

# R&S 1000BASE-T 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
R&S®RT-ZF2C	R&S®RTO-B6
R&S®RT-ZD10	R&S®RT-ZS10

**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 1000BASE-T 以太网一致性测试方案。

# 目录

<b>1</b>	<b>1000BASE-T 以太网基础简介</b> .....	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>1000BASE-T 以太网一致性测试项目</b> .....	<b>5</b>
2.1	传输失真 .....	5
2.2	峰值输出电压 .....	5
2.3	最大输出衰落 .....	6
2.4	差分输出模板 .....	6
2.5	主模式抖动和传输时钟频率 .....	8
2.6	从模式抖动 .....	9
2.7	MDI 回损 .....	9
2.8	共模输出电压 .....	10
<b>3</b>	<b>订购信息</b> .....	<b>11</b>
3.1	以太网一致性测试分析软件 R&S ScopeSuite .....	11
3.2	以太网一致性测试夹具 RT-ZF2 .....	12
3.3	1000BASE-T 控制发包 .....	13

# 1 1000BASE-T 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，其对应的 IEEE 标准规范如下图 1 所示：

Standard	Common Name	Data Rate	Cabling	Max Length
10Base-T (802.3i)	Ethernet	10 Mb/s	2 twisted pairs, 100 ohms, Category 3 or higher, RJ-45 connectors	100 m
100Base-TX (802.3u/ANSI X3.263-1995)	Fast Ethernet	100 Mb/s	2 twisted pairs, 100 ohms, Category 3 or 5 ("Cat-5"), RJ-45 connectors	100 m
1000Base-T (802.3ab)	Gigabit Ethernet	4 x 250 Mb/s	4 twisted pairs, 100 ohms, Category 5, RJ-45 connectors	100 m

图 1 10/100/1000M 以太网对应的 IEEE 标准

1000M 以太网可提供 1000Mbps 原始数据的传输速率。根据不同的传输媒质，1000M 以太网有四种传输介质标准，分别是 1000BASE-LX（单/多模光纤）、1000BASE-SX（多模光纤）、1000BASE-CX（平衡屏蔽铜缆）和 1000BASE-T（非屏蔽双绞线）。其中，1000BASE-T 是目前应用最为广泛的千兆以太网标准。

IEEE 于 1999 年 6 月正式批准了基于 1000BASE-T 的 IEEE802.3ab 标准。它可支持在符合 ANSI/TIA/EIA-568A（1995）标准的 5 类双绞线上运行千兆以太网。1000BASE-T 采用 4 对 5 类双绞线完成 1000Mbps 的数据传送，每一对双绞线传送 250Mbps 的数据流，它规定在 5 类线上的传输距离最远可达 100 米。

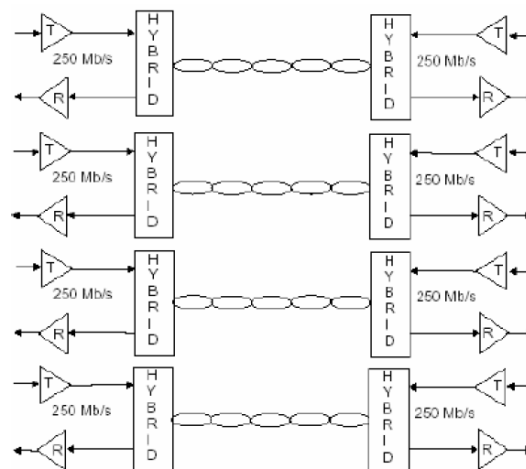


Figure 40-2—1000BASE-T topology

图 2 1000BASE-T 拓扑

1000BASE-T 的 4 对双绞线使用全双工运行，网络设备需要串扰/回声消除技术，超 5 类及更高的布线系统都可以支持 4 级编码（4D-PAM5）。编码使每个信号电平代表 2 比特原始数据，因此，1000BASE-T 的符号速率为 125MBps，与 100BASE-TX 符号速率相同。1000BASE-T 编码后的 Baud 符号“+2、+1、0、-1、-2”分别对应实际电平为 -1V、-0.5V、0V、0.5V、1V，眼图如图 3 所示。

