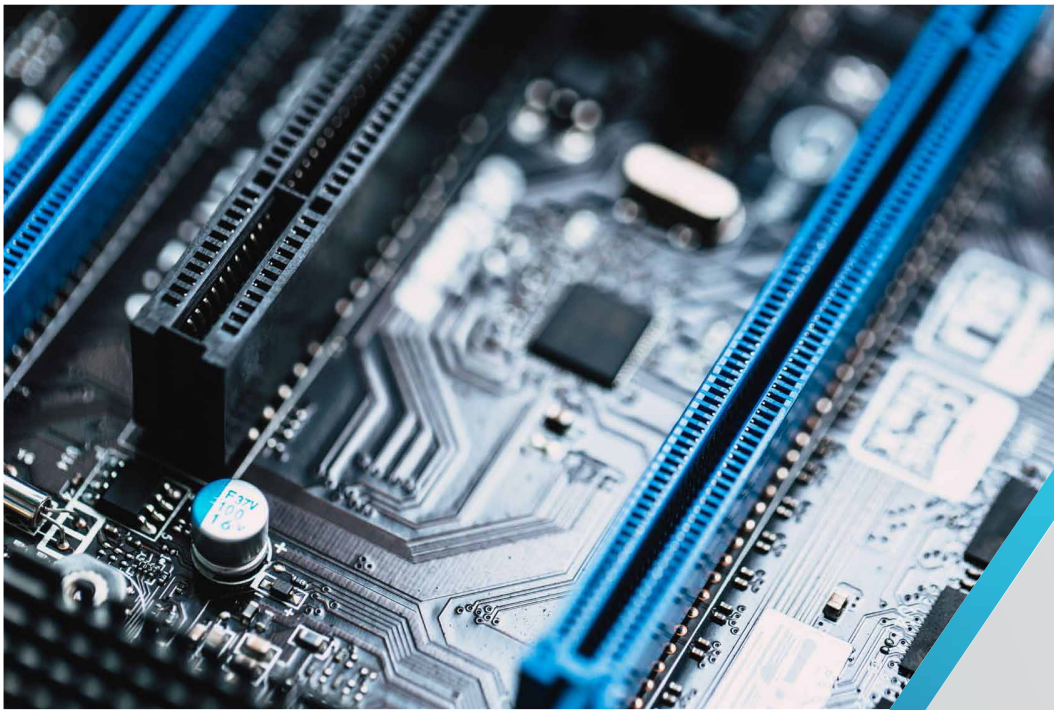


PCI Express[®] 发射机通路间 时延测量

白皮书



PCI Express® 发射机通路间时延测量

引言

PCI Express® (PCIe®) 串行通信标准支持最多 16 路全双工数据传送。标准要求接收机容忍一定的通路间时延，如果超过这个限制，就会损害链路稳定性和性能。本文介绍了怎样准确测量最大数据速率为 32 GT/s (Gen5) 的 PCIe 发射机中的通路间时延。这些规程可以简便地加以调整，支持数据速率更低的测量。在第一部分，我们展示了怎样校正测量系统（实时示波器）的时延；在第二部分，我们介绍了怎样配置被测器件 (DUT)，执行准确的通路间时延测量。

第一部分：校正实时示波器通道时延

为准确地测量 DUT 的时延，我们必须先校正测量仪器的时延。一般来说，我们会使用 4 条示波器通道，进行通路间时延测量。在本指南中，我们使用泰克 DPO73304SX，这是一台 4 通道实时示波器。我们将根据一条目标通道来校正全部 4 条通道的时延。下面的步骤描述了怎样根据通道 1 校正通道 2、3、4 的时延。

1. 通过一对相位匹配的 2.92 电缆，把 Fast Edge Positive 正快速边沿连接到示波器通道 1，把 Fast Edge Negative 负快速边沿连接到通道 2。

