



RIGOL

# RIGOL（普源精电）

## 关于以太网物理层一致性 分析测试方案

应用指南

发布日期 2023 年 4 月

RIGOL TECHNOLOGIES CO., LTD.

# 前言

## 版权

© 2023 普源精电科技股份有限公司

## 商标信息

**RIGOL** 是普源精电科技股份有限公司的注册商标。

## 声明

- 本产品受中国及其它国家和地区的专利（包括已取得的和正在申请的专利）保护。
- 本公司保留改变规格及价格的权利。
- 本手册提供的信息取代以往出版的所有资料。
- 本手册提供的信息如有变更，恕不另行通知。
- 对于本手册可能包含的错误，或因手册所提供的信息及演绎的功能，以及因使用本手册而导致的任何偶然或继发的损失，**RIGOL** 概不负责。
- 未经 **RIGOL** 事先书面许可，不得影印、复制或改编本手册的任何部分。

## 产品认证

**RIGOL** 认证本产品符合中国国家产品标准和行业产品标准及 ISO9001:2015 标准和 ISO14001:2015 标准，并进一步认证本产品符合其它国际标准组织成员的相关标准。

## 联系我们

如您在使用此产品或本手册的过程中有任何问题或需求，可与 **RIGOL** 联系：

电子邮箱：service@**RIGOL**.com

网址：www.**RIGOL**.com

# 本应用指南

- 简要介绍 100Base-Tx 及 1000Base-T 信号。
- 介绍了 100Base-Tx 及 1000Base-T 信号质量测试。
- 说明了信号质量测试仪器要求。
- 介绍选择信号质量测试工具。

完成全文阅读，大概需要 10 分钟时间。

# 简介

以太网是当前最普遍的一种计算机网络。它诞生于 1973 年,由 Robert Metcalf 和他在 Xerox PARC 的同事们一起研究如何将 Xerox Altos 工作站及其他工作站、服务器及激光打印机互联而开发出的一种网络连接技术。后续经过演化,由 IEEE 802.3 标准制定了以太网的技术规范,并经过多年发展,从最初的 10M 速率发展至 100Mbps、1000Mbps 乃至 10Gbps,传输介质也由最初的同轴线,发展采用双绞线(屏蔽/非屏蔽)、光纤(单模/多模)等多种传输载体。

表格 1 以太网速率发展

标准	批准时间	描述
IEEE 802.3	1983	10M 速率, 采用同轴电缆作为传输载体
IEEE 802.3i	1990	10M 速率, 采用双绞线(屏蔽/非屏蔽)作为传输载体
IEEE 802.3u	1995	100M 速率, 采用双绞线(屏蔽/非屏蔽)作为传输载体
		100M 速率, 采用光纤(单模/多模)作为传输载体
IEEE 802.3z	1998	1000M 速率, 采用光纤(单模/多模)作为传输载体
IEEE 802.3ab	1999	1000M 速率, 采用双绞线(屏蔽/非屏蔽)作为传输载体

本测试方案介绍 100Mbps 快速以太网及 1000Mbps 千兆以太网的信号质量一致性测试内容及测试方案, 提供给工程师一种高效快捷的测试手段, 提升产品开发及测试效率。

# 1. 100Base-Tx 及 1000Base-T 介绍

## 1.1. 100Base-Tx 及 1000Base-T 连接器及管脚定义

100Base-Tx 和 1000Base-T 均使用双绞线介质和 RJ45 连接器（有时称为水晶头）作为数据传输的以太网标准。由于其布线简单，成本低廉，使用方便，目前是使用最为广泛的以太网技术（标准中的 T 是指 Twisted Pair，即双绞线；Tx 指使用 2 对双绞线，一对用于接收数据，一对用于传输数据）。

表格 2 RJ45 连接器（水晶头）管脚定义

管脚	100Base-Tx	1000Base-T
1	TD+	BI_DA+
2	TD-	BI_DA-
3	RD+	BI_DB+
4	Unused	BI_DC+
5	Unused	BI_DC-
6	RD-	BI_DB-
7	Unused	BI_DD+
8	Unused	BI_DD-

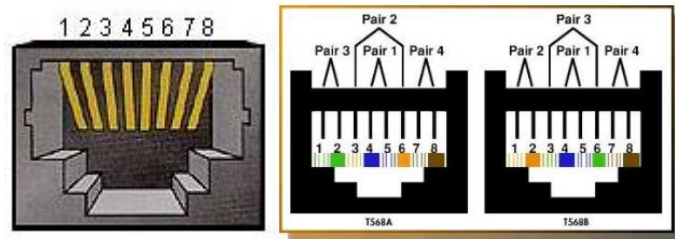
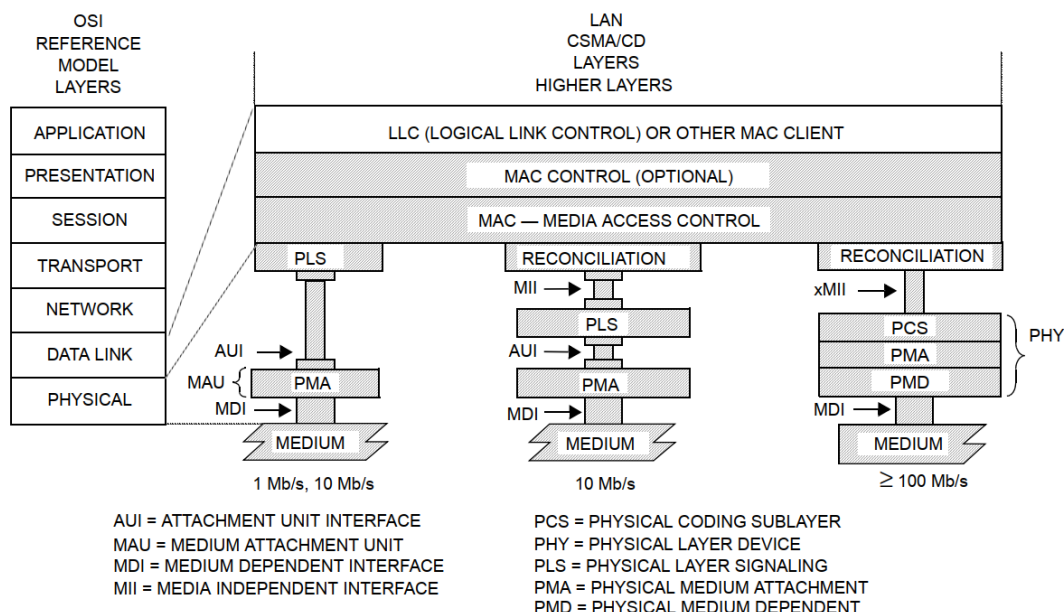


图 1 RJ45 连接器及交叉线（左）直通型（右）管脚示例

## 1.2. 100Base-Tx 物理层

100Base-Tx 物理层分为 PCS (Physical Coding Sublayer, 物理编码子层)、PMA (Physical Medium Attachment, 物理介质附加) 及 PMD (Physical Medium Dependent, 物理介质相关子层)。



NOTE—In this figure, the xMII is used as a generic term for the Media Independent Interfaces for implementations of 100 Mb/s and above. For example: for 100 Mb/s implementations this interface is called MII; for 1 Gb/s implementations it is called GMII; for 10 Gb/s implementations it is called XGMII; etc.