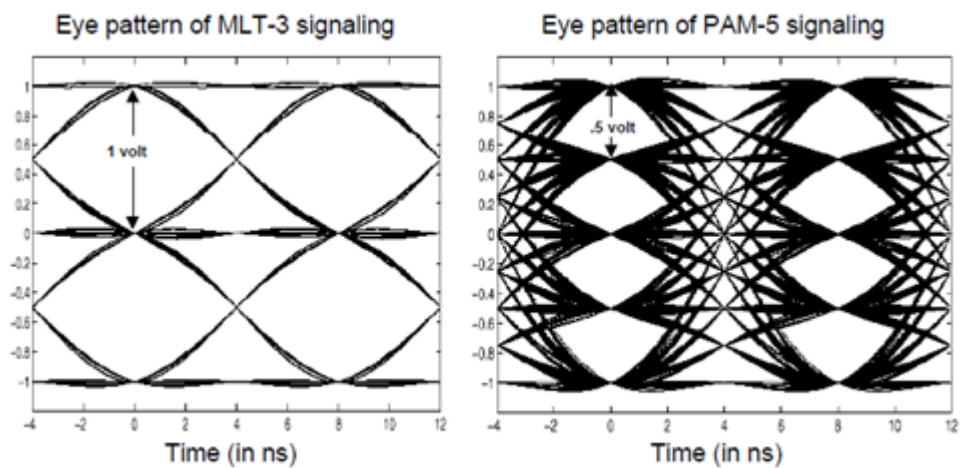


图 3 100BASE-TX 与 1000BASE-T 信号眼图

## 2 1000BASE-T 以太网一致性测试项目

1000BASE-T 以太网一致性测试用于验证待测件是否满足 IEEE802.3ab 标准所规定的 PMA 电气特性。在以太网设备的开发过程中进行以太网一致性测试是很常见的，它是设备间互操作性能的保证。

1000BASE-T 一致性测试一般包含以下项目：模板测试、峰值电压、输出衰落、传输失真、MDI 回损、MDI 共模电压和抖动测试等项目。

### 2.1 传输失真

传输失真测试主要依据 IEEE802.3ab 规范的 40.6.1.2.4 章节要求的范围对被测件 (DUT) 在 with/without DUT TX\_CLK 和 with/without 信号干扰情况下的传输峰值失真进行测试。当进行干扰下的传输失真测试时，需要注入 5.4V、20.833MHz 的正弦波干扰。

进行传输失真测试需要将待测件设置为测试模式 4，示波器捕获波形后，针对每个符号以 TX\_CLK 频率进行任意相位采样，规范要求至少在 60% 的 UI 眼宽范围内的采样值的峰值失真应小于 10mV。

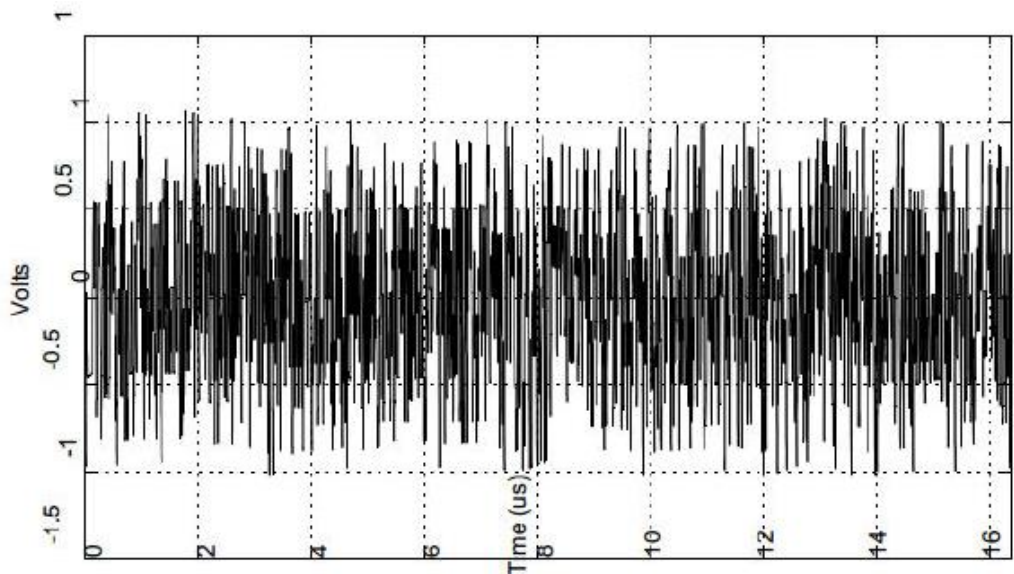


图 4 测试模式 4 波形

### 2.2 峰值输出电压

峰值输出电压用于验证在 with/without 干扰信号情况下，DUT 输出的信号电平是否在 IEEE802.3ab 规范的 40.6.1.2.1 章节要求范围之内，该测试需要测试 1000BASE-T 的所有 4 对双绞线。在进行干扰信号测试时，需注入 2.8V、31.25MHz 的正弦波信号。

