

R&S 100BASE-TX 以太网一致性测试方案应用指南

相关产品:

- | | |
|-------------|------------|
| R&S®RTO2000 | R&S®RTP |
| R&S®ZNB | R&S®ZND |
| R&S®RTO-K22 | R&S®RT-ZF2 |

Ethernet 以太网是目前局域网最通用的通信协议标准。根据速率来分，常见的以太网包含 10M、100M、1000M 及 10G 等标准。R&S 目前可提供各以太网标准的一致性测试方案，包括 EEE 节能以太网的一致性测试。以太网一致性测试所需设备包括高性能示波器、矢量网络分析仪、标准测试夹具、探头及分析软件。本应用指南主要介绍 100BASE-TX 以太网一致性测试方案。

目录

1	100BASE-TX 以太网基础简介	3
2	100BASE-TX 以太网一致性测试项目	4
2.1	幅度测试	4
2.2	上升和下降时间测试	5
2.3	峰峰值占空比失真测试	5
2.4	峰峰值抖动测试	6
2.5	输出接口模板（眼图）测试	7
2.6	传输时钟频率测试	7
2.7	传输回损和接收回损测试	7
3	订购信息	9
3.1	以太网一致性测试分析软件 R&S ScopeSuite	9
3.2	以太网一致性测试夹具 RT-ZF2	10
3.3	100BASE-TX 控制发包	10

1 100BASE-TX 以太网基础简介

以太网诞生于 1973 年，是由 Xerox 公司创建的基带局域网规范。1983 年，以太网演变为 IEEE802.3 标准。以太网是在当前诸多电子设备中使用的通用设备接口，目前其速率包含有 10M、100M、1000M、2.5G、5G、10G 等。其中 10M、100M 和 1000M 以太网在局域网中是最常见的标准。

100M 以太网在嵌入式解决方案中是最为常见。100M 以太网又叫快速以太网（Fast Ethernet），其规范 100BASE-T（即 IEEE 802.3u）在 1995 年正式通过，是对 IEEE802.3 的补充。

100BASE-T 包含 4 个不同的物理层规范，100BASE-TX 是 100BASE-T 中使用最广的物理层规范。它使用两对 5 类非屏蔽双绞线或 1 类屏蔽双绞线，一对用于发送数据，另一对用于接收数据。编码采用 4B/5B 编码法，使其能够以 125MHz 的串行数据流来传送数据，并借助 MLT-3（三电平传输）波形来降低信号频率到 31.25Mbps。

另外，在 100Base-T 问世以后，在以太网连接器上可能出现的信号会是以下五种信号中的任意一种，包括 10BASE-T、10BASE-T 全双工、100BASE-TX、100BASE-TX 全双工或 100BASE-T4。为此，IEEE 推出了自动协商模式，它能使集线器和网卡知道线路另一端能有的速度，通过协商把速度调节到线路两端能达到的最高速度。这种技术避免了由于信号不兼容可能造成的网络故障。同时具有这种特性的设备仍允许人工选择可能的模式。

