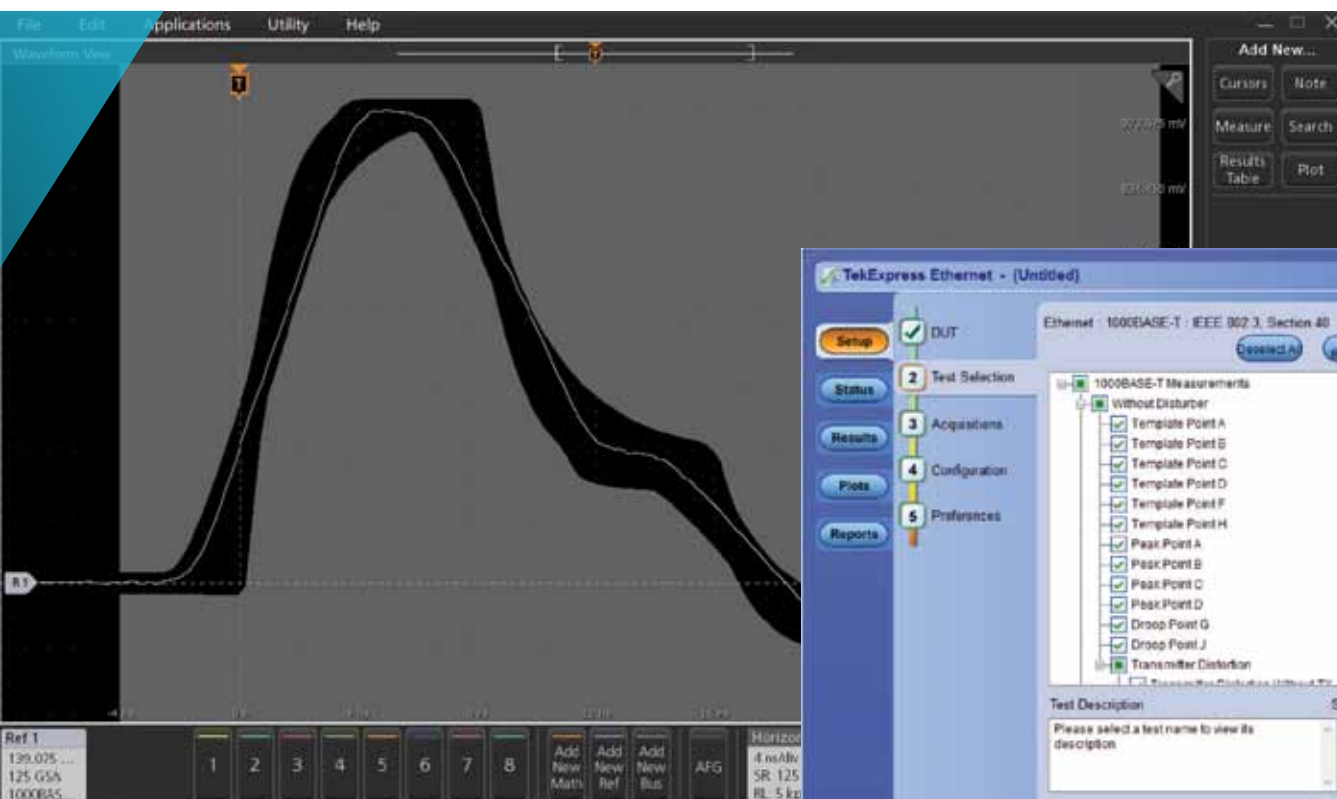


1000BASE-T 以太网物理层 一致性测试

应用指南



工程师设计或验证其产品中的 1000BASE-T 以太网时，需要迅速、可靠、高效地执行各种测试。本应用指南描述了确保测试验证、测试多电平信号时面临的挑战，以及示波器上安装的测试软件怎样通过各项测试明显改善测试效率，包括回损、快速验证周期和高可靠性。

1000BASE-T 测试基础知识

1000BASE-T 通常称为千兆位以太网，一直在迅猛增长。它对传统电缆结构只是做了最小的改动，但数据速率比 10BASE-T 以太网信号快 100 倍。千兆位以太网与快速以太网和交换式以太网相结合，为低速网络提供了经济的替代方案。

1000BASE-T 采用 4 个信号对，通过五类平衡电缆实现全双工收发。每个线对上的数据传输速率为 250 Mbps，工作效率为 80%。它采 4 电平 PAM5 编码信令方案，如图 1 所示。

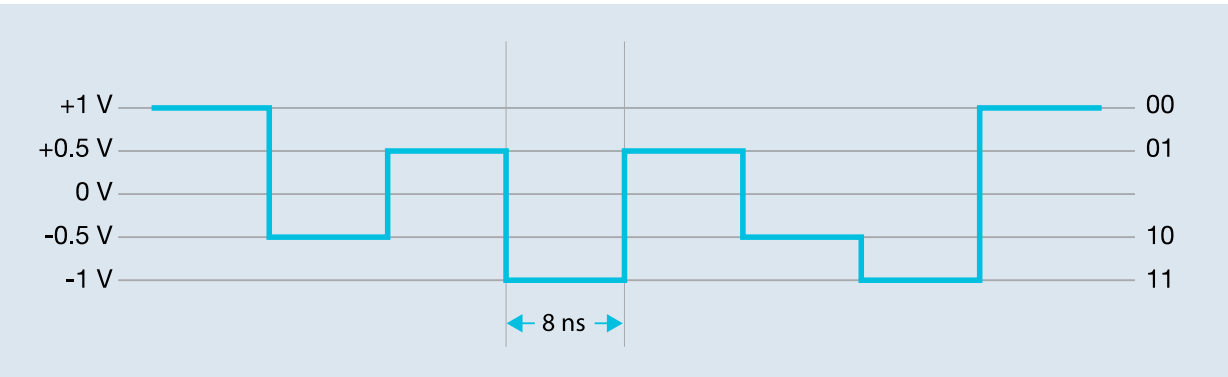


图 1. 1000BASE-T 多电平 PAM5 编码信号。

1000BASE-T 物理层一致性测试标准

为保证在网络上能够可靠地传输信息，各个行业标准都规定了对网络物理层的要求。IEEE 802.3 标准对 1000BASE-T 物理层规定了一系列一致性测试。在执行这些测试时，需要把被测器件置于标准规定的测试模式下。

尽管建议执行尽可能多的测试，但下述核心测试对一致性测试具有关键意义：

测试模式	测试	IEEE 802.3 参考标准
测试模式 1	峰值	40.6.1.2.1
	顶降	40.6.1.2.2
	模板	40.6.1.2.3
测试模式 2	主抖动	40.6.1.2.5
测试模式 3	从抖动	
测试模式 4	失真	40.6.1.2.4
	MDI 回损	40.8.3.1
	MDI 共模电压	40.8.3.3