峰值输出电压测试需要 DUT 发出测试模式 1 波形，如下图：

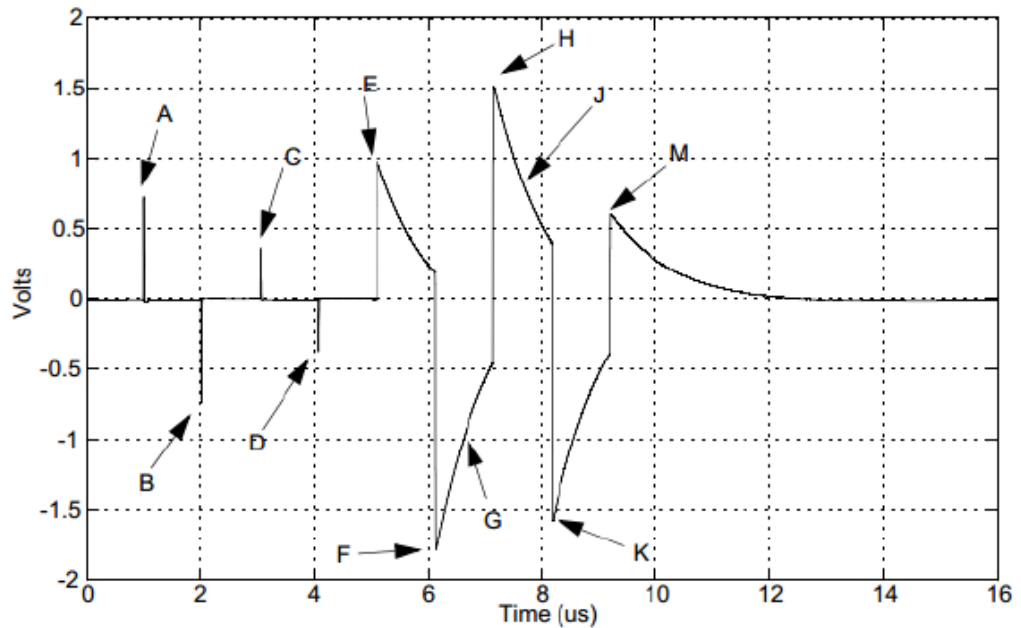


图 5 测试模式 1 波形

该项测试的通过准则为：A、B 点电压绝对值应在 0.67V-0.82V ( $0.75V \pm 0.83dB$ ) 之间，A、B 点电压绝对值与 A、B 点电压绝对值平均值的误差小于 1%，C、D 点电压绝对值与 A、B 点电压绝对值的一半的误差小于 2%。

## 2.3 最大输出衰落

最大输出衰落测试用于验证输出信号在 with/without 干扰信号的情况下的衰落速度是否在 IEEE802.3ab 的 40.6.1.2.2 章节规定的范围之内。在干扰信号情况下，需要注入 2.8V、31.25MHz 的正弦波干扰。

最大输出衰落测试需要 DUT 发出测试模式 1 波形，如图 5 所示。示波器需要完成两项测试：

- 1、F 点与 G 点的电压比值。其中，F 点为波形最小电压处的点，G 点在 F 点之后 500ns 处。
- 2、H 点与 J 点的电压比值，其中，H 点为波形最大电压处的点，J 点在 H 点之后 500ns 处。

该项测试的通过准则是：G 点电压幅度应大于 F 点幅度的 73.1%，J 点电压幅度应大于 H 点幅度的 73.1%。

## 2.4 差分输出模板

差分输出模板测试用于验证待测件输出信号在 with/without 干扰信号的情况下，是否在 IEEE802.3ab 的 40.6.1.2.3 章节所规定的时域传输模板范围之内。在干扰信号情况下，需注入 2.8V、31.25MHz 的正弦信号。

