PCI Express Gen5：自动多路测试

白皮书

```
import urllib2
import sys
#######################################
# Define a function to send an HTTP command and get the result
#######################################
def Get_HTTP_Result(CmdToSend):
    # Specify the IP address
    CmdToSend = “http://192.168.3.56/:” + CmdToSend
    # Send the HTTP command and try to read the result
    try:
```

```
    # Return the response
    return PTE_Return
#######################################
# Send commands to the RCM / ZTM box:
#   Window 1 = SP4T
#   Window 2A = SPDT
#   Window 3A & 3B = SPDT
#######################################
# Print the model name and serial number
sn = Get_HTTP_Result(“SN?”)
mn = Get_HTTP_Result(“MN?”)
print (mn, “/”, sn)

# Set switch 1: COM <> port 4
Get_HTTP_Result(‘SP4T:1:STATE:4’)
SW1_State = Get_HTTP_Result(‘SP4T:1:STATE?’)
```

Tektronix®

引言

全面表征高速链路，如 PCI Express®，要求透过被测链路的多条不同通路执行发射机 (Tx) 和接收机 (Rx) 测量，这给全自动测试环境带来了挑战，因为必须在实体上改变不同通道之间的同轴电缆连接。采用 RF 开关矩阵可以在改变物理连接的同时进行多路测试，并实现自动软件测试。本文描述了怎样使用 Mini-Circuits® 的 RF 开关扩展自动多路测试的测试环境，以及怎样扩展到其他 RF 开关模块和技术。

PCI Express 端口的通路宽度一般为 x1、x4、x8 和 x16，这给全自动 Tx 或 Rx 测试带来了挑战。通过在测试通道中包括 RF 开关，我们可以在不过度改变 DUT 和测试设备电缆的情况下实现多路测试。必须注意，应使 RF 开关的电气影响达到最小，确保测试对规范要求或验证测试计划是真实的。本文描述了使用 Mini-Circuits RF 开关进行 Gen5 (32 GT/s) 多路测试，并就设置、自动测试提供了一些整体指引，并就通常遇到的挑战提出了建议。

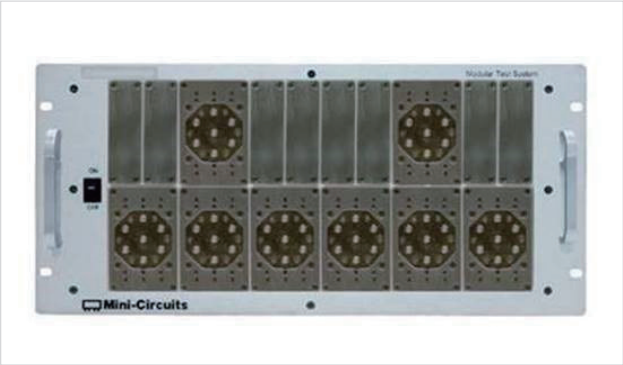

图 1: ZTM2-8SP6T-40。

本文将重点介绍 x16 测试要求的 RF 开关配置，这些开关型号将支持最多 18 条通路 (PCIe 最高一般是 x16)，也将支持较低的通路数。推荐用硬电缆在不同开关组件之间建立固定连接，硬电缆可以向 Mini-Circuits 索取获得。本文前面给出了 CEM 测试图，但这些技术也适用于 BASE 测试，本文最后部分给出了对应图。

图 1 显示了 ZTM2-8SP6T-40 模块化开关矩阵，拥有 8 个 40GHz 端接的 SP6T 机械开关。这一配置将支持最多 18 条通路。推荐使用相位匹配的电缆，在相邻的 40 GHz 继电器之间建立固定连接。在没有为直通连接打开继电器时，会有 50Ω 端接。

图 2 显示了 ZT-8SP6T-40 4U/5U 开关矩阵，拥有 8 个 40GHz 端接的 SP6T 机械开关。这一配置将支持最多 18 条通路。推荐使用硬电缆 (图中有)，在相邻的 40 GHz 继电器之间建立固定连接。开关组件在这个矩阵中的方位，在所有输入和输出之间保持类似的电气路径长度。这对多路 Rx 测试尤其有吸引力，以使校准和测试之间的路径到路径差异降到最小。在没有为直通连接打开继电器时，会有 50Ω 端接。