Figure 1-1—IEEE 802.3 standard relationship to the ISO/IEC Open Systems Interconnection (OSI) reference model

图 2 1/10/100Mbps 不同速率的物理层介绍

其中 PCS 负责编码：PCS 通过 MII 接口接收 100Mbps 的码流，将每 4bit 数据编译成 5bit（即 4B/5B 变换）。因此，100Base-Tx 接口在外部测出的速率是 125Mbps，一个 UI 是 8ns。PMA 对信号进行调整，采用 MLT-3 电平调制（因此 100Base-Tx 接口信号有三个电平），编码遵循 NRZ 形式。100Base-Tx 接口信号逢“1”产生电平跳变，逢“0”时信号保持不变。此外，为了防止连续的“1”对 EMI 的抑制不利，连续过多的“0”导致过多直流成分，100Base-Tx 编码中还加入了扰码 (Scrambling)，传输数据最最多出现 12 个“0”。

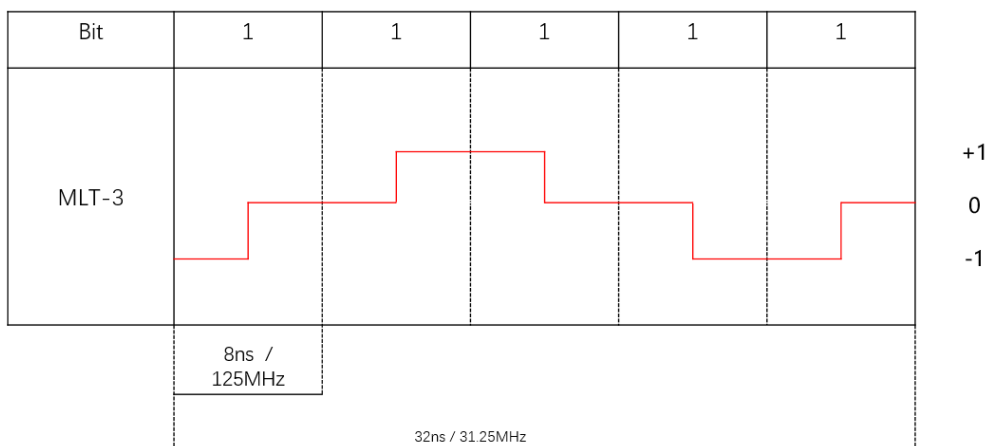


图 3 MLT-3 电平调制及 NRZ 编码

### 1.3. 1000Base-T 物理层

1000Base-T 物理层与 100Base-Tx 类似，由 PCS (Physical Coding Sublayer, 物理编码子层)、PMA (Physical Medium Attachment, 物理介质附加) 及 AUTONEG 组成。

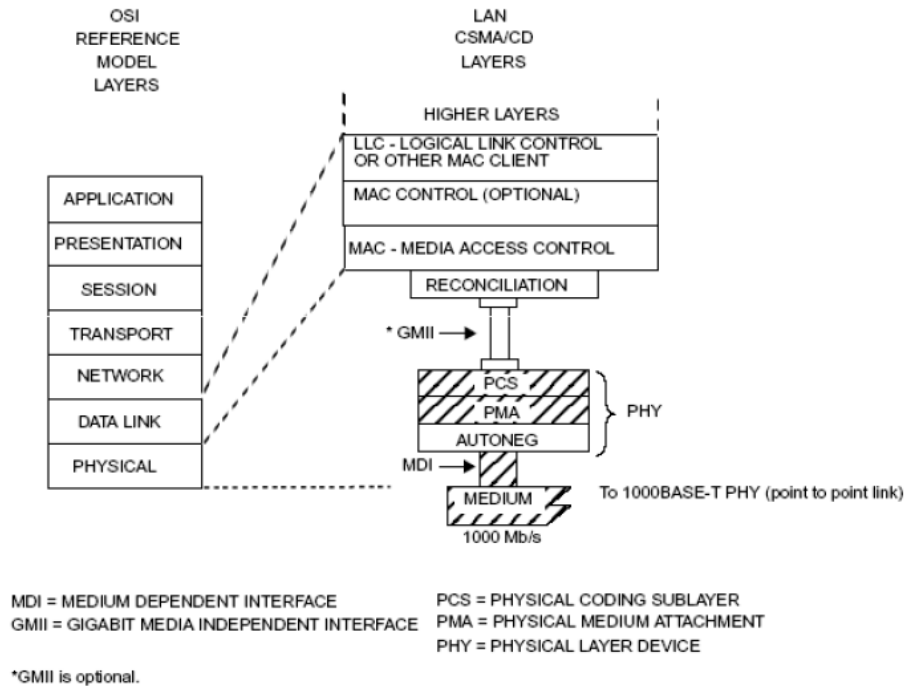


图 4 1000Mbps 物理层介绍

不同的是，PCS 采用的是 4D-PAM5 编码方式，即使用 4 对线，5 个电平对信号进行传输。每对线的传输速度与 100Base-Tx 一样为 125Mbps；每 2bit 转为 1Baud 传输，即每个 UI 可以传输 2bit 信息。4\*125Mbps\*2bit=1000Mbps 实现 1000Mbps 的传输速度。

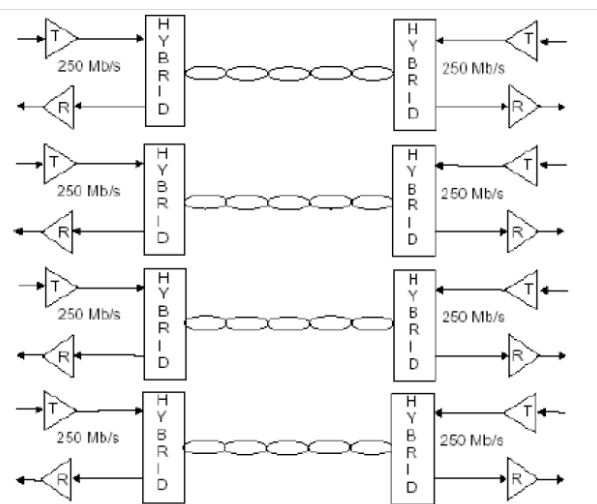


图 5 1000Base-T 拓扑

总结 100Base-Tx 及 1000Base-T 的异同点:

相同点:

- a) 均为差分信号传输;
- b) 使用 RJ-45 连接器, 使用 5 类线;
- c) 每对线的传输的信号速率为 125M, 每个 UI 均为 8ns

不同点:

- a) 编码方式不同, 100Base-Tx 使用 MLT-3, 信号有 3 个电平; 1000Base-T 使用 4D-PAM5, 信号有 5 个电平, 因此测试模板不同;
- b) 测试负载不同

## 2. 100Base-Tx 快速以太网测试

100Base-Tx 信号质量测试用到的主要工具是数字示波器，在测试过程中，还需搭配合规的探头、线缆以及测试夹具，具体的测试设备要求将在后文中进行详细说明。

**RIGOL** 以太网一致性测试软件将测试过程自动化，方便工程师高效准确地进行一致性测试。图 6 即为在 **RIGOL** DS70000 系列数字示波器上运行的以太网一致性测试软件。



图 6 **RIGOL** DS70000 LAN 一致性测试软件

100Base-Tx 发射机测试项包括：

- 眼图/模板测试
- 信号幅度
- 信号上升时间
- 抖动测试
- 信号对称性
- 信号下降时间
- 占空比失真测试
- 信号过冲测试

其他测试项目（本方案不涉及）：MDI 回波损耗测试（含发射及接收），接收机测试（误码率测试），高级测试（共模抑制，变压器衰减，输入阻抗）。

### 2.1. 100Base-Tx 眼图/模板测试

眼图/模板测试是以太网测试中最常用的工具，可以快速判断 100Base-Tx 的信号质量，以 1 个 UI (8ns) 进行切分，进行多次叠加，得到信号的眼图。对于在模板通过区域内的信号予以判定通过 (Passes)，对于超出通过区域外，“压模”的信号判定为失败 (Failure)。

The mean voltage magnitudes in the windows A+ and A- should be measured using the mean voltage in window zero as a reference. The ratio of the positive voltage magnitude to the negative voltage magnitude should be 0,98 to 1,02.

