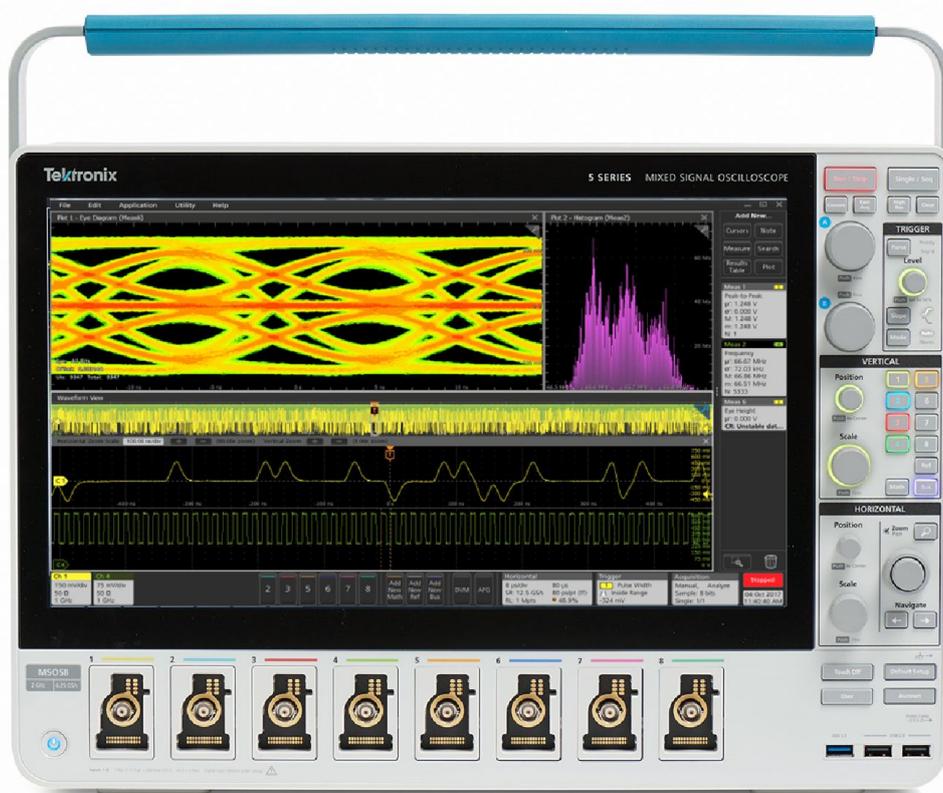


## 汽车以太网测试解决方案

1000BASE-T1/100BASE-T1 (选项 6-CMAUTOEN/5-CMAUTOEN) 产品技术资料

更深入地了解  
PAM3 汽车以太网设计



泰克 5-CMAUTOEN/6-CMAUTOEN 汽车以太网解决方案为 1000BASE-T1 和 100BASE-T1 标准提供了全自动一致性测试应用软件。测试套件在 5/6 系列 MSO 上运行，除了一致性测试外，还可以全面利用示波器中的验证和调试功能。集成汽车以太网对技术提出了更高的要求，对全面设计验证的需求则更高，以确保多个 ECU 之间的互操作能力及在苛刻的环境中的可靠性。完整测试解决方案可让您通过严格的一致性测试，能够更自信地在实际环境中获得设计裕量。

### 主要功能

- **测试时间**：通过设置向导实现全面自动化，可根据汽车以太网 1000BASE-T1™ (802.3bp) 和 100BASE-T1 (802.3bw™) 标准执行一致性测试。软件将根据测试要求自动配置设备，这可缩短整体测试时间。
- **测试覆盖范围**：适用于 100BASE-T1 和 1000BASE-T1 的汽车以太网解决方案基于 IEEE 和 Open Alliance 规范设计。测试覆盖范围符合 OPEN Alliance TC8 ECU 测试要求。
- **验证和调试**：配套工具（如高级抖动分析）可帮助您在进行一致性测试前或发生故障时找到问题。
- **信号检验**：除一致性测试外，还为在不同环境条件下测试 DUT 提供了自动测试和高级抖动分析工具。
- **全方位报告**：自动编制报告，包括波形的测试通过/失败截屏。
- **测量精度**：5/6 系列 MSO 示波器可提供准确、可重复的结果，其具有 12 位 ADC 垂直分辨率，采样率为 3.125 Gs/s (5 系列 MSO) 和 12.5 Gs/s (6 系列 MSO)。
- **回波损耗测量**：100/1000BASE-T1 规范规定了“回波损耗”测量，要求使用矢量网络分析仪 (VNA)。通过泰克汽车以太网测试解决方案中已获专利的测量方式，设计人员可以使用示波器执行回波损耗测量，而不需要额外的测试设备。
- **ECU 时钟访问**：“失真”测试需要访问 ECU 时钟，而这在大多数时间是无法实现的。泰克独有的算法软件校正方法（专利申请中）允许用户在不连接 ECU 时钟的情况下执行失真测量。此方法适用于 100BASE-T1 和 1000BASE-T1。
- **性能验证**：汽车以太网应用允许用户多次运行选定的测试。报告将显示每次运行的通过/不通过结果，以研究不同运行过程中的 ECU 性能。

