

泰克汽车以太网测试

白皮书



对比过去、现在、将来的汽车，有一个明显的趋势：汽车已经成为带轮子的数据中心。在每辆汽车内部，来自安全系统、机载传感器、导航系统等的数据流量，以及对这些数据的依赖程度，都在不断迅速增长。

在未来几年中，我们预计每辆汽车中都会看到超过 100 个 ECU，联网的车内网络每天会承载几 TB 数据。

随着传感器的数量越来越多，灵敏度越来越高，它们会产生庞大的数据。可以想象，10~20 个摄像头，提供 360 度全景视图，所有摄像头都发送 1080p (现在) 或 4K (将来) 高清数据流，像素深度从 16 位提高到 20 位甚至 24 位。这些数字正在迅速叠加在一起：一个支持 24 位像素深度的 4K 摄像头以每秒 10~30 帧的速率，生成每帧 199 Mb 的数据。2 尽管 1 Gbps 速率现在可能足够了，但很快就需要 10 Gbps。

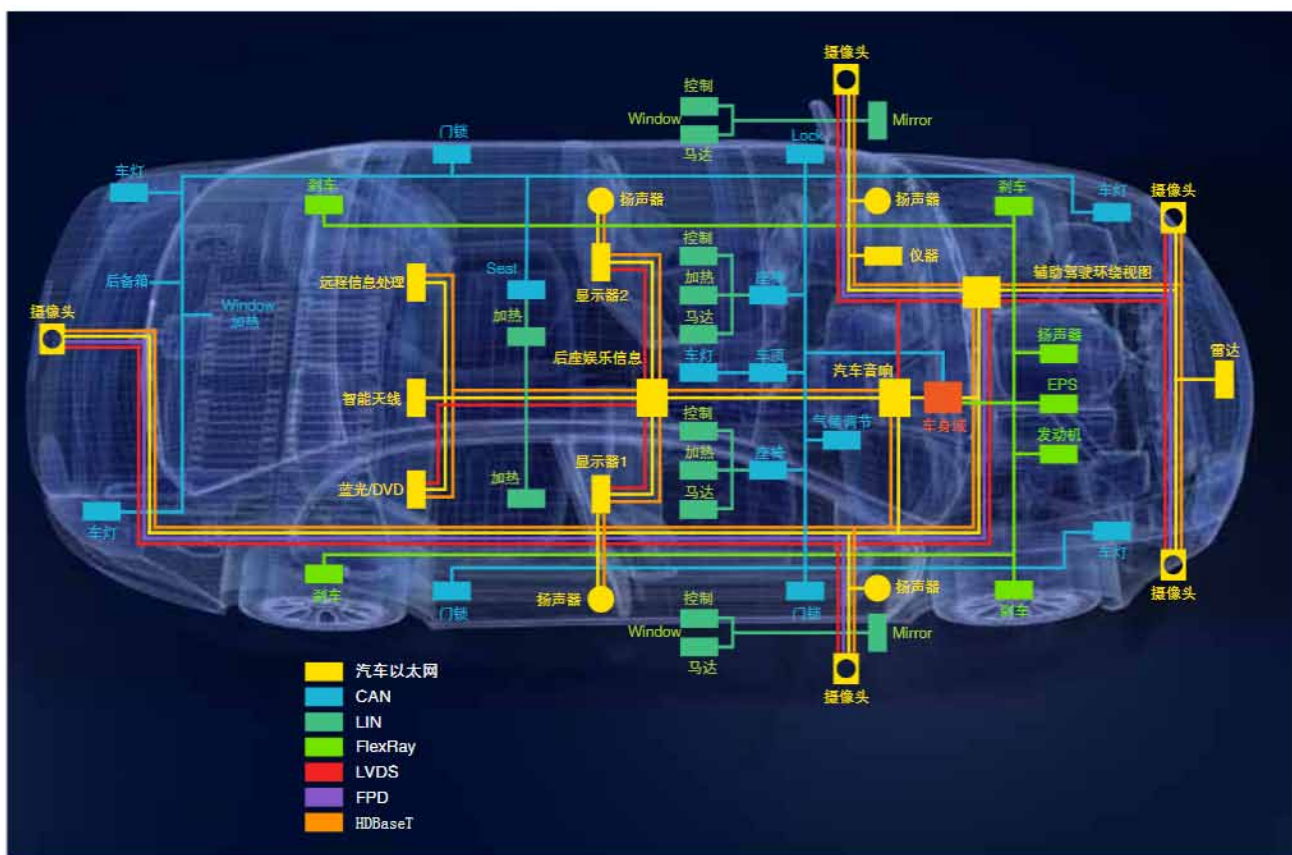


图 1. 传感器与 ECU 数量越来越多，需要更快的数据速率和更宽的带宽

目前, IVNs 采用预处理硬件, 在传感器上执行数据精简 (即压缩)。遗憾的是, 这会引入时延, 影响响应时间, 同时还会降低图像质量, 从而限制可用的检测距离。一个新兴解决方案是以 2 - 8 Gbps 速率把原始数据传送到集中式片上系统 (SoCs) 或通用处理单元 (GPUs), SoC 或 GPU 可以对输入的实时数据进行压缩。IVNs 正从扁平结构转向域控制器结构, 在域控制器结构中, 传感器会把原始数据传送到中央处理单元。

随着速度达到 10 Gbps, 汽车以太网将在承载高速数据通信方面发挥越来越大的作用, 包括:

- IEEE 802.3cg, 10BASE-T1, 10 Mbps;