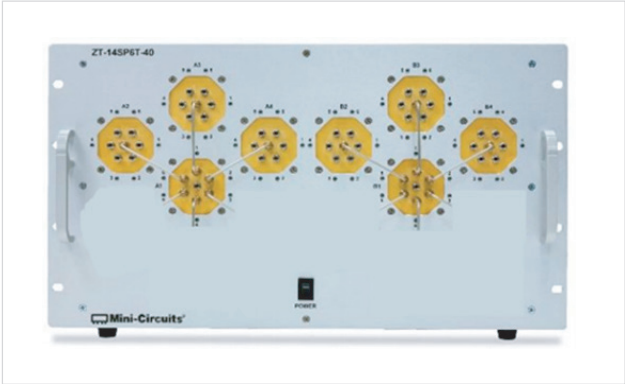

图 2: ZT-8SP6T-40 4U/5U。

RF 开关矩阵 – Gen5 Tx 测试

PCIe Gen5 器件 (A System 或 Add–in card) 将在多路端口中表现出不同的发射机性能。通常要验证所有通路，以便全面表征链路，识别硅性能、近端或远端串扰过高、布线缺陷等问题。在测试设置中采用 RF 开关 (**图 3**) 可以实现多路 Tx 验证，而且不用工程师或技术人员不断改变连接。32 GT/s Base Tx 测试 (参见**图 10**) 的连接与此类似。

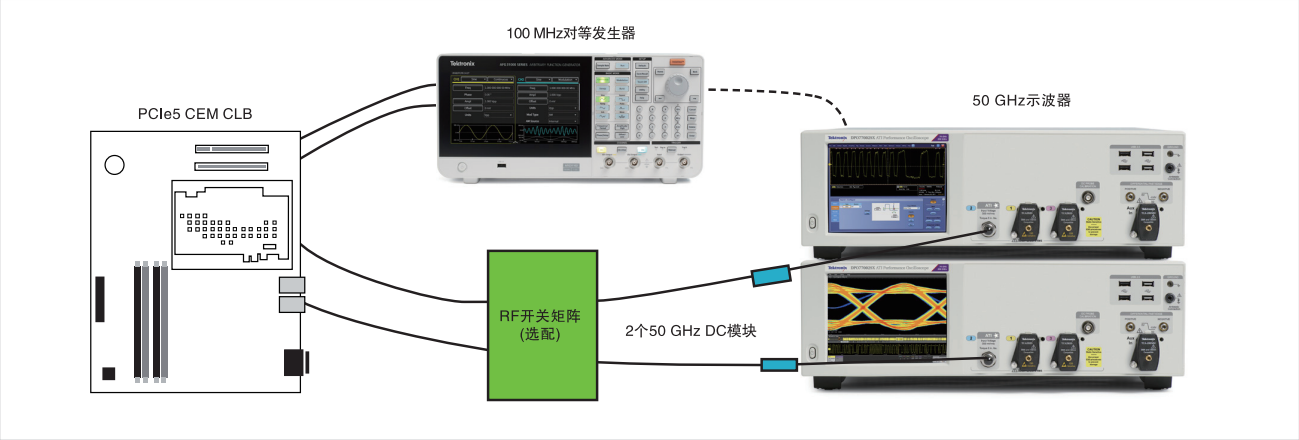

图 3: 32 GT/s CEM 系统发射机 (多路)。

A System 配置要求把一块一致性测试负载电路板 (CLB) 插入 DUT 的 CEM 连接器中，要求使用电缆从每条通路连接 RF 开关。Add–in card 配置与此类似，但 DUT 插入一致性测试基本电路板 (CBB) 中。一对电缆把端接的开关矩阵向回连接到 50 GHz 示波器。任意波形发生器 (AFG) 之类的仪器可以自动生成要求的 100MHz 突发信号，令 DUT 循环通过不同发射机测量使用的各种数据速率和码型。

开关设置中进行的每个连接都非常重要。由于有插损，所以不建议串联两个以上的继电器进行 32 GT/s Tx 测试。建议在 DUT 和 RF 开关之间使用 1 米 2.92mm 电缆 (如泰克产品号：PMCABLE1M)，在 RF 开关和示波器输入之间使用 0.5 米 2.92mm 电缆 (如泰克产品号：174–6663–01)。可以使用示波器差分快速边沿，配合 TekExpress 软件执行自动通道到通道时延校正。

(参见 DPO–MSO70000 选项 PCE3、PCE4 和 PCE5 产品技术资料。)