表 1. 核心 1000BASE-T 测试。

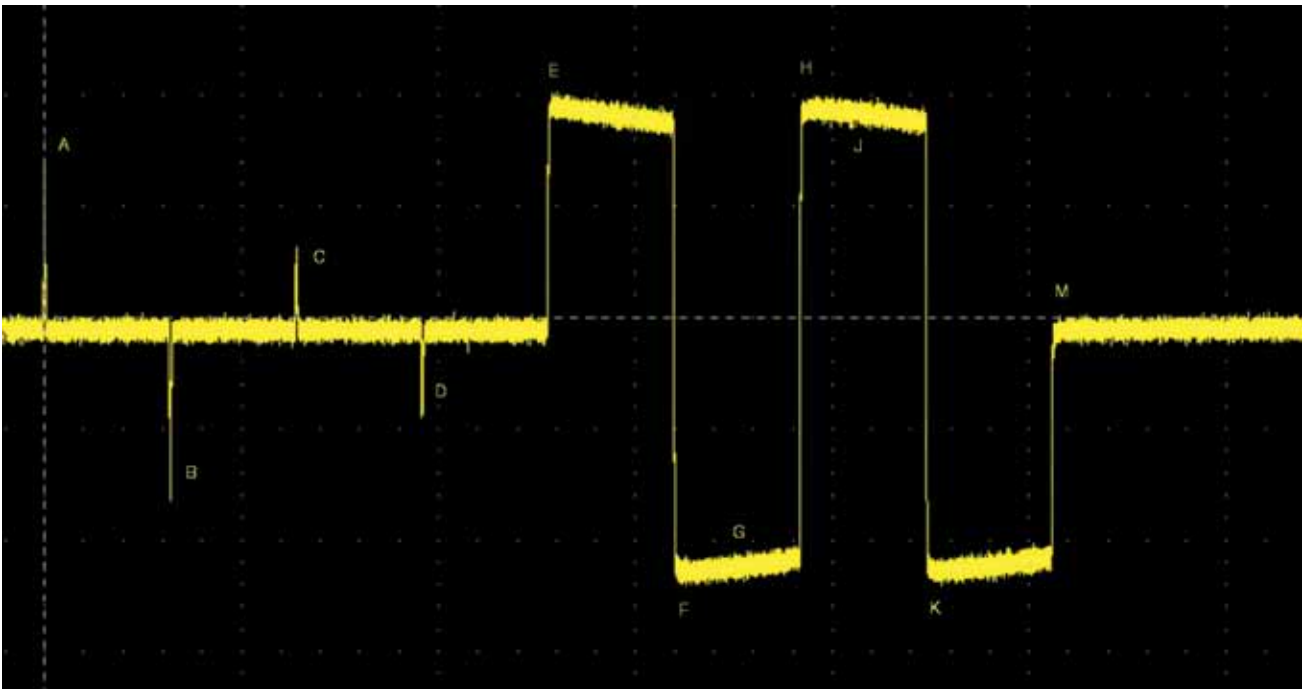


图 2. 1000BASE-T 测试模式 1 信号的一个周期。

1000BASE-T 测试模式

在进行合规测试时，需要在被测器件 (DUT) 中启用测试模式，以便测试发射机波形特点，如发射机失真和发送抖动。这些测试模式决定着为发射机电路提供的数据符号，不会改变发射机和接收机在正常操作中的电气或抖动特点。使用标准化测试信号测试器件，可以保证 DUT 能够在正常 (非测试模式) 情况下与其他以太网设备互操作。

测试模式 1 用来执行模板、峰值和顶降合规测试。在启用测试模式 1 时，PHY 从全部四台发射机中连续发送一个数据符号序列。这个序列连续重复，重复之间不会中断。图 2 显示了典型的发射机输出。

序列	信号电平	符号数	点 / 区域
序列 1	$1x + 2$	127×0 's	A
序列 2	$1x - 2$	127×0 's	B
序列 3	$1x + 1$	127×0 's	C
序列 4	$1x - 1$	127×0 's	D
序列 5	$128x + 2$, $128x - 2$, $128x + 2$, $128x - 2$	127×0 's	E, F, G, H, J, K
序列 6		1024×0 's	M

表 2. 测试模式 1 中发送的数据信号。“点 / 区域” 参见图 2。

在启用测试模式 2 时，发射机在全部 4 条通道上重复发出由电平 +2 和 -2 组成的一个数据符号序列。发射机在主时序模式下控制着来自 125 MHz 时钟的符号。测试模式 2 下典型的发射机输出看上去就像一个时钟，如图 3 所示。

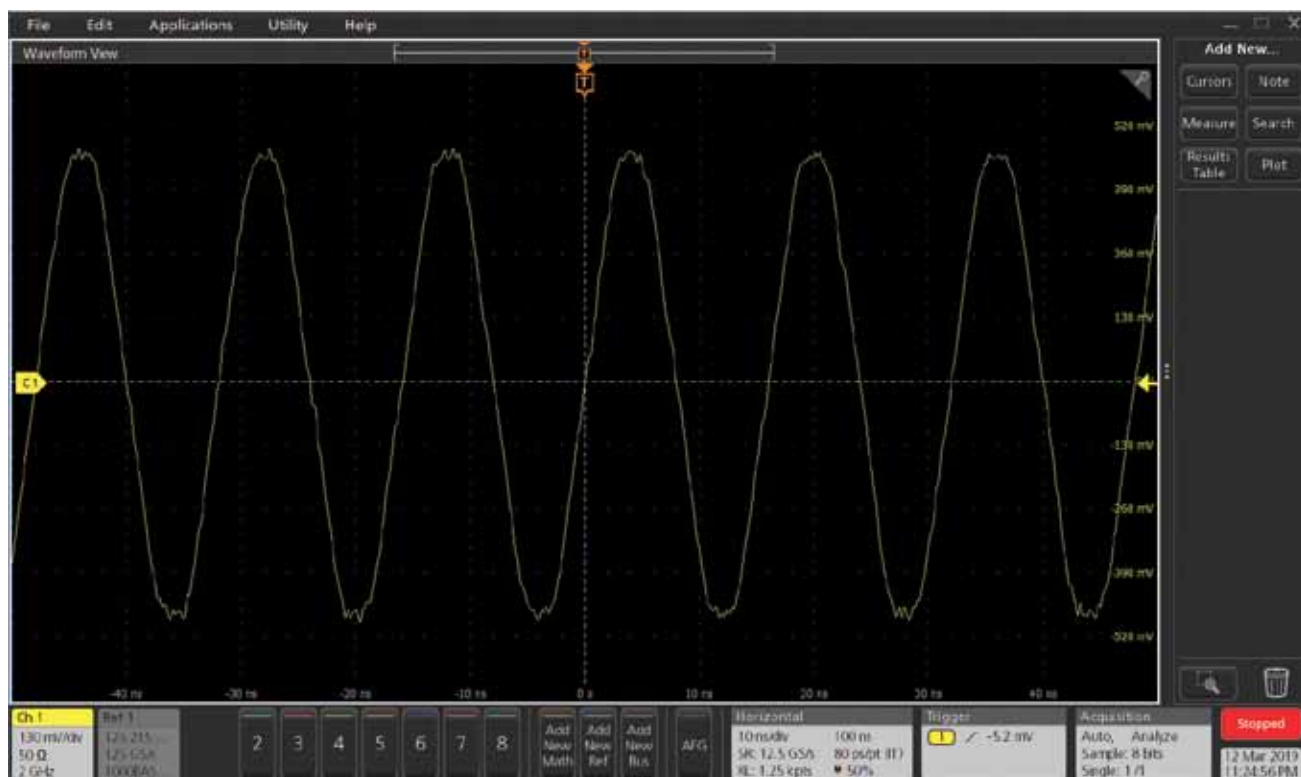


图 3. 1000BASE-T 测试模式 2 在 +2 和 -2 之间交替。

测试模式 3 采用的数据符号序列与测试模式 2 相同，但发射机在从时序模式下控制来自 125.00 MHz 时钟的符号。

IEEE 规范定义。生成多项式定义的序列使用的最大长度位寄存器每个符号间隔 (8 ns) 更新一次，得到一个加扰的信号输出，如图 4 所示。

在启用测试模式 4 时，发射机发出由加扰器发生器多项式生成的一个符号序列，生码和电平映射关系由



图 4. 1000BASE-T 测试模式 4 发送一个加扰的信号。

1000BASE-T 测试

峰值测试

峰值测试在点 A、B、C、D 的波形峰值上执行，如图 5 所示。通过测试的标准是，点 A 和点 B 的波形峰值绝对值必须落在 670 mV ~ 820 mV 范围内。将对

每个差分对执行这些测量，在被测器件的 MDI 端口输出上观测信号。规范规定了点 A、B、C、D 在峰值电压绝对值和平均值方面的关系，以保证所有峰值都落在测试通过的极限范围内。