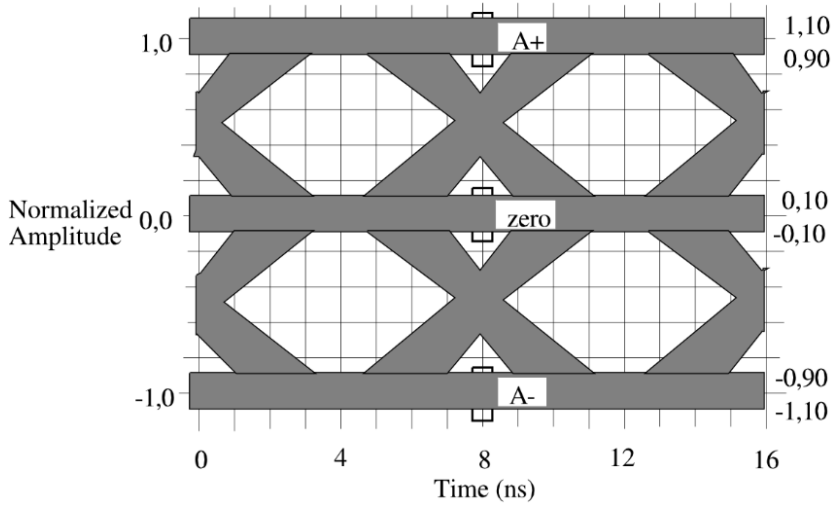


图 7 规范要求的 100Base-Tx 眼图模板

## 2.2. 100Base-Tx 抖动测试

抖动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。通过对眼图中测量交叉点建立分布直方图并进行累加统计, 推导出峰峰值抖动。由于波形是一个三电平信号, 因此正向及负向的交叉点均需测试。根据规范要求, 正向抖动 (+ve) 及负向抖动 (-ve) 的范围为  $\leq 1.4\text{ns}$ 。

## 2.3. 100Base-Tx 占空比失真测试

占空比失真测试在  $V_{out}/2$  点测量信号正脉宽及在  $-V_{out}/2$  点测量信号负脉宽获取。通过产生 01010101 NRZbit 流, 得到稳定变化的波形, 每个正负脉宽理论为 16ns, 规范允许的误差范围是  $\pm 0.25\text{ns}$ 。

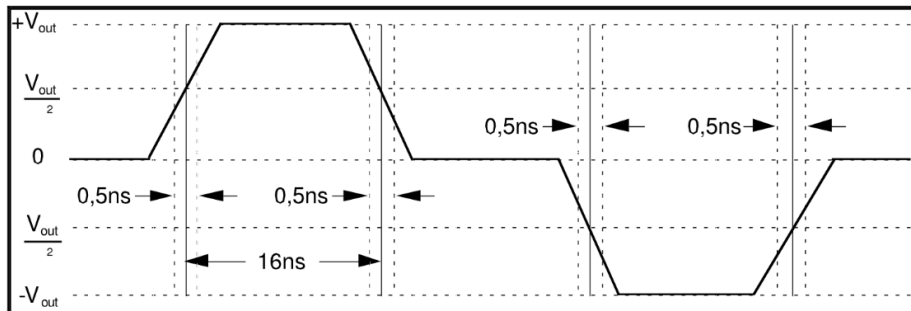


Figure 14 – Active Output Interface duty cycle distortion

图 8 占空比失真测试波形及误差范围

## 2.4. 100Base-Tx 幅度测试

100Base-Tx 幅度测试包含峰值幅度，过冲测试及幅度对称性。

根据规范要求，屏蔽双绞线 STP 差分信号输出电压应在 1165mV~1285mV 范围内，UTP 非屏蔽双绞线差分信号输出电压应在 950mV~1050mV 范围内。过冲定义为差分信号的百分比偏移，需要被测设备发出包含 14bit 宽度的波形信号。该波形每个电平所持续宽度为 14bit (14bit\*8ns/bit=112ns)，波形幅度峰峰值约 2 倍的  $V_{out}$ 。过冲测量需要在正脉冲和负脉冲中分别进行。如下图所示，信号过冲不允许超过 5%的信号输出幅度值 ( $\leq 5\%V_{out}$ )。信号幅度的对称性要求计算平均正幅值和负幅值的比值，根据规范要求这个比值也应该在 0.98 至 1.02 之间： $0.98 \leq \frac{|+V_{out}|}{|-V_{out}|} \leq 1.02$ 。

### 9.1.1.2 STP differential output voltage

For STP, the peak differential output voltage,  $V_{out}$ , as defined in 9.1.3 and figure 12 shall be:

$$1165 \text{ mV} \leq V_{out} \leq 1285 \text{ mV}$$

### 9.1.2.2 UTP differential output voltage

For UTP, the differential output voltage,  $V_{out}$ , as defined in 9.1.3 and figure 12 shall be:

$$950 \text{ mV} \leq V_{out} \leq 1050 \text{ mV}$$

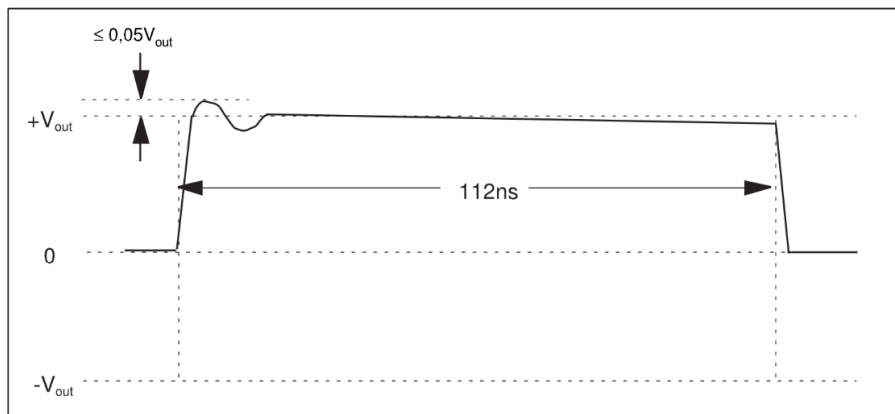


Figure 12 – Active Output Interface overshoot

### 9.1.4 Signal amplitude symmetry

The ratio of the  $+V_{out}$  magnitude to  $-V_{out}$  magnitude shall be between the limits:

$$0,98 \leq \frac{|+V_{out}|}{|-V_{out}|} \leq 1,02$$

图 9 幅度测试规范-峰值电压、过冲及对称性

## 2.5. 100Base-Tx 上升时间、下降时间及对称性

100Base-Tx 的规范要求上升及下降时间是测量差分输出电压的 10%-90%范围的时间，即

测量结果应在 3ns~5ns 范围内。对于对称性，在所有测量的上升沿时间或下降沿时间的最大值与最小值差异必须小于 0.5ns。

**9.1.6 Rise/fall times**

For the purposes of 9.1, the AOI signal rise is defined as a transition from the baseline voltage (nominally zero) to either +V<sub>out</sub> or -V<sub>out</sub>. Signal fall is conversely defined as a transition from the + V<sub>out</sub> or - V<sub>out</sub> to the baseline voltage.

The rise and fall times of the waveform shall be determined as the time difference between the 10% and the 90% voltage levels of the signal transition, where 100% is represented by V<sub>out</sub> of figure 12.

Measured rise and fall times shall be between the limits:

$$3,0 \text{ ns} \leq t_{\text{rise/fall}} \leq 5,0 \text{ ns}$$

The difference between the maximum and minimum of all measured rise and fall times shall be  $\leq 0,5 \text{ ns}$ .