- 注：相位匹配的电缆对建议在 ± 1 ps 时延范围内。泰克产品编号：PMCABLE1M



2. 调节垂直刻度，使用满刻度。注意根据规范，Fast Edge 输出为 $440 \text{ mV} \pm 20\%$ 到 50Ω 负载。

3. 调节水平设置如下：

- Mode: Manual
- Sample Rate: 100 GS/s
- Record Length: 100K

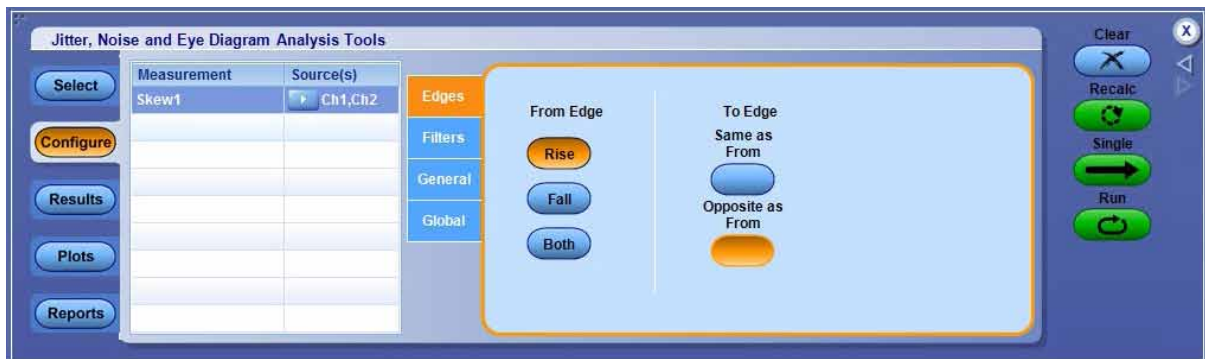
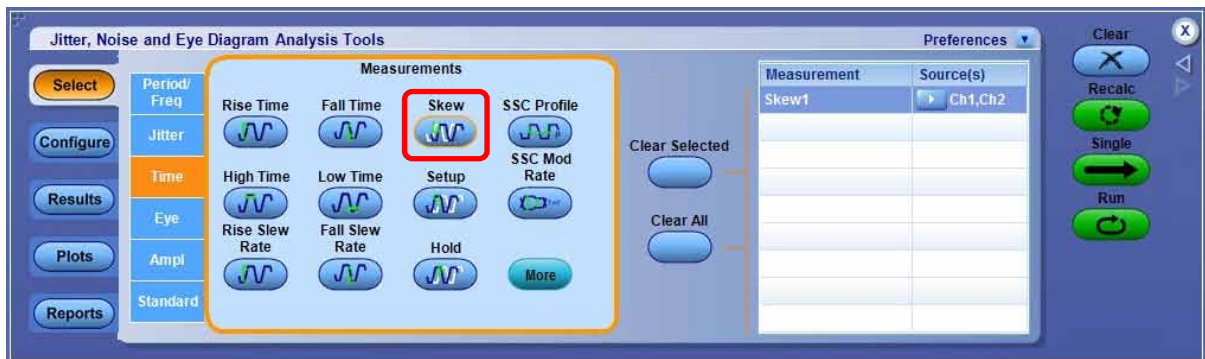
4. 可以使用默认的触发设置，否则设置如下，然后点击 Set to 50% 按钮，自动设置触发电平。