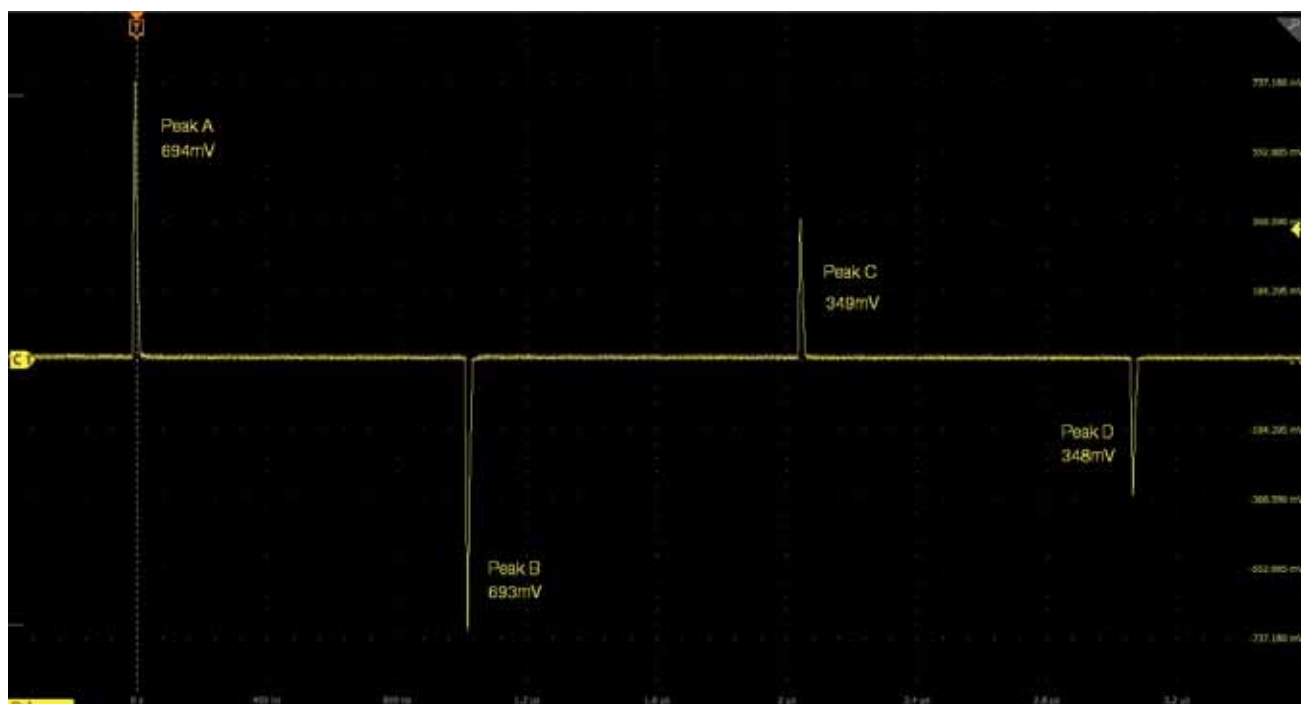


图 5. 1000BASE-T 信号的峰值点。

顶降测试

这项测试作为点 G 波形负峰值的幅度来测量电压 (在图 2 中)。在通过测试时, 测得值应大于点 F 波形负峰值幅度的 73.1%。点 G 定义为点 F 后 500 ns, 其中点 F 是波形达到图 2 指明位置最小值时的点。其使用同一公式计算点 J 和点 H 上的顶降测试结果,

其中点 J 定义为点 H 后正好 500 ns 时的点, 点 H 定义为波形达到图 2 指明位置最大值 (正峰值) 时的点。图 6 指明了顶降点 G 通过测试的条件, 其中测得值为 -963.3 mV, 是点 F 波形峰值 -987.5 mV 的 97.5%。

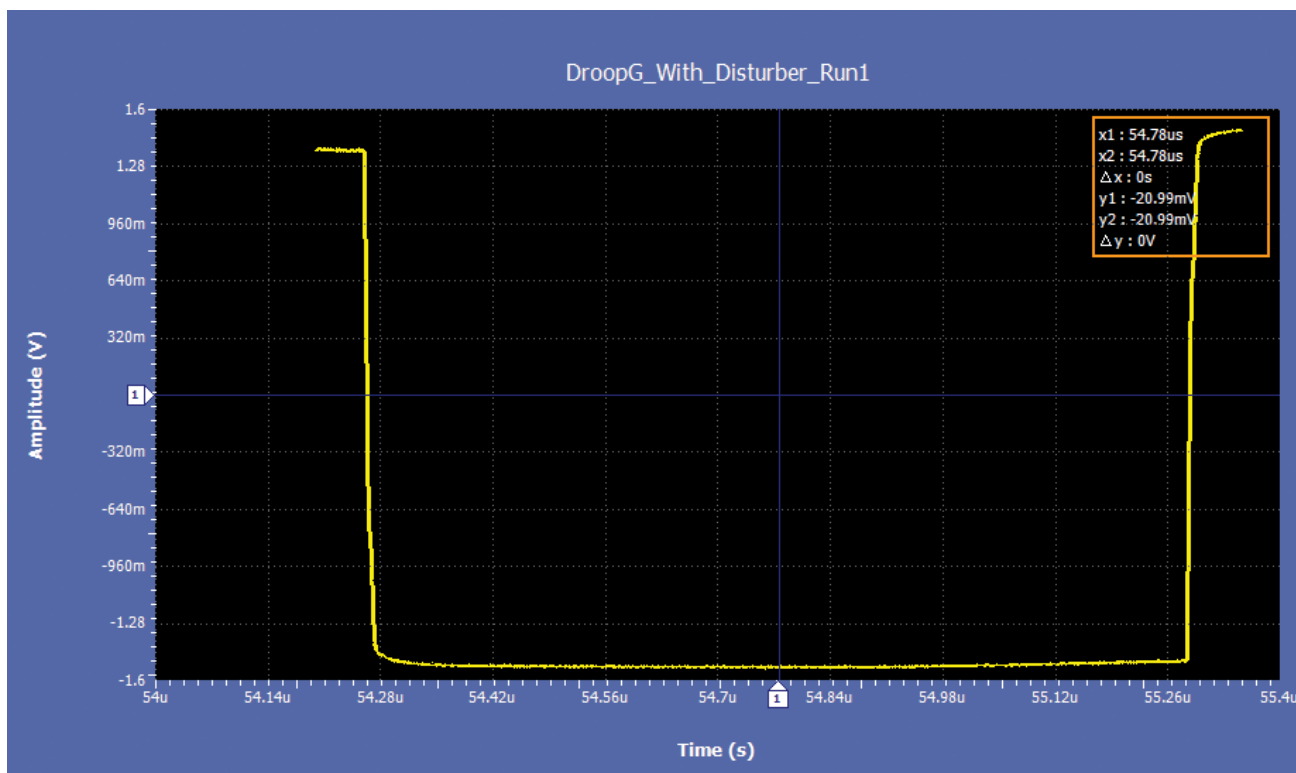


图 6. 1000BASE-T 信号顶降 G 点计算得出的结果表明其通过测试。

模板测试

模板测试会指定点 A、B、C、D、F、H 每个点上的发射机信号容限。1000BASE-T 规范对每个点规定了一个模板，允许波形在时间上位移，近似落在模板内部。规范中对每个点有一个规范化设置，如表 3 所示。规范化定义允许评估峰值 A、B、C、D 相对于峰值 A 的比率。点 F 和 H 相对于其自己的峰值电压规范化。因此，在一致性测试过程中，点 A、B、C 和 D 使用一个模板，点 F 和 H 使用另一个模板。

波形点	规范化定义
点 A	WaveformA/VpeakA
点 B	WaveformB/ VpeakA
点 C	WaveformC/(VpeakA /2)
点 D	WaveformD/(VpeakA /2)
点 F	WaveformF/VpeakF
点 H	WaveformH/VpeakH