图 10 上升时间和下降时间要求及对称性要求

## 2.6. 百兆以太网信号质量测试实际结果展示

在实际测试过程中，需要通使开发板产生快速百兆以太网信号进行测试。DS70000 的 100Base-Tx 一致性测试分析截图如图 11 所示，包含了各个测试项，并注明了每个测试项对应的合规指标范围以及实测的值，通过对比将测试结果显示在最后一列，当测试项满足标准时，显示结果为 Passes，否则会显示 Failure。

100BaseT Test Results (Ref: IEEE 802.3-2018)					
Test Information	Report Time: 2021-06-17 12:00:20				
	1.0.0.0				
Measure	Item	Measured Value	Minimum	Maximum	Result
	Output Voltage(+Vout)	981.85 mV	950 mV	1050 mV	Passes
	Output Voltage(-Vout)	-930.18 mV	-1050 mV	-950 mV	Failure
	Signal Amplitude Symmetry	1.056	0.98	1.02	Failure
	Waveform Overshoot(+Ve)	7.563 %	0 %	5 %	Failure
	Waveform Overshoot(-Ve)	4.252 %	0 %	5 %	Passes
	Rise Time(+Ve)	3.164 ns	3 ns	5 ns	Passes
	Fall Time(+Ve)	3.571 ns	3 ns	5 ns	Passes
	Rise Time(-Ve)	3.278 ns	3 ns	5 ns	Passes
	Fall Time(-Ve)	3.773 ns	3 ns	5 ns	Passes
	Rise/Fall Time Symmetry(+Ve)	407.23 ps	0 ps	500 ps	Passes
	Rise/Fall Time Symmetry(-Ve)	495.32 ps	0 ps	500 ps	Passes
	Distortion(peak-to-peak)	33 ps	0 ps	500 ps	Passes
	Transmit Jitter(+Ve)	0.9 ns	0 ns	1.4 ns	Passes
Transmit Jitter(-Ve)	0.91 ns	0 ns	1.4 ns	Passes	

图 11 100Base-Tx 信号质量实测结果

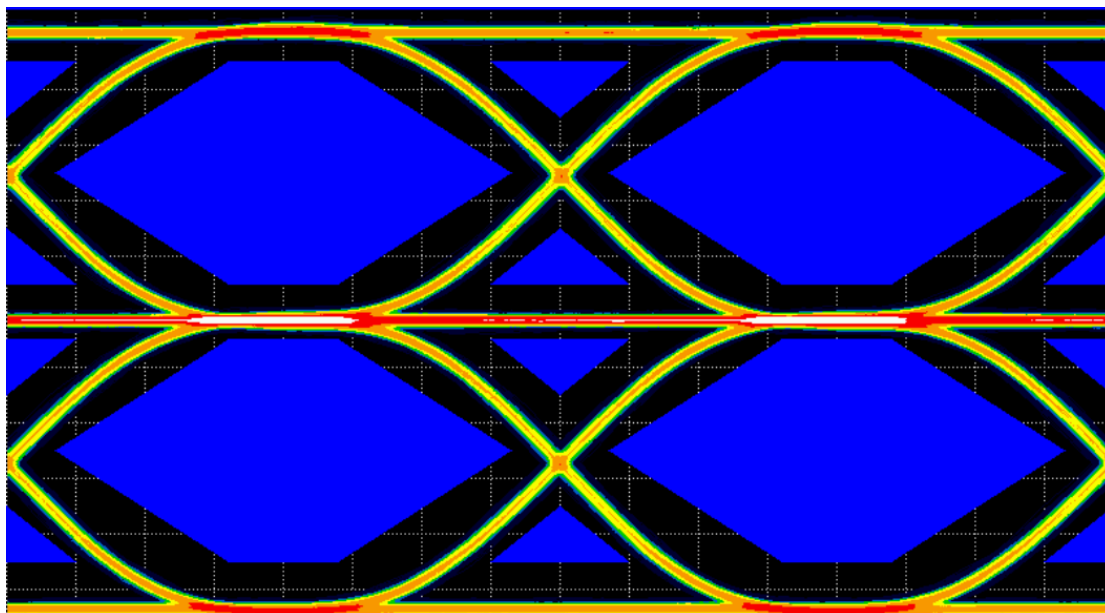


图 12100Base-Tx 信号眼图实测结果

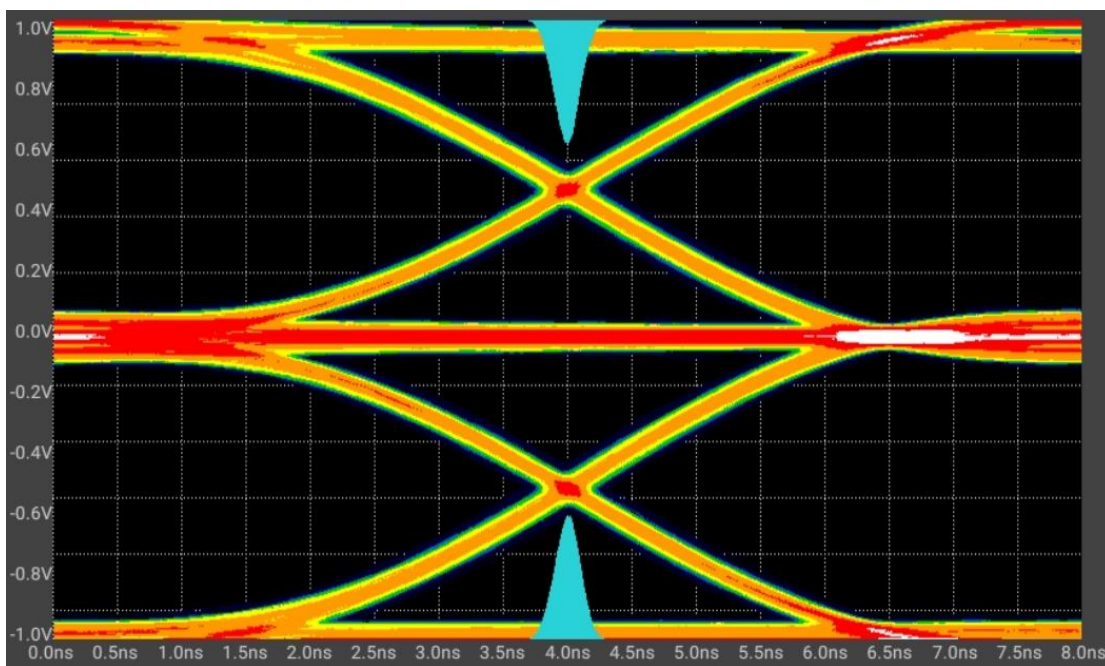


图 13100Base-Tx 信号抖动分析实测结果

### 3.1000Base-T 千兆以太网测试

1000Base-T 速度上比 100Base-Tx 增加了 10 倍的数据传输率，拓展了网络带宽，支持实时需要大量带宽的应用，更广泛的适用于金融、商业、教育和政府机关等行业。由于 1000Base-T 信号的复杂性，在 IEEE802.3ab 规范中定义了 4 个测试模式来测试千兆以太网物理层一致性。

1000Base-T 信号质量测试用到的主要工具是数字示波器，在测试过程中，还需搭配合规的探头、线缆以及测试夹具，具体的测试设备要求将在后文中进行详细说明。图 14 即为在 RIGOL DS70000 系列数字示波器上运行的以太网一致性测试软件。



图 14 RIGOL DS70000 LAN 一致性测试软件

根据 IEEE 802.3 标准对 1000BASE-T 物理层一致性测试的规定，被测设备需要在标准规定的四种测试模式下进行一系列一致性测试：

- 测试模式 1：模板测试、峰值电压测试、衰落测试
- 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，共模输出电压