- IEEE 802.3bw, 100BASE-T1, 100 Mbps;
- IEEE 802.3bp, 1000BASE-T1, 1 Gbps;
- IEEE 802.3ch, 10GBASE-T1, 2.5/5/10 Gbps。

考虑到可用的数据速率及对这些性能的需求不断增长, 另外需要降低线缆重量, 许多业界观察人员在预测汽车以太网的发展及联网的车载节点数量时均非常乐观。

汽车以太网概念是由 OPEN 联盟 SIG 提出来的, 也叫 IEEE 802.3bw (原 BroadR-Reach), 是为汽车联网应用设计的一种以太网物理层标准, 如高级安全功能、舒适和信息娱乐功能。通过汽车以太网, 多个车载系统可以经过一条非屏蔽单绞线电缆同时访问信息。对汽车制造商来说, 这一技术降低了联网成本和线缆重量, 同时提高了信号带宽。

为实现更高的信号带宽, 汽车以太网在双绞线电缆上采用全双工通信链路, 支持同时收发功能及 PAM3 信令。采用 PAM3 实现全双工通信, 可能会令查看汽车以太网业务及信号完整性测试变得非常复杂。

OPEN 联盟为元器件、信道和互操作能力制订了汽车以太网测试规范。测试系统整合了电子控制单元 (ECU)、连接器和非双绞线电缆。测试要求系统在车内苛刻的环境条件和噪声条件下工作。为此, 用户必需能够在系统级表征和查看信号完整性和业务, 才能执行可靠性测试。

客户需要在系统级进行信号完整性测试的应用实例有:

- TC8 信号质量测试
- ECU 元器件表征和测试
- 汽车以太网电缆、连接器、电缆长度和路由表征和测试
- 电磁噪声或高斯噪声测试
- 大电流注入测试
- 生产单元测试
- 汽车系统对汽车以太网性能的影响
 - DC 马达开 / 关
 - 发动机开 / 关
- 汽车以太网系统调试