### 自动汽车以太网一致性测试

业界制订了物理层一致性测试，以保证不同设计和不同硬件厂商之间的互通性。执行这些测试的要求已经扩展，现在覆盖汽车以太网 1000BASE-T1™ (802.3bp) 和 100BASE-T1 (802.3bw™)。对于电信号，为物理介质连接 (PMA) 规定了许多特定测试，并且第 1 组主要关注的是发射机。1000BASE-T1 汽车以太网测试要求示波器最少有 2 GHz 的带宽。

#### 支持的 1000BASE-T1 测试

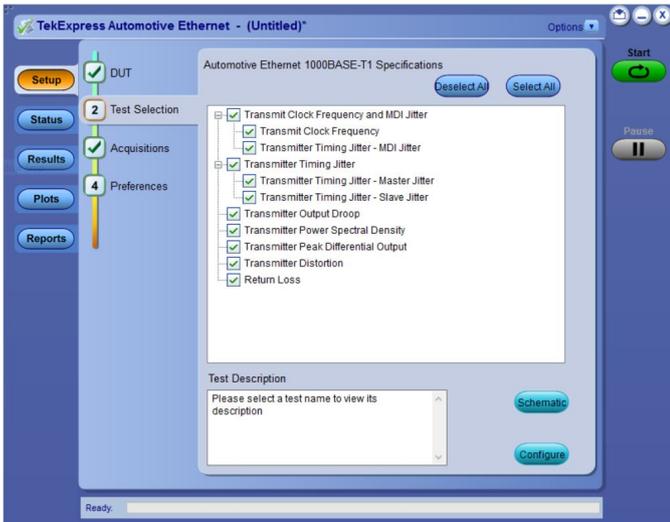
测试项目	测试名称	测试模式	仪器
97.5.3.1	发射机输出顶降	6	2 GHz 示波器
97.5.3.2	发射机失真	4	2 GHz 示波器和 AWG
97.5.3.3	发射机定时抖动 (主/从)	1	2 GHz 示波器
97.5.3.4	发射机功率频谱密度 (PSD)	5	2 GHz 示波器
97.5.3.6	发射机时钟频率	1	2 GHz 示波器
97.5.3.5	峰值差分输出	5	2 GHz 示波器
97.7.2.1	MDI 回波损耗	从属	2 GHz 示波器和 AWG 或泰克 VNA
97.5.3.3	MDI 抖动	2	2 GHz 示波器

#### 支持的 100BASE-T1 测试

测试号	测试名称	测试模式	仪器
5.1.1	发射机输出顶降	1	1 GHz 示波器
5.1.2	发射机失真	4	1 GHz 示波器和 AWG/AFG
5.1.3	发射机定时抖动	2	1 GHz 示波器
5.1.4	发射机功率频谱密度 (PSD)	5	1 GHz 示波器
5.1.5	发射机时钟频率	2	1 GHz 示波器
5.1.6	MDI 回波损耗	从属	1 GHz 示波器和 AWG 或泰克 VNA
5.1.6	峰值差分输出	5	1 GHz 示波器

泰克汽车以太网测试解决方案提供了自动一致性测试，以满足 100BASE-T1 (IEEE 802.3bw™) 和 1000BASE-T1 (IEEE 802.3bp™) 要求。自动一致性测试解决方案随附测试软件在 1 GHz 或以上 Windows 10 操作系统泰克示波器上运行，执行所有物理层 (PHY) 发射机一致性测试。

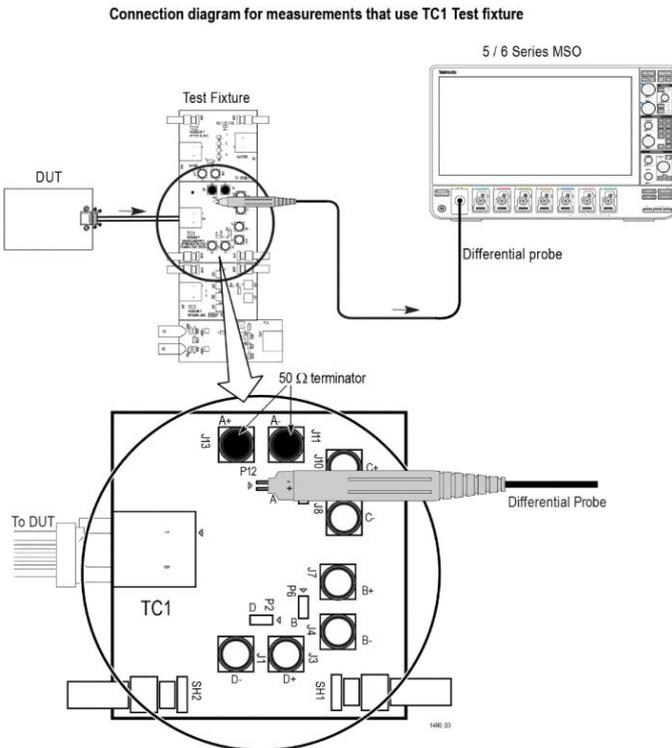
一致性测试软件可以全面测试或选择性测试任何发射机电气指标，包括使用示波器全面控制要求的设置。软件设置灵活，可以执行设计验证、裕量分析和可重复一致性测试，同时降低仪器设置难度。此外，软件可以生成完善的带日期标记的测试报告及测试通过/失败结果，显示波形和数据示图。