### 3.1. 测试模式 1

1000Base-T 接口通过发出测试模式 1 的信号, 来完成关于模板测试、峰值电压测试及衰落测试。测试模式 1 的信号组成如下图所示, 包含 A 点 (编码+2 后接 127 个 0)、B 点 (编码-2 后接 127 个 0)、C 点 (编码+1 后接 127 个 0)、D 点 (编码-1 后接 127 个 0)、E/H 点 (128 个编码+2)、F/K 点 (128 个编码-2) 及 M 点 (1024 个编码 0)。该模式验证的目的:

- 验证接口是否有足够的功率将信号传输 100 米距离
- 上升时间是否足够快, 实现数据交互
- 信号是否对称

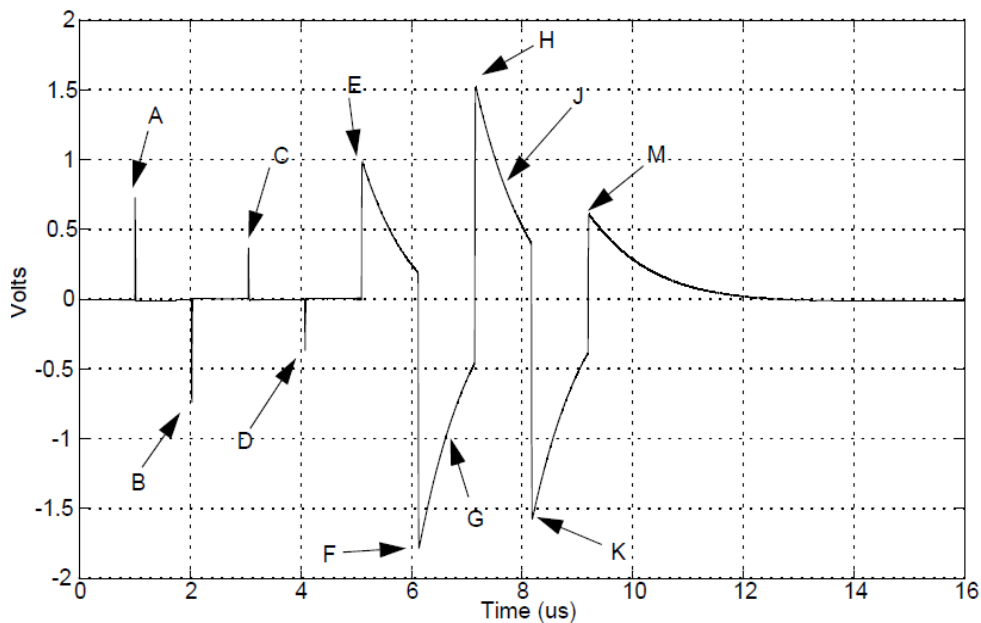


Figure 40-20—Example of transmitter test mode 1 waveform (1 cycle)

图 15 测试模式 1 信号波形

峰值测试与衰落测试规范要求:

- A 点和 B 点波形峰值的绝对值应落在 0.67 V 至 0.82 V ( $0.75 \text{ V} \pm 0.83 \text{ dB}$ ) 的范围内
- B 点波形峰值绝对值与 A、B 点波形峰值绝对值的平均值相差不超过 1%
- C 和 D 点波形峰值的绝对值与 A 和 B 点波形峰值绝对值平均值的 0.5 倍之间的差异应小于 2%。
- G 点波形负峰值幅度应大于 F 点波形负峰值幅度的 73.1%(G 点位于 F 点后 500ns, F 为最小值点)
- J 点波形负峰值幅度应大于 H 点波形负峰值幅度的 73.1% (J 点位于 H 点后 500ns, H 为最大值点)

对 A、B、C、D 点周围电压波形进行归一化处理, 使用以下模板进行测试, 确认信号是否

满足模板测试要求。

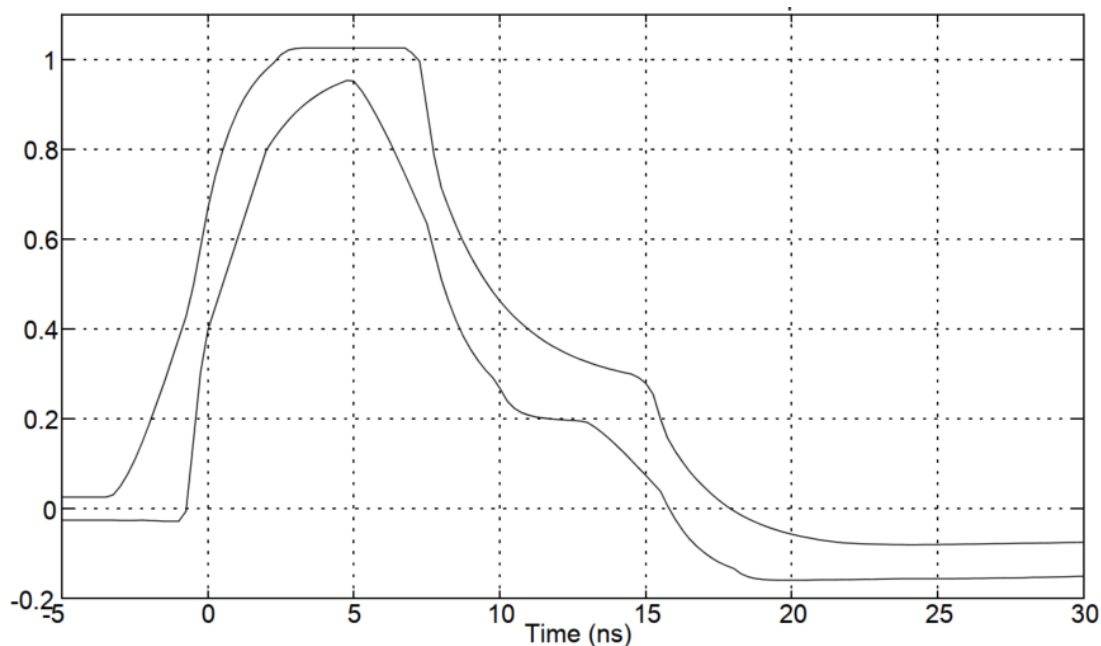


图 16 A/B/C/D 点波形归一化后的测试模板

对 F、H 点周围电压波形，经过归一化处理后，使用如下模板进行测试，确认是否满足模板测试要求。

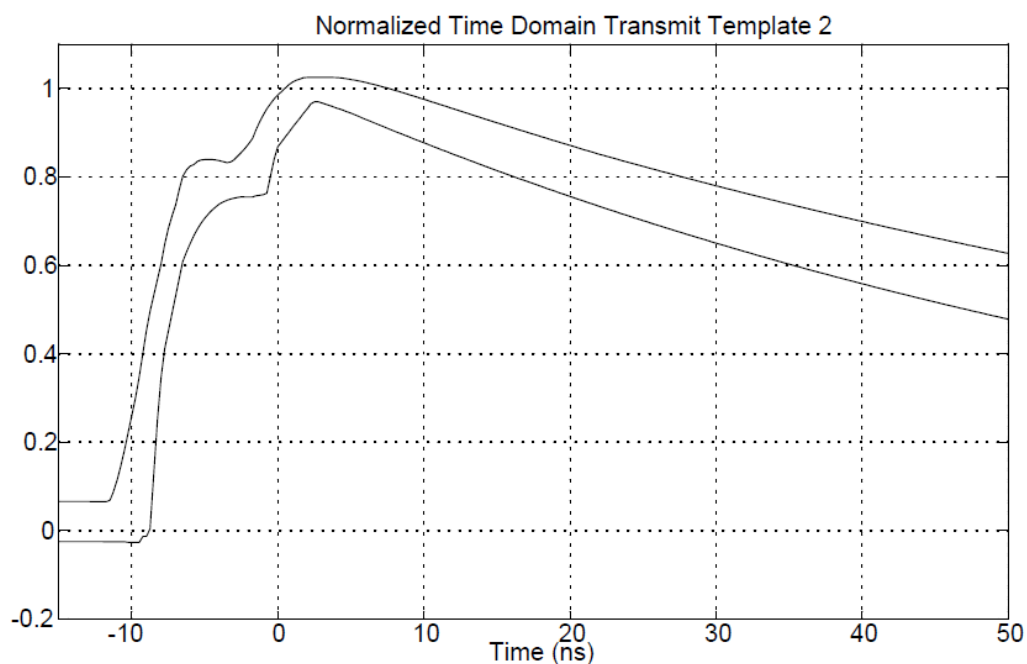


Figure 40-27—Normalized transmit templates as measured at MDI using transmit test fixture 1

