PID 为 0x0106，下载例程到 RT1010-EVK 中，将 RT1010-EVK 的 USB 端口连接到测试夹具的 INIT 端口。
4. 点击软件中的 Run Tests 进行测试，在 15 秒过后，被测 Host 将会进入 Suspend 状态，示波器抓取进入 Suspend 过程的波形，应该与软件提示的一致，点击 OK，进行下一步测试。



- 在 Suspend 状态保持 15 秒以后，Host 会在使总线进入 ResumeK 状态，然后继续发送 SOF 包，示波器抓取的 Resume 波形应该与软件提示一致。点击 OK 完成测试。



3.1.2.5 Host Test J/K, SE0_NAK Test 流程

Host Test J/K, SE0_NAK Test 的过程中需要用到如表 12 所示的一些设备。

表 12. Host Test J/K, SE0_NAK Test 所需设备

设备	型号	数量
万用表	任意	1
PIDVID 板	MIMXRT1010-EVK 板替代	1
Host 高速信号测试夹具及 4" USB 线	Keysight E2649-66402	1
电源适配器	Keysight 0950-2546 或其他 5 V 电源	1
USB 线	Micro-B 接口 OTG 线	1

测试步骤如下：

1. 在示波器上的自动测试软件勾选如图 52 所示的测试项目。

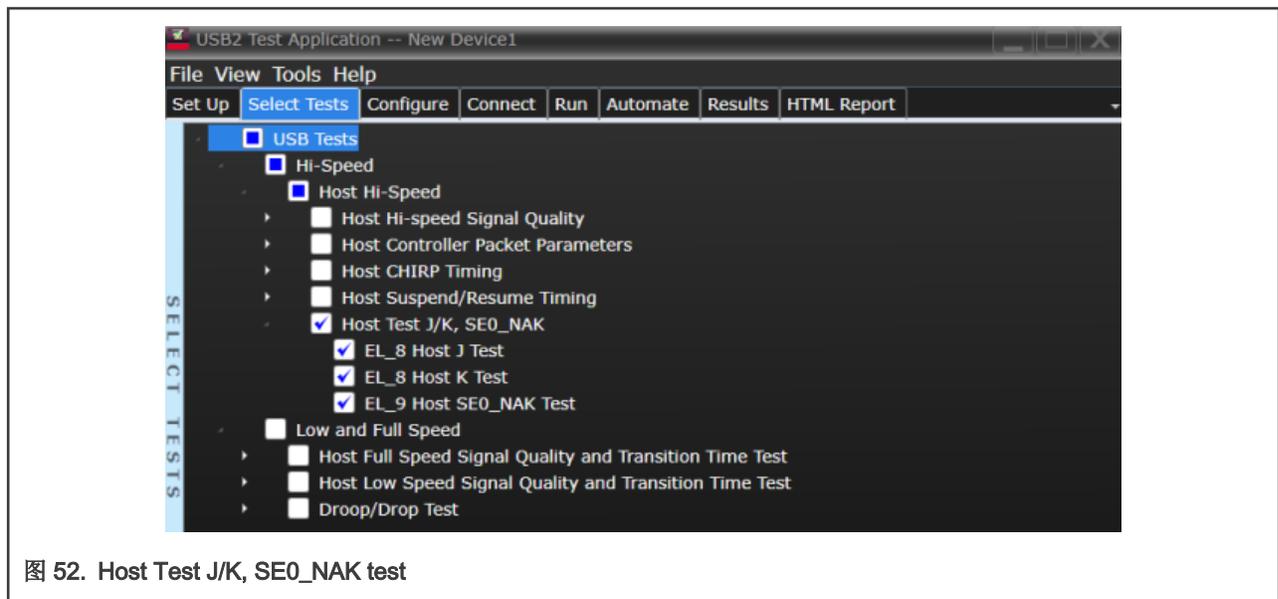
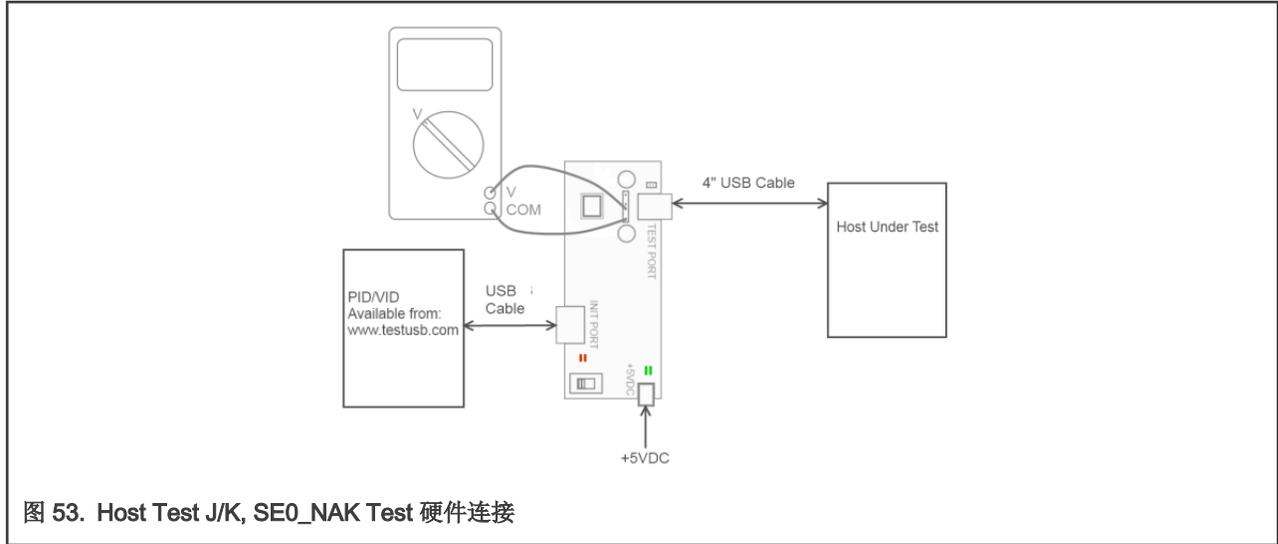


图 52. Host Test J/K, SE0_NAK test

2. 按照图 53 连接好被测 Host 及夹具。将 50 欧姆的终端电阻接入夹具上的 SMA 接口，保证夹具上的开关处于 OFF 状态，绿色电源灯亮，黄色测试灯不亮。



3. 点击软件中的 **Run Tests** 进行测试。
4. 修改 RT1010-EVK 内例程的 PID 为 0x0102，下载例程到 RT1010-EVK 中，将 RT1010-EVK 的 USB 端口连接到测试夹具的 INIT 端口。
5. Host 将会枚举 RT1010-EVK 板，并且进入 high-speed J 状态。
6. 根据示波器提示打开测试夹具上的开关，确保黄色测试灯亮起。使用万用表测量 TP2 上 D+/- 线上相对于 GND 的直流电压，然后在示波器中弹出的对话框中记录测量结果，并且点击 OK 进行下一步。
7. 将夹具上的开关切换回关闭挡，此时黄灯不亮。对被测 EVK 重新上电，使 Host 恢复正常运行。
8. 断开 RT1010-EVK 板，修改其中例程的 PID 为 0x0103，下载例程到 RT1010-EVK 中，重新将 RT1010-EVK 的 USB 端口连接到测试夹具的 INIT 端口。
9. Host 将会重新枚举 RT1010-EVK 板，并且进入 high-speed K 状态。
10. 将测试夹具的开关切换到测试挡，此时黄灯亮起。使用万用表测量 TP2 上 D+/- 线上相对于 GND 的直流电压，然后在弹出的对话框中记录测量结果，并且点击 OK 进行下一步。
11. 将夹具上的开关切换回关闭挡，此时黄灯不亮。对被测 EVK 重新上电，使 Host 恢复正常运行。
12. 断开 RT1010-EVK 板，修改其中例程的 PID 为 0x0104，下载例程到 RT1010-EVK 中，重新将 RT1010-EVK 的 USB 端口连接到测试夹具的 INIT 端口。
13. 将测试夹具切换到测试档。使用万用表测量 TP2 上 D+/- 线上相对于 GND 的直流电压，然后在弹出的对话框中记录测量结果，点击 OK 完成测试。

3.1.3 全速及低速电气测试

全速及低速电气测试项如下：

- Device 端的测试：
 - Upstream Full Speed Signal Quality Test
 - Back-Voltage Test
 - Device Inrush Current Test
- Host 端的测试：
 - Downstream Full Speed Signal Quality Test
 - Downstream Low Speed Signal Quality Test

— Host Drop Test

由于 i.MXRT 系列芯片不支持作为低速的 USB 设备，所以测试中去除了 Upstream Full-Speed Signal Quality Test。

3.1.3.1 Upstream Full-Speed Signal Quality Test 流程

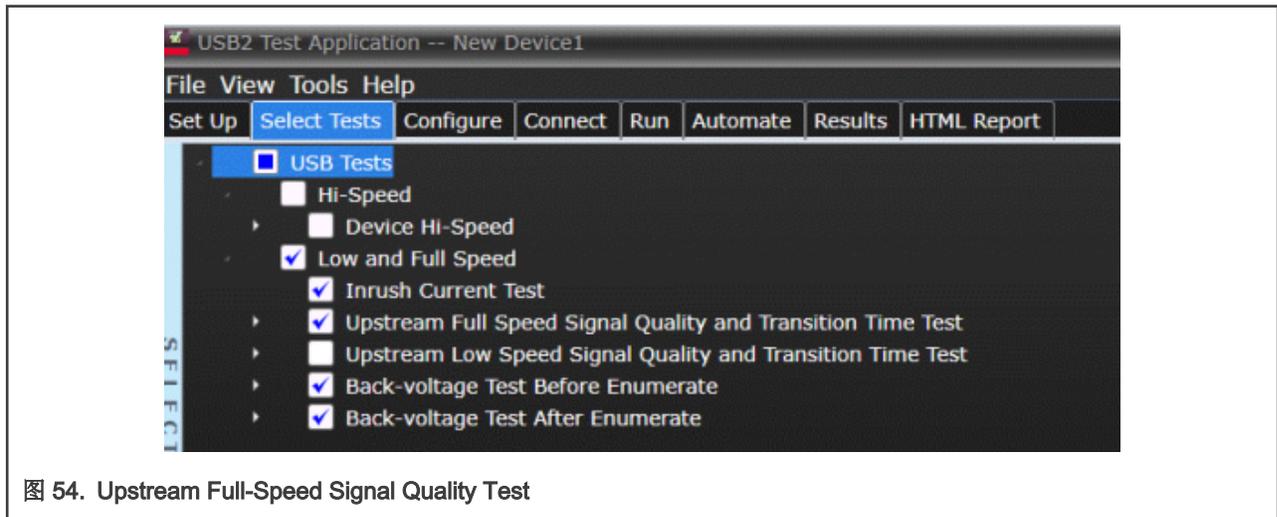
Upstream Full-Speed Signal Quality Test 的过程中需要用到如表 13 所示的一些设备。