- Trigger type: Edge
- Source: Ch1
- Slope: Rising

PCI Express® 发射机通路间时延测量

5. 启动 DPOJET，配置 Skew Measurement 时延测量。

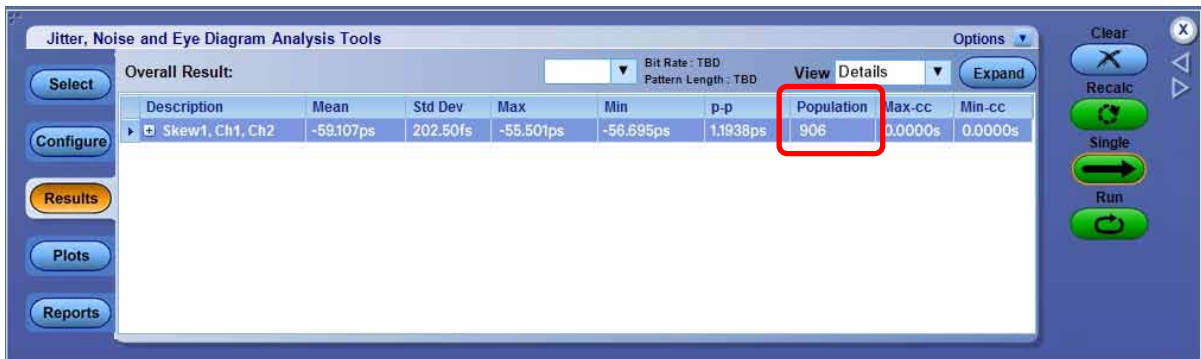
- 进入 Analyze -> DPOJET
- 在 DPOJET 中：Select -> Time -> Skew Measurement
- 配置 Sources -> Ch1, Ch2
- 配置 Edges -> From Edge to Rise, To Edge to Opposite From.



PCI Express® 发射机通路间时延测量

6. 点击右面的 Run 运行按钮。观察 DPOJET 结果中的样本数。在样本数达到 1000 时，点击 Stop 停止按钮。

- 注：在执行这个程序时，DPOJET 会一直显示红色 X 错误指示灯。错误表明测量没有足够的边沿执行时钟恢复。时延测量不要求时钟恢复，所以这个错误完全可以忽略。



7. 记录时延测量的中间值。



8. 把时延测量值设置成 Deskew。

- 进入 Vertical -> Deskew
- 从 Channels list 通道列表中选择 Ch2。
- 输入时延测量值。

9. 到现在，我们已经完成从 Ch2 到 Ch1 的时延校正。

10. 把连接示波器 Ch2 的电缆移到 Ch3，现在 Fast Edge Negative 负快速边沿连接到 Ch3。

11. 进入 Vertical -> Vertical Setup，把 Ch2 设置成 Display Off，把 Ch3 设置成 Display On。

12. 重复第 2 步到第 8 步，完成从 Ch3 到 Ch1 的时延校正。

13. 把连接示波器 Ch3 的电缆移到 Ch4，现在 Fast Edge Negative 负快速边沿连接到 Ch4。

14. 进入 Vertical -> Vertical Setup，把 Ch3 设置成 Display Off，把 Ch4 设置成 Display On。

15. 重复第 2 步到第 8 步，完成从 Ch4 到 Ch1 的时延校正。

第二部分：执行通路间时延测量

在完成示波器通道时延校正后，我们可以配置 DUT 进行通路间时延测量。在下面的程序中，我们先介绍所需的设备，以及控制 DUT 发射机输出信号的信号路由。然后，我们介绍 DUT 及执行通路间时延测量的推荐配置。

1. 准备以下设备，用来生成切换信号 (100 MHz 脉冲，1 ms 突发时间)。

- PCIe Gen 5 CEM 测试夹具 (PCI-SIG Rev 3); 和
- 任意函数发生器 (泰克 AFG31252); 或
- 任意波形发生器 (泰克 AWG7122C)