建议在设计阶段执行信号完整性测试, 在系统整合前确定潜在的问题。

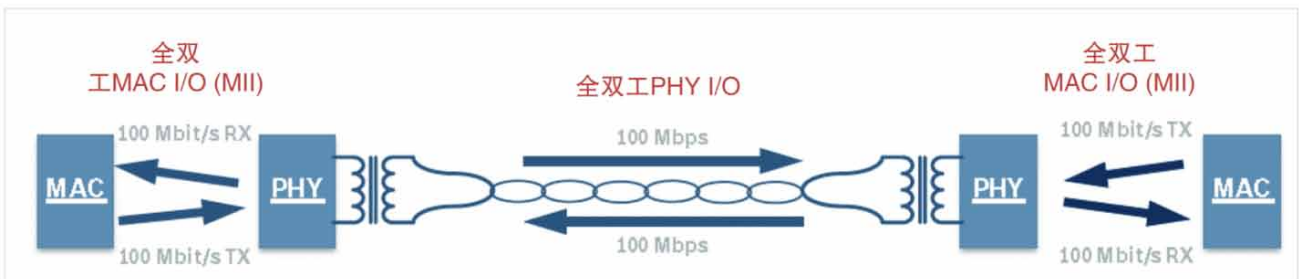


图 2. 汽车以太网全双工通信链条

1.1.1.1 挑战： 并排测试多条总线

测试车载网络要求在整个车辆中进行可靠性校验，包括互操作能力、抗干扰能力、串扰和干扰源。检验运行功能和通信可靠性将涵盖汽车内部每一个 ECU 管理的连接总线的系统（下图）。随着汽车的数据密集度越来越高，测试对保证生命周期所有阶段的安全可靠运行变得至关重要，包括开发、验证、生产、维护和保养。

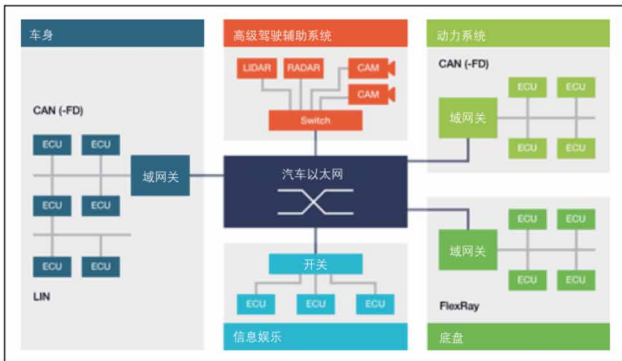


图 3. 车内网络结构示例

1.1.1.1.1 测试挑战 #1： 调试总线问题

车载通信可能仍会受到噪声、电路板布线及启动 / 关闭定时的影响，产生总线错误过多及锁定等问题。多条总线在汽车封闭的空间内同时运行，可能会产生 EMI，导致信号质量差。预一致性测试可以帮助您隔离和识别信号质量问题 and 总线性能问题的成因，另外还可以改善针对相关标准通过 EMI 和电磁兼容性 (EMC) 正式测试的能力，如 CISPR 12、CISPR 25、EN 55013、EN 55022（被 EN 55032 替代）和 CFR Title 47, Part 15。

1.1.1.1.2 测试挑战 #2： 检验电气一致性

保证汽车之间及汽车内部可靠的低时延数据流，对整个系统的安全运行至关重要。汽车以太网拥有 IEEE 和 OPEN 联盟规定的一套复杂的合规测试，包括各种电气要求，以确保满足标准。这些测试通常在设计、验证和生产过程中执行。在汽车以太网中，物理 (PHY) 层电气测试覆盖发射机 / 接收机（收发机）性能的多个关键指标，如下表所示。这些测量的具体目标，是测试物理介质连接（PMA）相对于各种电气参数数据的一致性。

Group 1: Electrical Measurements	
Maximum Transmitter Output Droop	Test 5.1.1
Transmitter Distortion	Test 5.1.2
Transmitter Timing Jitter (MASTER, SLAVE)	Test 5.1.3
Transmitter Power Spectral Density	Test 5.1.4
Transmit Clock Frequency	Test 5.1.5
MDI Return Loss	Test 5.1.6
MDI Mode Conversion Loss	Test 5.1.7
Transmitter Peak Differential Output	Test 5.1.8
1000BASE-T1 Measurement	Spec ID
Tx Droop Measurement	5.3.1
Tx Distortion Measurement	5.3.2
Tx_TCLK125 Jitter	5.3.3
Tx_TCLK125 Jitter	5.3.3
MDI_output_Jitter	5.3.3
Tx PSD	5.3.4
Tx Peak Diff output	5.3.5
Tx Clock Frequency	5.3.6
MDI Return Loss (S11)	7.2.1
MDI Mode Conversion loss	7.2.2