图 17 F/H 点波形归一化后的测试模板

## 3.2. 测试模式 2、3

1000Base-T 接口通过发出测试模式 2、3 的波形信号 (如图 18, 来完成关于主模式抖动测试及从模式抖动测试。

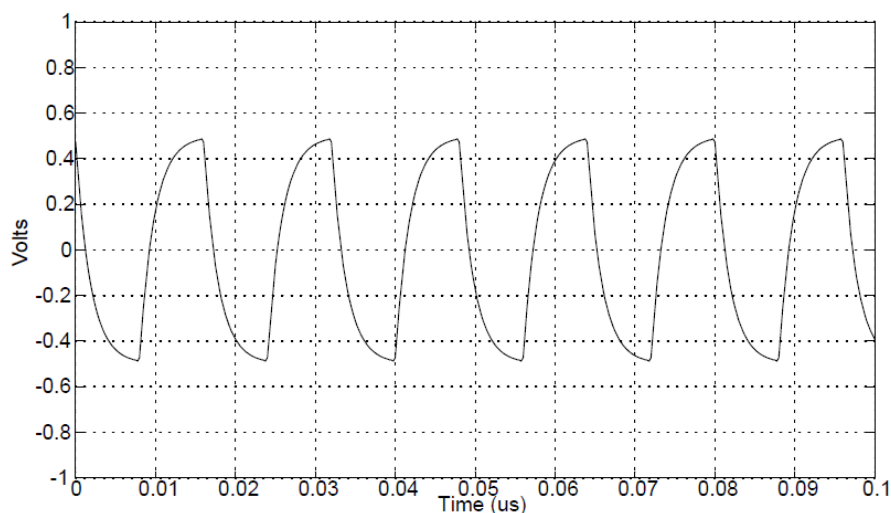


Figure 40-21—Example of transmitter test modes 2 and 3 waveform

图 18 测试模式 2 或 3 的波形

表格 3 主/模式抖动测试要求

测试模式	测试项目	规范要求
主模式抖动[1]	输出信号抖动相对于参考的抖动峰峰值	≤ 1.4ns
	经过以下传递函数高通滤波器后, 相对于参考的抖动峰峰值+MDI 在测试模式 2 下相对于时钟的抖动值 $H_{jf1}(f) = \frac{jf}{jf+5000}$	≤ 0.3ns
从模式抖动[1]	输出信号抖动相对于参考的抖动峰峰值	≤ 1.4ns
	经过以下传递函数高通滤波器后, 相对于参考的抖动峰峰值+MDI 在测试模式 3 下相对于时钟的抖动值 $H_{jf2}(f) = \frac{jf}{jf+32000}$	≤ 0.4ns

### 3.3. 测试模式 4

1000Base-T 接口通过发出测试模式 4 的波形信号 (如图 19), 并使用发射机测试夹具, 观察 MDI 差分信号输出。峰值失真是在任意相位以符号对差分信号输出进行采样并使用协会提供的代码或等效代码处理任何 2047 个连续样本的块来确定的。如果眼图张开内至少 60% 的 UI 的峰值失真低于 10mV, 则认为物理层通过了此测试。

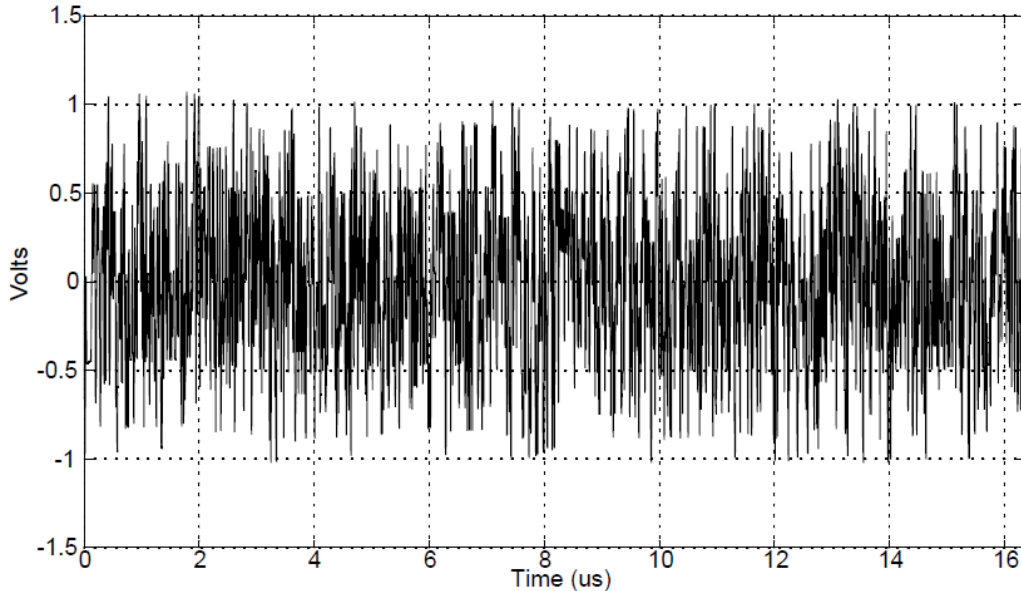


Figure 40-22—Example of Transmitter Test Mode 4 waveform (1 cycle)

图 19 测试模拟 4 的波形

### 3.4. 千兆以太网信号质量测试实际结果展示

在实际测试过程中, 需要通过软件控制千兆以太网端口发送测试信号。以使用 Microchip KSZ9031RX-EVAL Board 开发板产生以太网信号为例, 需在 PC 上安装以太网开发板驱动程序 CDM21228\_Setup.exe, 安装成功后打开 mdioConfig 配置工具, 输入配置指令使端口输出快速百兆以太网/千兆以太网标准测试信号进行测试。

DS70000 的 1000Base-T 一致性测试分析截图如图 20 所示。图 20 显示的是 1000Base-T 一致性分析关于模板测试、峰值电压测试及衰落测试的结果, 包含了模式一的各个测试项, 各个测试项对应的合规指标范围以及实测的值, 通过对比将测试结果显示在最后一列, 本次测试的是一个标准的千兆以太网信号, 所以各个测试项均满足标准, 显示结果为 Passes, 否则会显示 Failure。