2. 对发射机 / 接收机信号接入，根据 DUT 类型设置以下项目：

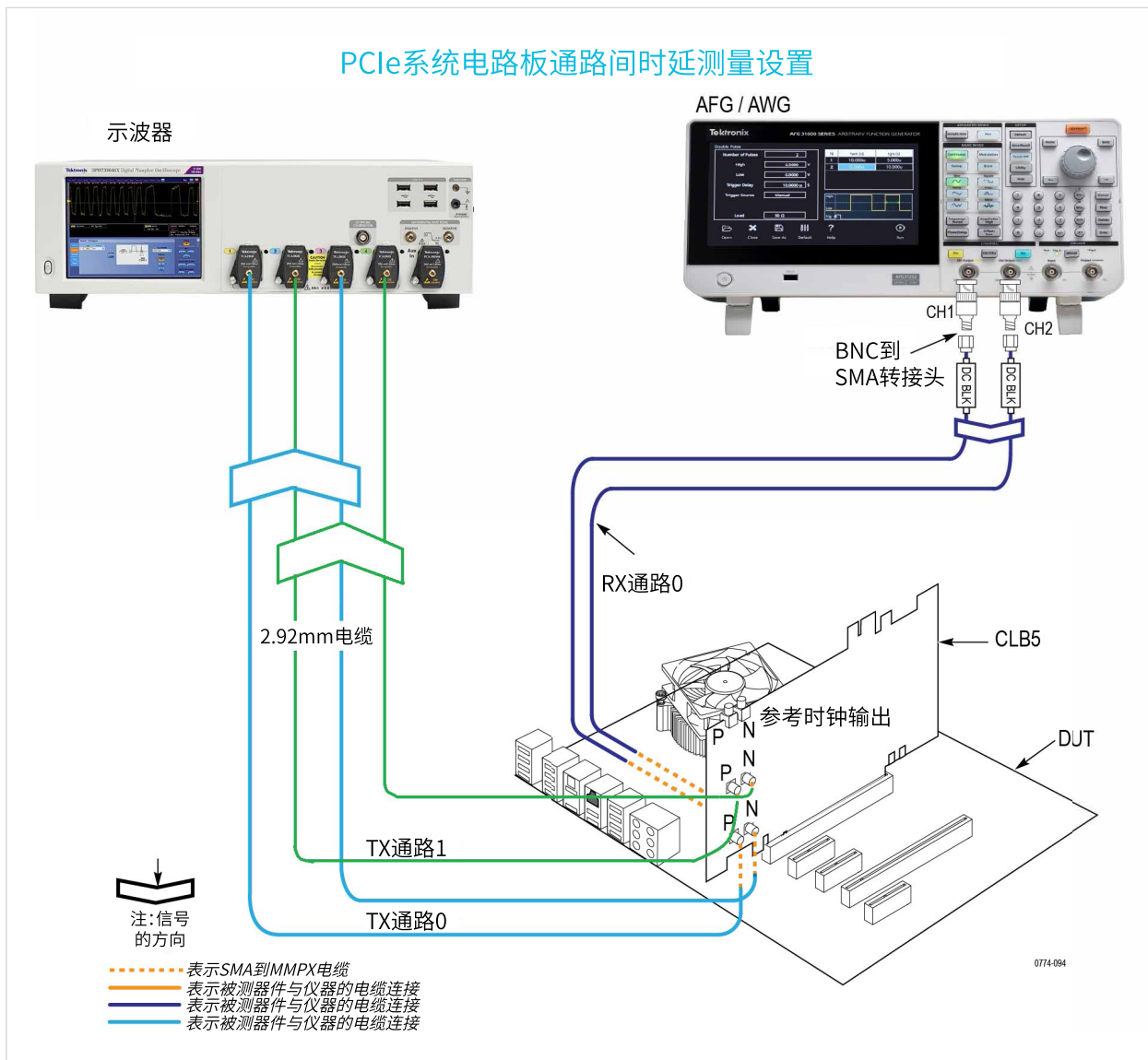
- 对 BASE DUT – PCIe Gen 5 评估平台
- 对 CEM DUT – PCIe Gen 5 CEM 测试夹具
 - 系统电路板 – 一致性测试负载电路板 (CLB)
 - 插卡 – 一致性测试基本电路板 (CBB)

3. 信号路由

- 把切换信号连接以 Rx 通路 0。
 - 切换信号正 -> Rx 通路 0 正；切换信号负 -> Rx 通路 0 负
- 例如，为测量通路 0 到通路 1 时延，与示波器的连接如下。
 - Tx 通路 0 正 -> 示波器 Ch1
 - Tx 通路 0 负 -> 示波器 Ch3
 - Tx 通路 1 正 -> 示波器 Ch2
 - Tx 通路 1 负 -> 示波器 Ch4
- 注：电缆要尽可能短，以最大限度地降低插入损耗。