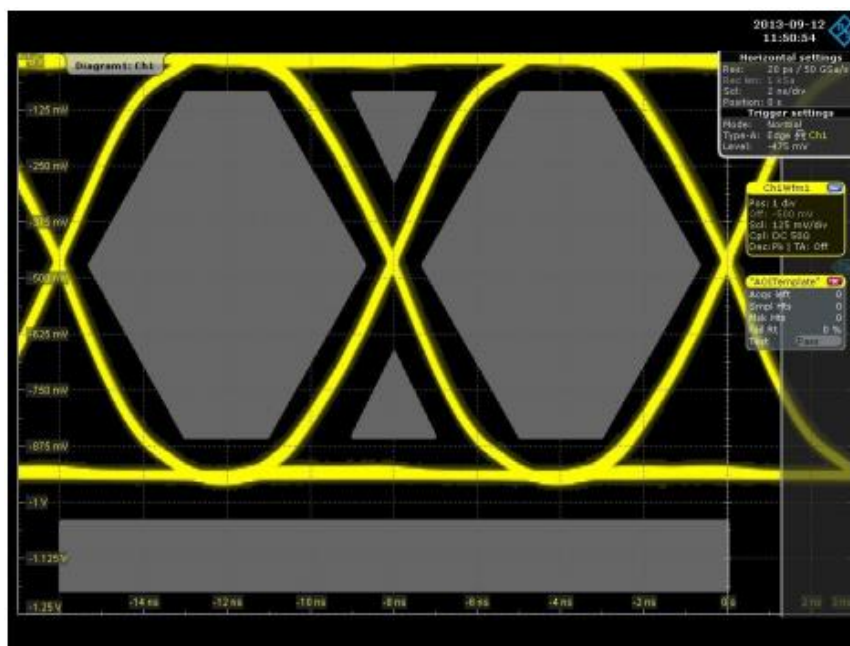


图 1 典型的以太网 100BASE-TX 眼图

2 100BASE-TX 以太网一致性测试项目

以太网一致性测试是由 IEEE 和 ANSI 标准规定。相较于 USB，以太网并没有官方组织来为一致性测试结果进行认证并颁发认证证书。但在以太网设备的开发过程中进行以太网一致性测试仍然是很常见的，它是设备间互操作性的保证。

100BASE-TX 的一致性测试一般包含以下项目：幅度测试、时域测试、抖动测试和眼图模板测试等项目。

2.1 幅度测试

幅度测试主要依据 ANSI X3.263 标准的 9.1.2.2, 9.1.3 和 9.1.4 要求的一致性限制规范对被测件 (DUT) 的差分电压、波形过冲和幅度对称性进行测试评估。

差分输出电压：此项需要测量以太网差分输出波形的正脉冲和负脉冲的平均幅值。该项测量是在一个平均之后的波形上进行的。标准定义电压幅值的限值在 950mV 到 1050mV 之间；

信号幅度对称性：计算平均正幅值和负幅值的比值。标准要求这个比值应该在 0.98 到 1.02 之间；

波形过冲：过冲测量需要在正脉冲和负脉冲中分别进行。过冲需要小于平均差分输出电压的 5%。

在这些项目的测试中，被测设备须发出包含 12 或 14 比特宽度的波形信号，如下图 2 所示。该波形每个电平所持续宽度为 14 比特位 ($14\text{bit} \times 8\text{ns/bit} = 112\text{ns}$)，波形幅度峰峰值约 2 倍的 V_{out} 。