差分输出模板测试需要 DUT 发出测试模式 1 波形，如图 5 所示。测试规范要求 A、B、C、D 四点的归一化波形需满足差分输出模板 1（图 6 所示）。

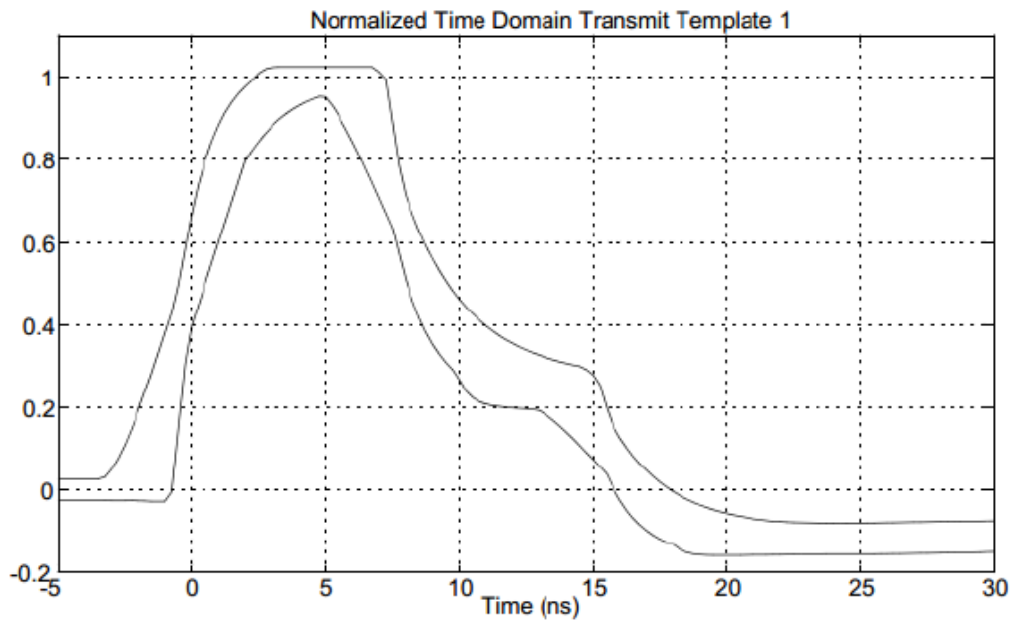


图 6 差分输出模板 1

A、B、C、D 四点的归一化方式如下图 7 所示：

Point of test mode1 signal	Normalized by dividing by
Point A	Peak voltage at A
Point B	Negative of the peak voltage at A
Point C	1/2 the peak voltage at A
Point D	Negative of 1/2 the peak voltage at A