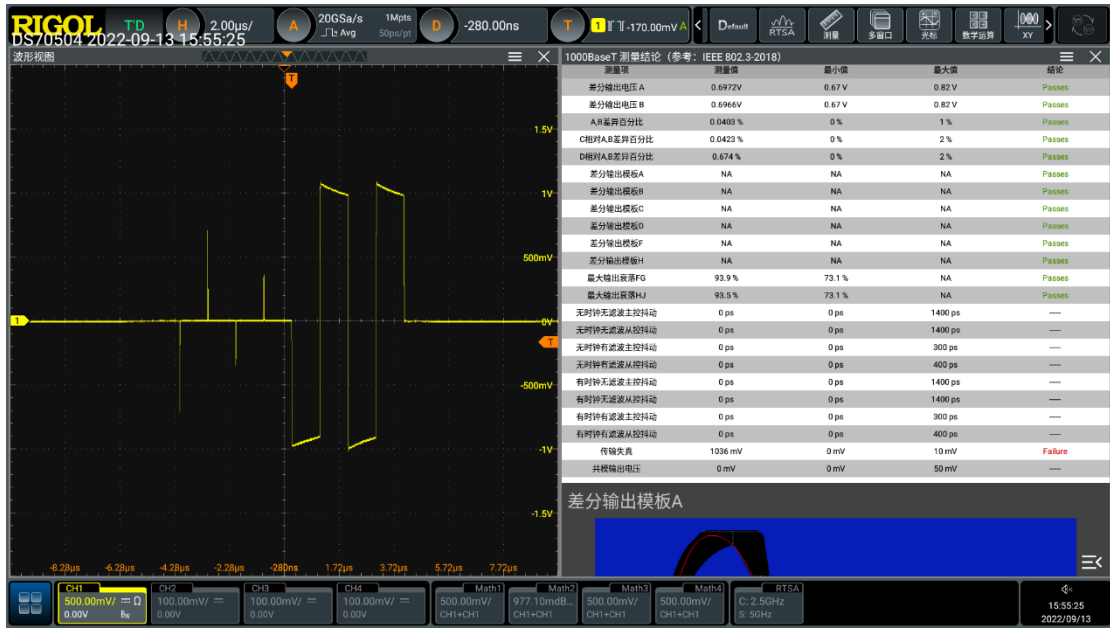


图 20 使用 DS7000 系列数字示波器执行 1000Base-T 信号质量测试

1000BaseT Test Results (Ref: IEEE 802.3-2018)					
Test Information	Report Time: 2022-09-13 15:56:13				
	1.0.0.0				
Equipment Information	Device	Manufacturer	Model	Serial Number	
	Probe	RIGOL TECHNOLOGIES	PVA8700	PVAE243300003	
	Oscilloscope	RIGOL TECHNOLOGIES	DS70504	DS7G232400009	
Measure	Item	Measured Value	Minimum	Maximum	Result
	Peak Differential Output Voltage A	0.6972 V	0.67 V	0.82 V	Passes
	Peak Differential Output Voltage B	0.6966 %	0.67 V	0.82 V	Passes
	A,B Percentage Difference	0.04032 %	0 %	1 %	Passes
	C Percentage Difference	0.04227 %	0 %	2 %	Passes
	D Percentage Difference	0.6739 %	0 %	2 %	Passes
	Differential Output Template A	NA	NA	NA	Passes
	Differential Output Template B	NA	NA	NA	Passes
	Differential Output Template C	NA	NA	NA	Passes
	Differential Output Template D	NA	NA	NA	Passes
	Differential Output Template F	NA	NA	NA	Passes
	Differential Output Template H	NA	NA	NA	Passes
	Maximum Output Droop FG	0.9393 %	73.1 %	NA	Passes
	Maximum Output Droop HJ	0.93507 %	73.1 %	NA	Passes
	Master Jitter	0 ps	0 ns	1.4 ns	----
Slave Jitter	0 ps	0 ns	0.4 ns	----	
Transmit Distortion	1.0358 mV	0 mV	10 mV	----	
Common-mode Output Voltage	0 mV	0 mV	50 mV	----	

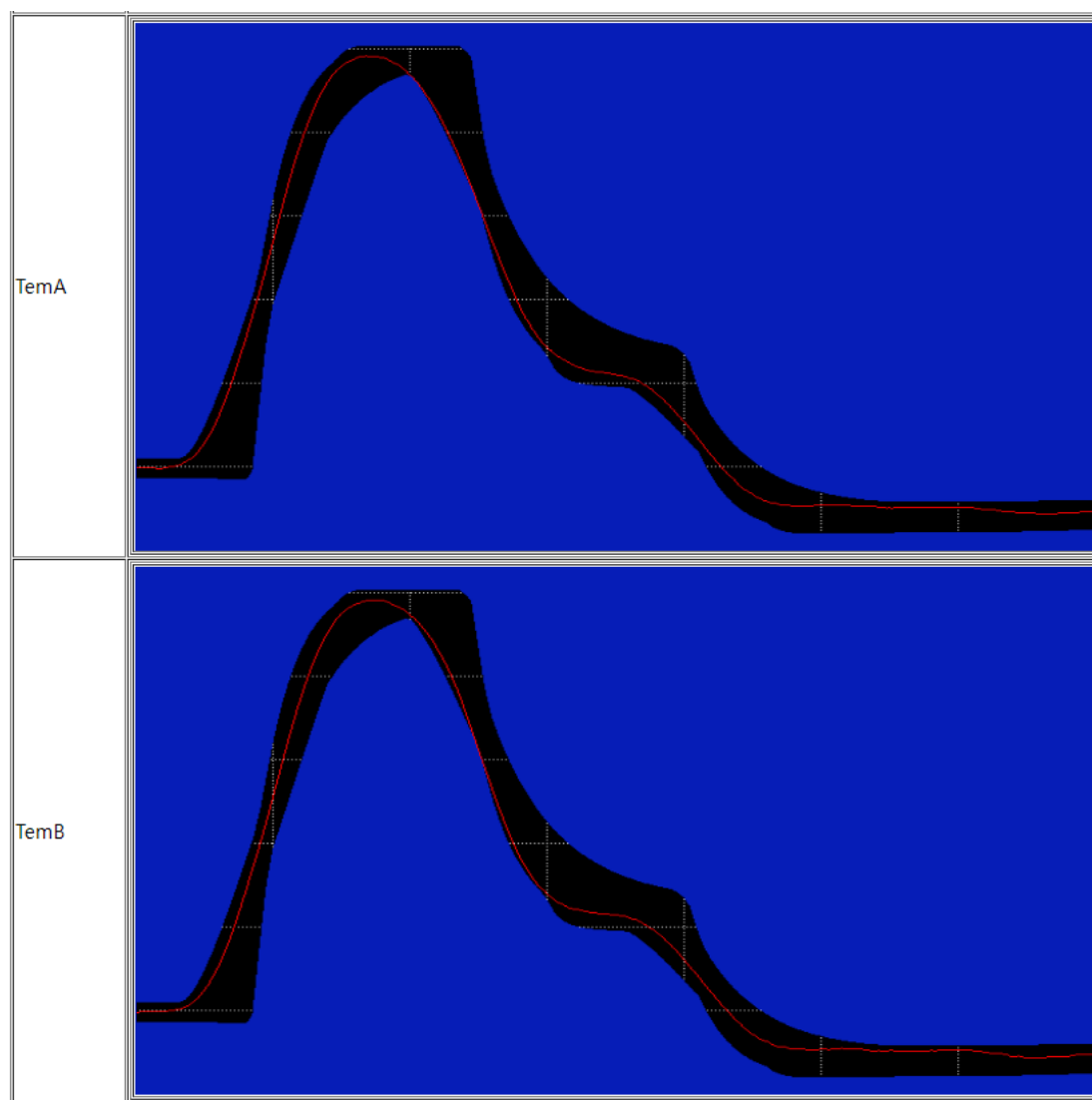


图 21 DS70000 1000Base-T 模式一测试结果报告

**RIGOL** 以太网一致性测试软件 DS70000-ENETC 除了直接向工程师提供测量结果外，会将结果与规范限值进行比较，得到通过或失败的结论；并且给出模板测试的对比结果供工程师参考。此外，测试结果和数据支持导出成 HTML 文件报告，报告中记录完整的测试数据、数据、仪器序列号、测试时间等关键信息，并可存储在机器内部或导出至 U 盘，方便与客户或供应商进行分享。在完成测试准备及连线后，依靠强大的硬件加速计算及数据处理能力，进行信号质量一致性测试时间将在数秒钟之内完成，极大提升测试效率。