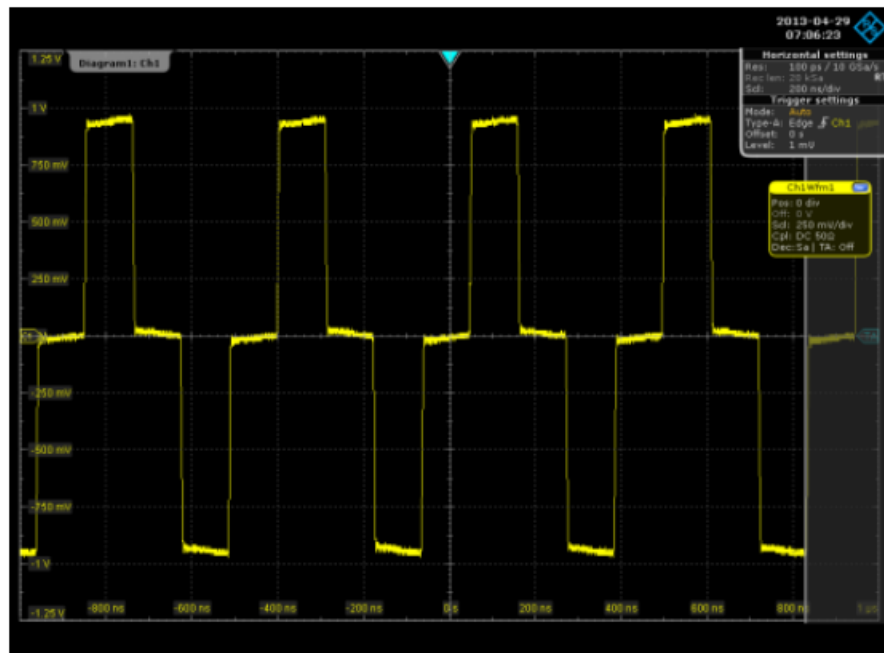


图 2 进行幅度和上升下降时间项目测试所需的波形

2.2 上升和下降时间测试

上升和下降时间测试主要依据 ANSI X3.263 标准中的 9.1.6 部分对 DUT 的相应时间进行验证。

上升时间：标准要求上升时间在 3ns 和 5ns 之间；

下降时间：标准要求下降时间在 3ns 和 5ns 之间；

上升和下降时间的最大差值：标准要求最大的差别要小于 500ps。

此测试中，要求使用的波形与前面幅度测试要求中的一致，如上图 2 所示。

2.3 峰峰值占空比失真测试

峰峰值占空比失真测试验证依据 ANSI X3.263 标准的 9.1.8 部分的限值进行。这个测试要求对所抓取的平均波形进行 $V_{out}/2$ 电压处的时间进行测量，如下图 3 所示：

