

车载以太网物理层 一致性解决方案



汽车电子解决方案

AN0001-CN01A

声明

- 公司产品受已获准及尚在审批的中华人民共和国专利的保护
- 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
- 未经本公司同意，不得以任何形式或手段复制、摘抄、翻译本手册的内容

产品认证

SIGLENT 认证本产品符合中国国家产品标准和行业产品标准，并进一步认证本产品符合其他国际标准组织成员的相关标准。

联系我们

深圳市鼎阳科技股份有限公司

地址：广东省深圳市宝安区 68 区安通达工业园一栋&四栋&五栋

服务热线：400-878-0807

E-mail: support@siglent.com

网址: <https://www.siglent.com>

修改人	修改时间	修改内容
张贺阳	2024 年 3 月 8 日	初始版本

1 引言

近年来，主要受信息娱乐系统，先进的驾驶员辅助系统（ADAS），动力传动系统和车身电子设备的推动，汽车的电气系统越来越复杂。每次性能的提高都需要更快的数据传输速率，由于当今车辆中的各种电子控制单元（ECU）之间需要共享大量的实时数据，车载以太网应运而生。

与同为汽车总线的 CAN/LIN 低速背板不同，车载以太网需要进行一致性测试，根据 IEEE 和 OPEN 联盟的规定，车载以太网的物理层（PHY）根据速率被分为了百兆车载以太网（100BASE-T1）和千兆车载以太网（1000BASE-T1）。

2 难点与挑战

不论是 100BASE-T1 还是 1000BASE-T1 的测试，都涉及到多台设备协同工作。这对于产品的相互控制进行测试项的配置和数据的读写都有了更高的要求，对于公司的产品丰富度也是一个挑战。

对于自动化测试应用，能够稳定地自动捕获信号是一大挑战，我们的工程师花费了数千小时来学习标准并且创建了自动化、重复性强的一致性测试。这些一致性测试软件可以根据 IEEE/OPEN Alliance 规范自动执行物理层测试。

车载以太网一致性测试常见测试项：

- 基本的一致性测试
- 失真测试
- 回波损耗测试

3 解决方案

3.1 一致性测试的必要性

随着数据速率的提高，数据和时钟线之间愈发严重的偏移越来越难以在并行总线中解决，工程师们给出的解决方案是使用快速串行通道。较新的串行总线结构正在迅速取代高速数字系统的并行总线结构，这些协议配有嵌入式时钟，可以实现简单路由以及每个引脚更高带宽的目标。然而，这些串行互连也遇到了一些自身的问题，为了保持与较早的并行总线相同的总带宽，新串行总线需要增加其数据速率。随着串行互连的数据速率增加，从 0 逻辑电平到 1 逻辑电平的数据瞬变上升时间变短。这种较短的上升沿在传输线的阻抗不连续处会造成很大的反射，从而使远端的眼图效果变差。因此，在设计电路时不能再忽略物理层元器件如印刷电路板走线、连接器、电缆和集成电路封装带来的影响。

实际上，在很多情况下，芯片的速度已经快到使得物理层器件成为瓶颈。为了在整个通道中保持信号完整性，各种串行总线中大量使用了拥有良好的共模抑制比的差分电路。但与此同时，差分传输线加上高速数据的微波效应让工程师对新的设计和验证工具提出了需求。我们迫切的需要一个测试测量解决方案，以便对高速数字互连中看到的复杂微波特性进行简单的表征，一致性验证应运而生。

与传统工业以太网相比，车载以太网仅需要使用 1 对双绞线，而工业以太网则需要多对，线束较多。同时，工业以太网一般使用 RJ45 连接器连接，而车载以太网并未指定特定的连接器，连接方式更为灵活小巧，能够大大减轻线束重量。除此以外，车载以太网物理层需满足车载环境下更为严格的 EMC 要求，对于非屏蔽双绞线的传输距离需达到 15m（屏蔽双绞线达 40m）。面对如此严格的传输要求，业界统一了接口标准，也就是车载以太网物理层一致性验证的标准。

以太网控制器和物理介质连接的模块叫做物理层，在出厂之前，制造商必须验证以太网接口的一致性，确保接口的正确的电气性能。不满足规范要求的产品可能会导致车载以太网信号质量恶化、通信异常，或导致严重 EMC 问题。对于芯片供应商，满足 IEEE/OPEN 联盟标准是其产品进入市场的准入门槛；对于 OEM 厂商的 ECU 产品开发周期漫长，符合规范的 PHY 芯片可以有效加快产品投放速度，芯片再集成到 ECU 后，也需要进行一致性测；对于整车厂商，为了保证整车的电子性能，同样对 ECU 产品中车载以太网单元有严格的一致性测试验证需求。