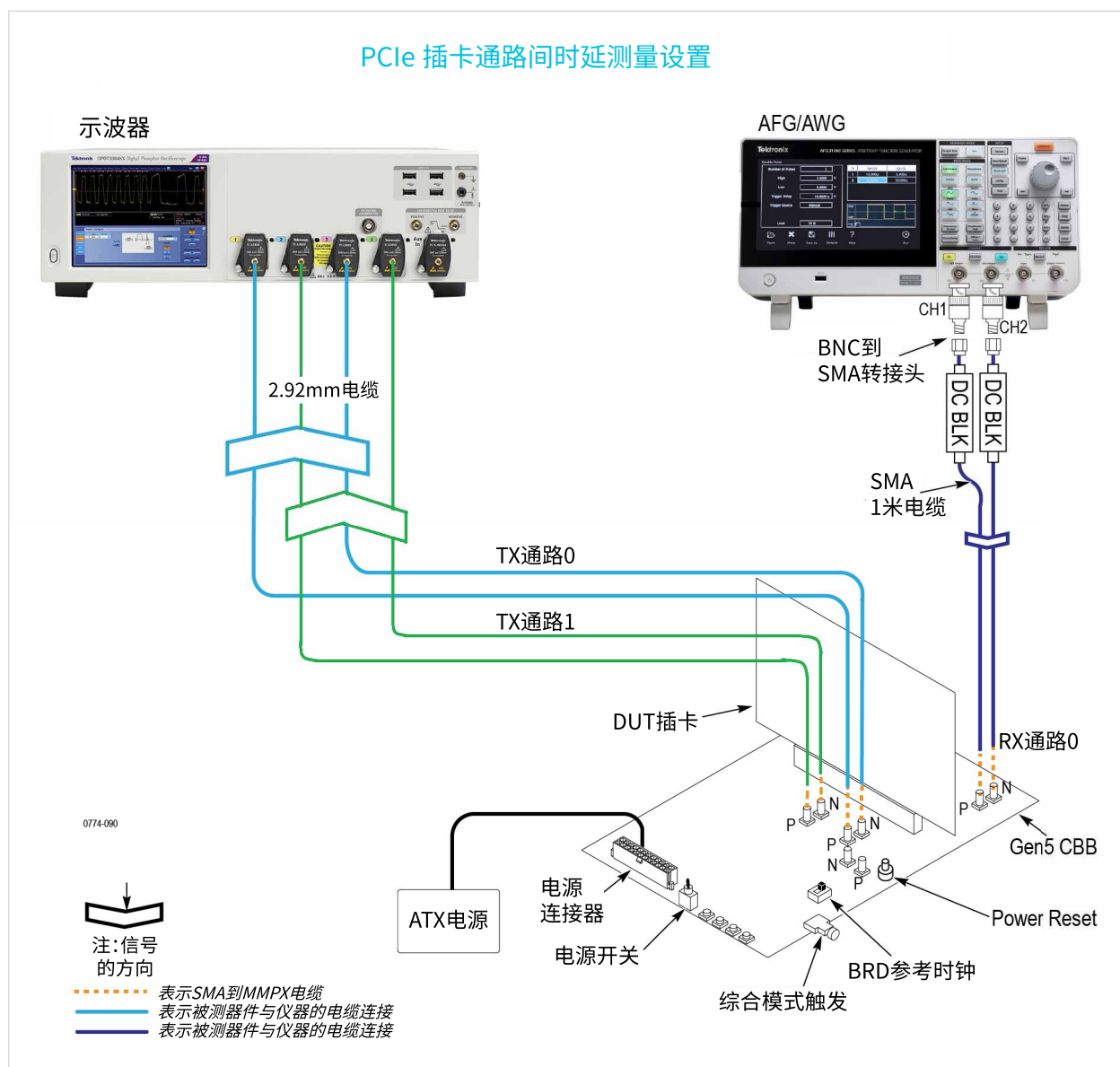
PCI Express® 发射机通路间时延测量

PCIe系统电路板通路间时延测量设置



系统电路板 DUT 的连接图

PCI Express® 发射机通路间时延测量



插卡 DUT 的连接图

4. 把切换信号 (100 MHz 脉冲, 1 ms 突发时间) 发送到 DUT 接收机通路 0, 控制 DUT 发射机输出信号。DUT Tx 输出信号在开机时是 PCIe Gen1 (2.5GT/s)。通过发送第一个切换信号, DUT Tx 输出信号会切换到 PCIe Gen2 (5GT/s), 预置值为 3.5 dB。然后发送第二个切换信号, DUT 输出信号切换到 PCIe Gen2, 预置值为 6 dB。发送第三个切换信号, DUT 会发送 PCIe Gen3 (8GT/s), 预置值为 0。我们在附录中提供了完整的 DUT Tx 输出信号列表。注意一旦到达最后的码型, DUT 输出信号会回到 Gen1。

