



RIGOL

RIGOL

车载以太网物理层 电气接口一致性测试

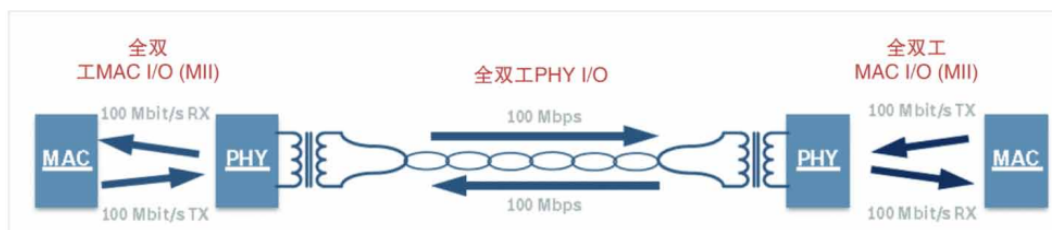


应用指南

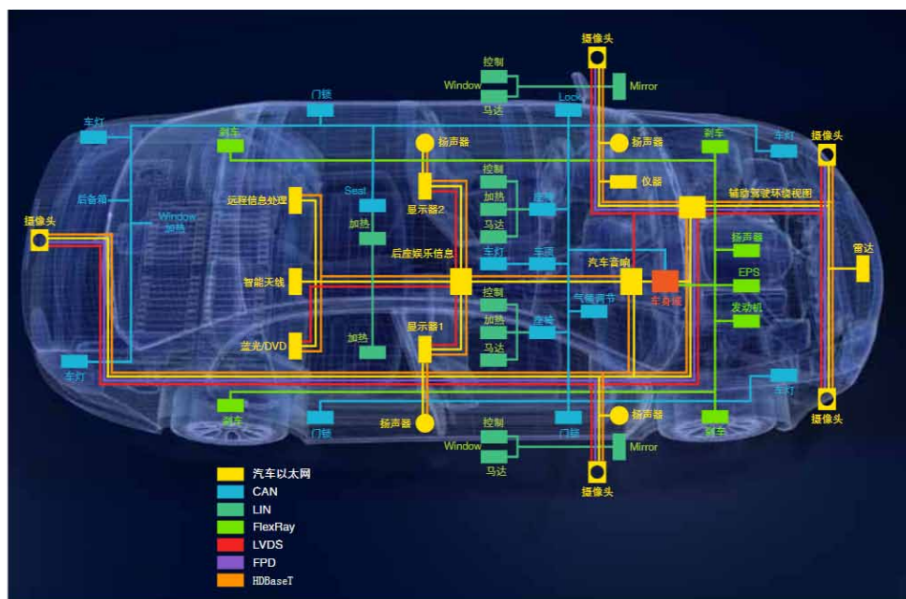
ANW01000-1220-0001

引言

2008 年，博通公司首次推出的 BroadR-Reach 技术。该技术通过使用专用的收发器（PHY）实现了一对非屏蔽双绞线（UTP）上能够进行双向传输，采用高度优化的抗频器，可以更好地分离信号，频谱效率更高。同时，车载以太网的信号采用 PAM3 的编码方式，带宽为 66.66 MHz，只有 100Base-Tx 的一半，较低的信号带宽可以改善回波损耗，减少串扰，并确保车载以太网可满足汽车电磁辐射标准要求。



在此之后，博通公司联合恩智浦、飞思卡尔、哈曼国际等发起成立的 OPEN 联盟（One-Pair Ethernet Alliance）进行推动，并成为开放的产业标准，之后，IEEE 802.3 完成了对 100Mbit/s 车载以太网技术的标准化，并开始对 1Gbit/s 传输速度的车载以太网进行标准化。至此，车载以太网开始在汽车行业得到广泛应用，特别是在高级驾驶辅助系统（ADAS）、车载诊断系统（OBD）以及车载信息娱乐系统等领域，未来，随着汽车智能化和网联化的发展，智能驾驶的兴起，车载以太网的应用将更加广泛，技术也将不断进步。



版权所有©普源精电科技股份有限公司

2 车载以太网技术

100Mbase-T1 和 1000Mbase-T1 车载以太网使用的主要技术是基于单对双绞线（Single Twisted Pair）来进行数据传输，同时采用高效的编码方法来提高数据的传输速率和可靠性。下面详细介绍这两种技术及其关键特点。