3.2 车载以太网物理层验证概述

鼎阳科技提供的车载以太网电气一致性分析解决方案可以自动化进行电气测试，从而节省宝贵的测试时间。在执行车载以太网电气一致性测试时，如何正确搭建测试环境、被测件(DUT: Device under test 的缩写)应该发出怎样的测试码型、怎么通过与测试指标中给出的极限值进行对比来分析测量结果，这些都是需要解决的问题。SDS7000A-CT-100BASE-T1/SDS7000A-CT-1000BASE-T1 能够帮助和引导您完成其中大部分操作。

车载以太网电气一致性分析软件可以执行单项或多项测试、展示如何将示波器和被测设备连接、为每个测试项目自动设置示波器、显示已执行测试的每个项目的详细信息和通过标准、可创建 HTML 或 XML 测试报告。

示波器是一致性测试中使用到的最主要的工具。其中失真、MDI 回波损耗、MDI 模式转换和功率谱密度 (PSD) 测试还需要使用一些额外的仪器。在失真测试中需要用到信号发生器，在回波损耗和模式转换中需要用到矢量网络分析仪，在功率谱密度测试中，为了提高测量的精度，可以选择使用频谱分析仪来进行测试。

一致性测试的测试项目繁多，工程师往往不明白为什么要测试某些项目，更搞不明白这些项目差了一点会对产品的性能产生什么影响，比如传输衰落(droop)，要求 500ns 内的电压衰落在 45% 以内，但如果测试的结果是传输衰落为 46%，怎么办？由于一致性测试要求的测试项目很多，在产品的开发调试阶段，往往会更关注一些关键测试项目，如数据率、抖动测量，SDS7000A 系列示波器支持进行单项测试并生成测试报告。

车载以太网一致性测试软件(以下简称测试软件)支持幅度测试。传输衰落测试测量了 500ns 内的电压峰值衰落,反映了电压驱动能力。支持频率和抖动测试,通过使被测件重复传输{+1, - 1}数据符号序列,来测试 PHY 发送时钟频率,并从中计算出 MDI 上信号的时间间隔误差。

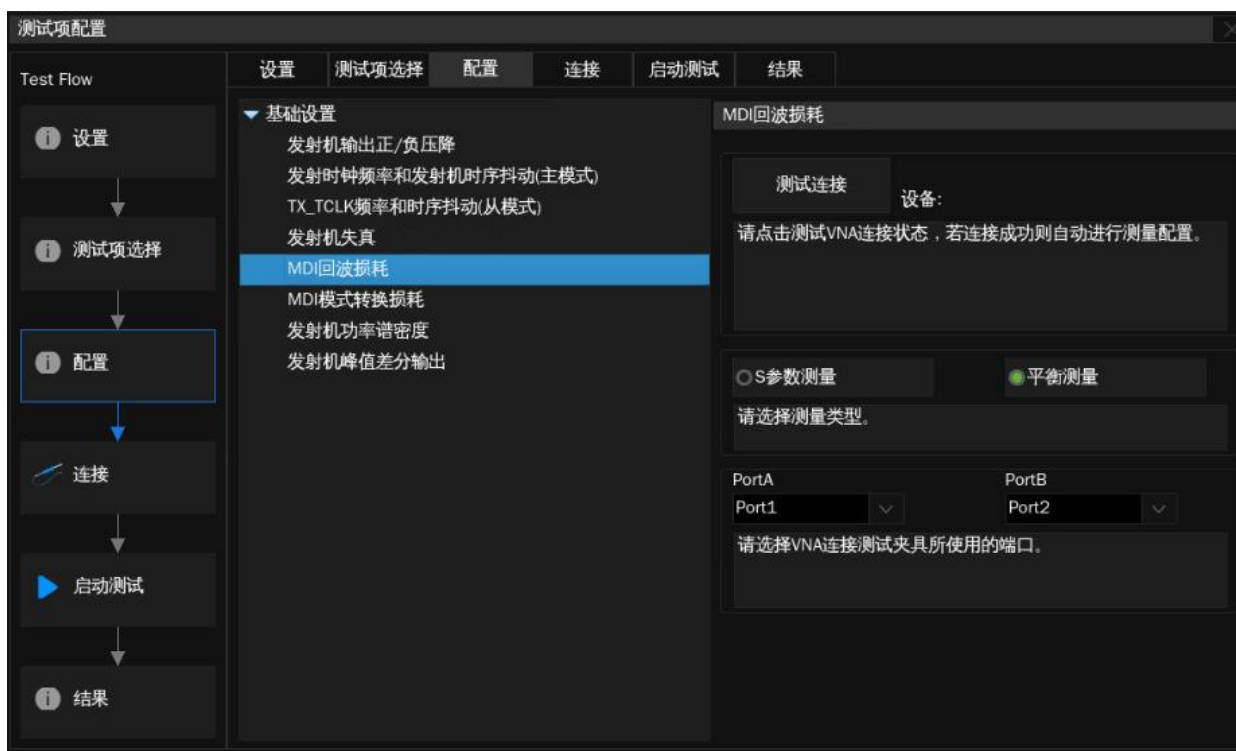
测试软件支持传输失真测试。使用鼎阳科技的 SDG 系列任意波形发生器来对干扰信号进行校准并将其添加到 DUT 发送的信号中。引入干扰信号后通过示波器对差分输出信号用任意相位进行采样,并使用标准参考中提供的 MATLAB 代码处理任意 2047 个连续采样的点来确定传输失真。该项测试反映了差分信号的抗干扰能力。