5. 为执行通路间测量, 我们推荐把 DUT 发射机配置成 Preset 6 for PCIe Gen5, 发送切换信号 40 次, 可以实现这一操作。

- 注: 由于最优 Tx Preset 预置值在不同 DUT 之间可能会变化, 所以本节最后提供了一个可选步骤, 阐述了怎样使用 SigTest 分析工具确定最优 Tx Preset 预置值。

PCI Express® 发射机通路间时延测量

6. 配置示波器 Horizontal Settings 水平设置。

- Sampling Mode: IT (Interpolate)
- Mode: Manual
- Sample Rate: 200 GS/s
- Record Length: 625K

7. 为 Tx 通路配置示波器 Math Channel 数学通道。

- 设置 Math1 = Ch1 – Ch3
- 设置 Math2 = Ch2 – Ch4

8. 示波器触发设置配置如下。使用脉冲宽度触发，捕获一致性测试码型的 64 个 1/64 个 0 部分。

- Trigger type: Pulse Width
- Source: Ch1
- Width: 2 ns

9. 启动 DPOJET，配置时延测量。

- 进入 Analyze -> DPOJET
- 在 DPOJET: Select -> Time -> Skew Measurement
- 配置 Sources -> Math1, Math2
- 配置 Edges -> From Edge to Rise, To Edge Same as From.

10. 点击右面的 Single 按钮，观察分析运行并结束，记录中间值作为通路间时延测量结果。



PCI Express® 发射机通路间时延测量

(可选) 下面的步骤介绍了在 DUT 和夹具给定通道后怎样搜索最优的 Preset 预置值。

1. 在实时示波器上，下载并安装 SigTest，推荐一直使用最新版 SigTest Phoenix 5.1.02 (截止到 2022 年 2 月)
<https://www.intel.com/content/www/us/en/collections/technology/high-speed-io-tools.html?s=Newest>
2. 捕获并保存 DUT 提供的每个 Tx Preset 发射机预置值的 Math 数学波形。例如，对 PCIe Gen5，捕获波形 P0, P1, P2, ..., P10。
3. 创建下面的表格，记录结果。

预置值 #	EW @ BER	EH @ BER	眼图面积
P0			
P1			
P2			
P3			
P4			
P5			
P6			
P7			
P8			
P9			
P10			

PCI Express® 发射机通路间时延测量

4. 启动 SigTest 5.1.2, 使用以下推荐配置, 对每个 Tx Preset 发射机预置值波形展开分析。

- Technology: PCIe
- Generation: 5_0
- Test:
 - System Board: System
 - Add-in Card: Card
- Data Format: Differential
- Template: Optimize_CTLE

PCIe 5.0 System Tx Compliance Test

Positive/Differential Waveform: C:\Temp\PCIe5_Ln00_InitRqst_P04_d_Diff.wfm Browse

Negative Waveform: Browse

Data Format: Differential

<-- Back to Test Selection Options Load and Verify Data

Sample Interval: 5 ps Template: Optimize_CTLE

Voltage Resolution: N/A μV

of UI: 1599926 Test

5. 在 SigTest Test Results 测试结果的 Overall 整体标签中, 针对每个 Tx Preset 发射机预置值, 记录 EH @ BER 和 EW @ BER 结果。