TekExpress 汽车以太网设置菜单 - 1000BASE-T1

汽车以太网一致性测试软件可以通过简单的 Setup 菜单选择所有或任何特定测试。软件导航采用逻辑化工作流程，可以迅速进行测试设置，改变及复核测试结果。

视被测器件连接、探测、测试夹具、校准及示波器和信号发生器使用情况，测试设置配置变化很大。为帮助测试仪正确设置测量，汽车以太网软件为每项测试提供了设置说明及图像和参考示意图，确保设置正确。



设置配置

汽车以太网一致性测试软件要求泰克 5/6 系列 MSO 示波器，并装有选项 5-WIN/6-WIN 或 SUP5-WIN/SUP6-WIN (Microsoft Windows 10)。由于它作为 Windows 应用运行，所以该软件可以共享示波器显示画面。为方便起见，推荐配置是增加一台 PC 显示监视器，与示波器屏幕分开显示一致性测试软件和测试报告。



在单独的监视器上显示一致性测试软件，更简便地分析结果

进行每项测试都要求使用器件供应商提供的专用软件，针对特定操作模式来配置发射机。一旦正确配置了发射机，同时使用了正确的测试夹具和探头，那么可以配置汽车以太网软件设置，与关心的特定测试相匹配。在选择测试后，软件会指引用户执行所有必要的仪器设置。对失真和回波损耗测试，这可能会包括对信号发生器进行必要的设置，以进行这些测试。

**失真（有和无 TX\_TCLK 访问权限）：**

失真测试需要使用干扰信号，并且示波器的数据采集时钟是锁定到 DUT TX\_TCLK 的频率。泰克通过使用“硬件时钟分路器”方法支持此方法。

大多数 ECU 无法访问 TX\_TCLK 信号。泰克开发了适用于 100BASE-T1 和 1000BASE-T1 的独有算法，该算法能够在有干扰的信号上执行软件时钟恢复。该方法不需要访问 DUT 时钟或硬件锁定或时钟分路器装置。



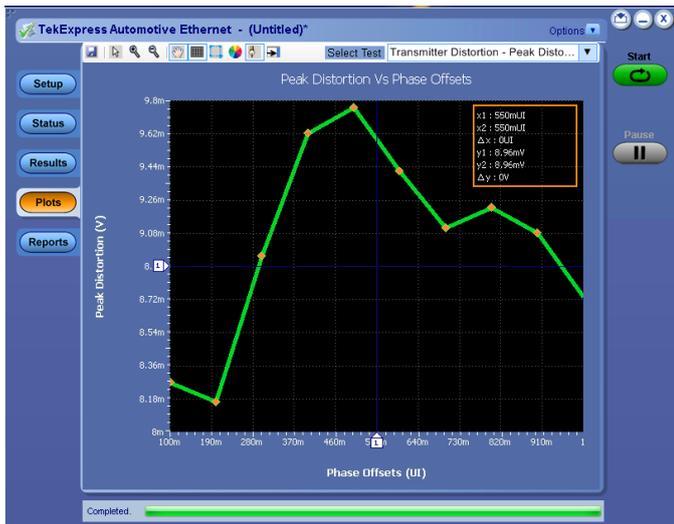
TekExpress 汽车以太网提供外部基准时钟输入源 - 1000BASE-T1

### 业界规定的测试

为保证硬件互操作能力，测试软件采用 OPEN (单线对以太网) 联盟特殊利益集团 (SIG) 规定的测试方法和测试限制。严格遵循 OPEN 联盟测试套件文档的要求，确保全面支持仪器设置、算法和测试结果。