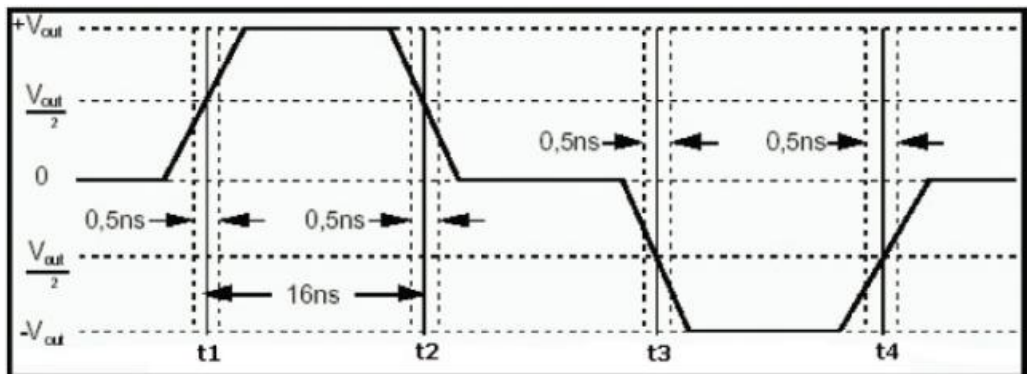


图 3 占空比失真测试

按以下公式计算波形的峰峰值占空比失真：

计算 T_x 值：

$$T1 = t2 - t1 - 16ns$$

$$T2 = t3 - t2 - 16ns$$

$$T3 = t4 - t3 - 16ns$$

$$T4 = t3 - t1 - 32ns$$

$$T5 = t4 - t2 - 32ns$$

$$T6 = t4 - t1 - 48ns$$

峰峰值占空比失真 = $\text{Max}(T1、T2、T3、T4、T5、T6)$ 。

标准要求最大的峰峰值占空比失真要小于 500ps。为了完成该项测试，要求被测件发出包含三电平编码的类时钟波形，如下图 4 所示：

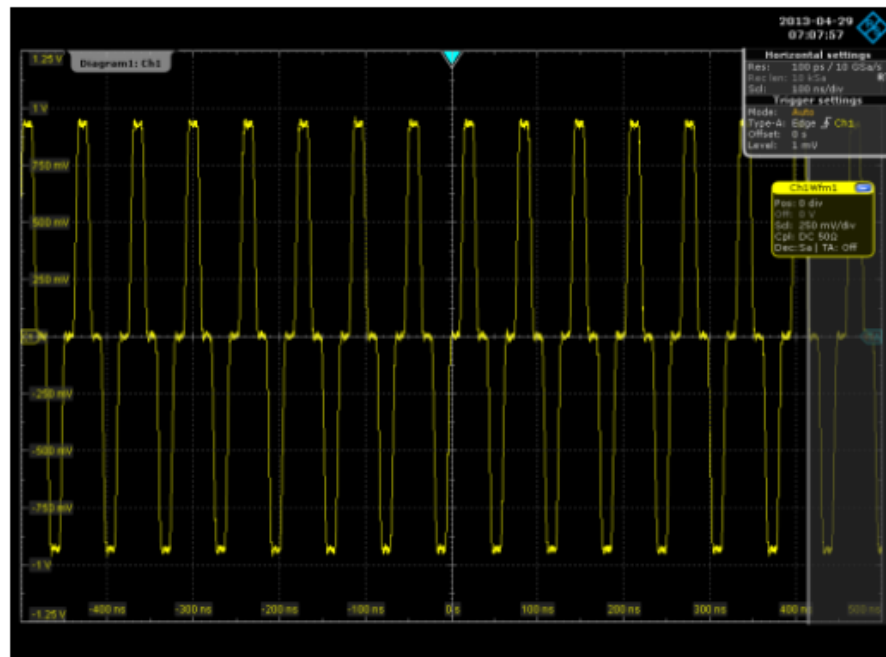


图 4 进行峰峰值占空比失真项目测试所需的波形

2.4 峰峰值抖动测试

峰峰值抖动测试是基于 ANSI X3.263 标准的 9.1.9 部分的限值进行总抖动的测试。这项测试主要是对因占空比失真及基线漂移所引起的总传输抖动进行测量。测量时须在波形交叉点建立分布直方图并进行累加统计。峰峰值抖动从直方图尾部的最小和最大抖动值中推倒出来的。由于波形是一个三电平信号，因此抖动需要在上半部和下半部的电压交叉点均进行测量。

标准定义了最大的抖动值不得超过 1.4ns。为了完成该项测试，要求被测件发出使用 MLT-3 编码的空闲模式波形 (Idle Pattern Waveform)，如下图 5 所示。实际情况中，空闲模式波形中同样包含前面所提到的两种特征波形，通过示波器设置适当的触发方式也能够从中抓取特定波形用于测量分析。

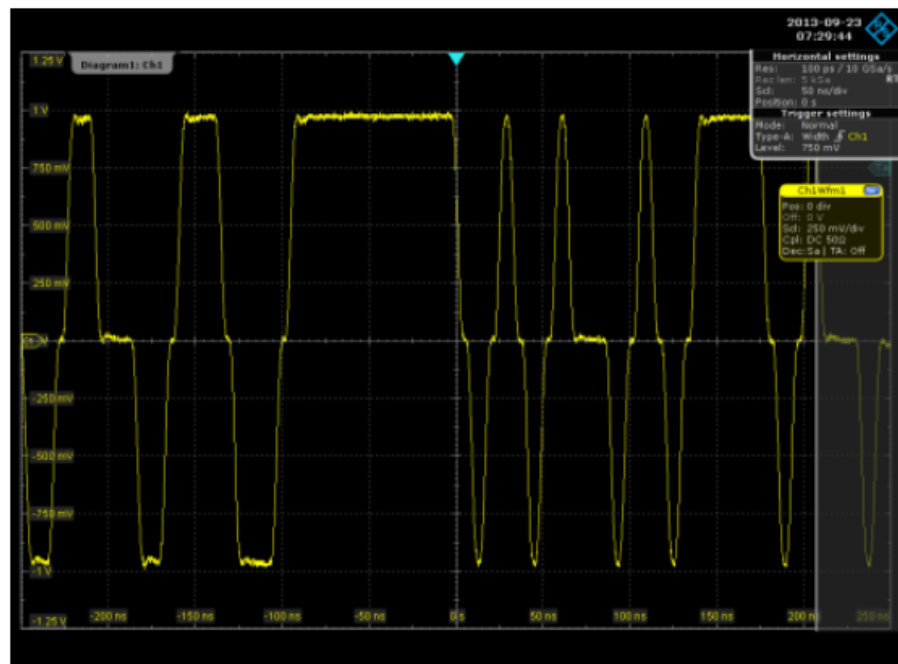


图 5 MLT-3 编码的空闲模式波形 (Idle Pattern Waveform)