表 13. Upstream Full-Speed Signal Quality Test 所需设备

设备	型号	数量
示波器	Keysight DSOS604A	1
单端探头	Keysight N2873A	3
SQiDD 板	Keysight E2646B	1
自供电 HUB	任意已经 USB-IF 认证的	5
5 m 长 USB 线	任意已经 USB-IF 认证的	6

测试步骤如下：

1. 在示波器上的自动测试软件勾选如图 54 所示的测试项目。



2. 按照图 55 连接好被测 Device 以及所有的 Hub 以及测试计算机（由于测试的是 Device 的 Upstream 端口的信号质量，上游的 5 层 Hub 对信号完整性没有影响。所以预测测试时如果手边缺少 Hub，可以只连接一个 Full Speed Hub 以将 Device 强制为全速运行，此时得到的眼图也是可信的）。

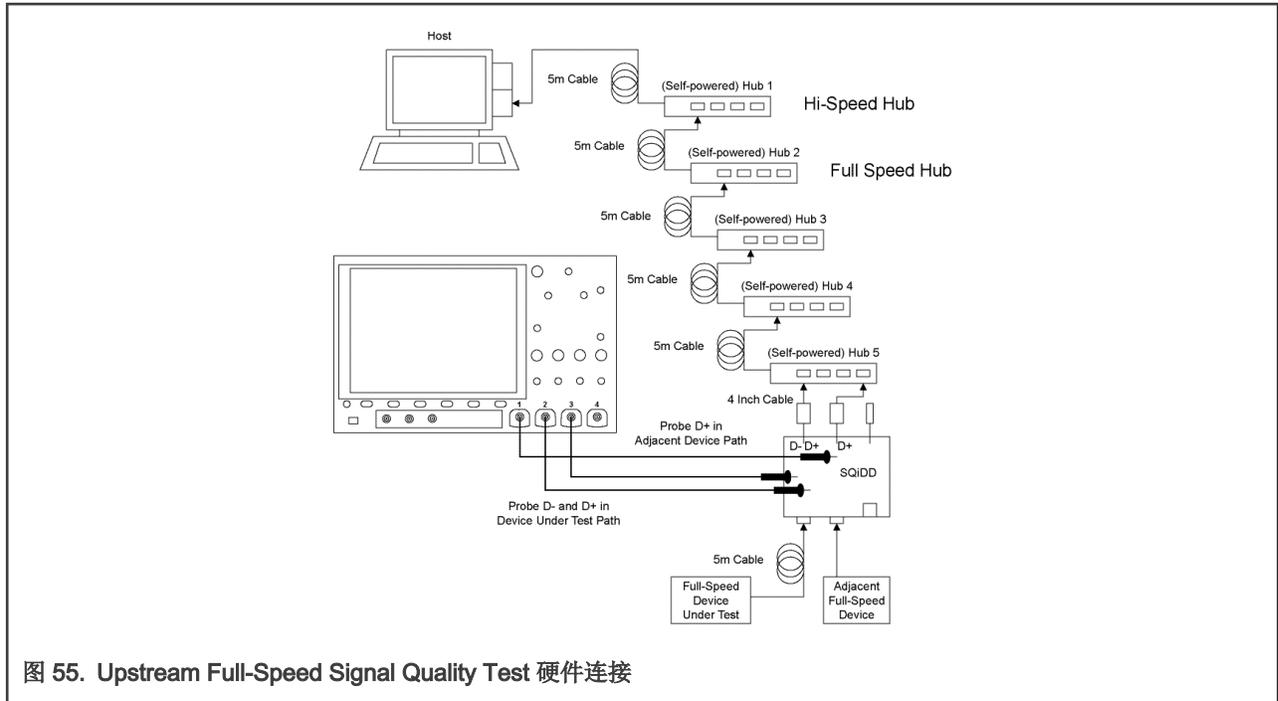


图 55. Upstream Full-Speed Signal Quality Test 硬件连接

3. 在示波器中点击 Run Tests 开始测试。
4. 与高速信号质量测试类似，同样在测试计算机中打开 HSETT 软件，点击 Enumerate Bus 一次，在枚举出的列表中选择被测 Device，然后如图 56 所示，选择 LOOP DEVICE DESCRIPTOR 命令，然后执行。

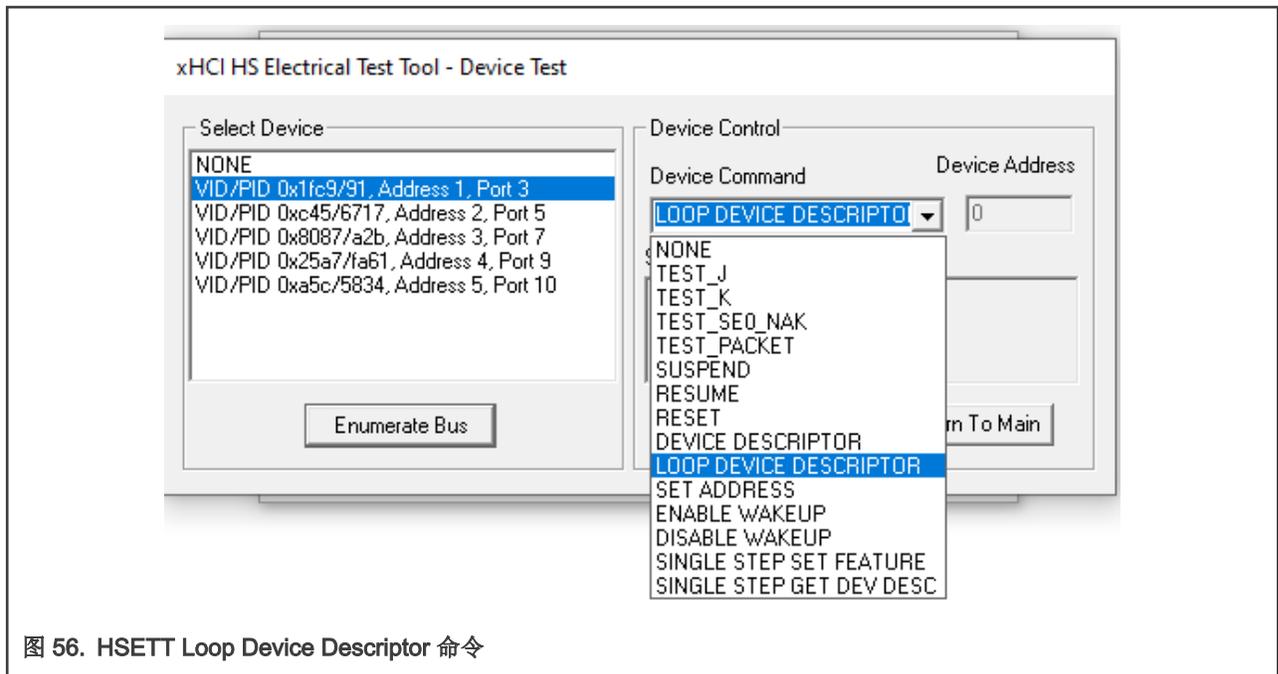


图 56. HSETT Loop Device Descriptor 命令

5. 示波器会完成信号的抓取，点击 OK 完成测试。

3.1.3.2 Back-Voltage Test 流程

Back-Voltage Test 需要用到万用表及 SQiDD 板。此测试中所测量到的电压应该都小于或等于 400 mV，若测量到超过 400 mV 的电压，则测试不通过。

测试步骤如下：

1. 在示波器上的自动测试软件勾选如图 54 所示的测试项目。
2. 按照图 57 连接好被测 Device 以及 SQiDD 板，不要连接任何 Host，在示波器软件中点击 Run Tests 开始测试。