### 失真测量

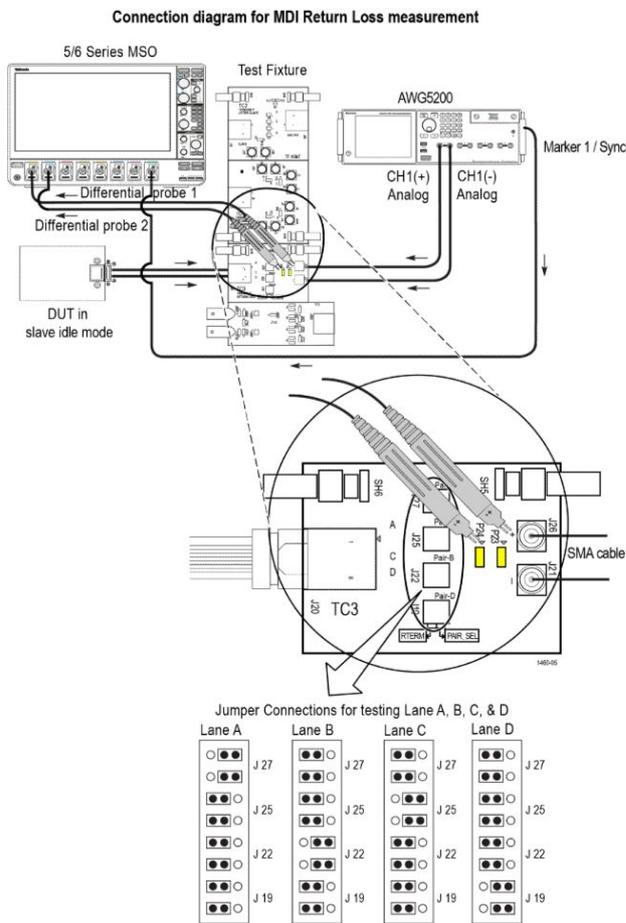
失真测试配置为“支持的 1000BASE-T1/100BASE-T1 测试”表中指明的测试模式，测量允许的最大发射机失真。这一测试要求使用干扰正弦波信号，添加到物理层输出信号中。计算了峰值发射机的畸变，测量值与一致性测试规范进行比较。



失真测量

### 回波损耗测量

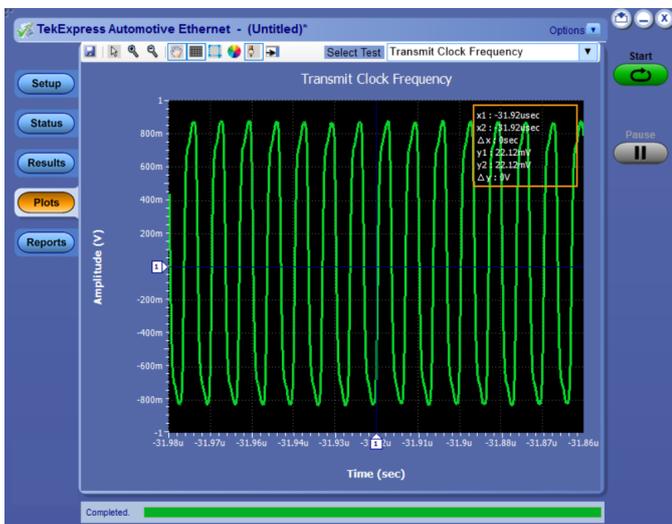
MDI 回波损耗测试确定 100 Ω 差分阻抗指标的阻抗不匹配，这将影响硬件互操作能力。可以使用泰克 VNA 执行这一测试，但也可以结合使用泰克 5-CMAUTOEN/6-CMAUTOEN 解决方案与示波器来执行这一测试，其中采用已获专利的测量方法，而不需要额外的测试仪器。



适用于“回波损耗”测量的设置配置

### “抖动”和“发送时钟频率”测量

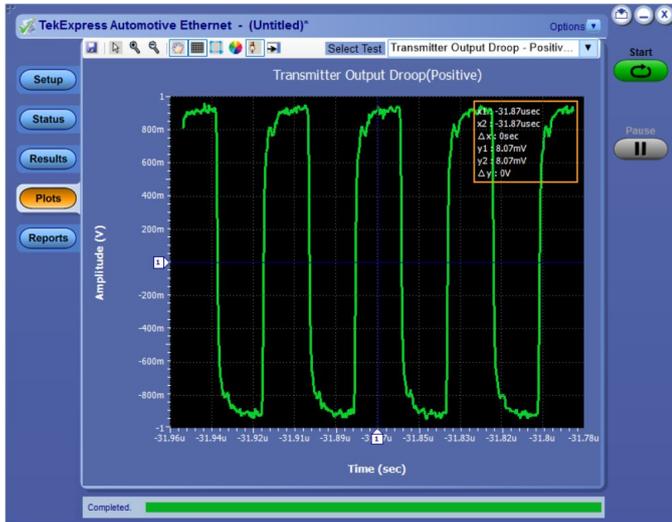
物理层有一个符号时钟，是使用“支持的 1000BASE-T1/100BASE-T1 测试”表中指明的测试模式得到的输出。运行不同测试，测量主(从) RMS 抖动和 TX 时钟频率。



抖动和发送时钟频率测量

### 顶降测量

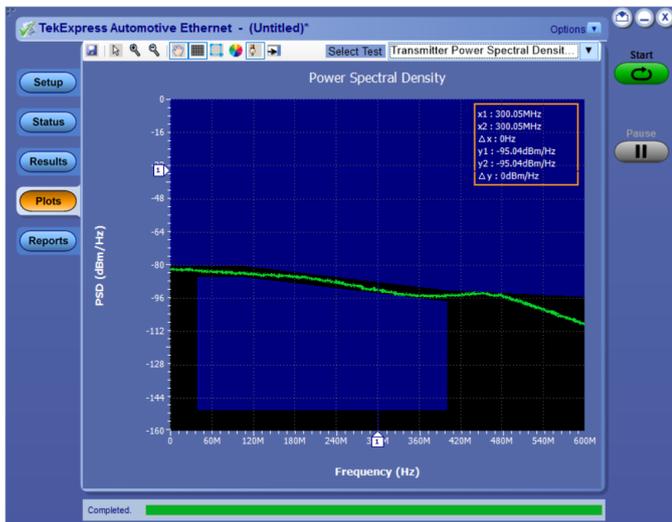
使用“支持的 1000BASE-T1/100BASE-T1 测试”表格中指定的测试模式配置物理层。通过确定正和负波形峰值电压，来执行顶降测量。