2.5 输出接口模板 (眼图) 测试

输出接口模板测试用于验证传输的信号满足工业标准里面的各类项目，如抖动、过冲、上升时间和下降时间等。在标准 ANSI X3.263 里面的附件 J 中定义了该模板并同时声明了 5% 的模板几何公差。

此项测试中，软件需要控制模板并尝试找到对以太网眼图波形的最佳匹配。如有任何模板违规事件发生，则该次测试失败。眼图模板测试会对正向和负向波形分别进行匹配测试。典型的以太网眼图测试如图 1 所示。

为了完成该项测试，同样要求被测件发出使用 MLT-3 编码的空闲模式波形，如上图 5 所示。

2.6 传输时钟频率测试

根据规范要求，100BASE-TX 传输时钟频率在 $125\text{MHz} \pm 0.005\%$ 。示波器捕获波形后，通过软件 PLL 原理恢复出传输时钟，然后与标准限值作比对。

2.7 传输回损和接收回损测试

需要使用矢量网络分析仪对以太网端口进行 S11 参数测试，ANSI X3.263-1995 的 9.1.5 和 9.2.2 章节规定了传输回损与接收回损的测试限值。如图 6，为传输回损限值：

Greater than 16 dB from 2 MHz to 30 MHz

Greater than $(16 - 20 \log(f / 30 \text{ MHz}))$ dB from 30 MHz to 60 MHz

Greater than 10 dB from 60 MHz to 80 MHz

图 6 传输回损限值要求

为了完成该项测试，要求被测件发出 MLT-3 编码的空闲模式波形。测量软件控制矢网在 2-80MHz 范围内进行 S11 测量并与标准对比对。

3 订购信息

R&S 100BASE-TX 以太网一致性分析方案具备高度自动化的测试控制流程，以直观的图片形式引导客户完成各项测试设置及操作，最后自动生成测试报告。其具体配置包括：

型号	说明	数量
RTO20XX	600MHz 以上带宽 RTO2000 示波器	1
RTO-K22	10/100/1000M 以太网一致性分析选件	1
RT-ZD10	1.0GHz 带宽有源差分探头	1
ZND (带 ZV-Z135(阴校准件、2 根 ZV-Z192 线缆)	矢量网络分析仪及附件	1
R&S ScopeSuite	一致性分析软件，R&S 官网免费下载	1
RT-ZF2	10/100/1000M 以太网一致性测试夹具	1
发包工具	咨询芯片供应商提供	1



图 6 RTO2000 高性能数字示波器

3.1 以太网一致性测试分析软件 R&S ScopeSuite

R&S ScopeSuite 软件完全依据 IEEE802.3 和 ANSI 规范提供自动化以太网一致性测试解决方案。以太网一致性测试分析软件可控制示波器自动完成测试，图示化操作指导简化了测量过程，灵活配置的测试报告记录整个测量结果，包括测试数值结果及示波器屏幕截图。

该软件依据 IEEE 标准，针对示波器捕获的波形进行全方位的分析与验证，并对测试结果给出通过与否的测试判断。

3.2 以太网一致性测试夹具 RT-ZF2

高速总线一致性测试中，一般都需要提供合适的夹具来连接 DUT 和示波器。测试夹具能够根据规范要求布置电路和阻抗匹配，为 DUT 提供合适的连接接口，同时也为示波器探头提供合适的探测点。

R&S RT-ZF2 以太网一致性测试夹具可同时支持 10/100/1000Base-T 和 10GBase-T 以太网标准的测试夹具，可为将来测试需求节省成本。RT-ZF2 每个测试功能模块均提供清晰描述，方便工程师测试时区分选用。