图 7 A、B、C、D 点的归一化

同时，F、H 点的归一化波形需满足图 8 所示的时域模板 2：

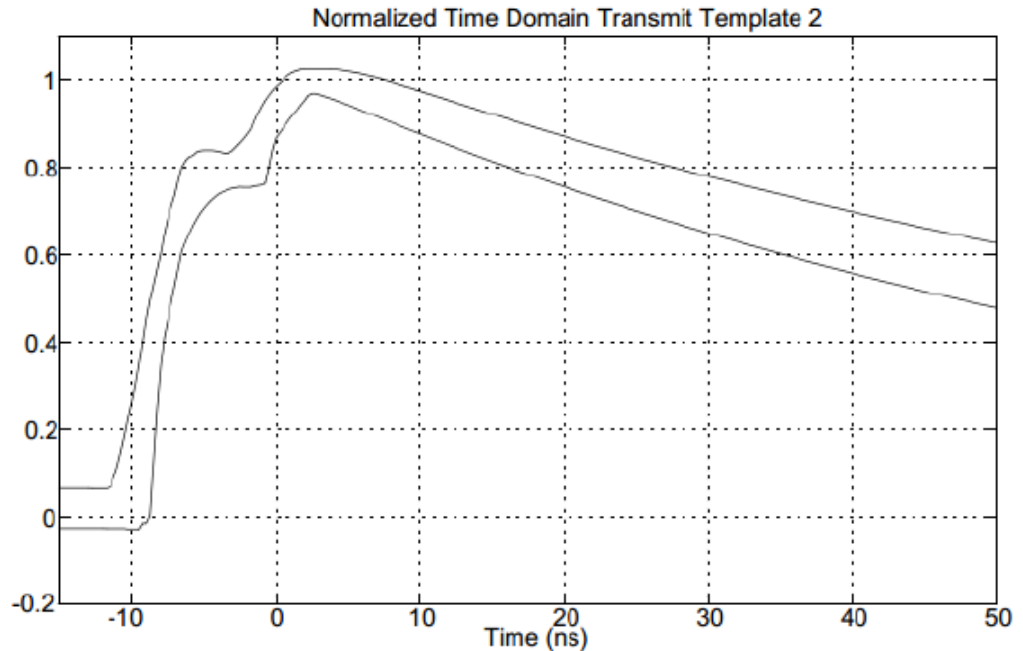


图 8 差分输出模板 2

F、H 点的归一化方式如下图 9 所示：

Point of test mode1 signal	Normalized by dividing by
Point F	Peak voltage at F
Point H	Peak voltage at H

图 9 F、H 点的归一化

## 2.5 主模式抖动和传输时钟频率

主模式抖动测试用于验证 DUT (Master Mode) 在 with/without TX\_CLK 的情况下的抖动范围是否在 IEEE802.3ab 的 40.6.1.2.5 章节规定范围之内。为了完成该项测试，需 DUT 发出测试模式 2 或模式 3 波形，如图 10 所示。

首先定义差分信号输出过零点与 TX\_CLK 相应边沿之间的峰峰抖动为 Jtxout。在 with TX\_CLK 情况下，TX\_CLK 相对于理想时钟参考之间的峰峰抖动应小于 1.4ns。当该抖动波形经过 5KHz 高通滤波，滤波后的峰峰抖动加上 Jtxout 应小于 0.3ns。该高通滤波器应满足以下传递函数 H<sub>jf1</sub>：

$$H_{jf1}(f) = \frac{jf}{jf + 5000} \quad f \text{ in Hz}$$

传输时钟频率测试准则：频率在 125MHz±0.01%范围之内。



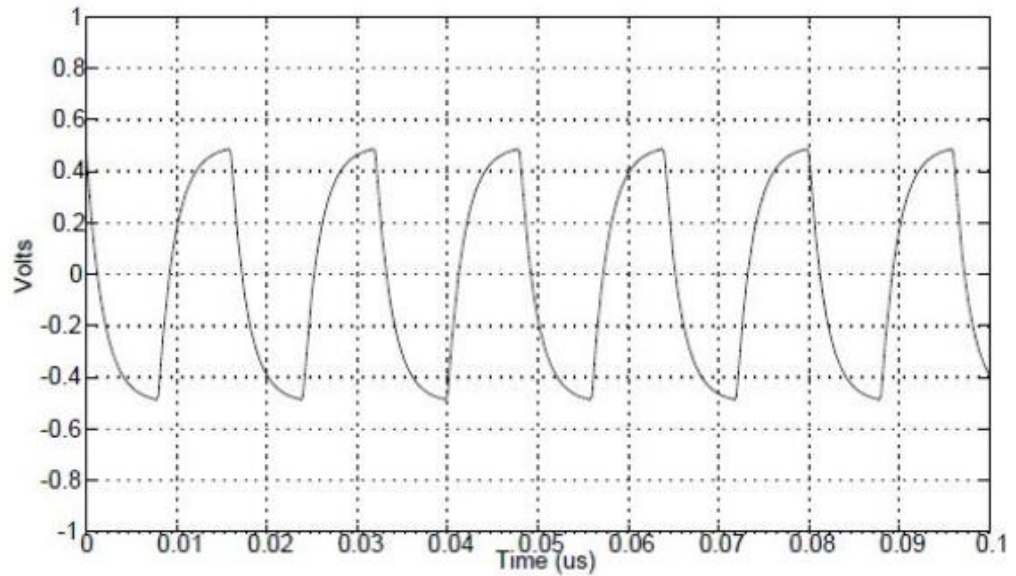


图 10 测试模式 2 波形

## 2.6 从模式抖动

从模式抖动测试用于验证 DUT (Slave Mode) 在 with/without TX\_CLK 的情况下的抖动范围是否在 IEEE802.3ab 的 40.6.1.2.5 章节规定范围之内。为了完成该项测试，DUT 需发出测试模式 2 和测试模式 3 波形，如图 10 所示。