100Mbase-T1

- 传输介质：单对双绞线
- 传输速率：100 Mbps
- 标准：IEEE 802.3bw
- 距离：最长达到 15 米
- 编码方式：PAM-3（三元脉冲幅度调制），通过在每个时钟周期内采用三个不同的电平（比如正电压、零电压和负电压）来表示信息，提高了信号传输的效率。这种编码方式能够在较低的频宽条件下实现较高的数据传输速率，适合车载环境中对电磁干扰(EMI)敏感度高的应用。

1000Mbase-T1

- 传输介质：单对双绞线
- 传输速率：1 Gbps
- 标准：IEEE 802.3bp
- 距离：最长达到 40 米
- 编码方式：与 100MbaseT1 相同，1000Mbase-T1 也采用了高效的编码方式，但由于其更高的数据传输速率，所需的信号处理技术更为复杂。除了 PAM-3 之外，1000Mbase-T1 可能会结合使用更高阶的调制技术和错误校正机制来确保数据传输的可靠性和效率。例如，通过使用前向纠错（FEC）技术可以提高传输的可靠性，减少错误重传的需要。

总体来说，100Mbase-T1 和 1000Mbase-T1 都是为了适应汽车行业对于高速、可靠数据通信日益增长的需求而设计的，它们通过优化传输介质和编码技术，在保证传输质量的同时，实现了不同级别的数据传输速率。

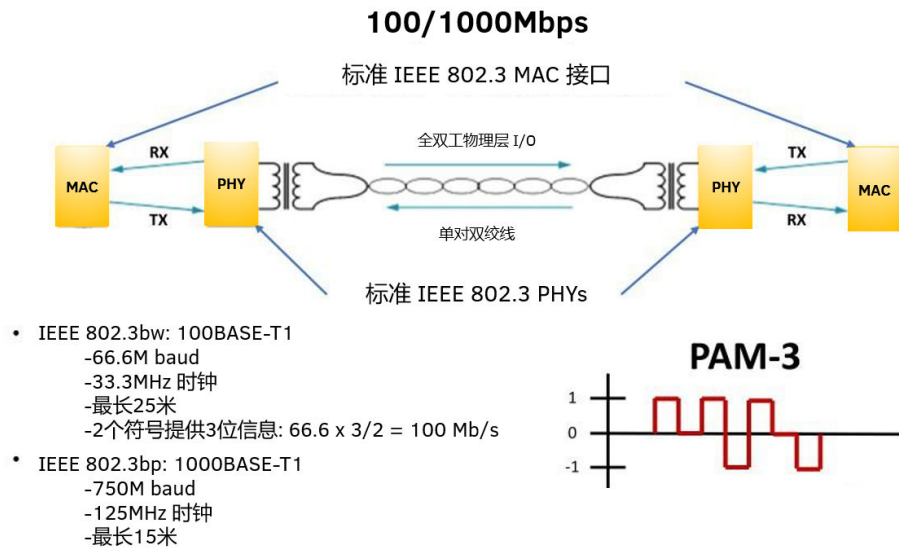


图 2.1 100/1000BASE-T1 编码方式和标准

3 测试挑战

汽车行业对可靠性和安全性要求越来越高，车载以太网在应用的过程中，为了保证其可靠性与安全性，就迫切需要对其开展测试工作，而车载以太网技术物理层测试因为协议的复杂性等原因，如何开展测试成为了难点，遇到的挑战主要有：

- 信号完整性：车载以太网使用高速信号传输，信号完整性问题（如反射、衰减、串扰等）可能会影响信号的传输质量。测试需要能够准确捕捉和分析这些信号完整性问题。
- 复杂的信号调制和分析：车载以太网使用了复杂的调制和编码技术，测试设备需要能够解析这些调制技术，并对信号进行准确的分析。
- 严格的时序要求：车载以太网标准对信号的时序有严格的要求。测试设备需要能够精确测量信号的时序特性，如上升时间、下降时间、时钟偏移等。
- 测试自动化：为了提高测试效率和可重复性，需要实现测试的自动化。这要求测试设备支持自动化测试脚本和软件控制。
- 数据分析复杂性：测试产生的数据量可能非常大，需要有效的数据分析工具和方法来处理这些数据，提取有用的信息