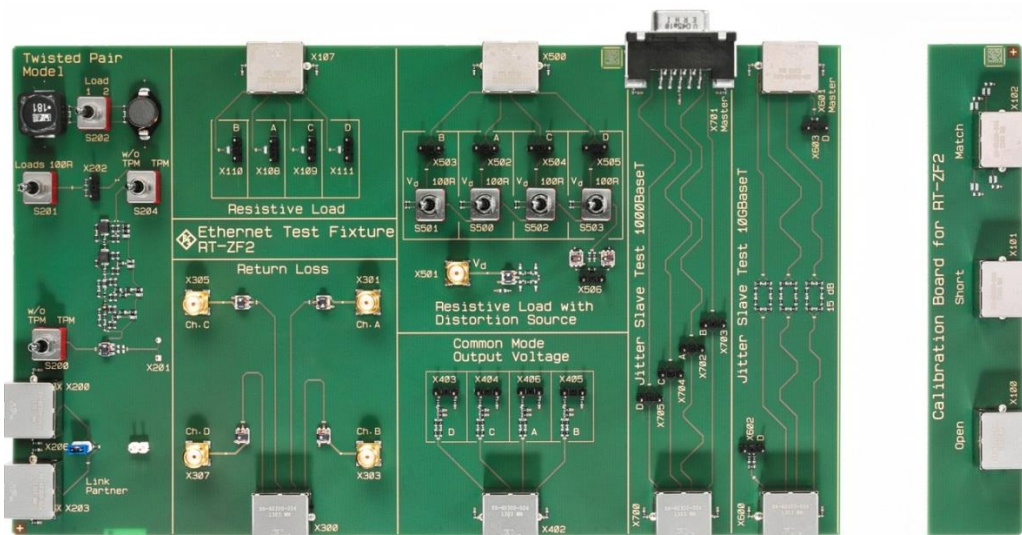


图 7 R&S RT-ZF2 以太网一致性测试夹具

3.3 100BASE-TX 控制发包

在对 100BASE-TX 以太网进行一致性测试时，IEEE802.3 规范对各项测试波形有明确要求。要求 DUT 根据被测项目提供对应的波形以供测试。发包工具就是让 DUT 根据要求发出特定测试包的软件。

对于各类主流的网卡芯片，可以通过修改相关寄存器或使用芯片厂商提供的发包工具控制发包，来控制 DUT 发出对应的波形进行测试。需要进入 100Mbps 测试菜单（IEEE 100Mbps Test Menu）根据测试项所对应的标准编号，选择相应的波形模式，测试完毕退出即可。

以上发包控制为主动发包方式，主动发包具有直观的操作界面，但其应用对象具有明显的局限性。当 DUT 无法运行 DOS 或这 windows 系统时，则无法控制发包。这时则需要使用诱导发包的方法引导 DUT 发出空闲 IDLE 模式波形后进行测试。

诱导发包利用的是 100BASE-TX 的自协商模式，它需要一台 Link Partner（连接伴侣）。首先将 Link partner 的网卡配置为百兆全/半双工，或主动发送 100M 空闲模式波形，然后将配置好的以太网口的 1、2 发送线连到 DUT 的 3、6 接收线。当 DUT 接收到 100M 空闲模式波形后会返回同样的波形，此时将 DUT 的 1、2 发送线通过 RT-ZF2 夹具和探头连接到示波器中进行采集即可，连接配置图如图 8 所示。

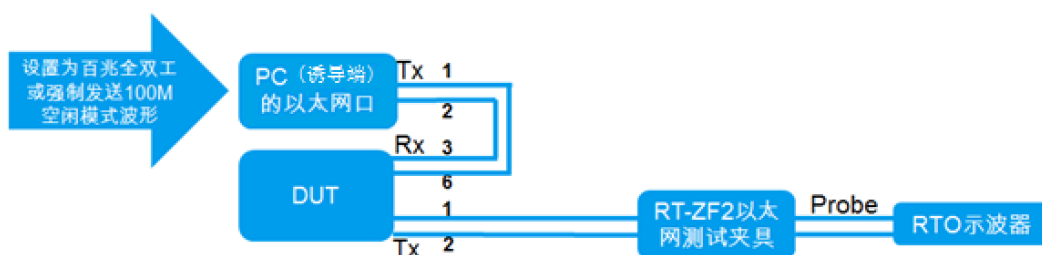


图 8、百兆以太网诱导发包连接设置图

为实现 Link Partner 诱导发包，我们可对以太网测试夹具 RT-ZF2 进行相应设置。这里需要对 RT-ZF2 的“Twisted Pair Model”模块（如图 9）做如下配置来实现以上图 8 的连接。