当 DUT 处于 Slave Mode 下，Slave TX\_CLK 相对于 Master TX\_CLK 的峰峰抖动应小于 1.4ns，当该抖动波形经过 32KHz 高通滤波，滤波后的峰峰抖动加上 Jtxout 应小于 0.4ns，并大于经过 H<sub>jf1</sub> 滤波的 Master 抖动峰峰值。该高通滤波器应满足以下传递函数 H<sub>jf2</sub>：

$$H_{jf2}(f) = \frac{jf}{jf + 32000} \quad f \text{ in Hz}$$

## 2.7 MDI 回损

MDI 回损用于验证 DUT 的传输回损在 1MHz-100MHz 范围内是否超过 IEEE802.3ab 40.8.3.1 规范要求的限制。该测试需要使用矢量网络分析仪对以太网端口进行 S<sub>11</sub> 参数测试。

为了完成该项测试，要求 DUT 发出测试模式 4 波形。规范要求 1MHz-40MHz 范围内，回损至少 16dB，40MHz-100MHz 范围内回损应至少为 10-20lg(f/80)。

## 2.8 共模输出电压

共模输出电压测试用于验证 DUT 传输对的共模电压是否小于规范要求的 50mV。按照规范要求，共模输出电压测试需在下图所示匹配夹具电路进行测试：

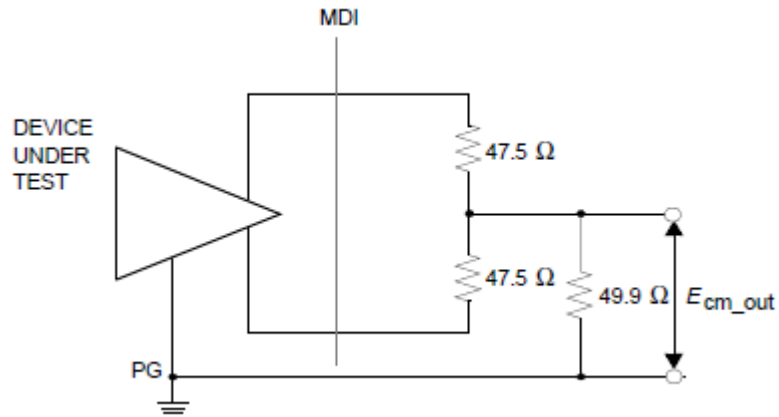


图 11 共模输出电压测试电路

为了完成该项测试，要求 DUT 发出测试模式 4 波形。示波器捕获波形并测量波形的最大最小值，其最大绝对值作为峰值共模电压，并与标准最比对。

## 3 订购信息

R&S 1000BASE-T 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-B6	100MHz 双通道任意波形发生器选件，用于干扰测试	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
RT-ZS10	1.0GHz 带宽有源单端探头	2
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
RT-ZF2C	抖动测试线缆	1
发包工具	咨询芯片供应商提供	1



图 12 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 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。