对于复杂信号的测试则成为研发设计和生产过程中耗时、耗力但是却无法避免的难点。

4

解决方案

为了应对车载以太网一致性测试难点，通常会使用示波器等专业测试设备来帮助克服这些痛点和挑战，因为它们提供了必要的测量精度、分析功能和灵活性，RIGOL 生产的 DS70000 示波器和汽车以太网一致性分析选件(DS70000-AUTOENTC)，搭配汽车以太网夹具配件(TF-AENET-STP)，为汽车以太网一致性测试提供了配置灵活，操作便捷的测试解决方案。

RIGOL 100M/1000M 车载以太网物理层电气接口一致性测试主要采用的测试标准为 IEEE802.3bw(100BASE-T1)、IEEE802.3bp(1000BASE-T1)、OPEN Alliance TC8

(100Base-T1)，主要评估车载以太网的电气特性。测试的内容主要包括常规测试项：传输衰落、传输失真、传输时钟抖动 (Master&Slave)、传输功率谱密度、传输时钟频率、MDI 回损，还有其他的测试项：MDI 模式转换损耗、共模辐射等。

4.1

测试设备

测试过程中，需要用到的仪器主要有示波器、矢量网络分析仪（VNA）、一致性分析软件、夹具等，夹具连接在被测设备（DUT）和示波器之间，起到电路转换的作用，不同测试设备需要的设备性能也有所不同：

表 4.1 一致性测试设备性能要求

仪器	协议	
	100Base-T1	1000Base-T1
示波器	≥1 GHz 带宽, 2 通道	≥2 GHz 带宽, 2 通道
差分探头	≥1 GHz 带宽	≥2 GHz 带宽
函数/任意波形发生器	≥12 MHz 带宽, 2 通道 单端 5.4 Vpp, 差分 2.7Vpp	≥125 MHz 带宽, 2 通道 单端 3.6 Vpp, 差分 1.8 Vpp
矢量网络分析仪	频率范围:1 MHz~66 MHz 2 端口配置	频率范围:2 MHz~600 MHz 2 端口配置

同时不同的测试项目所需用到的仪器也有所区别：

表 4.2 一致性测试不同项目设备需求

测试项	测试设备			
	示波器	信号发生器	矢网分析仪	夹具
输出衰落	√			√
主时序抖动	√			√

测试项	测试设备			
	示波器	信号发生器	矢量分析仪	夹具
时钟频率	√			√
从时序抖动	√			√
传输失真	√	√		√
MDI 模式转换损耗	√		√	√
MDI 回波损耗	√		√	√
功率谱密度 PSD	√			√
峰值输出电压	√			√
MDI 共模发射	√			√
MDI 输出抖动	√			√

完成车载以太网一致性测试需要设置清单如下：

表 4.3 一致性测试配置清单

设备	说明	推荐型号
示波器	支持一致性测试选件	DS70000+DS70000-AUTOENTC
差分探头	差分探头	PVA8000
测试夹具	连接在被测设备(DUT)和示波器之间，起到电路转换的作用	- TF-AENET-MB-STP(分线板) - TF-AENET-FDB-STP(变频器板) - TF-AENET-PAB-STP(放大器板) - TF-AENET-MATPAD \MTD-STP(MATEnet 接口\焊接式\H-MTD 接口适配板) - TF-AENET-MSB-STP(开关矩阵)
函数/任意波形发生器	满足生成干扰信号的性能要求	DG4000
频谱分析仪	支持矢量网络分析仪(VNA)模式	RSA3000N 系列
VNA 校准套件	网分校准套件	CK106A\CK106E
低通滤波器	低通滤波器用于失真测试	TF-AENET-FB-STP

4.2 测试流程

方案配置后可以参照如下操作流程完成测试：

在“汽车以太网测试”菜单中点击“系统设置”进入子菜单如下图所示，可对被测的信号类型及各测试项的不同测量方案进行选择 and 配置。通过“协议规范”和测试“信号速率”下拉菜单，选择测试协议规范和信号速率。