- 1、连接 DUT 到 X200
- 2、将 PC 或示波器网口接到 X203
- 3、去掉 X206 上的跳线针
- 4、S201 打到 100R 档
- 5、S204 打到“w/o TPM”档
- 6、S200 打到“w/o TPM”档
- 7、连接差分探头到 X202 (差分正朝上)
- 8、设置主控 PC 为百兆全双工 (100Mbps Full Duplex)或强制发送空闲模式波形 IEEE 9.1.5 或 9.1.9 (Idle Pattern Waveform)
- 9、打开 Scope Suite 上的 100Base-Tx 测试，根据软件提示设置并运行即可。

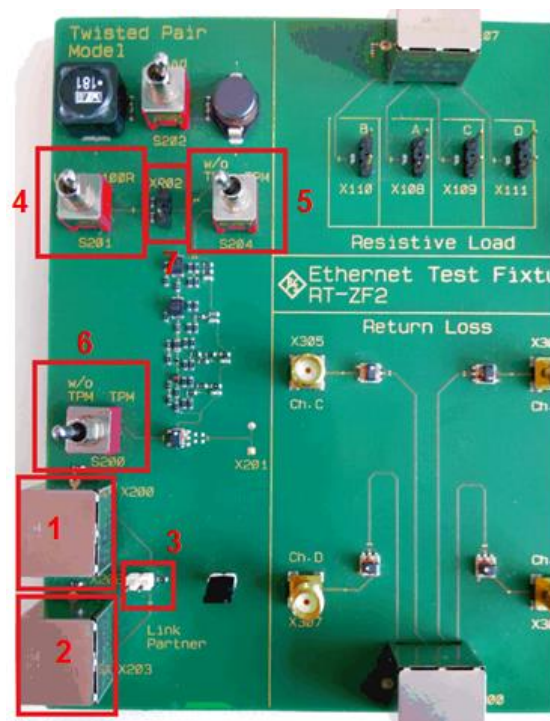


图 9 RT-ZF2 “Twisted Pair Model”模块

当连接设置成功后，通过示波器屏幕我们能够轻松观察到由 DUT 返回的波形，如图 10。该波形包含了 100BASE-TX 测试所需的所有波形。测试中，ScopeSuite 分析软件会控制 RTO 示波器自动设置合适的触发方式将波形抓取并进行相应的分析。