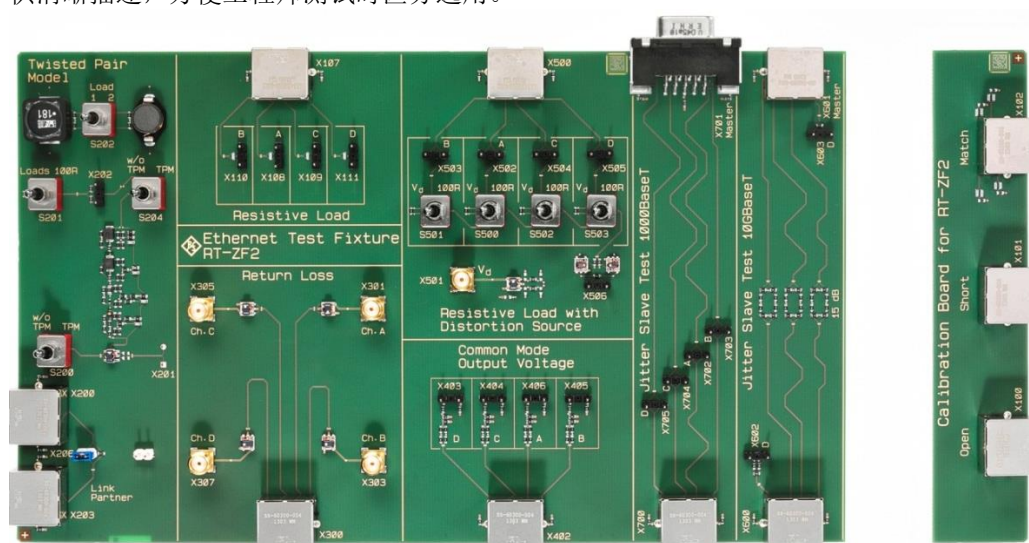


图 13 R&S RT-ZF2 以太网一致性测试夹具

1000BASE-T 抖动测试需要具有不同阻抗的特殊线缆的支持，下图为 RT-ZF2C 抖动测试线缆。



图 14 R&S RT-ZF2C 抖动测试线缆

### 3.3 1000BASE-T 控制发包

1000BASE-T 以太网一致性测试时，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，发包工具可控制 DUT 发出对应的波形并进行测试。IEEE 802.3ab 规定，设置 1000BASE-T 芯片寄存器可令 DUT 进入 4 种不同的测试模式，分别对应不同的一致性测试项：

测试模式 1：脉冲模板测试、电压衰落测试、峰值电压测试

测试模式 2：主模式抖动

测试模式 3：从模式抖动

测试模式 4：波形失真测试、回波损耗测试、共模输出电压测试

Table 40-7—GMII management register settings for test modes

Bit 1 (9.15)	Bit 2 (9.14)	Bit 3 (9.13)	Mode
0	0	0	Normal operation
0	0	1	Test mode 1—Transmit waveform test
0	1	0	Test mode 2—Transmit jitter test in MASTER mode
0	1	1	Test mode 3—Transmit jitter test in SLAVE mode
1	0	0	Test mode 4—Transmitter distortion test
1	0	1	Reserved, operations not identified.
1	1	0	Reserved, operations not identified.
1	1	1	Reserved, operations not identified.

图 15 1000BASE-T 芯片寄存器 test mode 设置

模式 1 信号是由+2，然后接着 127 个 0，-2，然后接着 127 个 0，+1，然后接着 127 个 0，-1，然后接着 127 个 0，接着是 128 个+2，128 个-2，128 个+2，128 个-2，最后是 1024 个 0。验证的目的是：接口能否驱动足够的能量将信号传送 100 米距离，上升时间是否足够快以实现快速的数据交换，接口有否发射过多的 EMI，超过 FCC Class A 的要求，信号是否对称，即 A 与 B，C 与 D 是否对称等。

模式 1 的波形如下图所示。

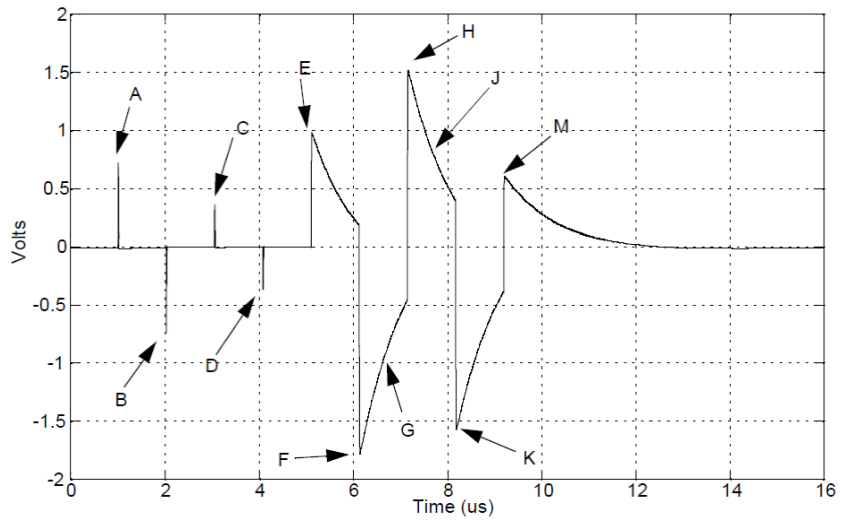


Figure 40-19—Example of Transmitter Test Mode 1 waveform (1 cycle)