表 3. 测试模式 1 测试信号关键点的规范化定义。

图 7 显示了模板测试在点 A 处的测试通过结果，图 8 显示了在点 F 处的测试通过结果。

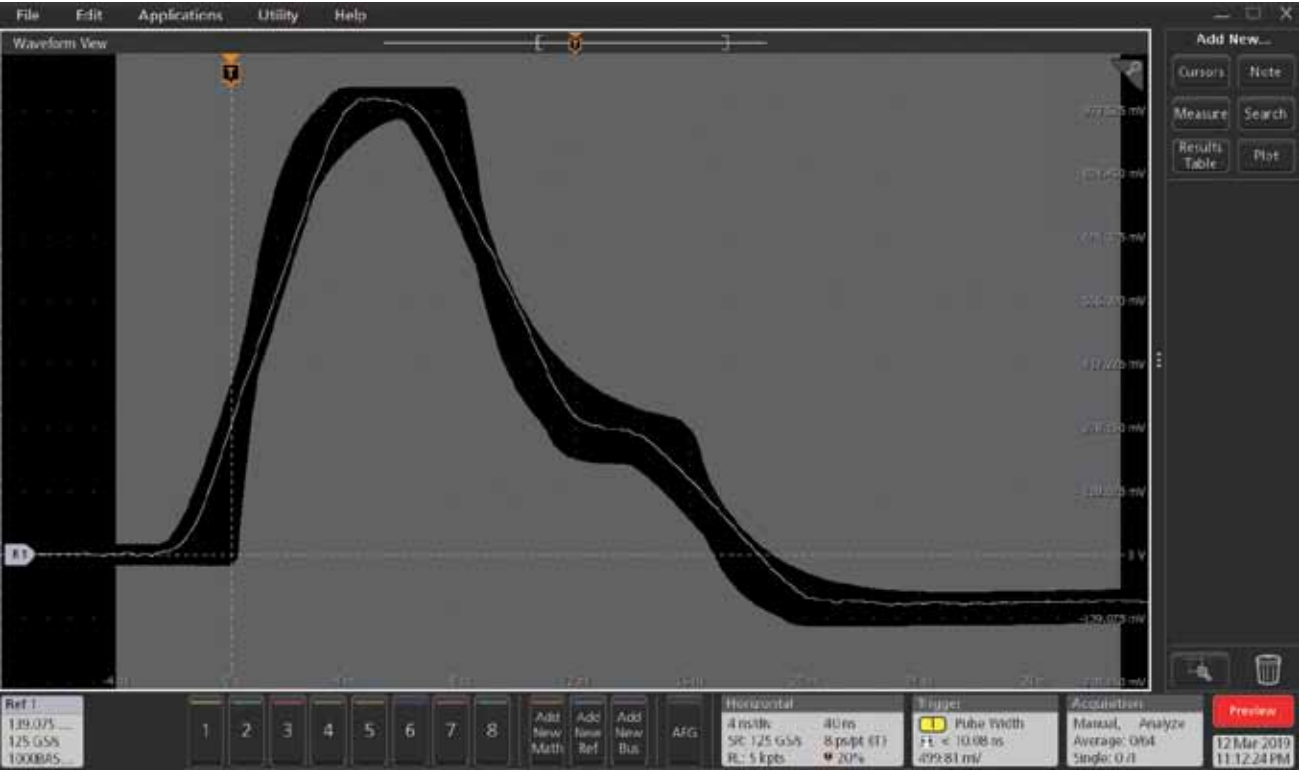


图 7. 点 A 处的模板测试比较了规范化波形与标准中规定的模板。

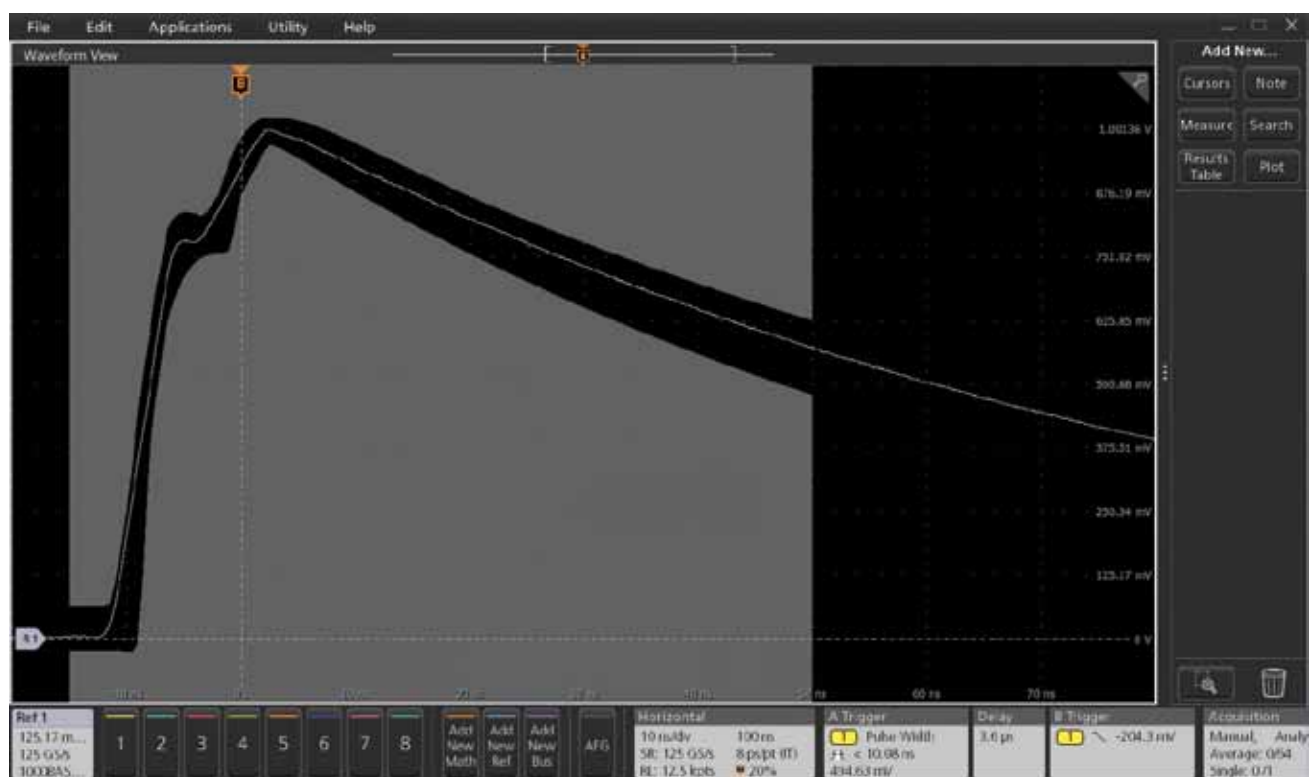


图 8. 点 F 处的模板测试比较了规范化波形与标准中规定的模板。

失真

在执行这项测试时，需要对每个对使用发射机测试夹具，把被测器件置于测试模式 4，观察 MDI 上的差分信号输出，而不使用介入电缆。如果想通过测试，峰值失真必须小于 10 mV。

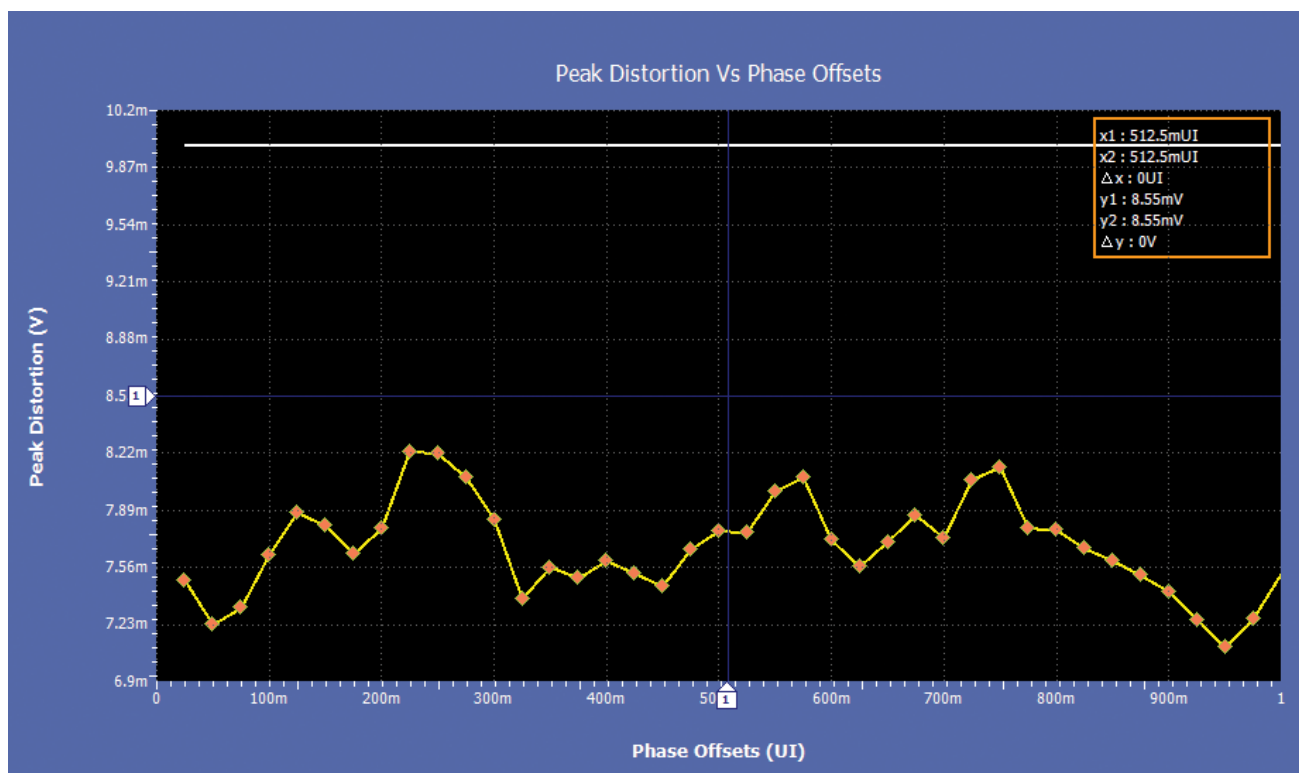


图 9. 没有 TX_CLK 时的发射机失真。

共模电压

这项测试测量总共模输出电压的幅度，在 1 MHz 以上频率传送数据时必须小于 50 mV 峰峰值。

回损

回损测试表明了传输系统的性能。标准规定了反射信号相对于入射信号的最低衰减量。

为保证互操作能力，标准还规定了测试回损的布线系统的阻抗。规定的环境是 $100\Omega \pm 15\%$ ，因此，必需在 85Ω 、 100Ω 和 115Ω 阻抗范围内执行测试。