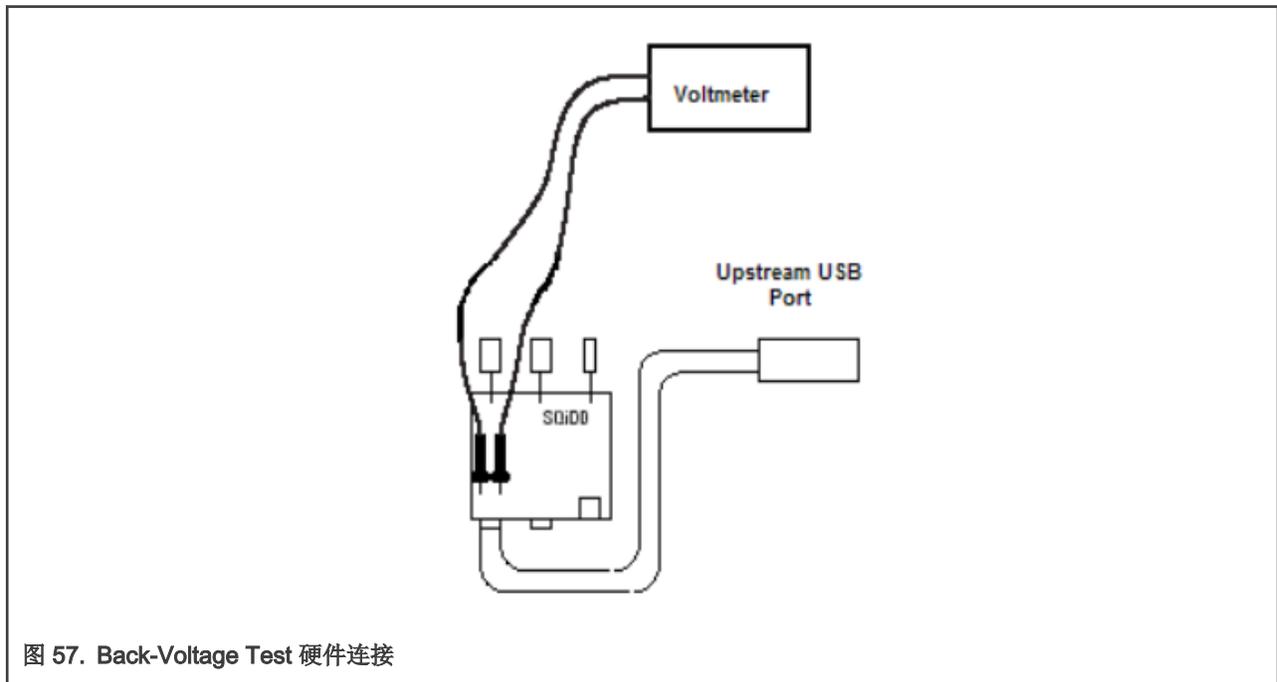


图 57. Back-Voltage Test 硬件连接

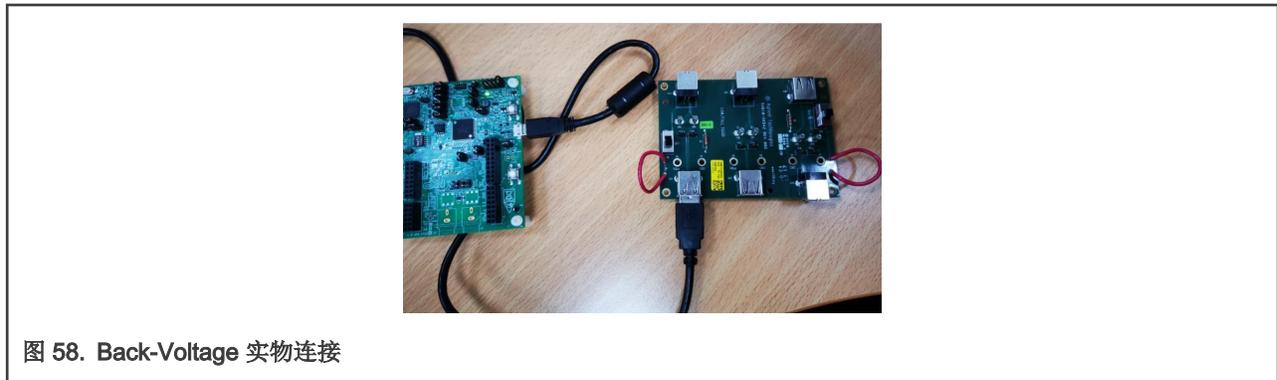


图 58. Back-Voltage 实物连接

3. 根据示波器上自动测试程序提示测量 VBUS，D+ 和 D- 上的直流电压，并且记录。点击 OK，进行下一步测试。
4. 将被测 Device 插入一个已知良好的 Host，并验证枚举成功。从 Host 拔出 USB 线，重新连接到 SQiDD 板。
5. 根据示波器上的提示再次测量 VBUS，D+和 D-的电压，并且记录下来。点击 OK，完成测试。

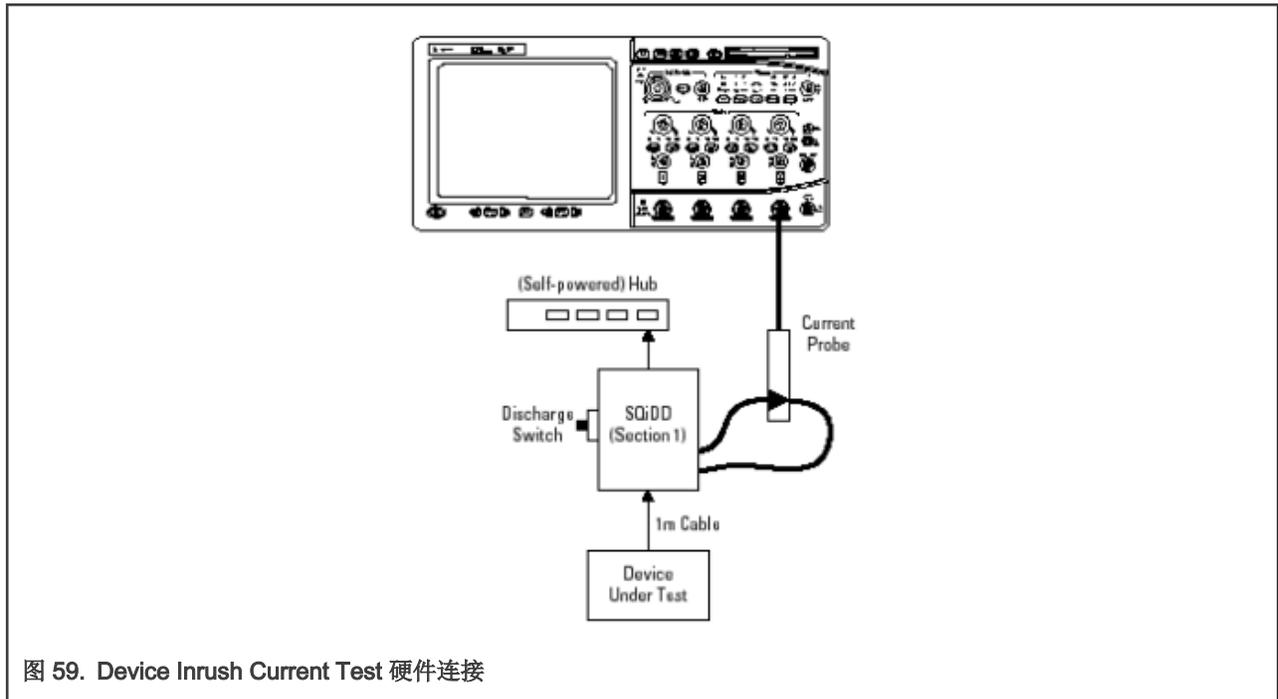
3.1.3.3 Device Inrush Current Test 流程

USB2.0 的协议支持的最大容量是 10 uF，因此最大的浪涌电流应为 50 uC。浪涌电流的测量应该在连接后的 100 ms 内进行。由于缺少 Keysight 的电流探头，所以本应用笔记中浪涌电流的测试使用的是 Tektronix 的示波器，示波器型号为 DPO2024B 搭配电流探头的型号为 TCP0030A。

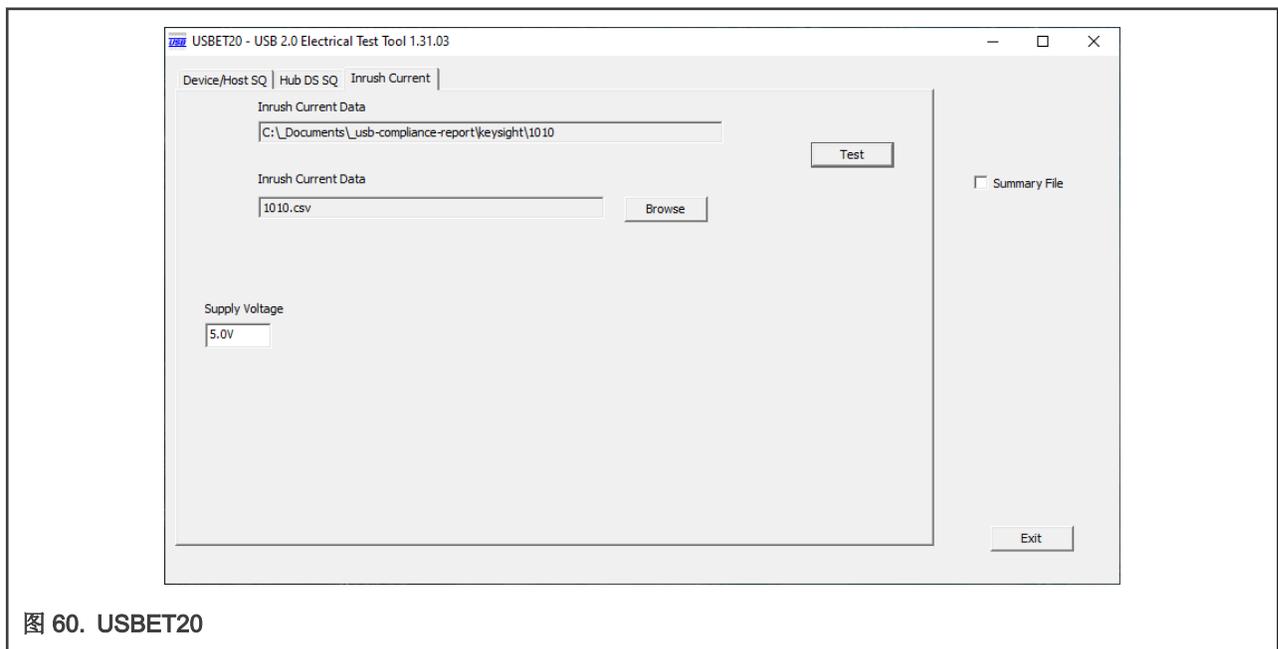
测试步骤如下：

1. 进行测量时，首先将电流探头校准到 0 mA。电流探头会产生直流偏移，如果不事先执行，会导致测量不正确。

2. 如图 59 所示连接设备和测试夹具。使用电流探头捕获 VBUS 电流波形。确保电流夹夹住红色闭环线的方向正确。图中的自供电 Hub 也可以是 PC。



3. 将被测 Device 连接到 SQiDD 板上，然后将 SQiDD 板上的开关设置到放电位置（与 ON 位置相反）。
4. 示波器上配置为 Single 触发方式，配置采样点总数为 5 M 点。
5. 将开关拨到 ON，以触发示波器捕获浪涌电流波形，然后将波形以 *.csv 形式保存到 U 盘上。
6. 将刚刚保存的 *.csv 文件复制到 PC 上，通过如图 60 所示的 USBET20 软件，点击 Test 完成测试。USBET20 软件可以由此链接下载：https://www.usb.org/documents?search=USBET20&items_per_page=50。