通道中所有电缆、继电器和 PCB 匹配范围都应落在正负信号路径 +/– 1ps 范围内。

保持 RF 开关的 50Ω(100Ω 差分) 连接输入 / 输出将使通道内部的反射达到最小，但会引入部分插损。32 GT/s 信号质量测试不要求实体可变 ISI 电路板 (Gen4 测试则要求)，因此要求在示波器上嵌入额外的通道和封装损耗。应执行测试夹具表征 (5.0 PHY 测试规范附录 B 中描述)，包括 RF 开关。基本上会选择一个损耗较低的滤波器文件，实现最坏情况 Add–in card 损耗 (在测试 A System 时) 或最坏情况系统损耗 (在测试 Add–in card 时)。可以使用泰克 SignalCorrect 解决方案检验通道损耗，包括 RF 开关矩阵，而不是使用昂贵的 VNA。

(参见选项 SC SignalCorrect® 软件产品技术资料。)

可以使用基于散射参数 (S 参数) 的反嵌技术，去掉 RF 开关插损的影响。反嵌导致复杂性提高，但改善了准确度，另外还必须考虑噪声放大的影响。如果在继电器到继电器连接之间使用相位匹配的电缆，那么通道到通道间只存在小的电气差异。如果觉得这些差异会影响测量，那么可以考虑自定义通道 S 参数文件。可以使用 SignalCorrect 或矢量网络分析仪 (VNA) 捕获 S 参数文件，另外也可以由泰克现场项目组提供标称 S 参数文件。

RF 开关矩阵 – Gen5 Rx 测试

PCIe Gen5 器件 (系统或 Add–in card) 接收机使用精细校准的压力眼图信号进行测试。这个“最坏情况”信号是通过多个校准步骤在参考平面 (没有通道) 建立的，且使用的“最坏情况”通道必须在 34 dB ~37 dB @ 16 GHz。本节将讨论怎样在 Rx 测试时在这个信号校准中采用端接的 RF 开关，然后通过多路链路测试 DUT。

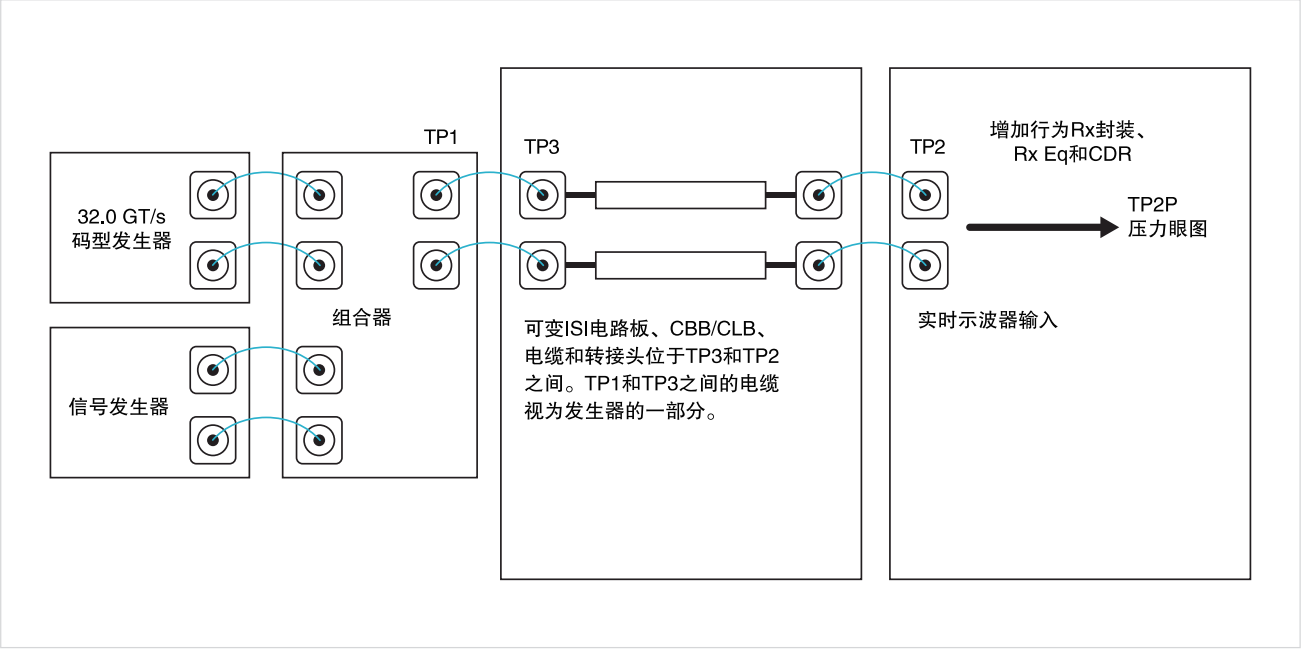

图 4: 32 GT/s CEM Rx 测试点。

在 TP3 测试点校准幅度、Tx 均衡、随机抖动和正弦曲线抖动要求直接连接 Anritsu MP1900A BERT PPG 和泰克 50 GHz 示波器。建议使用 1 米 2.92mm 电缆 (如泰克产品号：PMCABLE1M) 完成这一连接。图 5 显示了 TP3 校准连接，这一步中没有包括 RF 开关。由于 RF 开关引入了部分电通道差异，因此建议在 TP3 参考平面前不要包括这一影响。