对发送对及接收对都会执行测试。被测器件设置成在空闲或挂线状态下发送加扰的信号。

图 10 显示了 1000BASE-T 发送对的三个示图 ($85\Omega/100\Omega/115\Omega$)。

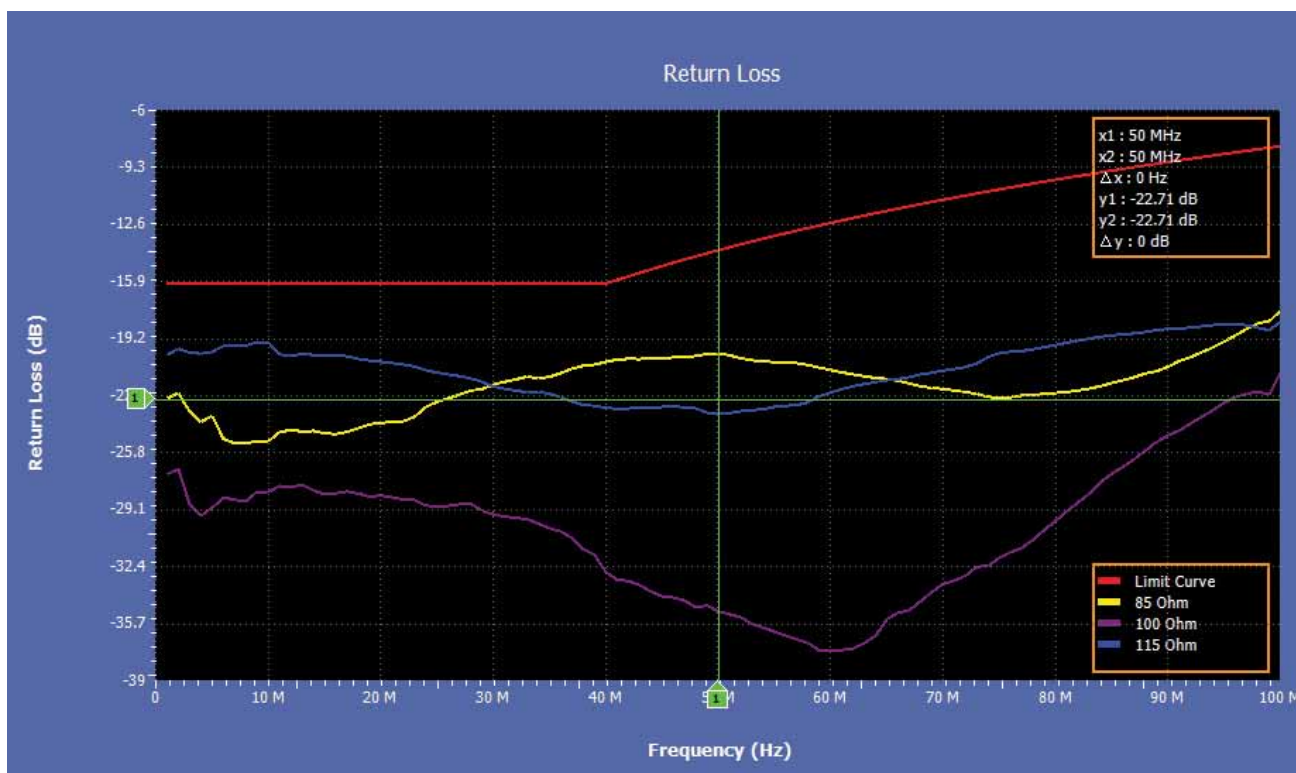


图 10. 显示了 1000BASE-T 发送对的三个示图 ($85\Omega/100\Omega/115\Omega$)。

测试设备

执行整套上述测试要求使用示波器、差分探头和以太网测试夹具。可能还需要软件工具来配置被测器件，把它置于不同的测试模式。

a. 数字示波器：在选择适当的示波器时，必需考虑示波器的上升时间、采样率和采集技术。测量系统（直到探头尖端）的上升时间必须在 400 ps 左右，这可以保证测量误差达到最小，确保测试结果精确可靠。

此外，占空比失真测试和上升 / 下降测试的测试极限都需要高采样率。采样率必须在 5 GS/s 以上，才能提供这些测量要求的分辨率。5 或 6 系列 MSO 平台中的示波器都比较适合这些应用，其提供了最低 1 GHz 的带宽及 400 ps 上升时间及 10 GS/s 采样率。

b. 一致性测试软件：考虑到上面讨论的测试模式信号及需要进行测量的信号的精确区域，自动测试解决方案对执行测试程序至关重要，以便工程师把更多的时间用于设计分析上，把更少的时间用于设置仪器和查阅标准上。

泰克在多个示波器平台上提供了以太网自动测试解决方案。精确的 TekExpress 自动化软件会随着示波器不同而变化。

TekExpress 以太网一致性测试测试软件

5 系列 MSO	选项 5-CMENET
6 系列 MSO	选项 6-CMENET
DPO/MSO5000, 7000 和 70000	选项 CMENET3

c. 差分探头：千兆位以太网测试需要使用差分传输系统。使用一对单端探头进行测量时，要求准确校正时延，认真匹配信号对，否则就会导致测量中产生不想要的失真，进而产生错误的测试结果。

对千兆位以太网测试，推荐使用 TDP1500 1.5 GHz 差分电压探头或 TDP3500 3.5 GHz 差分探头。对回损测试，要求使用两只差分探头。

d. 任意波形发生器：任意波形发生器或 AWG 用于回损测试，作为干扰器信号源使用。250 MS/s 或以上采样率的 AWG 特别适合进行回损测试。2 通道 AWG5200 任意波形发生器为进行回损测试提供了优秀的信号源。

e. 测试夹具：标准描述了一致性测试对夹具的要求。必需注意，夹具的完整性直接影响着测试的可靠性。泰克 TF-GBE-BTP 1000/100/10BASE-T 基本以太网测试夹具特点适合物理层测试。设计严谨的互连则有助于最大限度地降低不想要的串扰和其他负面效应。理想情况下，被测端口与探头互连点之间的距离不得超过 1 英寸。

生成测试模式信号，执行测试设置

可以通过两种主要方式，从被测端口生成测试模式信号：

1) 配置端口寄存器

端口寄存器用来设置发送测试码型的端口。可以使用芯片厂商提供的专用软件接入寄存器。接入端口寄存器详情可以联系芯片厂商。大多数 1000BASE-T 测试（包括模板、峰值电压、顶降和失真测试）都要求这种方式来生成要求的测试模式信号。在把端口配置成生成测试模式信号后，可以按图 11 所示进行连接。

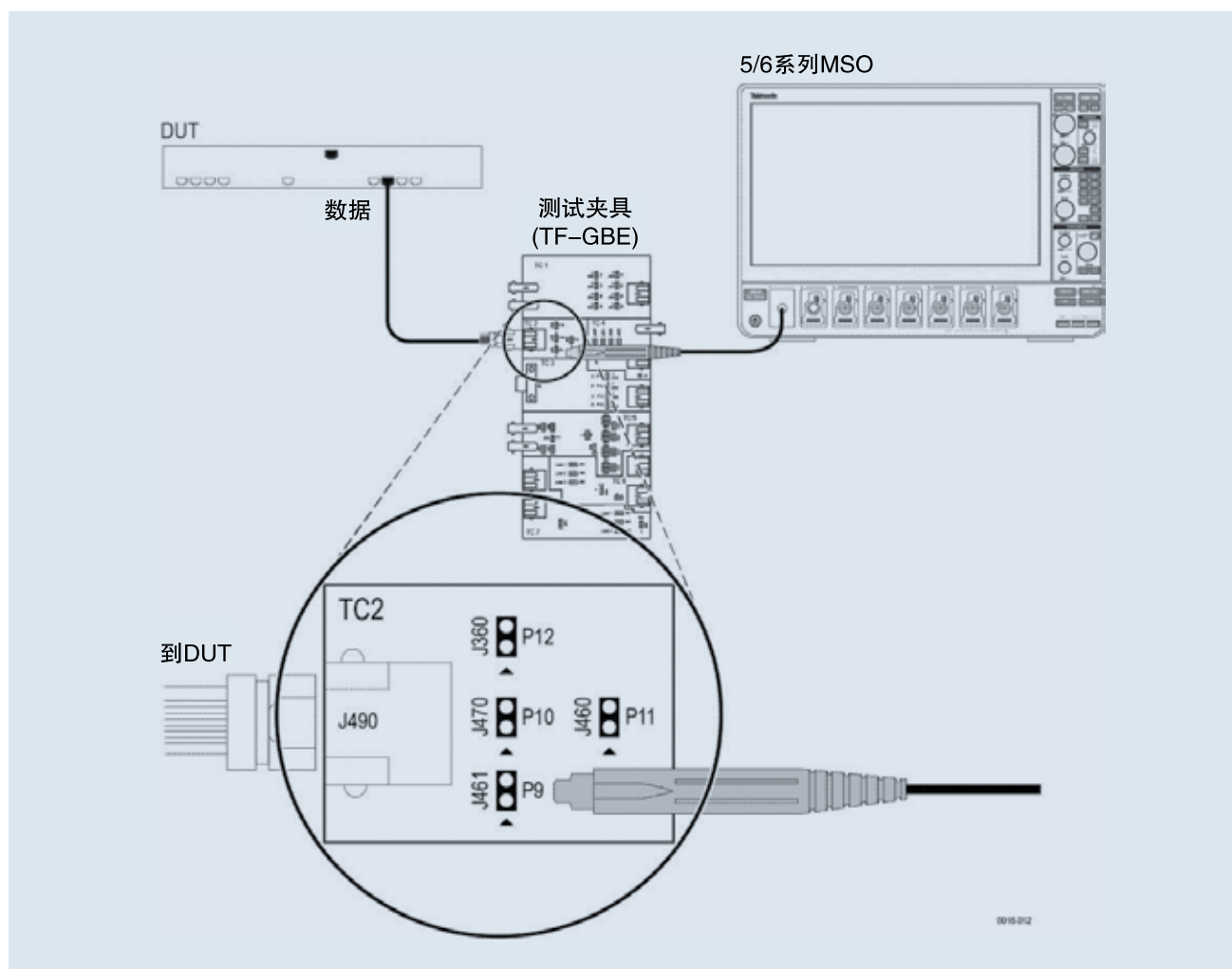


图 11：没有链路伙伴接入端口寄存器时的测试设置。

2) 使用链路伙伴

把被测器件连接到另一台 1000BASE-T 设备 (称为链路伙伴), 发起生成序列。1000BASE-T 主和从抖动测试都支持这种信号生成方式。链路伙伴可以是一台计算机, 一台集线器, 也可以是更加完善的业务发生器。