3.1.3.4 Downstream Full-Speed Signal Quality Test 流程

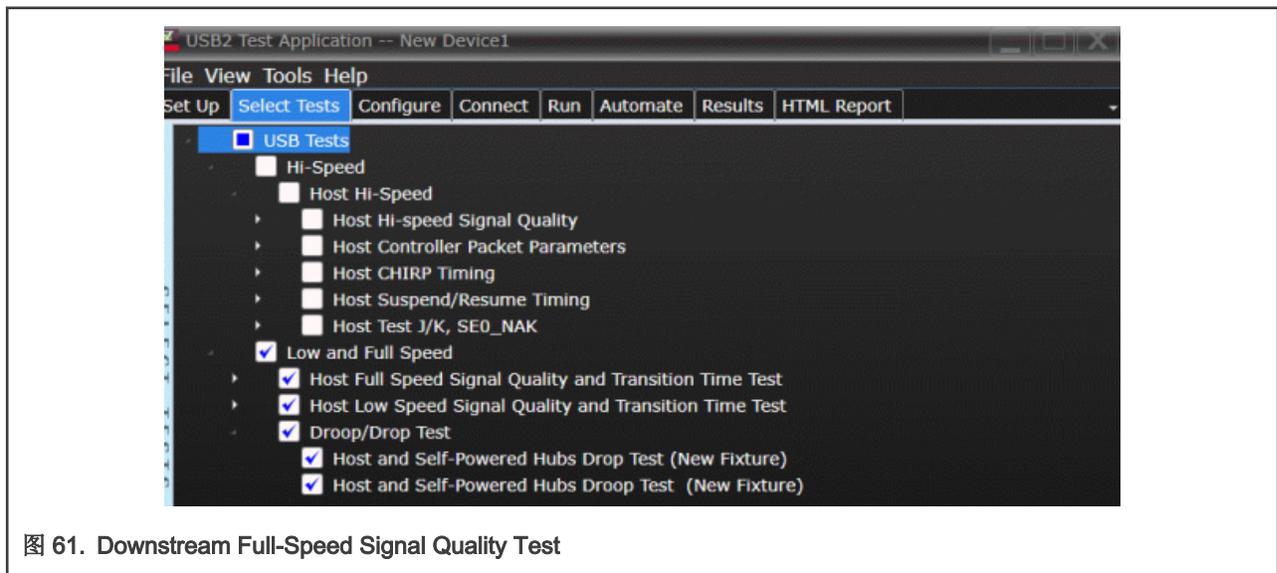
Downstream Full-Speed Signal Quality Test 过程中需要用到如表 14 所示的一些设备。

表 14. Downstream Full-Speed Signal Quality Test 所需设备

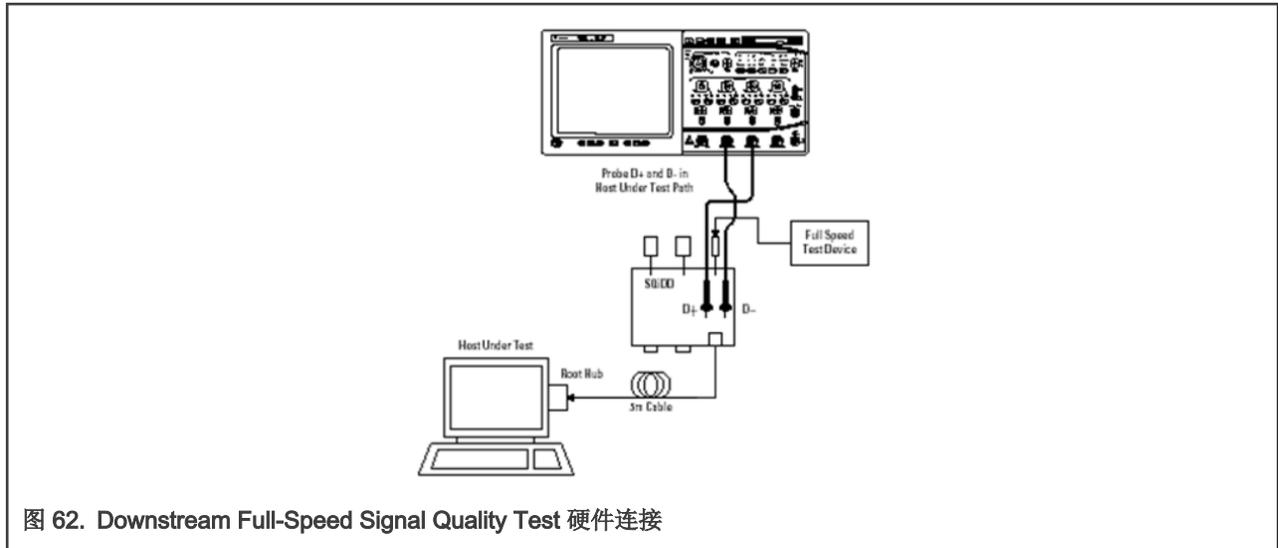
设备	型号	数量
示波器	Keysight DSOS604A	1
单端探头	Keysight N2873A	2
SQiDD 板	Keysight E2646B	1
全速 USB 设备	任意全速设备	1
USB 线	Micro-B 接口 OTG 线	1

测试步骤如下：

1. 在示波器上的自动测试软件勾选如图 61 所示的测试项目。



2. 按照图 62 中的连线，连接全速设备，SQiDD 板以及示波器，SQiDD 板中的开关应该置在 ON 的位置。测试的对象是 Embedded Host，所以用被测的 Host 代替图中的 PC。



3. 在示波器中点击 Run Tests 开始测试。当测试完成时，自动测试程序会显示结束对话框，点击 OK 完成测试。

3.1.3.5 Downstream Low-Speed Signal Quality Test 流程

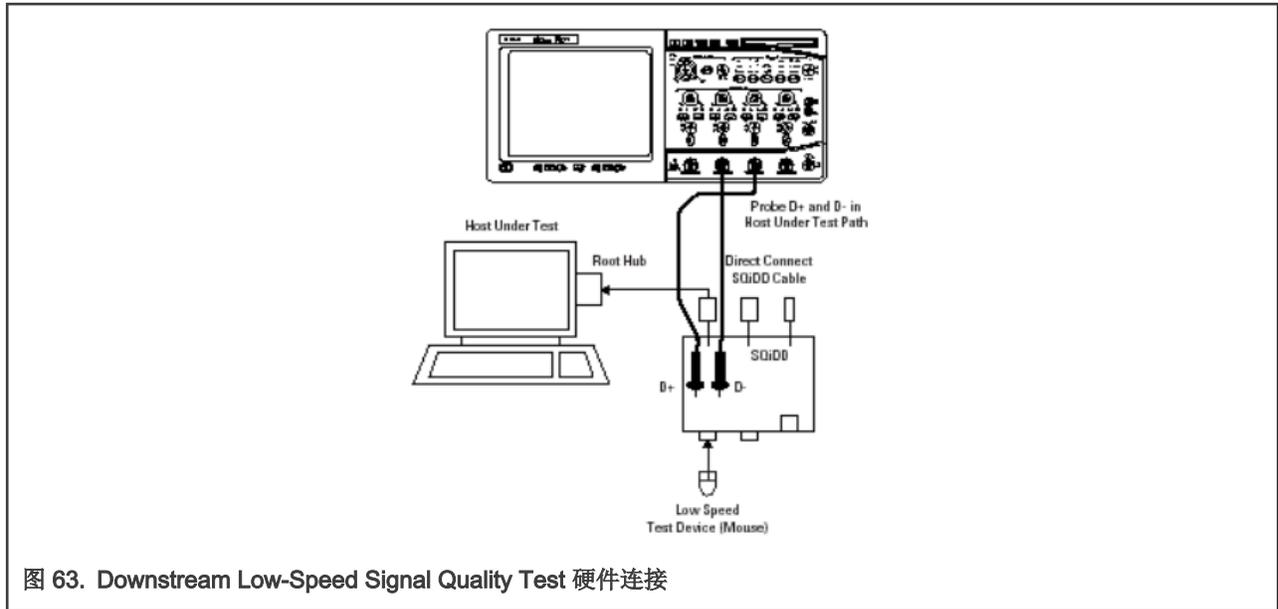
Downstream Low-Speed Signal Quality Test 的过程中需要用到如表 15 所示的一些设备。

表 15. Downstream Low-Speed Signal Quality Test

设备	型号	数量
示波器	Keysight DSOS604A	1
单端探头	Keysight N2873A	2
SQiDD 板	Keysight E2646B	1
低速 USB 设备	Dell 鼠标	1
USB 线	Micro-B 接口 OTG 线	1

测试步骤如下：

1. 在示波器上的自动测试软件勾选如图 61 所示的测试项目。
2. 按照图 63 中的连线，连接鼠标，SQiDD 板以及示波器，SQiDD 板中的开关应该设置在 ON 的位置。测试的对象是 Embedded Host，所以用被测的 Host 代替图中的 PC。



- 在示波器中点击 Run Tests 开始测试。当测试完成时，自动测试程序会显示结束对话框，点击 OK 完成测试。

3.1.3.6 Host Drop Test 流程

Drop Test 是衡量 Host 或 Hub 承载满载电流同时保持输出电压高于规格的能力。为执行此测试，在所有下游端口加载 500 mA 负载（用于 Host 和自供电 Hub）的情况下测量 VBUS 的值。对于 Host 和自供电 Hub，在所有端口上测得的最小值必须介于 4.75 V 到 5.5 V 之间。

Droop 测试是对相邻端口的瞬态测试。当一个设备热插到另一个端口时，主机、自供电 Hub 和总线供电的 Hub 提供给端口的 VBUS 的压降必须小于或等于 330 mV。由于测试的 Embedded Host 只存在一个端口，所以此项不需要进行。

Host Drop Test 要用到的设备如表 16 所示。

表 16. Host Drop Test 所需设备

设备	型号	数量
PC 或 USB 充电器	任意带 USB 口的 PC 或 USB 电源适配器	1
万用表	任意	1
Droop Drop 测试夹具	Keysight E2649-66405	1
USB 线	Micro-B 接口 OTG 线	1

测试步骤如下：

- 在示波器上的自动测试软件勾选如图 61 所示的测试项目。并且切回 Set Up 选项卡，勾选 Keysight Droop Drop Fixture 项，并在 Droop Drop Ports 的弹出菜单内勾选 Port0。
- 连接测试夹具的 J11 口到测试主机以给测试夹具供电，此时 DS1 的绿色 LED 灯亮。
- 调整拨码 S5 到 Drop Test 档，调整拨码 S4 到 500 mA 负载档。长按 S1 直到 CR2 数码管点亮，启动夹具，按 S2 可以切换测试端口，保证数码管中显示的数字是 0，选择 Port0 为测试端口。
- 连接 J3 到待测的 Embedded Host 口，测量此时的 VBUS 电压，记录为 $V_{non-load}$ 。
- 然后按住 S1 的同时，按下 S2 可以进入带载模式，此时再次测量 V_{bus} 的电压，记录为 V_{load} 。