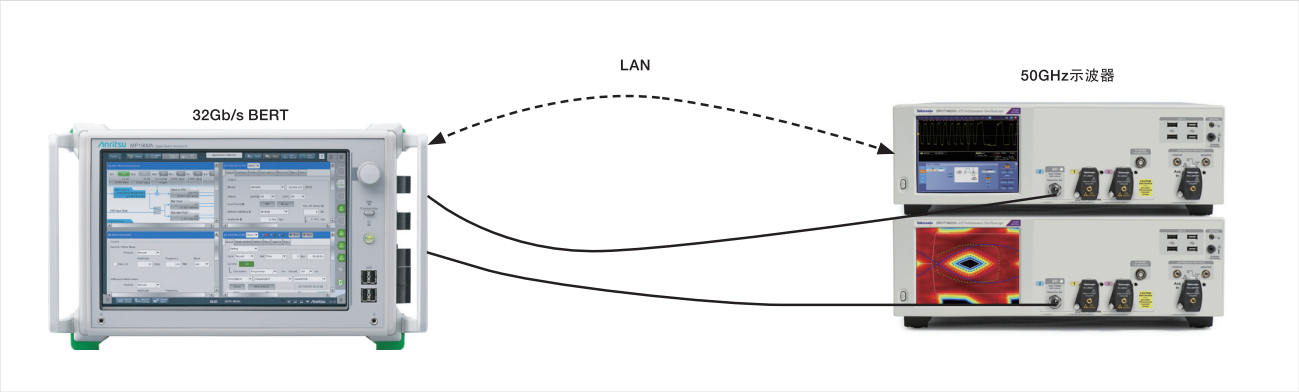

图 5: 32 GT/s TP3 压力眼图 (基本和 CEM)。

在 TP2P 使用差模干扰 (DMI)、共模干扰 (CMI) 和最后的压力眼图校准串扰项。这个测试点来自 TP2 之后 (BERT 和示波器之间的物理通道)，但 TP2P 包括封装嵌入及 Rx 均衡和时钟恢复的影响。图 6 在 TP2 校准中增加了 RF 开关，其中开关是在测试夹具 (基本或 CEM) 后面引入的。在这个点上，工程师必须确定是需要单次 TP2 校准 (建议用于 ZT–8SP6T–40 4U/5U)，还是需要两次以上的 TP2 校准 (最好考虑 ZTM2–8SP6T–40 不同的电气路径长度)。不建议级联两个以上的继电器进行 32 GT/s 压力眼图校准。