连接方式如图 12 所示。

3) 回损测试的测试设置

泰克实现方式采用基于示波器的方法, 执行回损测量, 而不需要使用额外的仪器。

回损测试涉及两步测试程序, 包括校准和回损测试。

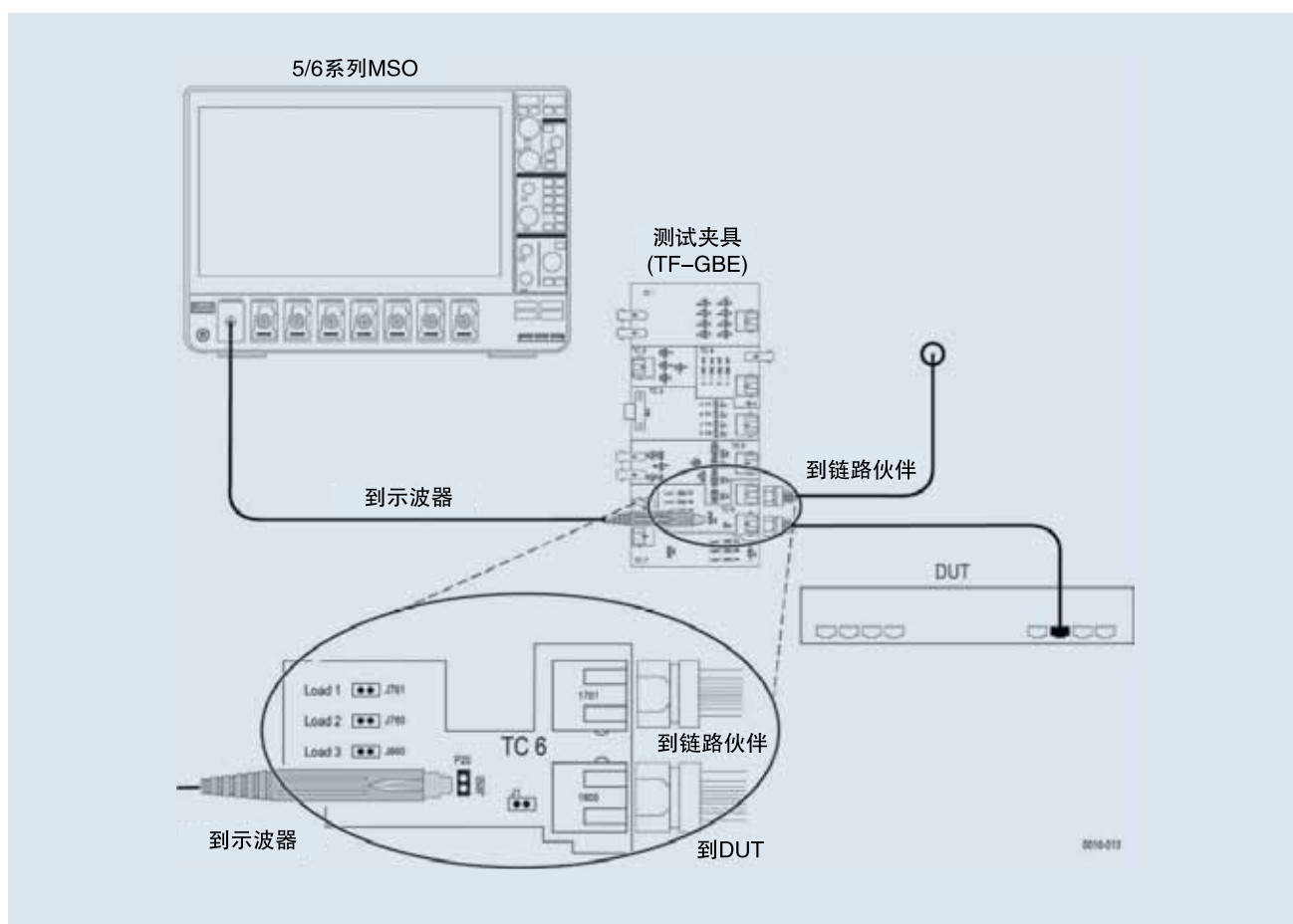


图 12: 使用链路伙伴的测试设置。

可以使用专为回损校准设计的一段测试夹具来执行校准。在校准过程中，DUT 连接到开路、负载和短路。然后存储校准数据，在回损测试过程中应用这些数据。

对这项测试，端口配置成生成加扰的序列。测试设置如图 13 所示。这项测试检验 DUT 的回损低于合规极限。

对 1000BASE-T，规范要求结果在 1.0 MHz ~ 40 MHz 频率范围内不低于 16 dB，在 40 MHz ~ 100 MHz 频率范围内不低于 $10 - 20\log_{10}(f/80)$ dB (其中 f 用 MHz 表示)。图 10 显示了极限线。

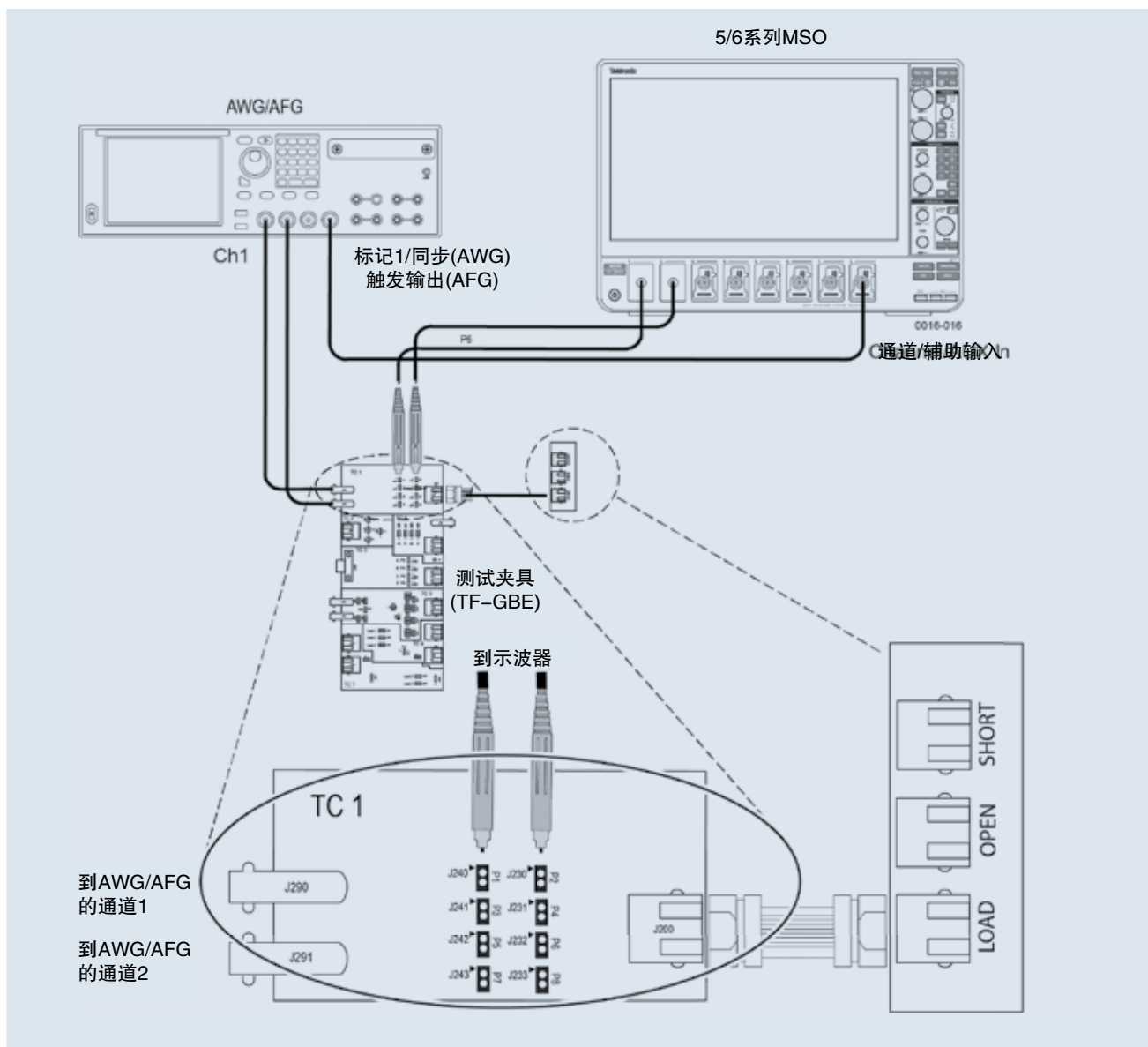


图 13：使用链路伙伴的回损测试设置。

执行 1000BASE-T 以太网测试

一般来说，测试过程需要四步：

- a. 调用示波器设置
- b. 执行测试及相关测量
- c. 导出结果和屏幕图
- d. 编制测试结果文档

对 1000BASE-T 测试，必需把 DUT 设置成特定测试模式，必需在测试夹具的特定测试点上探测信号。如果没有一种机制校验信号的有效性，那么任何人为错误都可能会导致结果不正确。