- 在示波器软件内填写相应数值，完成测试。

3.2 Device Framework 测试

测试 USB 设备时，还有一项 USBCV (命令验证器) 测试是必须的。它将自动测试在 USB2.0 specification 第 9 章与第 11 章的标准。CV 测试根据 Host Controller 的不同还分为 USB20CV 和 USB30CV，对于 USB2.0 认证的 Device，两者都需要测试。鉴于很难找到带有 EHCI controller 的 PC 机，所以本应用笔记中只进行了 USB30CV 的测试，USB20CV 测试基本与 USB30CV 测试相同。

CV 测试中需要用到相应的测试工具软件，这些工具可以在 USB-IF 网站的 Document 项下搜索下载。USB 3 GEN X CV 可以从此链接下载：https://www.usb.org/documents?search=CV&items_per_page=50。

Device Framework 预测试项如下：

- USBCV Chapter 9 Test
- USBCV Class Test

3.2.1 USBCV Chapter 9 Test

Chapter 9 Test 涵盖了 USB 规范第 9 章中设置的命令的设备支持。

测试步骤如下：

- 连接被测 Device 的 USB 口到测试 PC，打开 USBCV 软件，让软件接管 PC 的 USB Controller，此时所有连接到 PC 的 USB 设备都会失效。软件打开后的界面如图 64 所示。

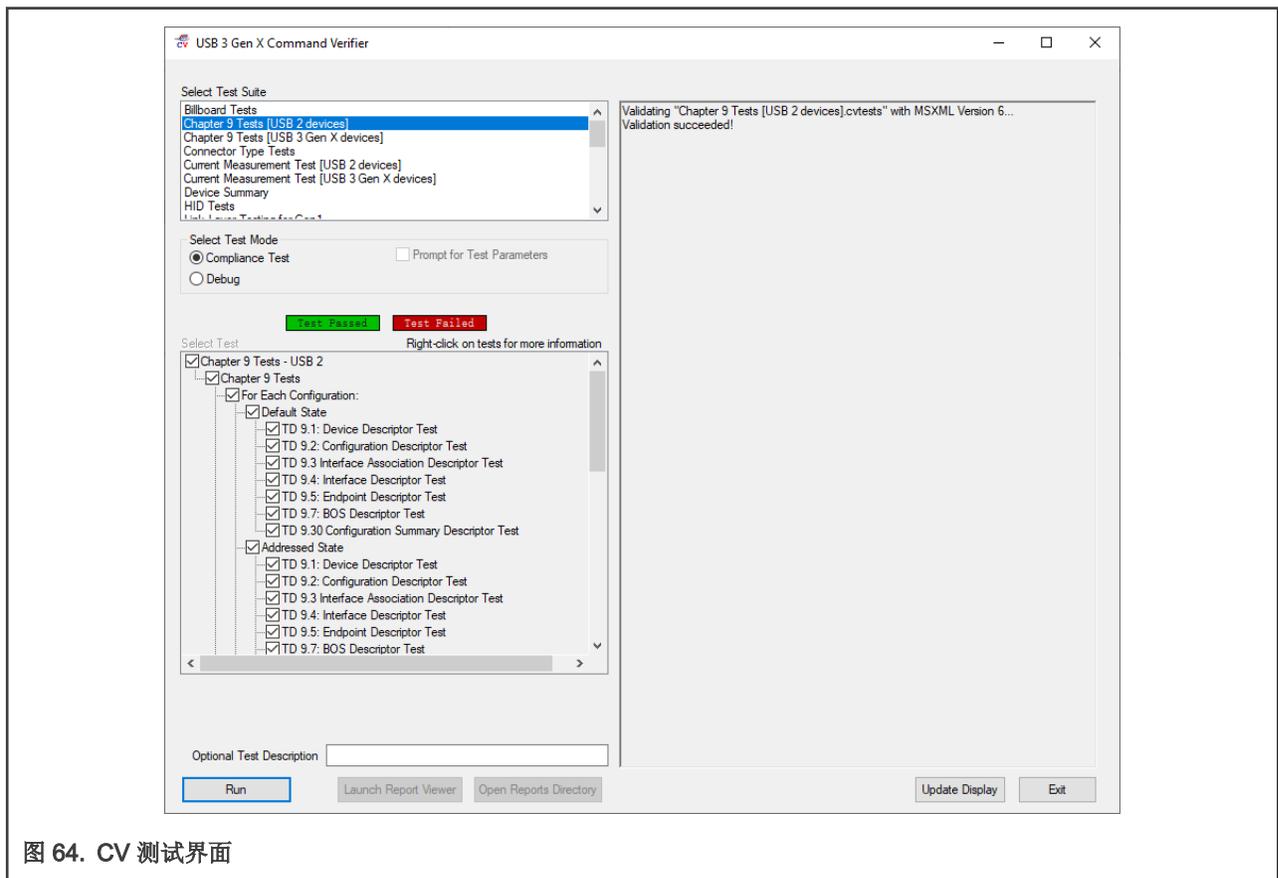


图 64. CV 测试界面

- 选择 Chapter 9 Test[USB 2 devices] 项，点击 Run。在图 65 所示的弹出对话框中选择被测 Device，点击 OK。

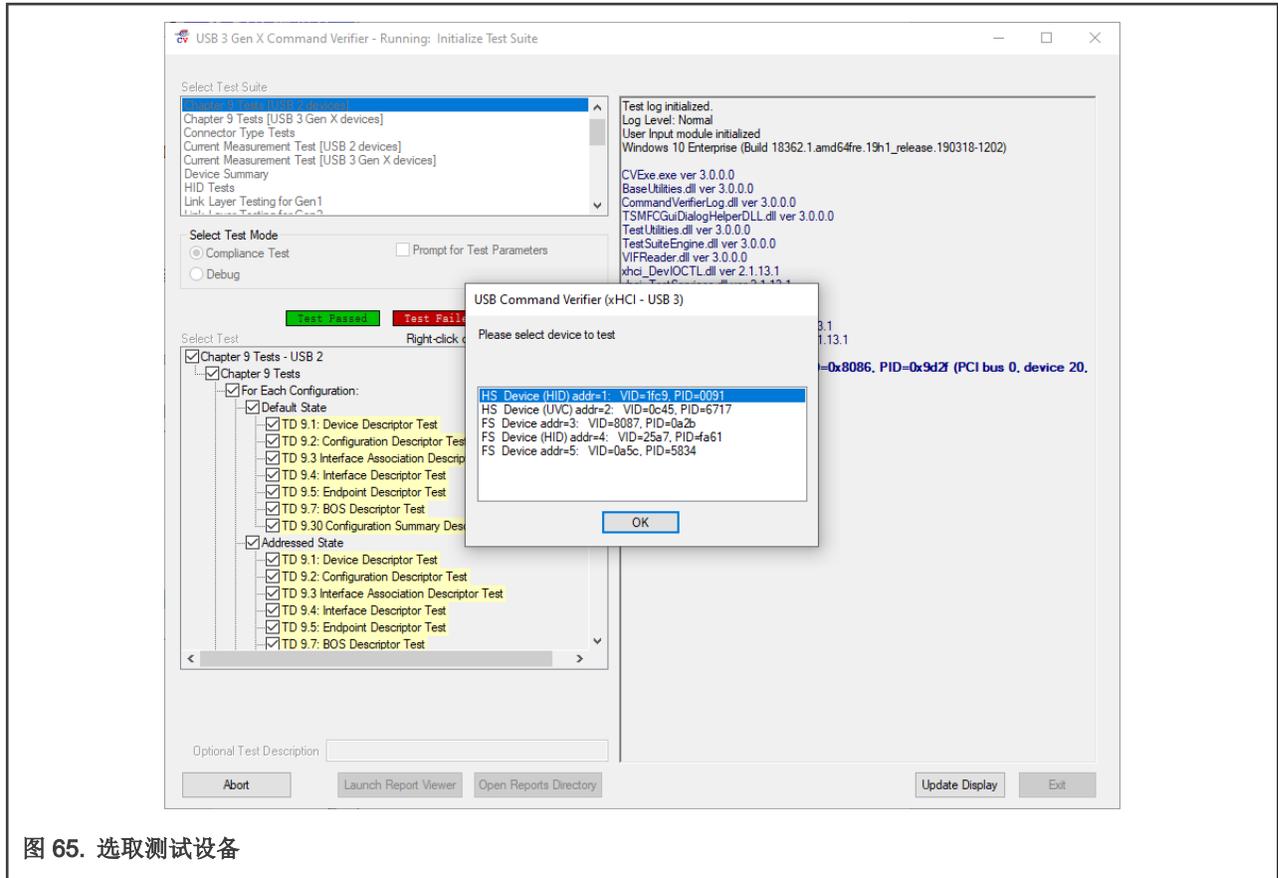


图 65. 选取测试设备

3. 软件会自动逐项进行测试，并且测试结果会在右侧的显示框内打印，完成测试后可通过点击左下角 **Launch Report Viewer** 查看报告。
4. 在 PC 及被测 Device 中加入一个 Full-Speed 的 Hub，再次重复一遍测试。

3.2.2 USBCV Class test

在完成了 Chapter9 的测试后，软件会跳出如图 66 所示的窗口来提示接下来要进行的测试。本应用笔记中涉及的 MCU 都是利用 USB HID Mouse 的例程来进行测试的，所以 USBCV Class 的测试应该选择 HID Tests。