顶降测量 – 波形的正峰值和负峰值

### 功率频谱密度 (PSD) 测量

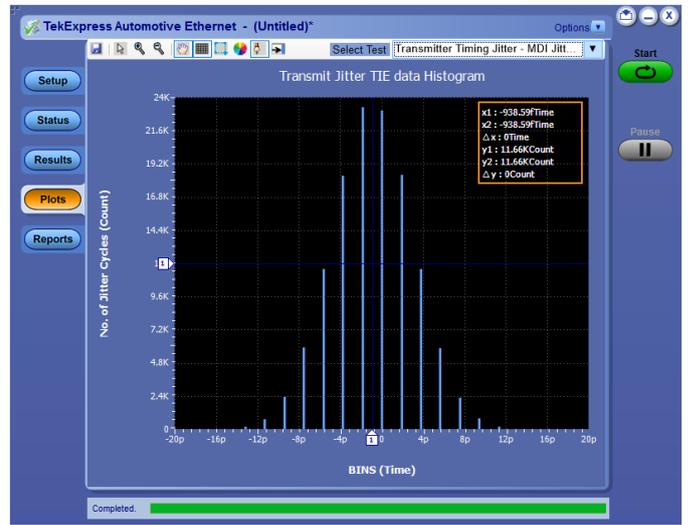
使用内置示波器 MATH 功能，计算输入信号的频谱(设置成“支持的 1000BASE-T1/100BASE-T1 测试”表中指定的测试模式)在信号上进行后期处理，得到 PSD。然后使用上限和下限模板，把计算得出的 PSD 与规范进行对比，得到最终结果。