使用 TekExpress 以太网一致性测试软件执行测试

TekExpress 以太网自动化软件会从设置到执行再到报告引导您完成测试过程。图 14 是 TekExpress 以太网软件的 DUT 面板，其可以选择数据速率。

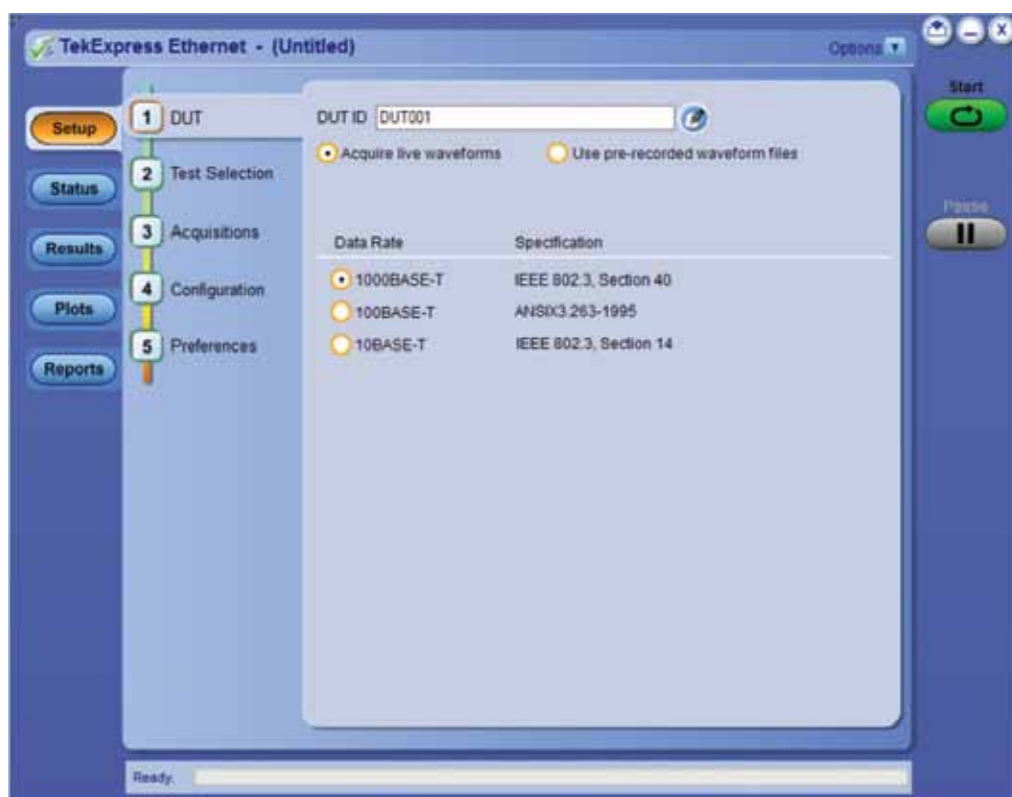


图 14：TekExpress 以太网 DUT 面板，可以选择数据速率。

TekExpress 以太网可以根据标准执行测试，包括把模板比例定为 0.95 和 1.05。用户界面采用逻辑测试工作流程，但可以灵活设置测试。图 15 是测试选择面板。通过点击“Select All”全选按钮，用户可以选择整个测试范围，然后按一个按钮即可运行测试。

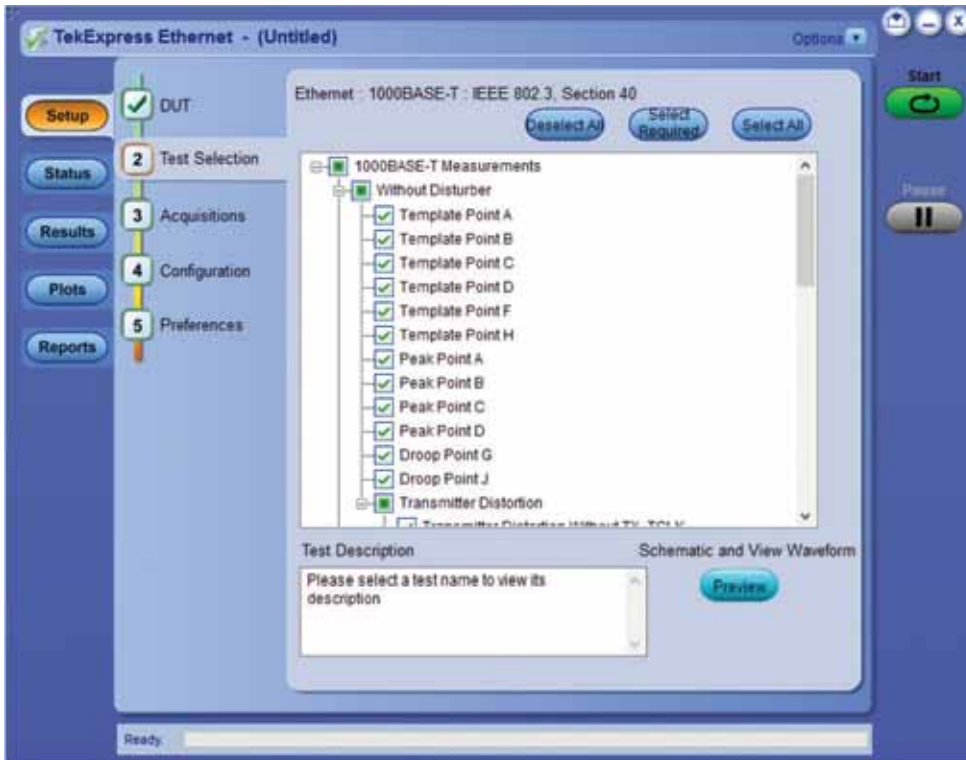


图 15：测试选择面板。‘Select All’ 全选选项优化了测试工作流程，使连接变动达到最小。

按 Start 开始按钮，开始进行测试。在执行所有测试后，应用会以 .MHT 格式提供报告，如图 16 所示，其中包括：

- 设置细节
- 测试摘要表
- 详细的测试结果，含规范极限、裕量、测试通过 / 未通过状态
- 波形图

在报告面板中选择报告文件类型，还可以用逗号分隔的变量 (CSV) 或 PDF 格式生成报告，比如在测试多个端口或执行统计分析、汇总结果时。.csv 格式可以在流行的工具（如 Microsoft Excel）中简便地进行文件管理，可以用公司特定的报告格式解析和定制测试报告。