图 16 1000BASE-T test mode1 波形

测试模式 2、3 主要用于验证主、从模式下的抖动测试。模式 4 用于失真测试，它是由特定的 2047 个连续码型所组成，其对应的波形分别如下图所示：

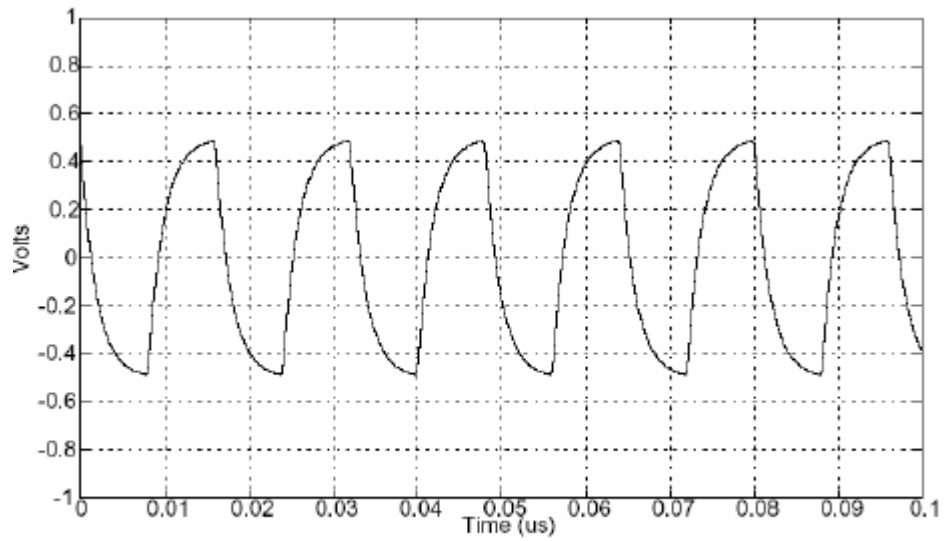


Figure 40-20—Example of transmitter test modes 2 and 3 waveform

图 17 1000BASE-T test mode2/3 波形

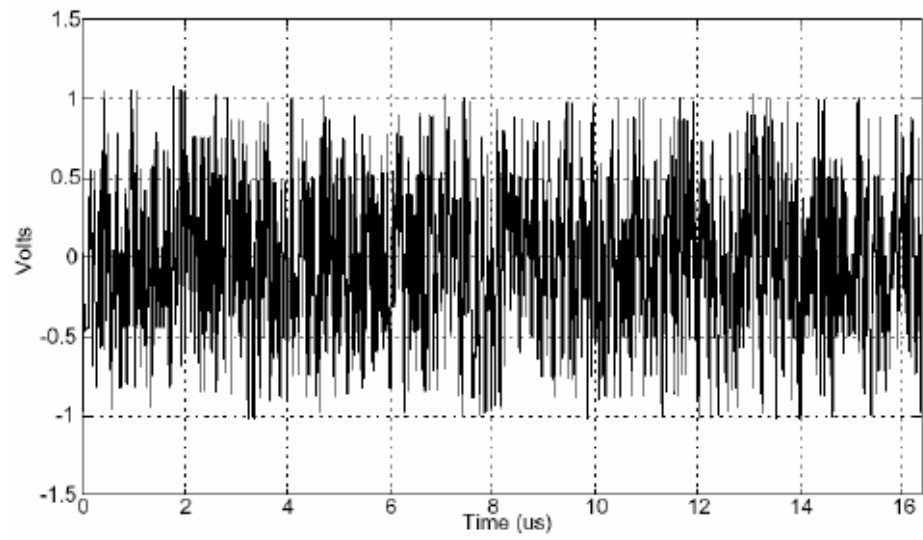


Figure 40-21—Example of Transmitter Test Mode 4 waveform (1 cycle)

图 18 1000BASE-T test mode4 波形

## 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](mailto: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](mailto:CustomerSupport@rohde-schwarz.com)

East Asia

+65 65 13 04 88

[CustomerSupport@rohde-schwarz.com](mailto:CustomerSupport@rohde-schwarz.com)

Rest of the World

+49 89 4129 137 74

[CustomerSupport@rohde-schwarz.com](mailto:CustomerSupport@rohde-schwarz.com)

**Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG**

Mühlendorfstraße 15 | D - 81671 München

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

[www.rohde-schwarz.com](http://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](http://www.rohde-schwarz.com.cn)