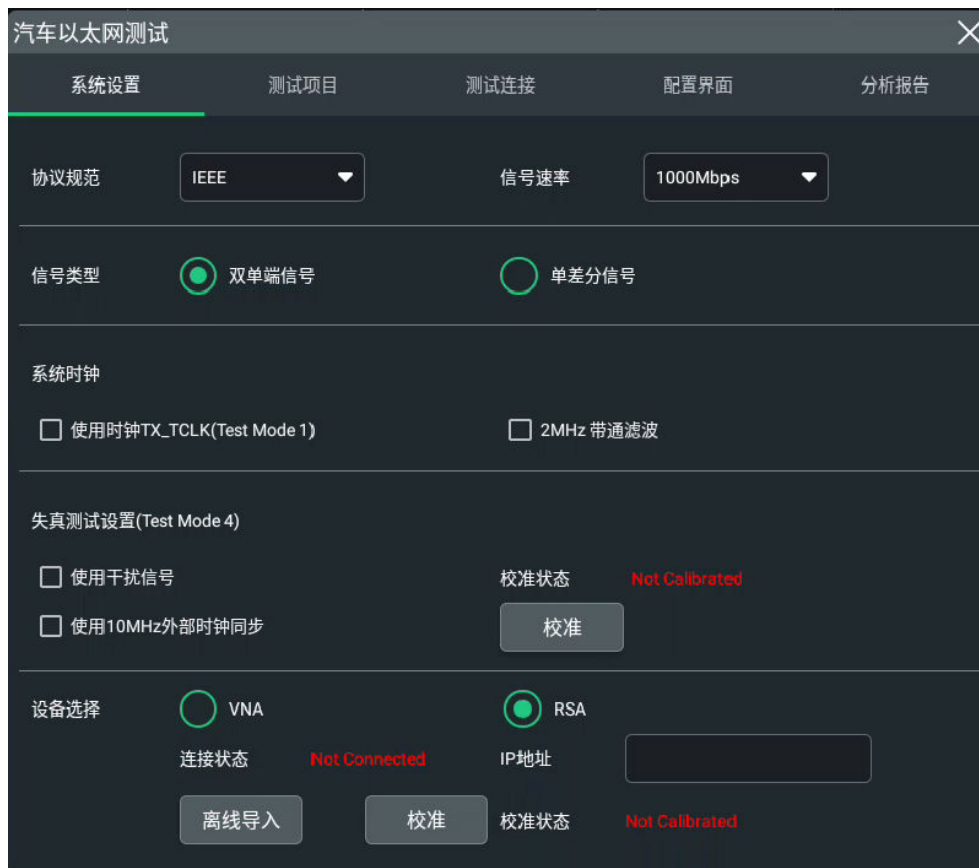


图 4.1 系统设置菜单界面

确定测试信号的协议和速率后，点击“测试项目”可进入选择测试项目子菜单，选择需要进行的测试项目，例如可以选择 100Base-T1 的测试模式四的“传输失真”测试。



图 4.2 测试项目菜单界面

在指定测试项并完成相关配置之后，进入“测试连接”子菜单可查看当前测试的连接图，按照连接图完成设备连接。如图为传输失真连线图，在传输失真中测试中，需要使用函数信号发生器输出对应信号作为干扰源接到夹具上。