TekExpress 以太网一致性测试软件把验证周期从几小时缩短到几分钟。

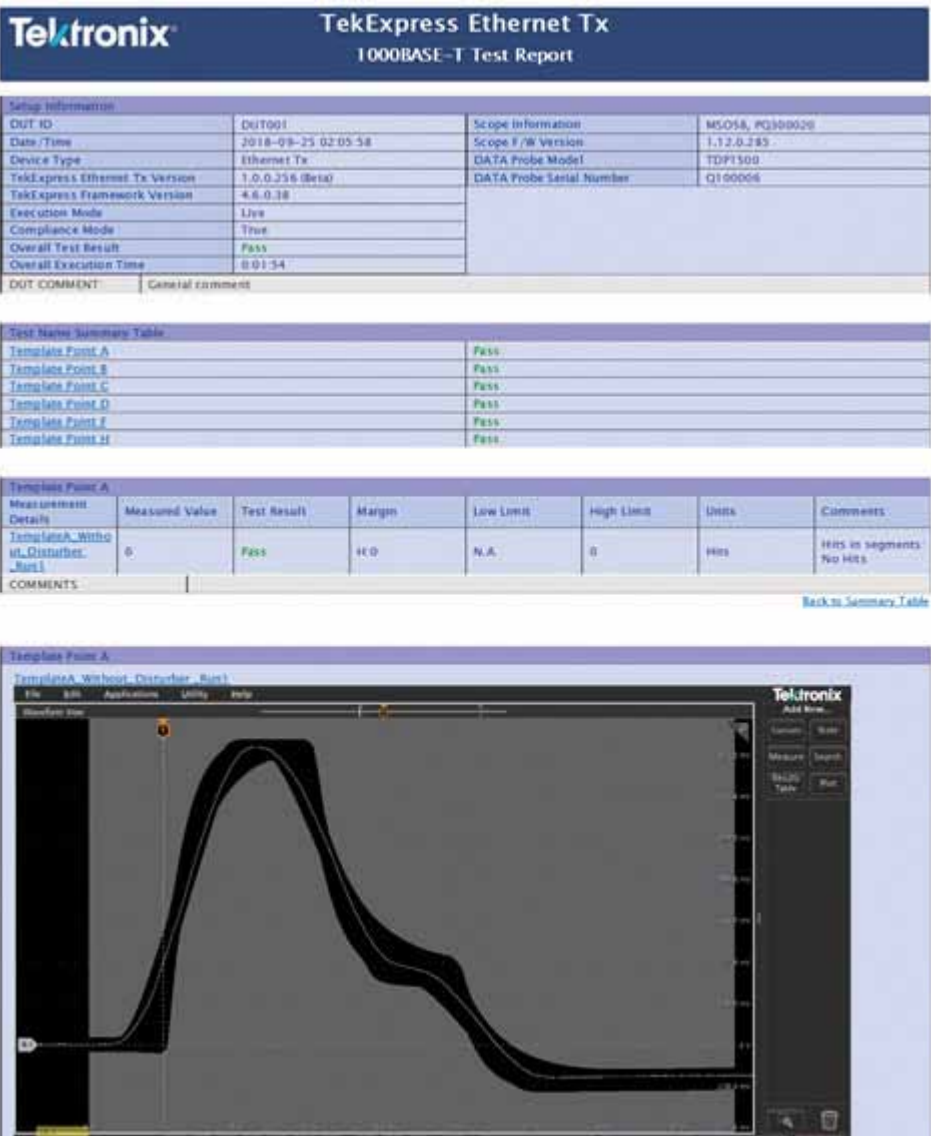


图 16: TekExpress 以太网测试报告样例。

为检验可重复性及帮助表征性能，新多轮测试功能方便进行重复测试，灵活的极限编辑器则可以测试设计超出规范极限的裕量。图 17 和图 18 显示了这些功能。

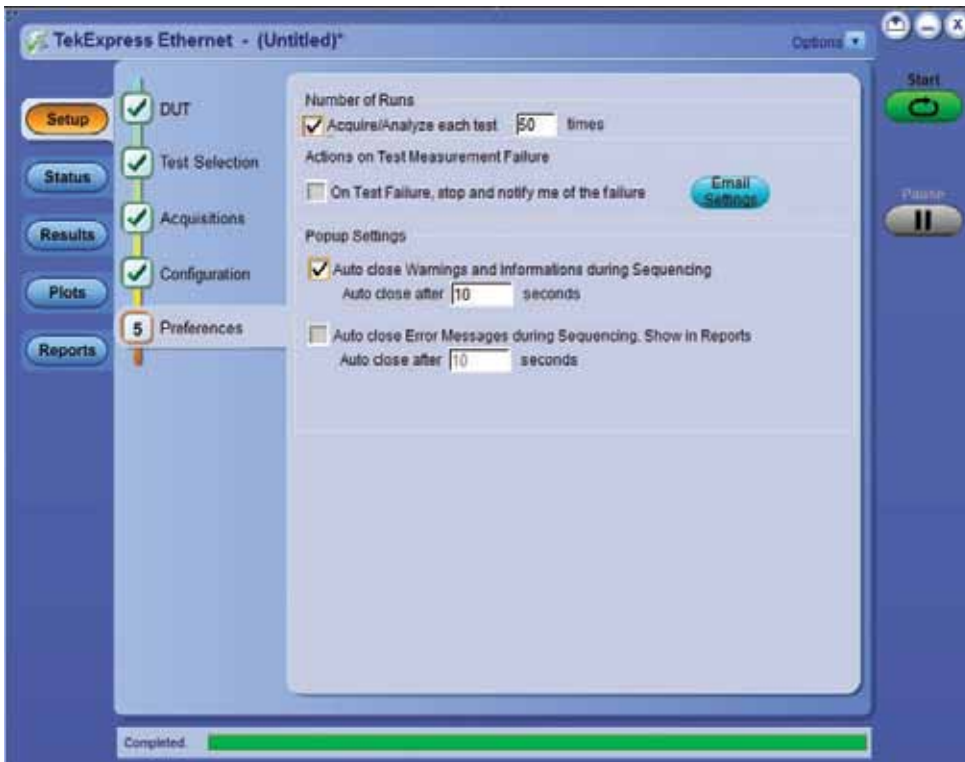


图 17. TekExpress 以太网多轮测试功能按指定的次数运行一项或一组测试，对所有各轮测试生成一份报告。

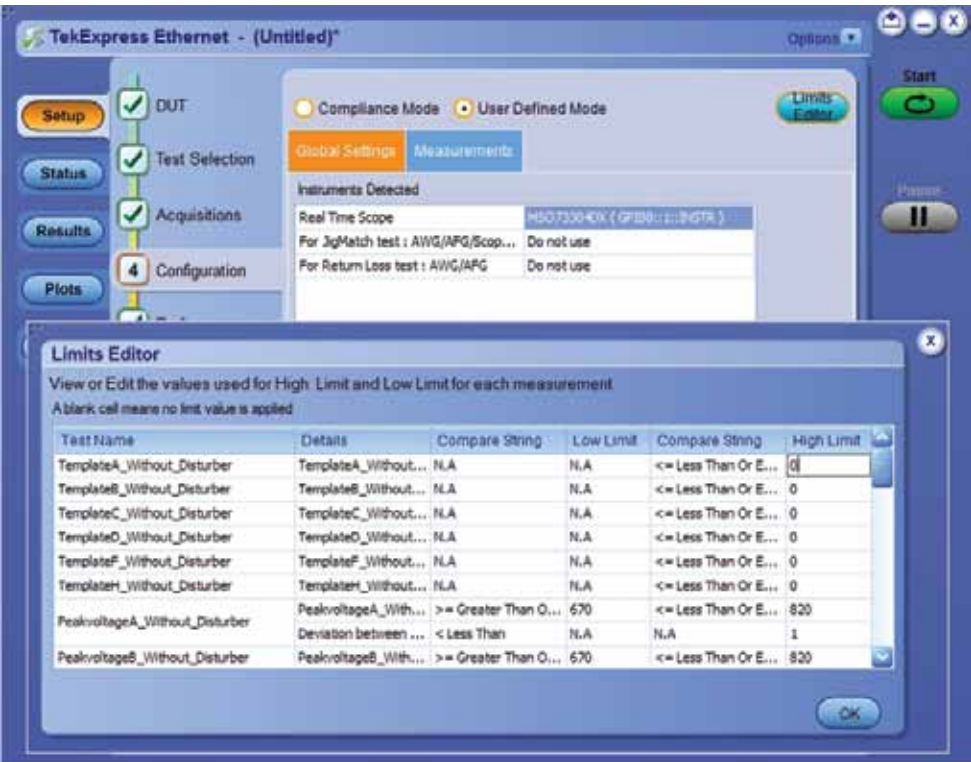


图 18. TekExpress 以太网极限编辑器可以在 1000BASE-T 规范范围外定义自己的极限。

小结

工程师设计或验证其产品中的 1000BASE-T 以太网时，需要迅速、可靠、高效地执行各种测试。

测试数量及多电平信号给测试工程师带来了多项挑战。紧张的裕量要求认真测量及全面了解导致错误的原因。

TekExpress 以太网自动测试软件迅速可靠地执行各种测试，明显改善了测试效率。创新的基于示波器的回损测量帮助降低设备要求，同时根据标准在 85、100 和 115Ω 阻抗下执行测试。



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) 2585 6688
传真：(852) 2598 6260

更多宝贵资源，敬请登录：WWW.TEK.COM.CN

© 年泰克科技版权所有，侵权必究。泰克产品受到美国和其他国家已经签发及正在申请的专利保护。本资料中的信息代替此前出版的所有材料中的信息。本文中的技术数据和价格如有变更，恕不另行通告。TEKTRONIX 和 TEK 是泰克科技公司的注册商标。本文中提到的所有其他商号均为各自公司的服务标志、商标或注册商标。

0919 DD 48C-61620-0