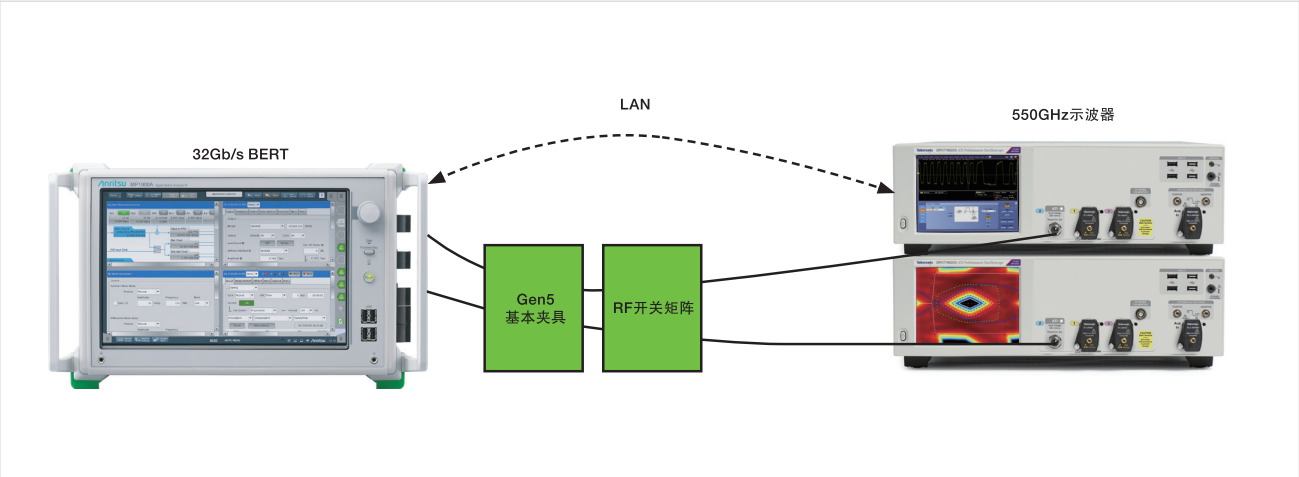

表 6: 32 GT/s TP2 压力眼图。

建议在 BERT 和 RF 开关之间使用 1 米 2.92mm 电缆 (如泰克产品号：PMCABLE1M)，在 RF 开关和示波器之间使用短一点的 0.5 米 2.92mm 电缆 (如泰克产品号：174–6663–01)。可以使用示波器差分快速边沿，配合 TekExpress 软件执行自动通道到通道时延校正。

(参见 DPO–MSO70000 选项 PCE3、PCE4 和 PCE5 产品技术资料。)

通道中所有电缆、继电器和 PCB 匹配范围都应落在正负信号路径 +/– 1ps 范围内。

保持 RF 开关的 50Ω(100Ω 差分) 连接输入 / 输出将使通道内部的反射达到最小，但会引入部分插损。32 GT/s 信号质量测试不要求实体可变 ISI 电路板 (Gen4 测试则要求)，因此要求在示波器上嵌入额外的通道和封装损耗。应执行测试夹具表征 (5.0 PHY 测试规范附录 B 中描述)，包括 RF 开关。基本上会选择一个损耗较低的滤波器文件，实现最坏情况 Add–in card 损耗 (在测试 A System 时) 或最坏情况系统损耗 (在测试 Add–in card 时)。可以使用泰克 SignalCorrect 解决方案检验通道损耗，包括 RF 开关矩阵，而不是使用昂贵的 VNA。

(参见选项 SC SignalCorrect® 软件产品技术资料。)

可以使用基于散射参数 (S 参数) 的反嵌技术，去掉 RF 开关插损的影响。反嵌导致复杂性提高，但改善了准确度，另外还必须考虑噪声放大的影响。如果在继电器到继电器连接之间使用相位匹配的电缆，那么通道到通道间只存在小的电气差异。如果觉得这些差异会影响测量，那么可以考虑自定义通道 S 参数文件。可以使用 SignalCorrect 或矢量网络分析仪 (VNA) 捕获 S 参数文件，另外也可以由泰克现场项目组提供标称 S 参数文件。

在多条通路中使用校准后的 32 GT/s 压力眼图信号进行接收机测试要求两个 RF 开关矩阵，如图 7 所示。在链路是 x8 或更低的路数时，可以考虑单个 RF 开关矩阵。来自 Anritsu MP1900A PPG 的信号必须分发到所有 PCIe 通路中。器件将处于环回模式，因此数字化信号将通过 Tx 引脚传回，开关回至 BERT 误码检测器的单个输入。许多支持 32 GT/s 的系统会展现一条到误码检测器的高损耗返回通道，要求外部再驱动器均衡信号，以便被测试设备检测到。如果还没要求，引入 RF 开关可能需要外置再驱动器。32 GT/s 基本 Rx LEQ 测试的连接与此类似 (参见**图 13**)。

建议在 BERT 和 RF 开关之间使用 1 米 2.92mm 电缆 (如泰克产品号：PMCABLE1M)，在 RF 开关和示波器之间使用短一点的 0.5 米 2.92mm 电缆 (如泰克产品号：174–6663–01)。应在 DUT Tx 和误码检测器之间考虑使用最短的 2.92mm 电缆。