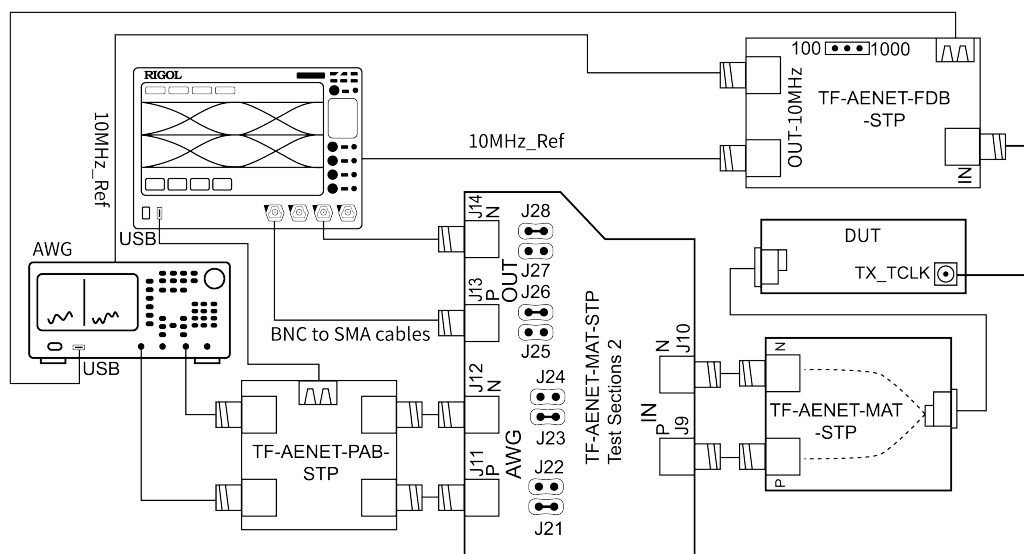


图 4.3 测试连接菜单界面

完成设备连接后点击“配置界面”完成信源等设置配置，确认无误后点击“波形预览”和“启动测量”，完成测试。

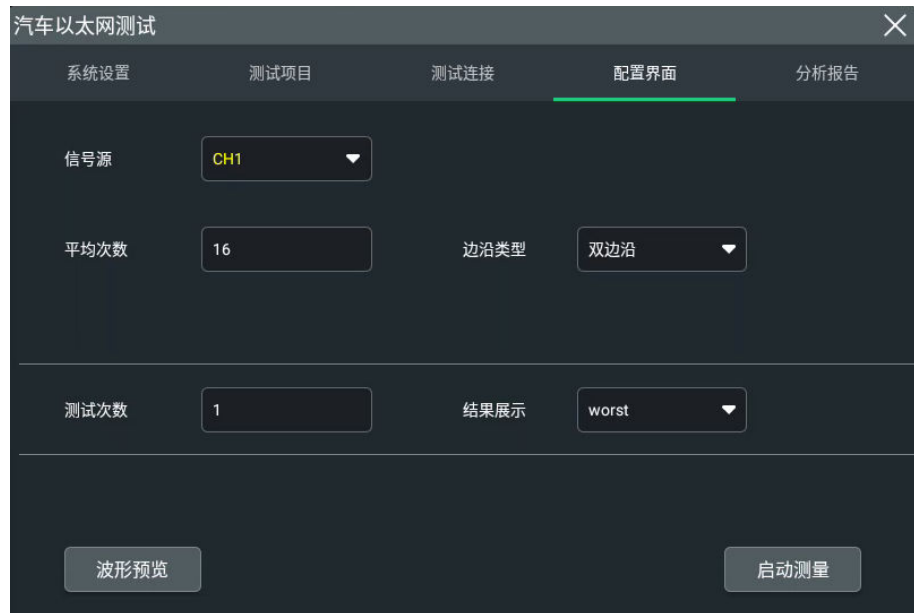


图 4.4 配置菜单界

按照步骤连接测试后可生成测试报告，根据需求查看和保存测试报告并下载到本地进行详细分析。

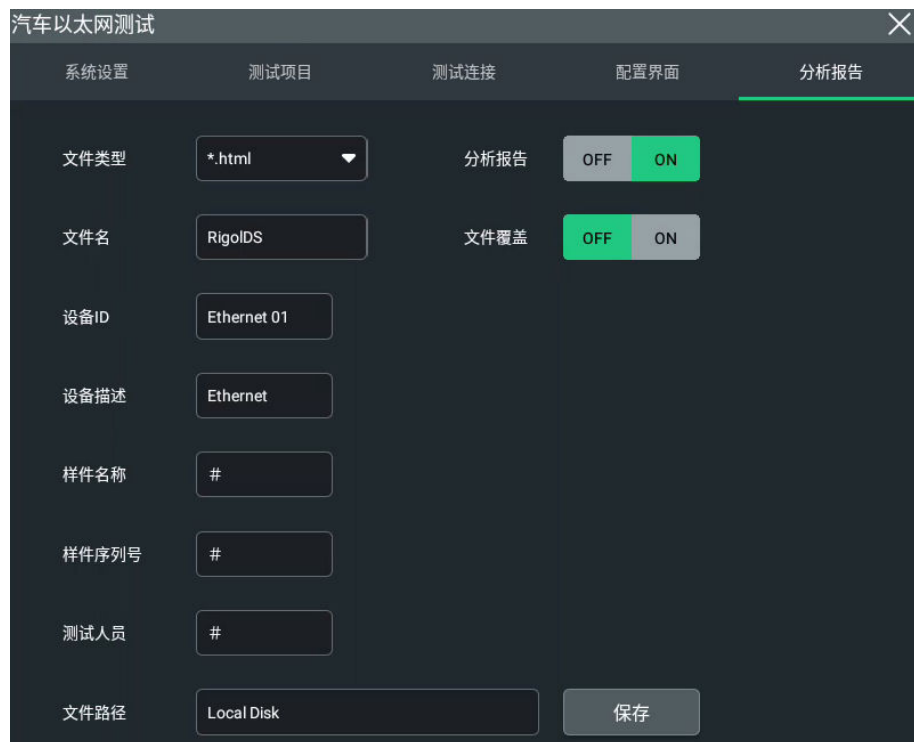


图 4.5 报告导出菜单界面

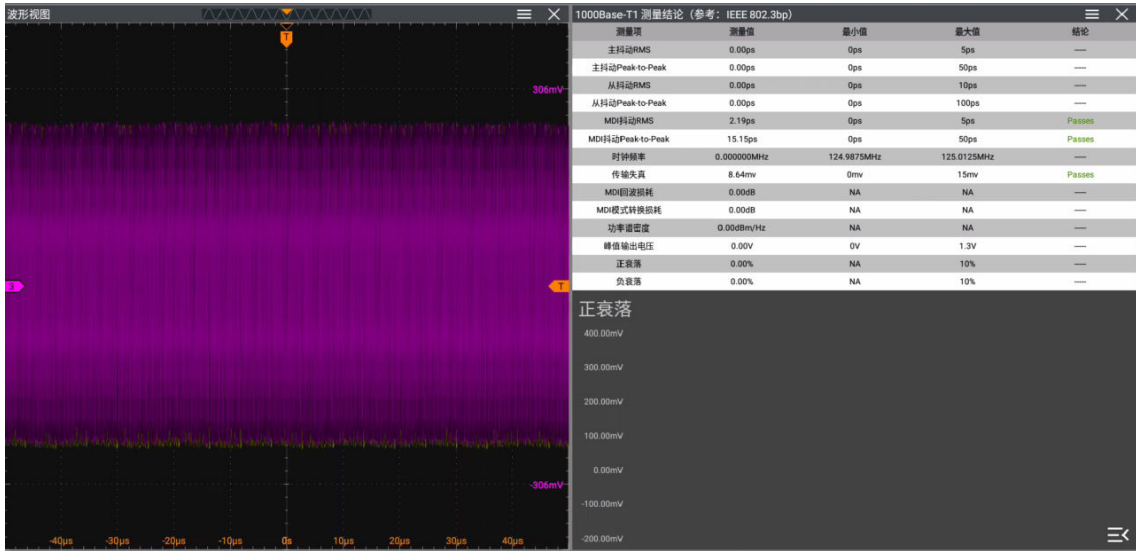


图 4.6 一致性测试分析报告

4.3 测试报告

一致性测试报告可以导出为 HTML 和 PDF 文件，报告里面详细的记录了测试信息以及测试结果，包含测试信息、结果摘要、详细测试数据已经测试图片。

测试信息

在测试信息中，通过报告可以查看本次测试的测试配置信息、设备说明、测试信息（例如被测物、被测物序号等等）

Automotive Ethernet Test Report

Test Configuration Details	
Application	
Name	Automotive Ethernet Test Application
Version	00.05.04
Device Description	
Technology Spec	IEEE 802.3bp
SignalSource	Oscilloscope
DisturbingSignalSource	DG
VNA Calibration Type	Manual Calibration
Test Session Details	
Oscilloscope Model Number	DS70000
Oscilloscope Serial Number	DS70000
Device Description	AEthernet
DUT/ECU Name	#
DUT/ECU ID	#
Tester	#
Compliance Limits	IEEE 802.3bp-2016 Specification(official)
Last Test Date	2024-02-23 11:46:55