图 4. 100/1000BASE-T1 电气测试列表

1.1.1.1.3. 测试挑战 #3： 验证协议合规性和系统性能

汽车以太网采用称为三电平 PAM 或 PAM3 的技术，在相同的时钟频率上实现更高的数据速率。在 PAM3 中，每个电平必须在特定电压及相对紧张的容限范围内运行。

这些信号可能会相当复杂，但基于示波器的眼图测量可以以目视的方式，有效确定相对于信号编码要求的信号性能（即协议测试）。眼图的关键指标是眼高、眼宽、线性度和厚度（下图）。这些指标综合起来，提供了实用信息，表明信号可以多么正确可靠地提供编码信息。

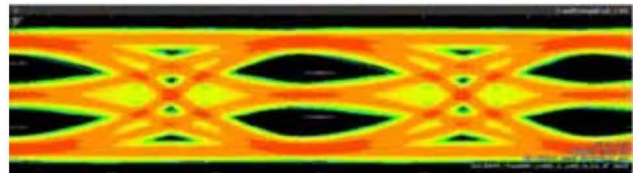


图 5. 累计眼图为一个或多个周期上查看和表征多电平信号提供了有效途径

还要指出的是，汽车以太网采用全双工操作，因此链接的两台设备可以同时收发数据。与传统共享网络相比，这提供了三个相关优势：第一，两台设备可以一次收发数据，而不是轮流收发数据；第二，系统的总带宽要更大；第三，全双工可以在不同的设备对（如主设备和从设备）之间同时实现多个会话。

除了这些复杂情况外，汽车工程师还面临着另一项挑战：采用 PAM3 信令进行全双工通信，使其很难先查看汽车以太网业务，然后再全面表征信号完整性。如果想在链路上执行信号完整性分析，并在真实系统环境中解码协议（使用示波器），设计人员必需分开查看每条链路，这要求先隔离信号，然后才能执行分析。

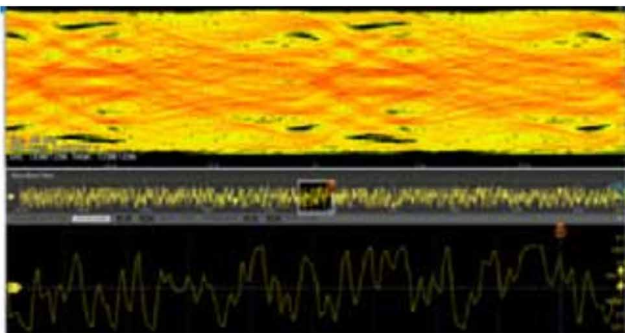


图 6. 实际车载以太网信号，主从信号无法分开

节点间的可靠通信对汽车运行至关重要。正因如此，我们强烈推荐在各种环境条件下，包括不同的电缆长度、注入噪声等，在系统级测试信号完整性和协议。

1.1.1.4 测试挑战 #4：获得排障和调试所需信息

不管问题是总线性能、EMI、电气一致性还是协议一致性，都有两个基础指标决定着信号质量，进而决定数据性能，那就是幅度和定时。这两个指标精确运行，对保证数字信息透过总线成功传输必不可少。由于总线速度越来越快，信号调制技术越来越复杂（如 PAM3），这一点也变得越来越困难。

在开始调试时，有六个常见问题，其根本原因通常也是众所周知：

- **幅度问题**：振铃，顶降，欠幅脉冲
- **边沿畸变**：电路板布线问题，端接不当，电路问题
- **反射**：电路板布线问题，端接不当
- **串扰**：信号耦合，EMI
- **地电平弹跳**：吸收电流过多，电源和地面回路内阻
- **抖动**：噪声，串扰，定时不稳定