功率频谱密度 (PSD) 测量

### “MDI 抖动”测量

配置成“支持的 1000BASE-T1/100BASE-T1 测试”表中指定的测试模式，发送三个{+1}符号，后面连续跟着三个{-1}符号。测量数据信号的抖动。



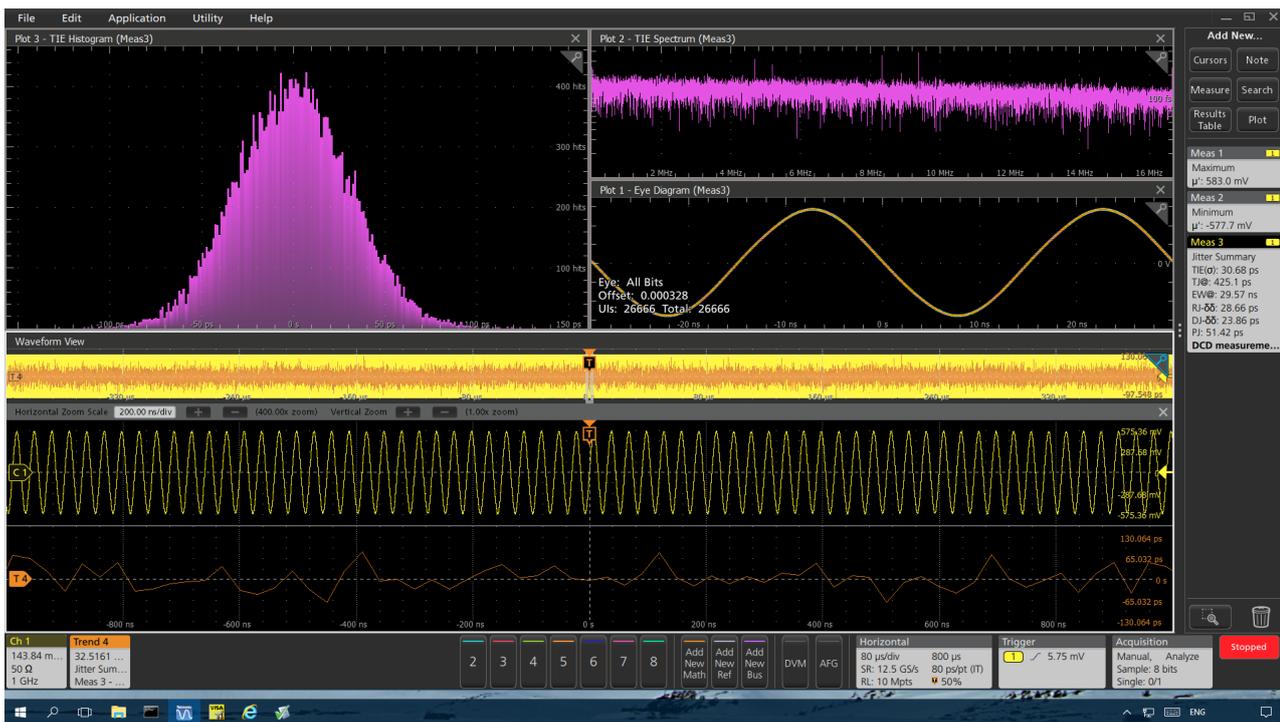
“MDI 抖动”测量

### 验证和调试

通过使用 5/6 系列 MSO，可以在设计早期，在最终一致性测试前简便地完成验证和调试。示波器的标准测量功能与选配的 5-DJA/6-DJA 高级抖动和定时分析软件相结合，支持多种关键一致性测试，包括：

- 时钟频率和发射机幅度及直方图和趋势分析
- 正负顶降测量
- 全面表征抖动性能，包括 TIE 和直方图特点
- 对 PAM3 信号进行眼图分析

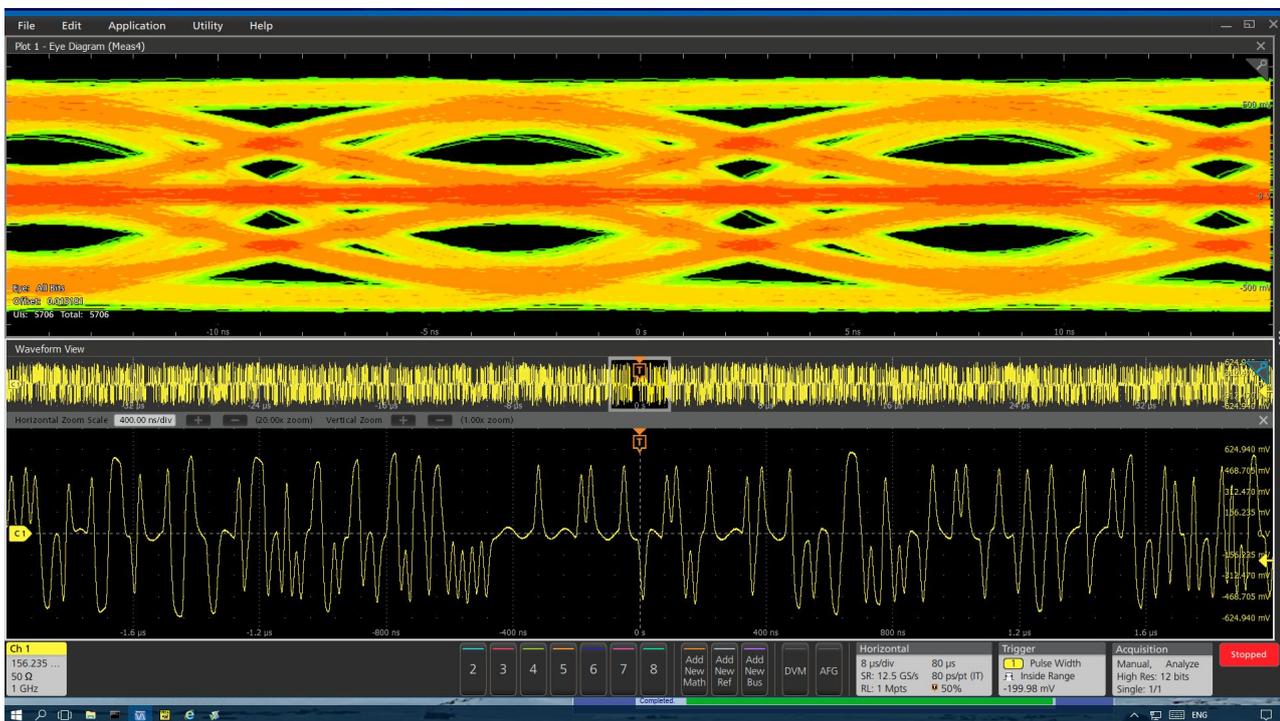
这类早期测试提高了通过一致性测试的可能性，同时支持更全面地表征和确定设计裕量。主从抖动测量可能极具挑战性，因为一致性测试极限紧张，需要消除可能的随机抖动源或确定性抖动源。



使用 5/6 系列 MSO 测量和选项 5-DJA/6-DJA 测量进行的发射机抖动分析，显示时间间隔误差 (TIE) 值为 30.68 ps

确保主从设备之间实现可靠的网络通信，一个主要问题是受到各种干扰源的影响。在 PAM3 信令中，确认可靠运行与识别可能的干扰源或错误情况可能很难区分。

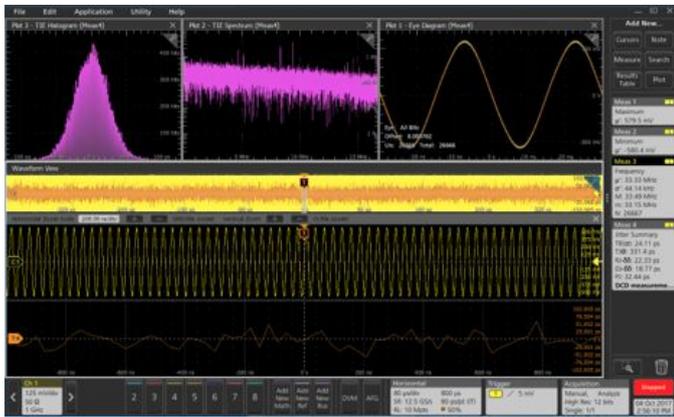
实践证明，眼图分析可以评估复杂的通信信号组成的长数据流。为示波器配置高级抖动和眼图分析软件（选项 5-DJA/6-DJA），可以全面调试和执行抖动、定时和眼图测量。