结果摘要

我们能在这部分整体查看所有测试项目的名称、测试结果、以及标准范围，并能整体查看测试项目的通过情况，及时对未通过的测试项目进行分析和整改。

Summary of Results

Pass	Test Count	Test Name	Worst Actual	Pass Limits
	0	Master TX_TCLK125 RMS jitter(w/TX_TCLK125)		VALUE < 5.0 ps
	0	Master TX_TCLK125 Peak-to-Peak jitter(w/TX_TCLK125)		VALUE < 50.0 ps
	0	Slave TX_TCLK125 RMS jitter(w/TX_TCLK125)		VALUE < 10.0 ps
	0	Slave TX_TCLK125 Peak-to-Peak jitter(w/TX_TCLK125)		VALUE < 100.0 ps
√	2	MDI Output Jitter, RMS (Master)	0.59ps	VALUE < 5.0 ps
√	2	MDI Output Jitter, Peak-to-Peak (Master)	4.70ps	VALUE < 50.0 ps
√	1	Transmit Clock Frequency	125.001991MHz	124.987500 MHz <= VALUE <= 125.012500 MHz
	0	Transmitter Distortion(w/o Disturbing Signal)		VALUE <= 15.000 mV
	0	MDI return Loss		Overall = Pass
	0	MDI Mode conversion		Overall = Pass
×	2	Transmitter Power Spectral Density (PSD)	-10.11dBm/Hz	Overall = Pass
√	2	Peak Differential Output	0.37V	VALUE <= 1.3V
√	1	Transmitter +Vout Droop	-10.57%	VALUE < 10.00 %
√	1	Transmitter -Vout Droop	-28.00%	VALUE < 10.00 %

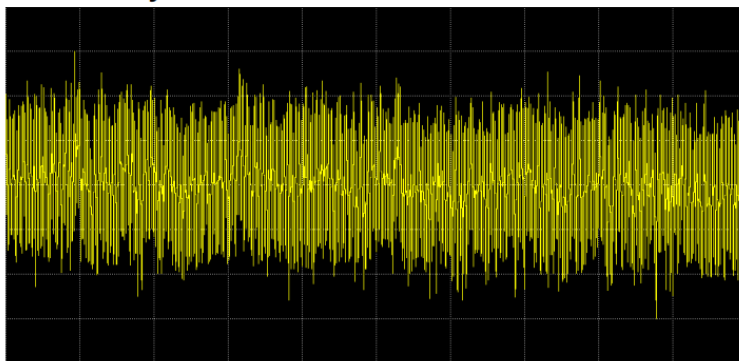
测试结果及图片

报告的下面部分是详细的测试结果以及对应的图片，可以通过测试数据与图片分析产品问题点，及时做出更改和对比测试。

MDI jitter

Description	MDI jitter
Test Count	2
RMS Result	0.59ps
RMS Ispass	Pass
Peak-to-peak Result	4.70ps
Peak-to-peak Ispass	Pass

Trial 1:MDI jitter



5 总结

RIGOL 车载以太网一致性测试技术优势：

- 支持 IEEE 和 OPEN 联盟的标准化协议，测试覆盖范围广泛。
 - IEEE 802.3bw, 100BASE-T1, 100 Mbps
 - Alliance TC8, 100BASE-T1, 100 Mbps
 - IEEE 802.3bp, 1000BASE-T1, 1 Gbps
- 支持灵活配置多种测试场景，构造多个测试项目组合，一次完成多项测试。
- 示波器的测试操作界面提供测试设备连接与测试步骤，引导用户完成测试。
- 支持预览测试波形，提前判断测试的准确性和有效性。
- 支持生成自定义的 HTML 测试报告，包含测试结论和具体的测量值。
- 提供全套的测试设备及所需附件，并配套使用说明，全方位指导测试操作。

RIGOL 车载以太网解决方案适用于各种汽车制造商、一级供应商、芯片组厂商以及其他相关行业，它们可以帮助这些企业快速验证和调试车载以太网器件，确保产品符合 IEEE 和 OPEN 联盟的要求，同时加快产品上市时间。

全面助力智慧世界和科技创新



5G 蜂窝-5G/WIFI
UWB/RFID/ ZIGBEE
数字总线/以太网
光通信

数字/模拟/射频芯片
存储器及MCU芯片
第三代半导体
太阳能光伏电池

新能源汽车
光伏/逆变器
电源测试
汽车电子

为行业客户提供测试测量产品和解决方案

RIGOL开放实验室

地址：北京、苏州、深圳、西安

开放时间：工作日 9:00 am~6:00 pm

预约方式：实验室工程师小源 18061921901

实验室微信号 18061921901

RIGOL客服热线：400-620-0002

官网预约网址：

<https://www.rigol.com/quote/Lab-appoint.html>

RIGOL®是普源精电科技股份有限公司的英文名称和商标。
本文档中的产品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



RIGOL开放实验室微信号



RIGOL实验室视频号



RIGOL官方微信



RIGOL官网