示波器是首选的测量工具，但如果没有足够的频率覆盖范围、通道数、附件和屏幕分析功能，排障和调试过程可能会变得异常繁琐耗时。

1.1.2 泰克汽车以太网解决方案

1.1.2.1 标准化一致性测试

泰克科技致力与车内网络的前沿标准工作及一致性

测试。在 IEEE、Open Alliance、HD-BASE 联盟及 MIPI A-PHY 等等标准组织中都积极参与并提供业内领先的解决方案。下表给出了一致性测试速查表：

表格 1 汽车以太网一致性测试速查表

测试	示波器	软件	探头	信号源及夹具
10/100/1000 BASE-T1 一致性测试	5 系列、6 系列及 70k 系列示波器	选项：5/6 CMAUTOEN 一致性测试选项； 选项：BRR(70k 系列示波器) 一致性测试选项	TDP1500/ TDP3500/ PMCABLE1M 相位匹配电缆	AFG31000 系列函数发生器、ECU 系列夹具 (详情请与泰克联系)
2.5G/5G/10G BASE-T1 一致性测试	6 系列、70k 系列示波器	选项：6-CMAUTOEN10 一致性测试软件 选项：AUTOEN10 (70k 系列示波器) 一致性测试选项	PMCABLE1M 相位匹配电缆	AFG31000 系列函数发生器、ECU 系列夹具 (详情请与泰克联系)

1.1.2.2 系统级信号完整性：查看真实信号

要在单对双绞线上分离汽车以太网的主从信号有两种方法：

通过这种方法，用户可以查看主信号和从信号，但它引入了插损和回损，很难确定错误是系统引起的，还是新增硬件引起的。此外，尽管我们可能能够消除定向耦合器的影响，但反嵌可能会放大系统中的噪声，影响测量和表征精度。

1. 定向耦合器方法

要求用户断开或剪断汽车以太网电缆，插入定向耦合器来分隔和测试信号。这种方法在以最小干扰实现准确测试方面本身存在着缺陷。在系统级剪断电缆并不是一件易事，因此这种方法并不适合进行系统级测试。