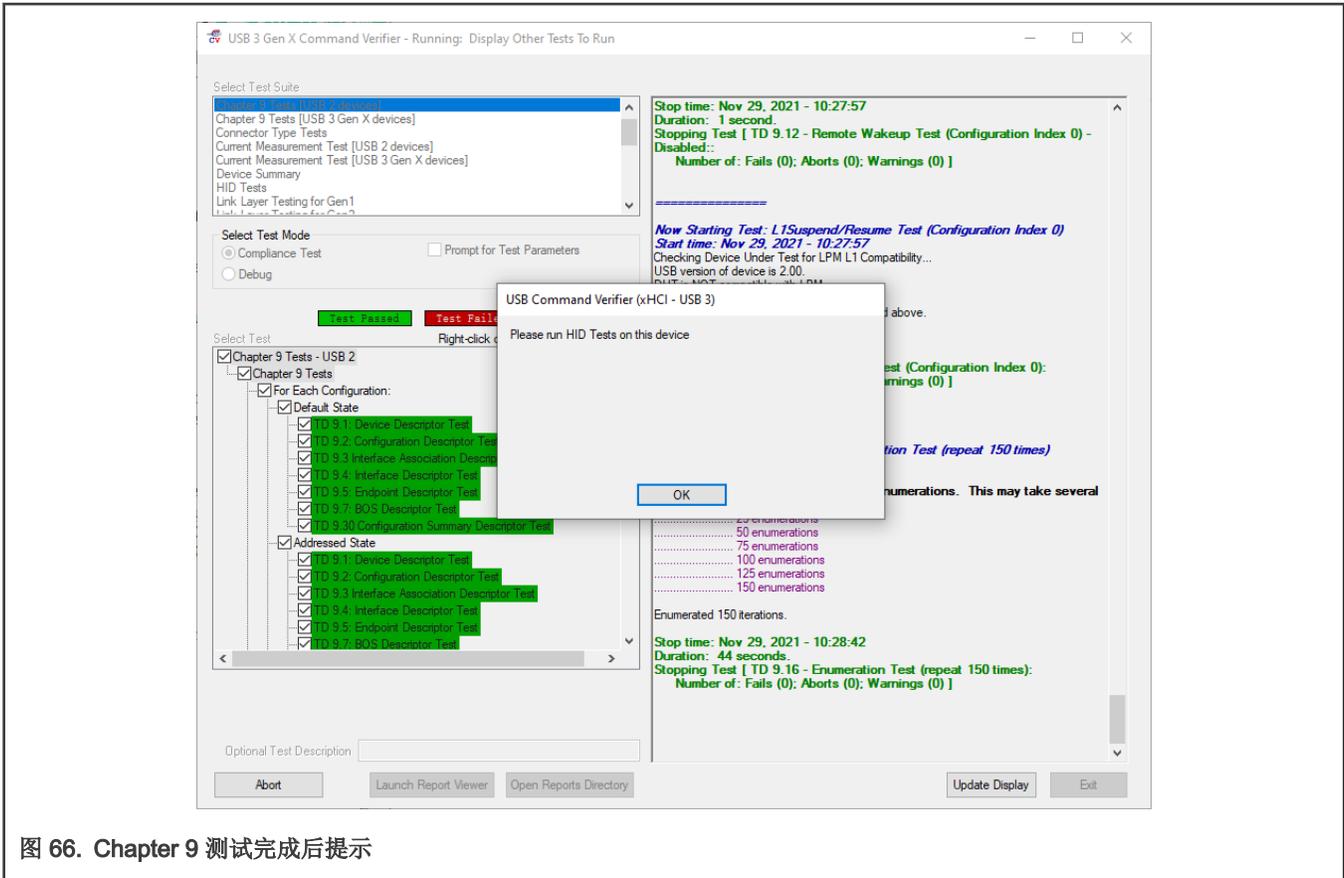


图 66. Chapter 9 测试完成后提示

测试步骤如下：

1. 选择 HID Tests 项，点击 Run。在弹出对话框中选择被测 Device，点击 OK 开始测试。
2. 逐项测试完成后，可点击 Launch Report Viewer 查看测试报告。
3. 在 PC 及被测 Device 中加入一个 Full-Speed 的 Hub，再次重复一遍测试。

4 注意事项及易失败项分析

4.1 注意事项

4.1.1 测试软件问题

由于在 USB 认证预测测试中有很多需要用到 PC 的地方，而现在的绝大多数的 PC 包含的 USB Controller 都是 xHCI，很难找到 EHCI 的主机。所以在进行上述预测测试时所使用到的工具软件，都需要用针对 xHCI 版本的。如 HSETT 软件，需要下载 XHCI HSETT 才可以正确的进行测试；CV 软件，需要使用 USB 3 GEN X CV 软件。而在正式的实验室测试中，实验室会使用带有 EHCI 的主机完成 EHCI 部分的测试。

如果你无法确认你的计算机的 USB 控制器类型，可以从设备管理器中获取此信息。右键单击桌面上的 **This PC (此电脑)**，选择并单击**管理**，打开计算机管理界面。点击**设备管理器**，如图 67，在中间的对话框中展开通用串行总线控制器项，从中可以获取计算机的控制器类型。

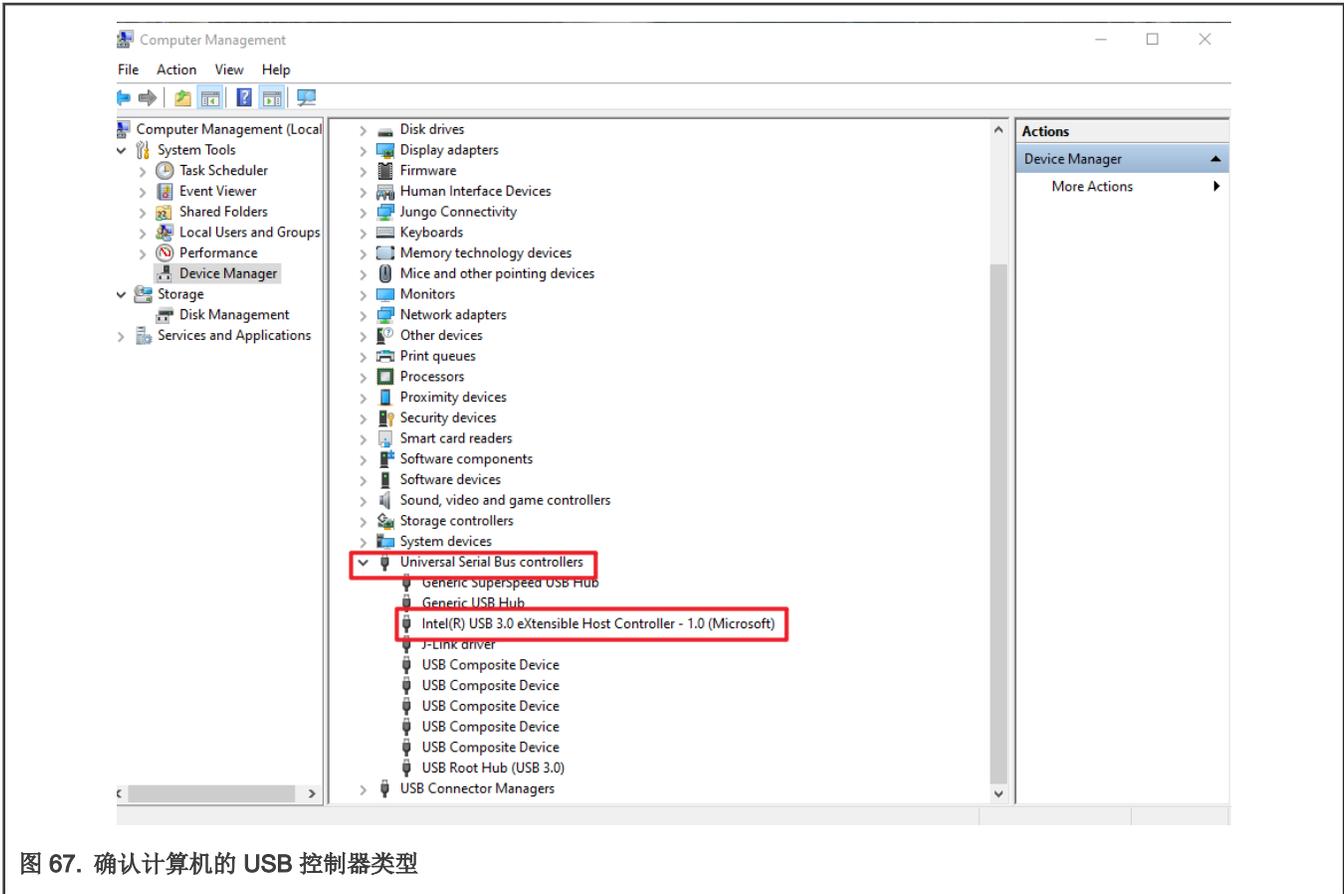


图 67. 确认计算机的 USB 控制器类型

4.1.2 测试例程配置问题

Device 测试时使用的例程是 `usb_device_hid_mouse_bm`，此例程在运行时会让 Host 上的光标一直移动，可能会对部分功能测试造成干扰，所以在测试前需要将 `USB_DeviceHidMouseAction()` 函数内的程序修改为如图 68 所示。

```

static usb_status_t USB_DeviceHidMouseAction(void)
{
    g_UsbDeviceHidMouse.buffer[1] = 0U;
    g_UsbDeviceHidMouse.buffer[2] = 0U;
    /* Send mouse report to the host */
    return USB_DeviceHidSend(g_UsbDeviceHidMouse.hidHandle, USB_HID_MOUSE_ENDPOINT_IN, g_UsbDeviceHidMouse.buffer,
        USB_HID_MOUSE_REPORT_LENGTH);
}
    
```