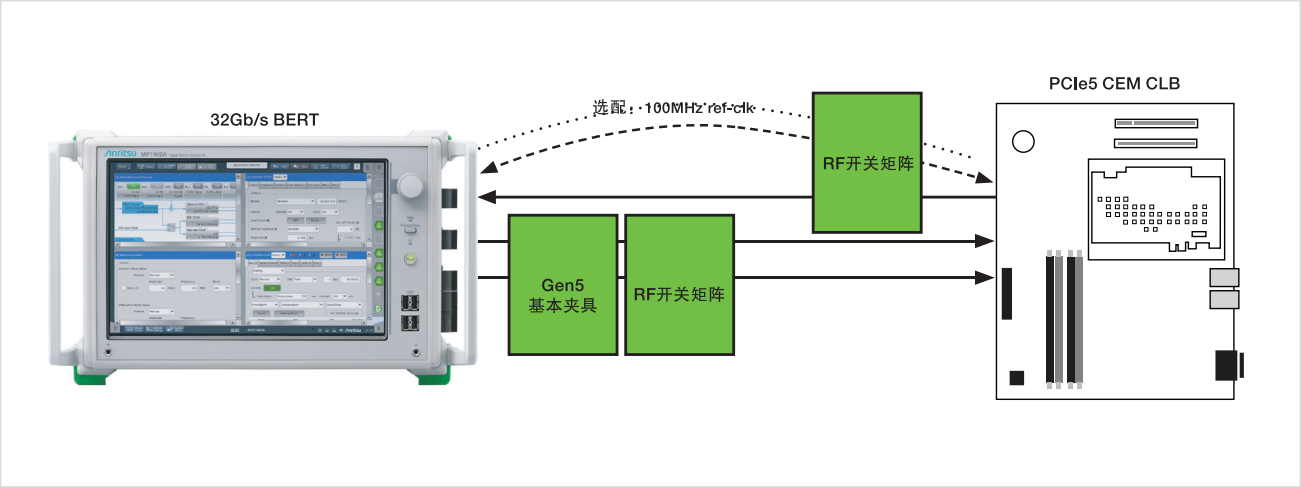

图 7: 32 GT/s 系统 Rx LEQ 测试 (多路)。

怎样与 Mini–Circuits 建立通信

TekExpress TX 自动化软件 (参见这里的产品技术资料) 提供了内置控制功能，在自动 TX 测试过程中控制 Mini–Circuits 开关矩阵。本节旨在引导用户开发自己的自动化软件，在 TX 或 RX 测试过程中控制 RF 开关。

怎样连接：可以通过两种方式与 Mini–Circuits 开关通信：

1. USB 使用 dll (动态链接程序库)；
2. 以太网 HTTP 请求。

USB 连接：

1. 用 USB 设备电缆把示波器连接到 Mini–Circuits RF 开关上。
2. 下载“mcl_ZTM2_NET45.dll”(参见这里的“软件”。)。
3. 移动 DLLs：
   a. 对 64 位操作系统，把“ModularZT_NET45.dll”复制到“C:\Windows\SysWOW64”。
   b. 对 32 位操作系统，把“ModularZT_NET45.dll”复制到“C:\Windows\System32”。
4. 使用 iron python 发送以下命令：

```
"""
Author : Srinivas R Kalwad
Date   : 6-May-2021
"""
import clr #IronPython
print "clr import is done"
clr.AddReferenceToFileAndPath('C:\\Windows\\SysWOW64\\mcl_ZTM2_NET45.dll')
# Reference the DLL

print "dll referenced"
from mcl_ZTM2_NET45 import USB_ZT
sw = USB_ZT()            # Create an instance of the control class

Status = sw.Connect()      # Connect the system (pass the serial number as an argument if required)

if Status > 0:            # The connection was successful

        Responses = sw.Send_SCPI(":SN?", "")        # Read serial number
        print (str(Responses[2]))   # Python interprets the response as a tuple [function
    return (0 or 1), command parameter, response parameter]

        Responses = sw.Send_SCPI(":MN?", "")        # Read model name
        print (str(Responses[2]))

        # SP4T switches
        Status = sw.Send_SCPI(":SP6T:1:STATE:6", "")    # Set switch 1 state (COM<>4)
        Responses = sw.Send_SCPI(":SP4T:1:STATE?", "")   # Read switch state
        print (str(Responses[2]))

        sw.Disconnect()           # Disconnect at the end of the program

else:
   print ("Could not connect.")
```

图 8

以太网 HTTP 请求：

它使用 URllib2 python 模块发送和接收请求。

1. 用你使用的 Mini–Circuits 模块的 IP 地址更新下面的样例 (如 http://192.168.3.56/: + “SN?”)。

```
import urllib2
import sys
#########################################
# Define a function to send an HTTP command and get the result
#########################################
def Get_HTTP_Result(CmdToSend):
    # Specify the IP address
    CmdToSend = “http://192.168.3.56/:” + CmdToSend
    # Send the HTTP command and try to read the result
    try:
        HTTP_Result = urllib2.urlopen(CmdToSend)
        PTE_Return = HTTP_Result.read()
    # Catch an exception if URL is incorrect (incorrect IP or disconnected)
    except:
        print (“Error, no response from device; check IP address and connections.”)
        PTE_Return = “No Response!”
        sys.exit()      # Exit the script

    # Return the response
    return PTE_Return
#########################################
# Send commands to the RCM / ZTM box:
#   Window 1 = SP4T
#   Window 2A = SPDT
#   Window 3A & 3B = SPDT
#########################################
# Print the model name and serial number
sn = Get_HTTP_Result(“SN?”)
mn = Get_HTTP_Result(“MN?”)
print (mn, “/”, sn)

# Set switch 1: COM <> port 4
Get_HTTP_Result(‘SP4T:1:STATE:4’)
SW1_State = Get_HTTP_Result(‘SP4T:1:STATE?’)
```