直到最近，定向耦合器方法一直是默认的汽车以太网测试方法，因为之前一直没有泰克基于软件的信号分隔测试方法。

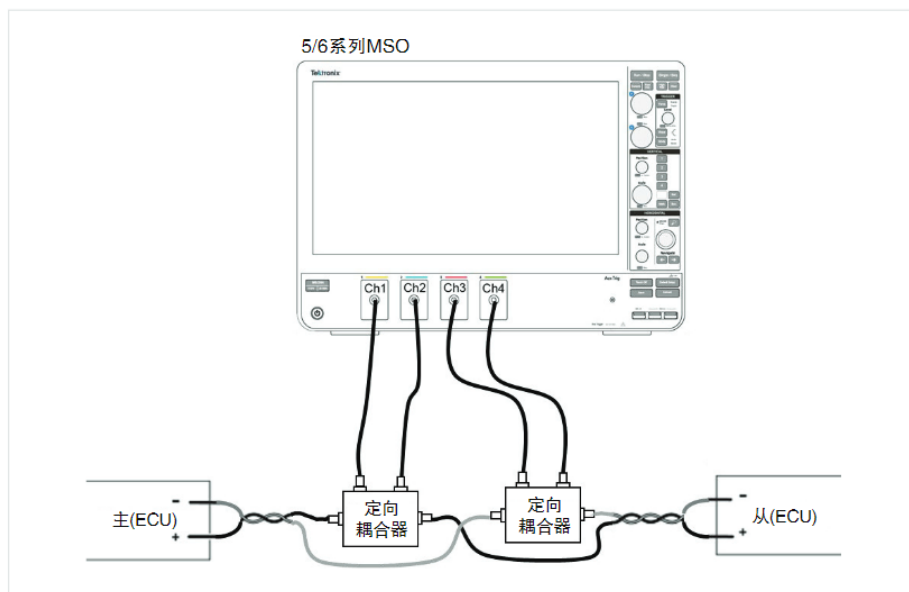


图 7. 汽车以太网定向耦合器信号分离方法

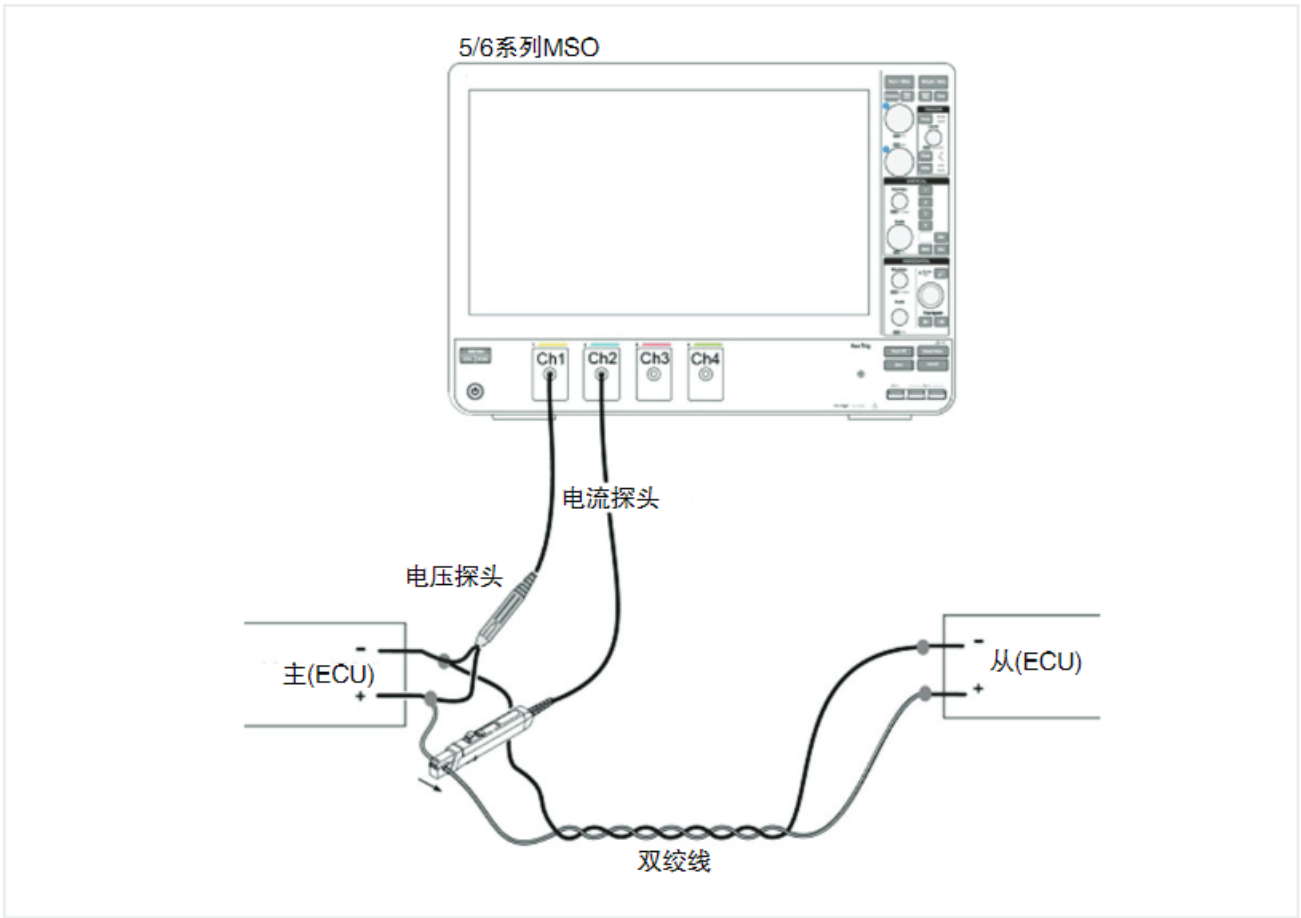


图 8. 汽车以太网泰克信号分隔方法

2. 泰克信号分隔方法

泰克信号分隔方法于 2019 年 7 月问世，它同时从主测试点和从测试点查看电压波形和电流波形，来分隔全双工信号，并采用专有软件算法提供分隔后的信号。泰克信号分隔方法是一种基于软件的解决方案，它不用剪断汽车以太网电缆，用户就能看到真实信号。

这种方法的优势之一，是它可以显示主信号和从信号，而不会像定向耦合器方法那样增加插损和回损及反嵌影响。

	Tek Solution	Other solution
Test setup	Voltage probe and current probe, Non-Intrusive method	Directional coupler, Automotive Ethernet to SMA convertor
Signal Integrity		
	Vpk-pk: ~2V	Vpk-pk: ~200mv, de-embedding would deteriorate signal to noise ration
Propagation delay	No delay	Varies with different Directional coupler
Advantage	True signal, easy to setup, accurate signal integrity, no need to de-embed	Difficult to use, impacts ECU performance, adds Insertion loss and MDI mode conversion loss

图 9. 汽车以太网两种信号分离方法比较

如上图所示，在实际的信号示例中，如果采用泰克的信号分离方法，由于没有破坏实际连接和嵌入定向耦合器，得到的 PAM3 信号的峰峰值约为 2V，相对于嵌入定向耦合器得到的 200mV 峰峰值，泰克信号分离方法得到的 PAM3 眼图幅度高得多并且信号的信噪

比也更加优异。通过这种全新的汽车以太网测试方法，用户可以表征信号，精度更高，时间更少，而且不会增加费用和测量挑战。用户可以使用这种方法，在系统级执行信号完整性测试，执行应用环境中提供的所有测试。