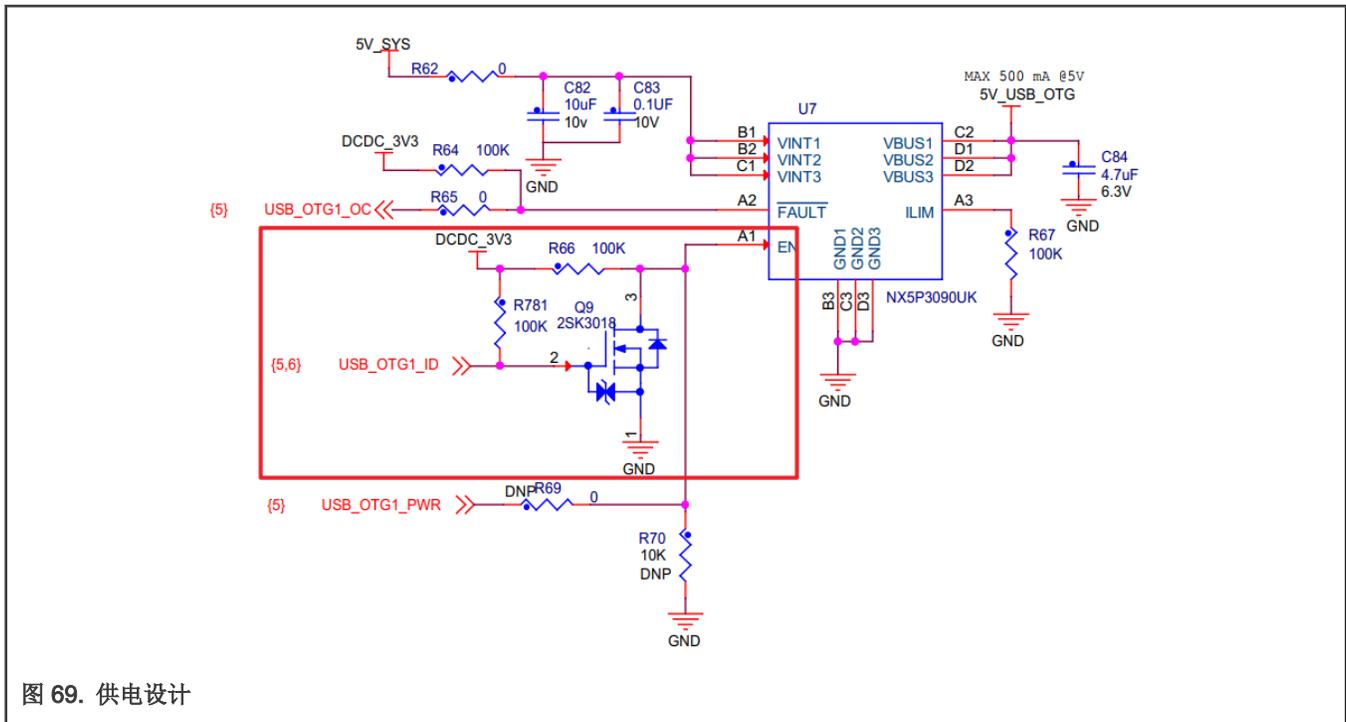
图 68. 修改应用代码

进行预测试所使用的 EVK 板上并不带有电池，所以在进行测试时需要禁用 `usb_device_config.h` 内的宏 `USB_DEVICE_CONFIG_CHARGER_DETECT`，否则实验室会进行 BC1.2 的测试，而对不具备电池的板子，需要跳过此测试。

在做 Embedded Host 的互操作性测试时，需要测试级联 Hub 的情况。将测试例程 `usb_host_msd_fatfs_bm` 的 `usb_host_config.h` 内的宏 `USB_HOST_CONFIG_HUB` 的值定义为 5。

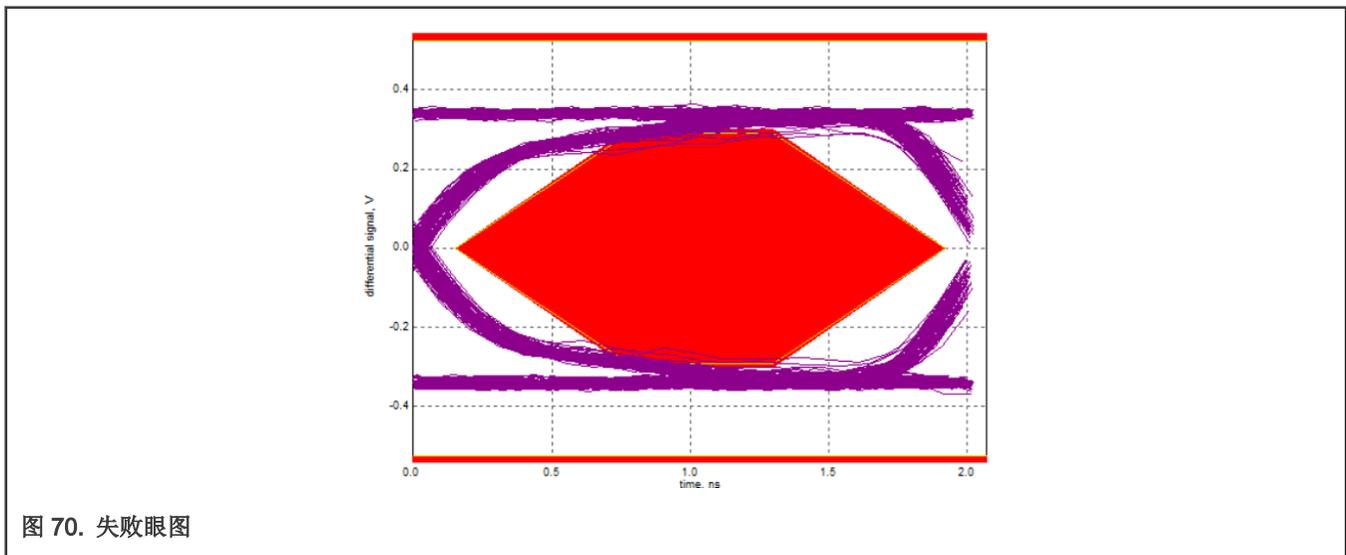
4.1.3 测试硬件配置问题

实验室的正式测试中还有一系列互操作性的测试。对于 Embedded Host 的互操作性测试，需要注意的是，测试项中有对 VBUS 何时供电的规定。作为 Embedded Host，只有在 ID 引脚被拉低时，才可以对 VBUS 供电，所以可以在进行硬件设计时按照如图 69 所示的方案，利用 ID 引脚使能失能电源控制芯片。当 ID 线被拉低时，使能电源芯片，对 VBUS 供电。



4.2 眼图测试失败调整方法

Device 和 Emedded Host 的信号质量测试其实就是获取眼图的过程，在这个测试中，可能会遇到如图 70 所示的 fail 的情况，这种 fail 的发生是由于发射机的驱动能力未达到要求引起的。



一个可以通过测试的眼图图 71 所示。

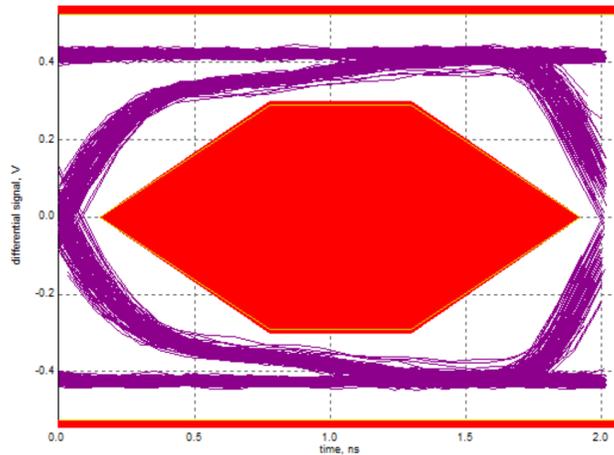


图 71. 可通过测试的眼图

可以看到在可以通过测试的眼图中，整个眼图没有数据点落在红色的模板区域。在眼图测试中，没有数据点落在红色模板区域是测试通过的标注。如图 70 所示的失败眼图，有很多的数据点落在了红色区域，需要调节一些参数以改进它。

由于 USB2.0 规范规定高速传输采用的是电流驱动的方式，所以电流源以及 D+/D- 线上的终端电阻的大小影响着发射机的驱动能力。不同 PCB 板的设计可能会影响到 D+/D- 线上的电阻大小，导致最终的驱动电压的变化，眼图就有可能 fail。

在 RT 系列芯片的 PHY 中存在这样三个寄存器用于调节发射机电流源以及 D+/D- 上终端电阻的大小，这三个寄存器分别是 TXCAL45DP，TXCAL45DN 和 D_CAL。它们的置决定了最终电流源及 D+/D- 上电阻的值，具体的寄存器所对应的值如表 17 所示。

表 17. 电流源及终端电阻调节

寄存器域	Reset 值	描述
TXCAL45DP TXCAL45DN	0110b	Adjust DP resistance Select a 45-Ohm resistance to the USB_DP output pin. Maximum resistance = 0000 0000 45+6*1.66 0001 45+5*1.66 0010 45+4*1.66 0011 45+3*1.66 0100 45+2*1.66 0101 45+1*1.66 0110 45 0111 45-1*1.66 1000 45-2*1.66 1001 45-3*1.66 1010 45-4*1.66 1011 45-5*1.66 1100 45-6*1.66 1101 45-7*1.66

下页继续

表 17. 电流源及终端电阻调节 (续上页)

寄存器域	Reset 值	描述
		1110 45-8*1.66 1111 45-9*1.66
D_CAL	0111b	Adjust the current of HS 0000 1.19*17.78mA 0001 1.16*17.78mA 0010 1.14*17.78mA 0011 1.12*17.78mA 0100 1.09*17.78mA 0101 1.06*17.78mA 0110 1.03*17.78mA 0111 1.00*17.78mA 1000 0.97*17.78mA 1001 0.95*17.78mA 1010 0.93*17.78mA 1011 0.90*17.78mA 1100 0.88*17.78mA 1101 0.86*17.78mA 1110 0.83*17.78mA 1111 0.79*17.78mA

从表 17 可以看出，通过调整寄存器 D_CAL 可以调整输出电流源的大小，如果眼图不够张开的不够大，导致接触到了内部的红色区域，应减小 D_CAL 的值以增大电流源的输出。再次进行测试后如果眼图张开的仍然不够大，就继续减小 D_CAL 的值，直到它所有的数据点都没有落在红色区域。期间还可以修改 TXCAL45DP 和 TXCAL45DP 对眼图进行微调。反之，如果眼图张开过大，触及上下两边的红色区域，可以增大 D_CAL 的值以减小电流源的输出，调节眼图到正常范围。

针对图 70 中的 fail，根据表 17 将 D_CAL 值调小以将输出的电流源调大，即可通过眼图测试。

眼图测试是高速信号质量测试中最重要的测试。修改以上三个寄存器只会调整发射机的驱动能力，不会干扰其余的测试。

4.3 Inrush 测试失败调整方法

Inrush Current 的测试标准是 5 V 时，最大的浪涌电流应该在 50 uC 以内。所以要求 VBUS 线上的容值不能超过 10 uF。但是由于不同 PCB 板的设计可能会引入额外的电容，所以当 Inrush Current 测试没有通过时，可以尝试缩小 VBUS 上连接的电容，即可通过测试。此电容不能完全去除，为了满足 ADP 检测的要求，此处的电容最小也需要有 1 uF。