测试软件支持回波损耗测试。该项测试需要用到矢量网络分析仪,鼎阳的一致性测试软件支持示波器控制矢量网络分析仪进行自动化测试。此测试项主要是验证在 MDI 接口处因阻抗不连续造成的信号反射是否符合标准要求,所以测试夹具和被测样件之间的“链路”的品质对测试结果的影响很大。

3.3 一致性测试操作步骤

第一步,选择要进行的测试项。可以选择同一协议测试中的全部测试项,也可以指定单个测试项目。也可以将测试和配置保存为配置文件以便之后重新调用,这样有助于提升测试速度,也有助于验证之前的测试结果。

如需选择测试标准和测量类型,可以通过配置中的按钮进行选择



第二步,配置被测物进入相应的测试模式,发送特定的信号。不同测试项对应的测试模式如下表所示:

表格 1 100BASE-T1 测试模式对应表

发射机输出正/负压降	测试模式 1
发射时钟频率和发射机时序抖动	测试模式 2
发射机失真	测试模式 4
发射机功率谱密度和峰值差分输出 MDI 共模辐射	测试模式 5
TX_CLK 频率和时序抖动 MDI 回波损耗 MDI 模式转换损耗	从模式


表格 2 1000BASE-T1 测试模式对应表

发射时钟 TX_TCLK125 频率和时序抖动	测试模式 1
发射机时钟频率和 MDI 时序抖动	测试模式 2
发射机失真	测试模式 4
发射机功率谱密度和峰值差分输出	测试模式 5
发射机输出正/负压降	测试模式 6
MDI 回波损耗 MDI 模式转换损耗	从模式

第三步，根据接线图搭建测试环境。一致性测试支持使用差分探头和 SMA 进行测试并且搭配有不同的连接方式指引，可以满足更丰富的测试环境。连接图中包括了 DUT、线缆以及在不同测试项中使用到的矢量网络分析仪等仪器。当同时进行多项测试需要更改连线时，连接方式会以弹窗的形式弹出提示更改连线和测试模式并显示相关的连接图。



第四步，查看结果并生成报告。在完成测量和计算后，示波器将会将计算结果呈现出来，不仅显示被测件在特定的测试中是否合格 (pass/fail)，还给出了该产品超出或者距离合格标准的余量。可以将测试报告以 HTML 或者 XML 的格式导出，报告中会记录每项测试的细节，包括峰峰值、标准差、统计次数和平均值。



Automotive Ethernet 1000base-T1 Compliance Test Report

Overall Result: Pass

Operator:	SIGLENT
Test Date:	
Device:	DUT
Temperature:	25
Remarks:	this report is just for test
Oscilloscope Name:	SOS74044 H12
Oscilloscope Serial Number:	SOS70020230501
Oscilloscope Scope ID:	p87d7902-e7c6-f157
Oscilloscope Firmware Version:	04.13.01.1.1.4.3
Test Result:	Total:5,Pass:5,Not Tested:0,Fail:0

Summary

RESULT	TEST ITEM	VALUE	VAL(MIN)	VAL(MAX)	MARGIN	LIMIT
PASS	TX_TCLK125_FREQUENCY	125.000000	124.830455	125.173680	50.00%	124.987500MHz <= Value <= 125.012500MHz
PASS	TX_TCLK125_MASTER_RMS_JITTER	21.0fs	-702fs	602fs	95.81%	Value <= 5ps
PASS	TX_TCLK125_MASTER_PKPK_JITTER	1.446ps	608fs	8.38fs	97.11%	Value <= 50ps
PASS	TX_TCLK125_SLAVE_RMS_JITTER	26.2fs	873fs	584fs	97.38%	Value <= 10ps
PASS	TX_TCLK125_SLAVE_PKPK_JITTER	1.605ps	1.855fs	750fs	98.39%	Value <= 100ps

Details [\[Top\]](#)