6. 对每个 Tx Preset 发射机预置值, 用 $EH * EW$ 计算出 Eye Area 眼图面积。

7. 找到眼图面积最大的 Tx Preset 发射机预置值, 记录预置值编号。

注: 根据经验数据, Preset 5、Preset 6、Preset 8、Preset 9 一般是最优的。

附录

一致性切换码型表

切换#	设置# (基本规范)	速度	预置#	通路0/8	通路1/9	通路2/10	通路3/11	通路4/12	通路5/13	通路6/14	通路7/15
	1	2.5 G		2.5 G COMPAT	2.5 G COMPAT	2.5 G COMPAT	2.5 G COMPAT	2.5 G COMPAT	2.5 G COMPAT	2.5 G COMPAT	2.5 G COMPAT
1	2	5 G	3.5 dB	5 G COMPAT	5 G COMPAT	5 G COMPAT	5 G COMPAT	5 G COMPAT	5 G COMPAT	5 G COMPAT	5 G COMPAT
2	3	5 G	6.0 dB	5 G COMPAT	5 G COMPAT	5 G COMPAT	5 G COMPAT	5 G COMPAT	5 G COMPAT	5 G COMPAT	5 G COMPAT
3	4	8 G	P0	8 G COMPAT	8 G COMPAT	8 G COMPAT	8 G COMPAT	8 G COMPAT	8 G COMPAT	8 G COMPAT	8 G COMPAT
4	5	8 G	P1	8 G COMPAT	8 G COMPAT	8 G COMPAT	8 G COMPAT	8 G COMPAT	8 G COMPAT	8 G COMPAT	8 G COMPAT
5	6	8 G	P2	8 G COMPAT	8 G COMPAT	8 G COMPAT	8 G COMPAT	8 G COMPAT	8 G COMPAT	8 G COMPAT	8 G COMPAT
6	7	8 G	P3	8 G COMPAT	8 G COMPAT	8 G COMPAT	8 G COMPAT	8 G COMPAT	8 G COMPAT	8 G COMPAT	8 G COMPAT
7	8	8 G	P4	8 G COMPAT	8 G COMPAT	8 G COMPAT	8 G COMPAT	8 G COMPAT	8 G COMPAT	8 G COMPAT	8 G COMPAT
8	9	8 G	P5	8 G COMPAT	8 G COMPAT	8 G COMPAT	8 G COMPAT	8 G COMPAT	8 G COMPAT	8 G COMPAT	8 G COMPAT
9	10	8 G	P6	8 G COMPAT	8 G COMPAT	8 G COMPAT	8 G COMPAT	8 G COMPAT	8 G COMPAT	8 G COMPAT	8 G COMPAT
10	11	8 G	P7	8 G COMPAT	8 G COMPAT	8 G COMPAT	8 G COMPAT	8 G COMPAT	8 G COMPAT	8 G COMPAT	8 G COMPAT
11	12	8 G	P8	8 G COMPAT	8 G COMPAT	8 G COMPAT	8 G COMPAT	8 G COMPAT	8 G COMPAT	8 G COMPAT	8 G COMPAT
12	13	8 G	P9	8 G COMPAT	8 G COMPAT	8 G COMPAT	8 G COMPAT	8 G COMPAT	8 G COMPAT	8 G COMPAT	8 G COMPAT
13	14	8 G	P10	8 G COMPAT	8 G COMPAT	8 G COMPAT	8 G COMPAT	8 G COMPAT	8 G COMPAT	8 G COMPAT	8 G COMPAT
14	15	16G	P0	16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G COMPAT
15	16	16G	P1	16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G COMPAT
16	17	16G	P2	16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G COMPAT
17	18	16G	P3	16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G COMPAT
18	19	16G	P4	16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G COMPAT
19	20	16G	P5	16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G COMPAT
20	21	16G	P6	16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G COMPAT
21	22	16G	P7	16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G COMPAT
22	23	16G	P8	16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G COMPAT
23	24	16G	P9	16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G COMPAT
24	25	16G	P10	16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G COMPAT
25	26	16G		16 G CLOCK	16 G CLOCK	16 G CLOCK	16 G CLOCK	16 G CLOCK	16 G CLOCK	16 G CLOCK	16 G CLOCK
26	27	16G		16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G COMPAT
27	28	16G		16 G COMPAT	16 G CLOCK	16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G COMPAT
28	29	16G		16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G CLOCK	16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G COMPAT
29	30	16G		16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G CLOCK	16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G COMPAT
30	31	16G		16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G CLOCK	16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G COMPAT
31	32	16G		16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G CLOCK	16 G COMPAT	16 G COMPAT
32	33	16G		16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G CLOCK	16 G COMPAT
33	34	16G		16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G COMPAT	16 G CLOCK