4.4 Drop 测试失败原因

在做 Embedded Host 的测试时，可能会遇到在插入 Device 以后，VBUS 上电压掉落较多的情况。这是因为作 Host 使用时，可能需要对插入的 Device 进行供电，当 Host 本身的供电不够时就会发生较大的电压掉落。所以在进行 Embedded Host 的测试时，要注意使用适配器给板子供电。

5 在 USB-IF 中登记产品

当认证实验室完成所有测试后，需要你将产品登记到 USB-IF 的网站中以获取 TID。

1. 确认你的公司是 USB-IF 的会员之一，通过 <https://groups.usb.org/site/login> 注册并登陆你的账号。
2. 登陆完成后，点击 **Visit the Compliance Management Area** 以进入产品管理界面，然后在产品管理界面中点击 **Register USB Product**。如图 72 选择一个产品类别，根据你所要过认证的产品选择类别。



图 72. USB 产品类别选择

3. 选择完产品类别后，参照认证实验室发送的指导说明在接下来的界面内填写产品的详细信息，包括如何生成 VIF 文件，并且附加照片等。
4. 完成所有的信息填写后，点击 **Save**，在产品管理界面中的 **Company Products** 目录下应该可以看到刚才注册的产品。

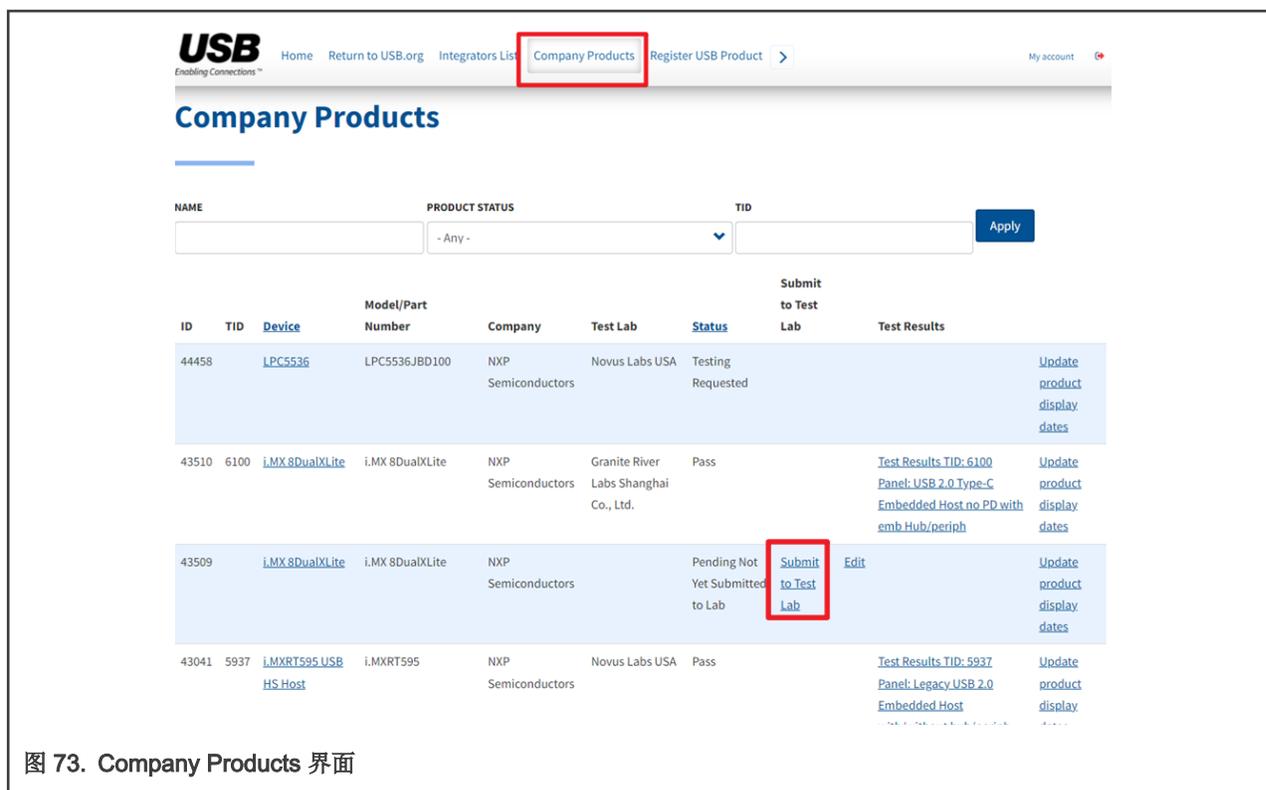


图 73. Company Products 界面

- 如 图 73 所示点击刚刚注册的产品后面的 **Submit to Test Lab** 链接。并且在跳转的界面中选择你进行认证的实验室，点击 **Submit**。
- 接下来就是等待认证实验室上传产品的测试报告，然后等待 USB-IF 的审核，当审核通过后，产品的认证就完成了。

6 参考资料

- USB 2.0 Electrical Compliance Test Specification
- Universal Serial Bus Implementers Forum Full and Low Speed Compliance Test Procedure
- Embedded Host High Speed Electrical Test Procedure
- Universal Serial Bus Revision 2.0 - USB Command Verifier Compliance Test Specification
- Keysight D9010USBC USB 2.0 Compliance Test Application
- i.MX6/7 Series USB Certification Guide

7 修订记录

版本号	日期	说明
0	2022 年 1 月 14 日	初次发布

A 缩略词

Term	Definition
HSETT	High Speed Electrical Test Tool
DUT	Device Under Test
EHCI	Enhanced Host Controller Interface(USB2.0)
xHCI	Extensible Host Controller Interface(USB3.0)
PID	Product Identification Number
VID	Vendor Identification Number
TID	Product Test ID assigned by USB-IF after passing the USB Certification Test
USB-IF	USB Implementers Forum

How To Reach Us

Home Page:

nxp.com

Web Support:

nxp.com/support

Limited warranty and liability — Information in this document is provided solely to enable system and software implementers to use NXP products. There are no express or implied copyright licenses granted hereunder to design or fabricate any integrated circuits based on the information in this document. NXP reserves the right to make changes without further notice to any products herein.

NXP makes no warranty, representation, or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does NXP assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation consequential or incidental damages. “Typical” parameters that may be provided in NXP data sheets and/or specifications can and do vary in different applications, and actual performance may vary over time. All operating parameters, including “typicals,” must be validated for each customer application by customer’s technical experts. NXP does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. NXP sells products pursuant to standard terms and conditions of sale, which can be found at the following address: nxp.com/SalesTermsandConditions.

Right to make changes - NXP Semiconductors reserves the right to make changes to information published in this document, including without limitation specifications and product descriptions, at any time and without notice. This document supersedes and replaces all information supplied prior to the publication hereof.

Security — Customer understands that all NXP products may be subject to unidentified or documented vulnerabilities. Customer is responsible for the design and operation of its applications and products throughout their lifecycles to reduce the effect of these vulnerabilities on customer’s applications and products. Customer’s responsibility also extends to other open and/or proprietary technologies supported by NXP products for use in customer’s applications. NXP accepts no liability for any vulnerability. Customer should regularly check security updates from NXP and follow up appropriately. Customer shall select products with security features that best meet rules, regulations, and standards of the intended application and make the ultimate design decisions regarding its products and is solely responsible for compliance with all legal, regulatory, and security related requirements concerning its products, regardless of any information or support that may be provided by NXP. NXP has a Product Security Incident Response Team (PSIRT) (reachable at PSIRT@nxp.com) that manages the investigation, reporting, and solution release to security vulnerabilities of NXP products.

NXP, the NXP logo, NXP SECURE CONNECTIONS FOR A SMARTER WORLD, COOLFLUX, EMBRACE, GREENCHIP, HITAG, ICODE, JCOP, LIFE, VIBES, MIFARE, MIFARE CLASSIC, MIFARE DESFire, MIFARE PLUS, MIFARE FLEX, MANTIS, MIFARE ULTRALIGHT, MIFARE4MOBILE, MIGLO, NTAG, ROADLINK, SMARTLX, SMARTMX, STARPLUG, TOPFET, TRENCHMOS, UCODE, Freescale, the Freescale logo, AltiVec, CodeWarrior, ColdFire, ColdFire+, the Energy Efficient Solutions logo, Kinetis, Layerscape, MagniV, mobileGT, PEG, PowerQUICC, Processor Expert, QorIQ, QorIQ Qonverge, SafeAssure, the SafeAssure logo, StarCore, Symphony, VortiQa, Vybrid, Airfast, BeeKit, BeeStack, CoreNet, Flexis, MXC, Platform in a Package, QUICC Engine, Tower, TurboLink, EdgeScale, EdgeLock, eIQ, and Immersive3D are trademarks of NXP B.V. All other product or service names are the property of their respective owners. AMBA, Arm, Arm7, Arm7TDMI, Arm9, Arm11, Artisan, big.LITTLE, Cordio, CoreLink, CoreSight, Cortex, DesignStart, DynamIQ, Jazelle, Keil, Mali, Mbed, Mbed Enabled, NEON, POP, RealView, SecurCore, Socrates, Thumb, TrustZone, ULINK, ULINK2, ULINK-ME, ULINK-PLUS, ULINKpro, µVision, Versatile are trademarks or registered trademarks of Arm Limited (or its subsidiaries) in the US and/or elsewhere. The related technology may be protected by any or all of patents, copyrights, designs and trade secrets. All rights reserved. Oracle and Java are registered trademarks of Oracle and/or its affiliates. The Power Architecture and Power.org word marks and the Power and Power.org logos and related marks are trademarks and service marks licensed by Power.org. M, M Mobileye and other Mobileye trademarks or logos appearing herein are trademarks of Mobileye Vision Technologies Ltd. in the United States, the EU and/or other jurisdictions.

© NXP B.V. 2022.

All rights reserved.

For more information, please visit: <http://www.nxp.com>

For sales office addresses, please send an email to: salesaddresses@nxp.com

Date of release: 2022年1月14日

Document Identifier: AN13474