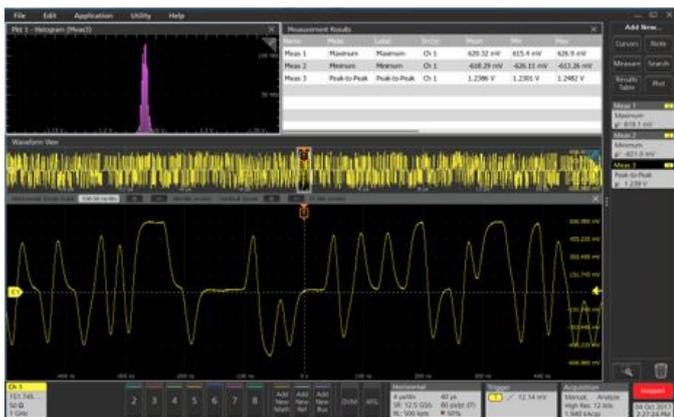
使用 5/6 系列 MSO 测量和选项 5-DJA/6-DJA 测量进行的发射机抖动分析，显示时间间隔误差 (TIE) 值为 30.68 ps

信号质量测试

汽车设计人员需要在各种条件下检验电路设计质量，比如不同的温度、电压和振动条件下。除一致性测试外，设计人员需要在各种条件下检验设计质量。5-DJA/6-DJA 高级抖动和定时分析软件允许设计人员配置 100BASE-T1/100BASE-T1 测量，在不同环境条件下运行测量。设计人员可以在汽车环境中集成测量，使用连续模式运行测量。

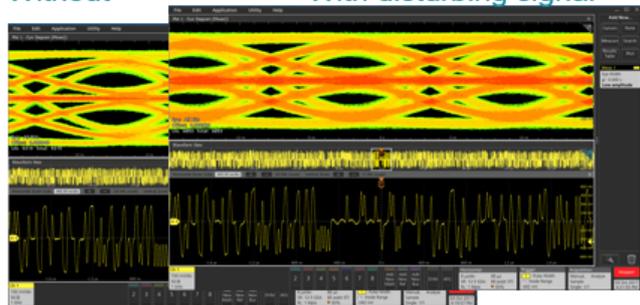


物理层抖动/定时分析



差分幅度特点

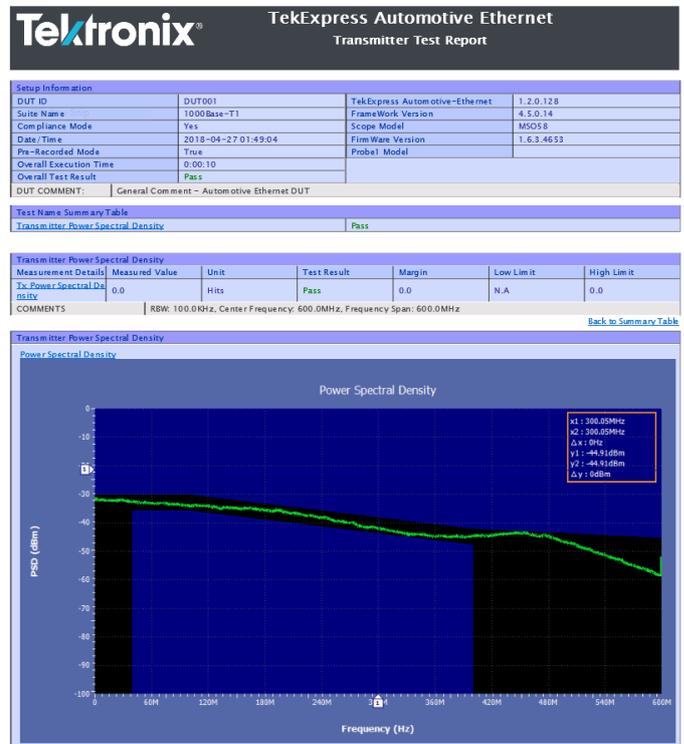
Without      With disturbing signal



失真信号眼图分析

“通过/不通过”报告

5-CMAUTOEN/6-CMAUTOEN 支持 MHL 或 PDF 格式的摘要报告，可以迅速简便地编制一致性测试文档。该软件在测试完成时自动生成报告，包括测试通过/失败状态，迅速分析测试结果。报告中还包括测试配置细节、波形图、示波器显示画面和裕量分析，可以深入了解设计特点。