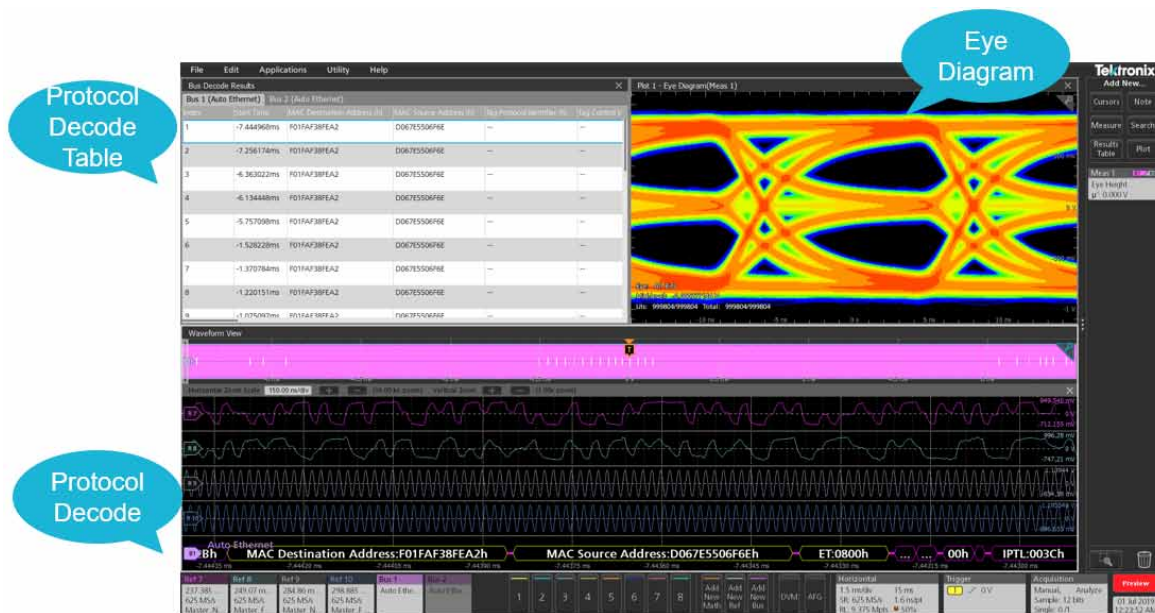


图 10. 灵活的 PAM3 信号分离及协议解码

同时泰克示波器也提供全面的车内以太网 PAM3 信号高级分析功能及总线的协议解码功能，可以参考下表寻找所需的方案：

测试	示波器	软件	探头	信号源及夹具
系统级 信号完整性和协议解码	5 系列 MSO (纯 Windows) 6 系列 MSO (纯 Windows)	选项 5/6-AUTOEN-SS, 信号分隔 选项 5/6-PAM3, 汽车以太网信号分析 选项 5/6-SRAUTOEN1, 100BASE-T1 协议解码 选项 5/6 -DJA, 抖动分析	TDP1500, 差分探头 TCP0030A, C/DC 电流探头 P6022, AC 电流探头	ECU 系列夹具 (详情请与泰克联系)
CAN, LIN, FlexRay, SENT 测试	3 系列 MSO 4 系列 MSO 5 系列 MSO 6 系列 MSO	选项 3/4/5/6 -SR AUTO, CAN/CAN-FD, LIN, FlexRay 协议触发和解码 选项 4/5/6-SRAUTOSEN, SENT 协议解发和解码	(参阅示波器 产品技术资料)	

泰克及其解决方案合作伙伴创造出统一的车载网络测试方法。在所有主要 IVN 中及在整个汽车生命周期中，我们可以帮助您及您的团队把新设计更快地投入

生产，加快验证测试，增强合规测试，优化生产测试，简化服务和维修后测试。最终结果，可以大大增强您满足成本和时间表的能力。



泰克官方微信

如需所有最新配套资料，请立即与泰克本地代表联系！

或登录泰克公司中文网站：www.tek.com.cn

泰克中国客户服务中心全国热线：400-820-5835

泰克科技(中国)有限公司

上海市浦东新区川桥路1227号
邮编：201206
电话：(86 21) 5031 2000
传真：(86 21) 5899 3156

泰克北京办事处

北京市朝阳区酒仙桥路6号院
电子城·国际电子总部二期
七号楼2层203单元
邮编：100015
电话：(86 10) 5795 0700
传真：(86 10) 6235 1236

泰克上海办事处

上海市长宁区福泉北路518号
9座5楼
邮编：200335
电话：(86 21) 3397 0800
传真：(86 21) 6289 7267

泰克深圳办事处

深圳市深南东路5002号
信兴广场地王商业大厦3001-3002室
邮编：518008
电话：(86 755) 8246 0909
传真：(86 755) 8246 1539

泰克成都办事处

成都市锦江区三色路38号
博瑞创意成都B座1604
邮编：610063
电话：(86 28) 6530 4900
传真：(86 28) 8527 0053

泰克西安办事处

西安市二环南路西段88号
老三届世纪星大厦26层L座
邮编：710065
电话：(86 29) 8723 1794
传真：(86 29) 8721 8549

泰克武汉办事处

武汉市洪山区珞喻路726号
华美达大酒店702室
邮编：430074
电话：(86 27) 8781 2760

泰克香港办事处

香港九龙尖沙咀弥敦道132号
美丽华大厦808-809室
电话：(852) 3168 6695
传真：(852) 2598 6260

更多宝贵资源，敬请登录：WWW.TEK.COM.CN

© 泰克科技版权所有，侵权必究。泰克产品受到美国和其他国家已经签发及正在申请的专利保护。本资料中的信息代替此前出版的所有材料中的信息。本文中的技术数据和价格如有变更，恕不另行通告。TEKTRONIX 和 TEK 是泰克科技公司的注册商标。本文中提到的所有其他商号均为各自公司的服务标志、商标或注册商标。

05/2022