图 9

基本校准和测试图

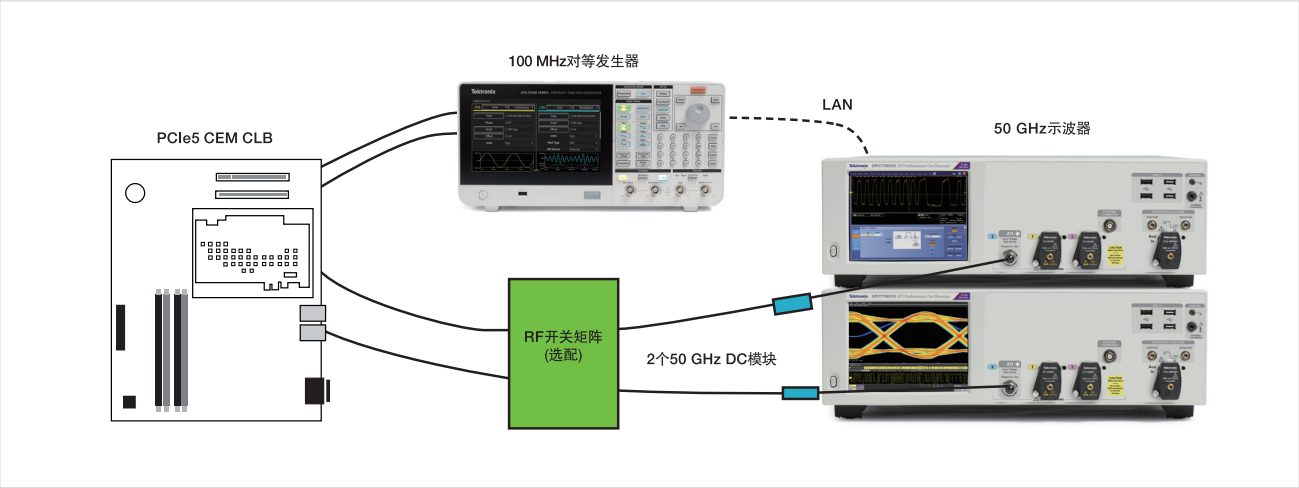

图 10: 32 GT/s 基本根或非根 Tx (多路)。

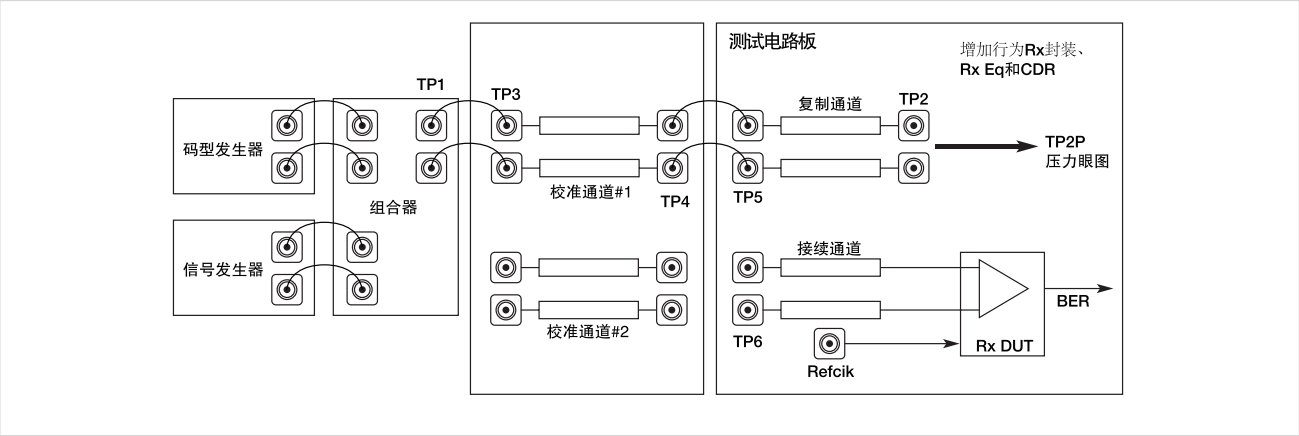

图 11: 32 GT/s 基本 Rx 测试点。

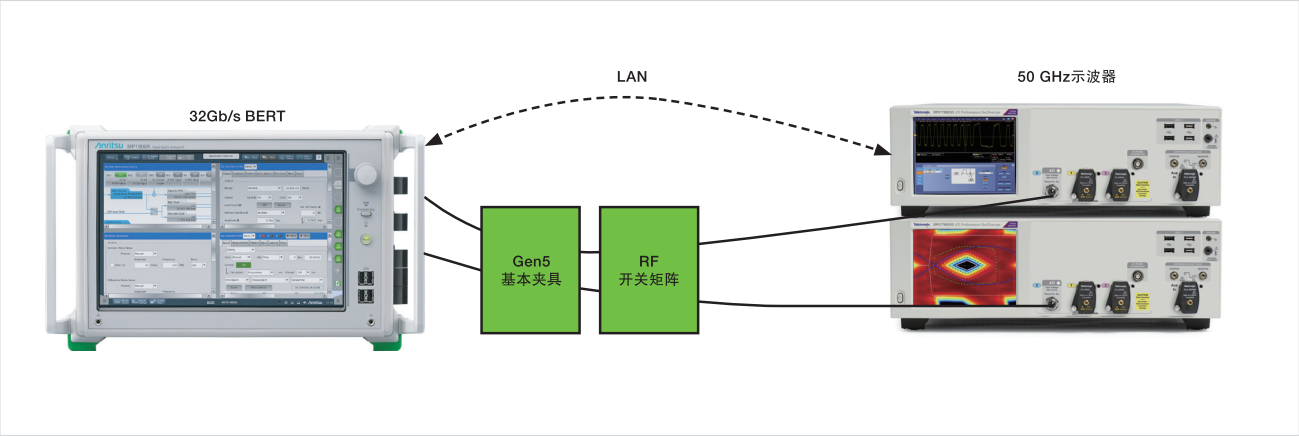