TX_TCLK125_FREQUENCY	
Current	125.00000075053130MHz
Mean	125.00000075053130MHz

4 一致性测试的共性问题

4.1 如何将信号引到示波器

对于绝大部分一致性测试方案，都需要使用夹具和测试线缆、探头将信号从 DUT 引到示波器中。对于有些串行数据，在测试不同项目时需要改变夹具的连接方式，有时还需要用到多块夹具共同作用。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。事实上，在不进行一致性测试，譬如调试信号时，也可以使用夹具来将信号引到示波器。不论是哪种一致性测试，都会有一部分来测量差分对的电气特性，负责这一部分的夹具就是将难以用示波器探头测量的线缆引导了夹具的测试线缆和探头接口中，可以通过这种方式来测量线缆中差分对的信号。

4.2 被测设备发包

一致性测试的难点之一是发包问题。一致性测试是一种强制性测试，必须要发出规定的波形去测试才能得到标准中的结果。如果每个人都按照自己的工作信号来进行测试，那就找不到这个“一致性”的标准了。很多客户不知道如何去发包，而且认为这个是仪器厂家的事情。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来控制发包，从而控制被测件发出对应的波形进行测试，所以几乎每种被测件都有自己独特的发包方式。

5 配置指南

SDS7000A-CT-100BASE-T1/ SDS7000A-CT-1000BASE-T1 目前仅支持鼎阳 SDS7000A 系列示波器，根据不同的测试需求需要使用额外的硬件。下表列出了规范的最低要求，同时列出了鼎阳科技为该类测试提供的相应的测试测量仪器。

完全符合 100BASE-T1 标准的最低配置订单实例：

名称	数量	型号	描述
高分辨率数字示波器	1	SDS7204 H10	示波器
百兆车载以太网一致性测试选件 (软件)	1	SDS7000A-CT-100BASE-T1	100BASE-T1 车载以太网发射机一致性测试软件
车载以太网测试夹具套件	1	FX_AMETH	车载以太网发射机一致性测试夹具
任意波形发生器	1	SDG1032X	用于发射机失真测试的任意波形发生器
频谱分析仪 (可选)	1	SSA3015X plus	用于提高发射机功率谱密度的测试精度
矢量网络分析仪	1	SNA5052X	用于 MDI 回波损耗测量
N-SMA 线缆	2	S06-NMSF-1M	用于连接矢量网络分析仪/频谱分析仪和示波器
校准件	1	F603FE	用于回波损耗测量中校准矢量网络分析仪

完全符合 1000BASE-T1 标准的最低配置订单实例：

名称	数量	型号	描述
高分辨率数字示波器	1	SDS7204 H10	示波器

千兆车载以太网一致性测试选件(软件)	1	SDS7000A-CT-1000BASE-T1	1000BASE-T1 车载以太网发射机一致性测试软件
车载以太网夹具	1	FX_AMETH	车载以太网发射机一致性测试夹具
任意波形发生器	1	SDG6012X-E	用于发射机失真测试的任意波形发生器
频谱仪(可选)	1	SSA3015X plus	用于提高发射机功率谱密度的测试精度
矢量网络分析仪	1	SNA5052X	用于 MDI 回波损耗测量
N 公-SMA 公线 缆	2	S06-NMSF-1M	用于连接矢量网络分析仪/频谱分析仪和示波器
校准件	1	F603FE	用于回波损耗测量中校准矢量网络分析仪

关于鼎阳

鼎阳科技 (SIGLENT) 是通用电子测试测量仪器领域的行业领军企业，A股上市公司。

2002年，鼎阳科技创始人开始专注于示波器研发，2005年成功研制出鼎阳第一款数字示波器。历经多年发展，鼎阳产品已扩展到数字示波器、手持示波表、函数/任意波形发生器、频谱分析仪、矢量网络分析仪、射频/微波信号源、台式万用表、直流电源、电子负载等基础测试测量仪器产品，是全球极少数能够同时研发、生产、销售数字示波器、信号发生器、频谱分析仪和矢量网络分析仪四大通用电子测试测量仪器主力产品的厂家之一，国家重点“小巨人”企业。同时也是国内主要竞争对手中极少数同时拥有这四大主力产品并且四大主力产品全线进入高端领域的厂家。公司总部位于深圳，在美国克利夫兰、德国奥格斯堡、日本东京成立了子公司，在成都成立了分公司，产品远销全球80多个国家和地区，SIGLENT已经成为全球知名的测试测量仪器品牌。


联系我们

深圳市鼎阳科技股份有限公司

全国免费服务热线：400-878-0807

网址：www.siglent.com

声明

 SIGLENT 鼎阳 是深圳市鼎阳科技股份有限公司的注册商标，事先未经过允许，不得以任何形式或通过任何方式复制本手册中的任何内容。

本资料中的信息代替原先的此前所有版本。技术数据如有变更，恕不另行通告。

技术许可

对于本文档中描述的硬件和软件，仅在得到许可的情况下才会提供，并且只能根据许可进行使用或复制。