PCI Express® 发射机通路间时延测量

切换#	设置# (基本规范)	速度	预置#	通路0/8	通路1/9	通路2/10	通路3/11	通路4/12	通路5/13	通路6/14	通路7/15
34	35	32G	P0	32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G COMPAT
35	36	32G	P1	32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G COMPAT
36	37	32G	P2	32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G COMPAT
37	38	32G	P3	32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G COMPAT
38	39	32G	P4	32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G COMPAT
39	40	32G	P5	32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G COMPAT
40	41	32G	P6	32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G COMPAT
41	42	32G	P7	32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G COMPAT
42	43	32G	P8	32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G COMPAT
43	44	32G	P9	32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G COMPAT
44	45	32G	P10	32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G COMPAT
45	46	32G		32 G CLOCK	32 G CLOCK	32 G CLOCK	32 G CLOCK	32 G CLOCK	32 G CLOCK	32 G CLOCK	32 G CLOCK
46	47	32G		32 G CLOCK	32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G COMPAT
47	48	32G		32 G COMPAT	32 G CLOCK	32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G COMPAT
48	49	32G		32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G CLOCK	32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G COMPAT
49	50	32G		32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G CLOCK	32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G COMPAT
50	51	32G		32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G CLOCK	32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G COMPAT
51	52	32G		32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G CLOCK	32 G COMPAT	32 G COMPAT
52	53	32G		32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G CLOCK	32 G COMPAT
53	54	32G		32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G COMPAT	32 G CLOCK

资源

1. PCI Express 插件机电规范 R5 V0.9

2. [DPO7000SX 时延校正指南](#)



泰克官方微信

如需所有最新配套资料，请立即与泰克本地代表联系！

或登录泰克公司中文网站：www.tek.com.cn

泰克中国客户服务中心全国热线：400-820-5835

泰克科技(中国)有限公司

上海市浦东新区川桥路1227号
邮编：201206
电话：(86 21) 5031 2000
传真：(86 21) 5899 3156

泰克北京办事处

北京市朝阳区酒仙桥路6号院
电子城·国际电子总部二期
七号楼2层203单元
邮编：100015
电话：(86 10) 5795 0700
传真：(86 10) 6235 1236

泰克上海办事处

上海市长宁区福泉北路518号
9座5楼
邮编：200335
电话：(86 21) 3397 0800
传真：(86 21) 6289 7267

泰克深圳办事处

深圳市深南东路5002号
信兴广场地王商业大厦3001-3002室
邮编：518008
电话：(86 755) 8246 0909
传真：(86 755) 8246 1539

泰克成都办事处

成都市锦江区三色路38号
博瑞创意成都B座1604
邮编：610063
电话：(86 28) 6530 4900
传真：(86 28) 8527 0053

泰克西安办事处

西安市二环南路西段88号
老三届世纪星大厦26层L座
邮编：710065
电话：(86 29) 8723 1794
传真：(86 29) 8721 8549

泰克武汉办事处

武汉市洪山区珞喻路726号
华美达大酒店702室
邮编：430074
电话：(86 27) 8781 2760

泰克香港办事处

香港九龙尖沙咀弥敦道132号
美丽华大厦808-809室
电话：(852) 3168 6695
传真：(852) 2598 6260

更多宝贵资源，敬请登录：WWW.TEK.COM.CN

© 泰克公司版权所有，侵权必究。泰克产品受到已经签发及正在申请的美国专利和外国专利保护。本文中的信息代替所有以前出版的材料中的信息。本文中的技术数据和价格如有变更，恕不另行通告。TEKTRONIX 和 TEK 是泰克公司的注册商标。本文中提到的所有其它商号均为各自公司的服务标志、商标或注册商标。

3/22 SBG 55C-73900-0