## 4. 以太网信号质量测试仪器要求

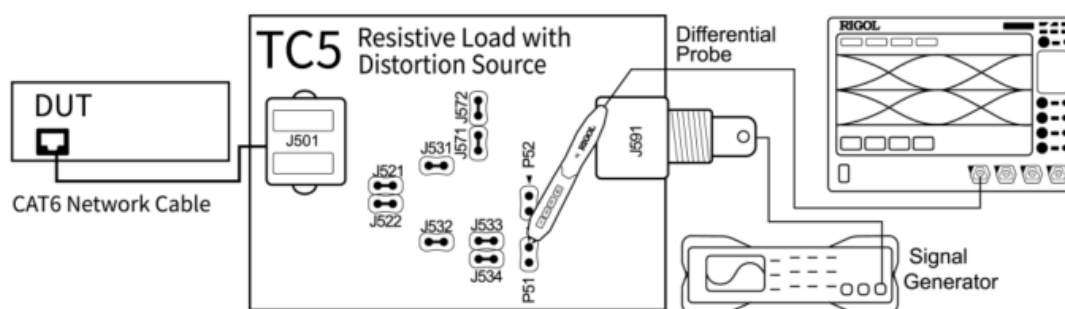


图 22 1000Base-T 一致性测试带干扰模式一连线图

1000Base-T 信号质量测试设备推荐:

表格 4 1000Base-T 信号质量测试设备配置方案

数量	项目	说明/型号
1	示波器	DS70304/DS70504
1	函数/任意波形发生器	DG5000
1	千兆以太网信号质量一致性分析软件	DS70000-ENETC
1	单端/差分探头	PVA7000、PVA8000 系列探头
1	测试夹具	Ethernet Test Fixture
1	CAT6 网络线缆	符合要求的传输网线
N	跳线帽	用于短接金针插座

100Base-Tx 信号质量测试设备推荐:

表格 5 100Base-Tx 信号质量测试设备配置方案

数量	项目	说明/型号
1	示波器	DS70304/DS70504
1	百兆以太网信号质量一致性分析软件	DS70000-ENETC
1	差分探头	PVA7000、PVA8000 系列差分探头
1	测试夹具	Ethernet Test Fixture
1	CAT6 网络线缆	符合要求的传输网线

## 5.选择 100Base-Tx 及 1000Base-T 信号质量测试工具

由于 100Base-Tx 及 1000Base-Tx 分别采用 MLT-3 及 4D-PAM5 编码方式，实际每对差分线信号速率为 125Mbps，依据 IEEE 802.3 及 ANSI X3.263-1995 的要求，推荐示波器带宽为 $\geq 1\text{GHz}$ 。**RIGOL** 的 DS70000 系列示波器最高达到 5GHz 带宽，最高 20GSa/s 的实时采样率，最大 2Gpts 存储深度，可以满足测试需求。



图 23 DS70000 系列数字示波器

按规范要求，在千兆以太网模式一测试时需要加入幅度为 $\pm 2.8\text{V}$  的频率为 31.25MHz 的正弦波作干扰信号，模拟 MDI 信号传输时受邻道干扰的受压状况。按规范要求这正弦波的频率为准确的 31.25MHz，即其高阶谐波的幅度要比其基波幅度少至少 40dB。对于函数/任意波形发生器，应当符合规范要求，带宽达到 50 MHz，幅度范围达到 10Vpp。**RIGOL** 的 DG5000 系列函数/任意波形发生器可以满足测试要求。



图 24 DG5000 系列函数/任意波形发生器

除数字示波器和函数/任意波形发生器以外，还需要其他附件，例如高速有源差分探头和有源单端探头，信号质量测试夹具等。差分探头的带宽要求大于 1.5 GHz，RIGOL 提供了满足测试要求的探头附件来完成 100Base-Tx 及 1000Base-T 的信号质量测试，包含高速有源差分探头（PVA7000，PVA8000 系列），高速单端有源探头（RP7000S 系列）等。



图 25 PVA8000 系列有源差分探头

夹具 TF-ENET-STP 用于 1000Base-T 和 100Base-Tx 以太网一致性测试。由于以太网信号属于高速信号，所以不能使用探头直接测量处于工作状态的以太网线缆，必须在信号末端的端接电阻处做测量，因此使用测试夹具进行以太网一致性测试。夹具 TF-ENET-STP 包括 TC2、TC3、TC4、TC5 四个部分，分别用于不同的测试项目。

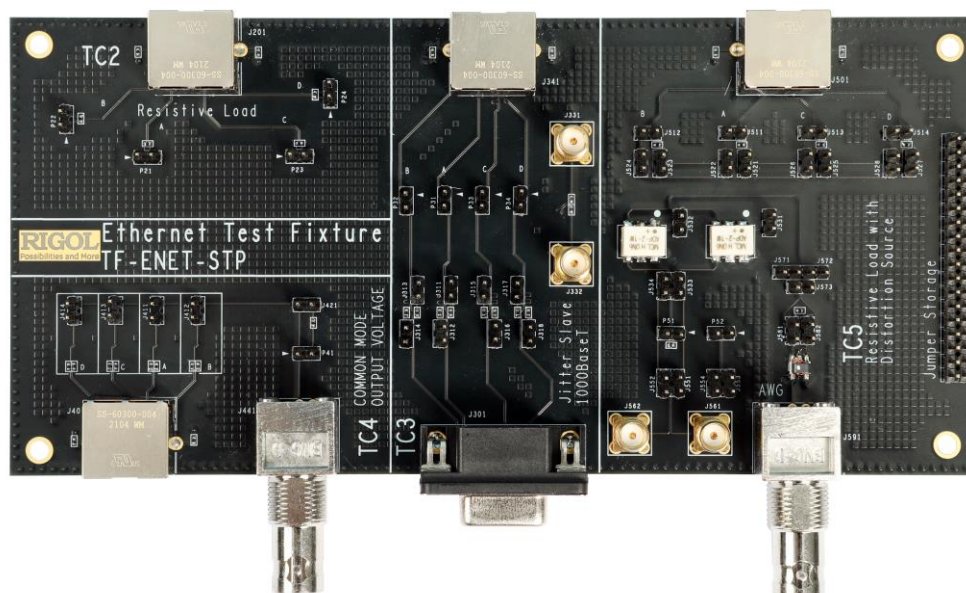


图 26 以太网一致性测试夹具 TF-ENET-STP

## 6. 总结

随着以太网技术的发展, 千兆以太网是目前网络传输速度最快的技术之一, 对千兆以太网相关产品进行测试, 以保证产品的操作性和可靠性, 是当代多数设备制造商面临的挑战。高速网络的测试难度、测试设备的复杂性、不断变化的标准和技术, 给测试人员带来了新的挑战。

**RIGOL** 提供了一套完善的工具, 包括数字示波器、干扰源、专业的测试夹具和探头以及全自动一致性测试软件, 使得设计人员能够高效精确地进行 100Base-Tx 和 1000Base-T 以太网一致性分析。

**RIGOL** 致力于为工程师们不断提供完善的解决方案, 详情请访问网址: [www.rigol.com](http://www.rigol.com)



**RIGOL** 服务与支持专线 4006 200 002

---

**RIGOL®**是普源精电科技股份有限公司的英文名称和商标。本文档中的信息可不经通知而变更，有关 **RIGOL** 最新的产品、应用、服务等方面的信息，请访问 **RIGOL** 官方网站：[www.RIGOL.com](http://www.RIGOL.com)