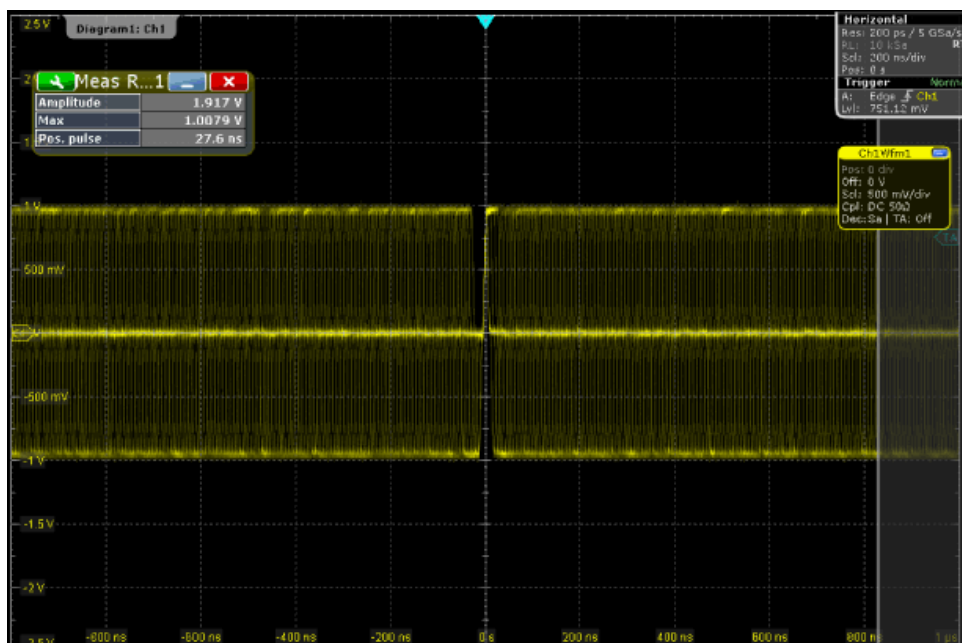


图 10 DUT 被诱导返回的扰码波形

在 ScopeSuite 中，可设置测试码型的产生方式，是通过 Link Partner 的诱导发包还是通过 DUT software 的主动发包，见下图：

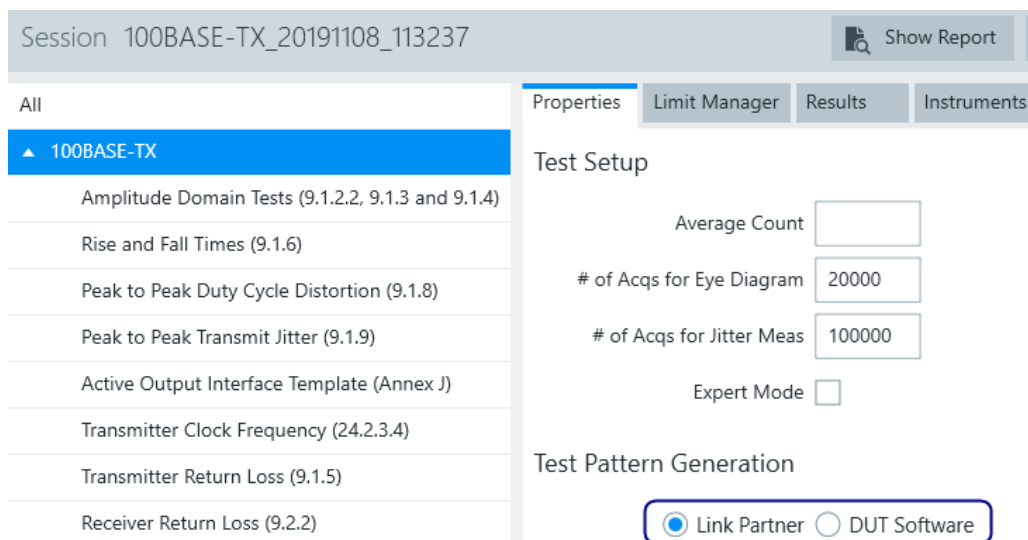


图 11 测试码型产生方式设置

About Rohde & Schwarz

Rohde & Schwarz is an independent group of companies specializing in electronics. It is a leading supplier of solutions in the fields of test and measurement, broadcasting, radiomonitoring and radiolocation, as well as secure communications. Established 75 years ago, Rohde & Schwarz has a global presence and a dedicated service network in over 70 countries. Company headquarters are in Munich, Germany.

Environmental commitment

- Energy-efficient products
- Continuous improvement in environmental sustainability
- ISO 14001-certified environmental management system



支持热线:

中国大陆:

800 810 8228-1

Customersupport.china@rohde-schwarz.com

USA & Canada

USA: 1-888-TEST-RSA (1-888-837-8772)

from outside USA: +1 410 910 7800

CustomerSupport@rohde-schwarz.com

East Asia

+65 65 13 04 88

CustomerSupport@rohde-schwarz.com

Rest of the World

+49 89 4129 137 74

CustomerSupport@rohde-schwarz.com

Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG

Mühlhofstraße 15 | D - 81671 München

Phone + 49 89 4129 - 0 | Fax + 49 89 4129 - 13777

www.rohde-schwarz.com

罗德与施瓦茨中国有限公司 北京 上海 深圳 广州 成都 西安

支持热线:

800 810 8228

400 650 5896

www.rohde-schwarz.com.cn