图 12: 32 GT/s TP2 压力眼图。

基本校准和测试图

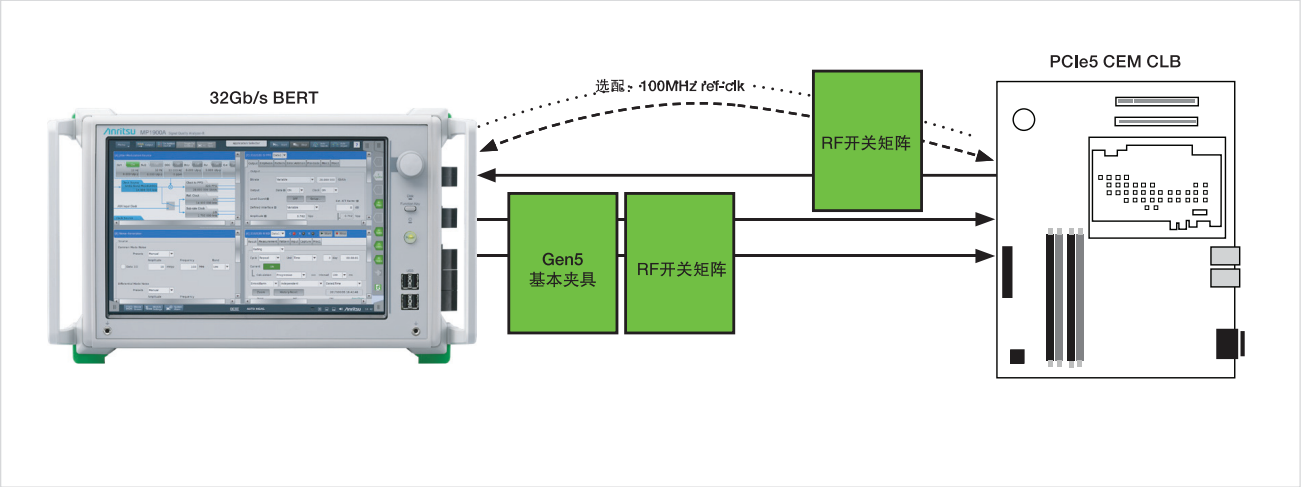

图 13: 32 GT/s 系统 Rx LEQ 测试 (多路)。

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。

110921 GF 55C–73836–0