详细的测试报告，显示 PSD 模板测试图

6 系列 MSO 示波器



6 系列 MSO 示波器

由于高达 8 GHz 模拟带宽、25 GS/s 采样率、最低噪音和最高分辨率，6 系列 MSO 示波器拥有所需的性能，可以以最好的信号保真度和分辨率捕获波形，查看汽车以太网信号小的波形细节。

在您需要捕获高幅度信号，同时又要查看较小的信号细节时，6 系列 MSO 示波器提供了杰出的性能，可以捕获关心的信号，同时最大限度地降低不想要的噪声的影响。6 系列 MSO 示波器的核心是 12 位模数转换器 (ADC)，其提供的垂直分辨率是传统 8 位 ADC 的 16 倍。

### 探头和测试夹具

准确的可重复的一致性测试要求接入 PHY 发射机输出和基准时钟，必须支持校准和使用干扰信号。推荐方式是使用泰克 TF-XGbT 以太网夹具和 TF-BRR-CFD 时钟分路器夹具。这些夹具可以支持所有测试设置，同时为探测提供方便的测试点。



TF-XGbT 以太网夹具

如果想直接探测 DUT，应使用  $\geq 2$  GHz 的差分探头。泰克 TDP3500 是推荐用于 1000BASE-T1 测试的差分探头。

## 订购信息

### 测量名称和硬件

测量	需要的硬件
发射机输出跌落 发射机定时抖动 发射机时钟频率 MDI 抖动 差分输出 发射机功率谱密度	带一个探头的 5/6 系列 MSO
发射机失真	AFG3152C 或 AWG5200
回波损耗	100BASE-T1 : AFG3152C 和两个探头或 TTR503 1000BASE-T1 : AWG5200 和两个探头或 TTR503

**需要的软件** 选项 5–CMAUTOEN/6–CMAUTOEN 或 SUP5–CMAUTOEN/SUP6–CMAUTOEN (TekExpress 汽车以太网一致性测试软件)

**需要的硬件** 1000BASE-T1 5 系列 MSO 示波器 (2 GHz 选项 5–BW–2000) 或 6 系列 MSO 示波器, 最小带宽为 2 GHz (选项 6–BW–2500、6–BW–4000、6–BW–6000、6–BW–8000)

100BASE-T1 5 系列 MSO 示波器 (1 GHz 选项 5–BW–1000 或 2 GHz 选项 5–BW–2000) 或 6 系列 MSO 示波器, 最小带宽为 1 GHz (选项 6–BW–1000、6–BW–2500、6–BW–4000、6–BW–6000、6–BW–8000)

选项 5–WIN/6–WIN 或 SUP5–WIN/SUP6–WIN (可拆卸硬盘, 装有 Microsoft Windows 10 操作系统)

**推荐选项** 选项 5–DJA/6–DJA 或 SUP5–DJA/SUP6–DJA (增加高级抖动和眼图分析测量)

选项 5–RL–125M/6–RL–125M 或 SUP5–RL–125M/SUP6–RL–125M (增加 125 M 记录长度)

选项 5–SRAUTO/6–SRAUTO 或 SUP5–SRAUTO/SUP6–SRAUTO (增加 CAN、CAN FD、LIN、FlexRay 串行总线触发和解码)

选项 5–SRAUTOSEN/6–SRAUTOSEN 或 SUP5–SRAUTOSEN/SUP6–SRAUTOSEN, 用于 SENT 协议触发和解码器

选项 5–SREMBD/6–SREMBD 或 SUP5–SREMBD/SUP6–SREMBD (增加 I<sup>2</sup>C、SPI 串行总线触发和解码)

**探测** **推荐 (要求使用两个)** : 1000BASE-T1 TDP3500 差分探头和 100BASE-T1 TDP1500 或 TDP3500 差分探头

**支持**: 带 P77C292MM 适配器的 TDP7704 / 7706/7708 探头 (不支持“回波损耗”和“失真”测试)、P6247 或 P6248 (需要使用 TPA–BNC 适配器)

**信号源 (AWG)** **推荐** : 泰克 AFG3152C 信号源

**可支持** : 泰克 AWG5200, 带有高幅度 DC 耦合输出选项或 AWG70000 信号源 (用于 1000BASE-T1 回波损耗测量)

**推荐测试夹具** TF–XGbT 测试夹具

TF–BRR–CFD 时钟分路器 (对于用于“失真”测量的硬件时钟为必需)

**推荐的其他项目** 外部电脑监视器

两对 50 Ω 优质 SMA 或同轴电缆 (共 4 条电缆), 用于 AFG 或 AWG 信号源; 所有电缆的长度必须相同

两条 50  $\Omega$  优质同轴电缆，用于时钟分路器输出；两条电缆的长度必须相同

一条 50  $\Omega$  优质 SMA 电缆，用于时钟分路器输入

一条适用于 AFG 或 AWG 信号源的 50  $\Omega$  优质同轴电缆，用于标记输出



泰克经过 SRI 质量体系认证机构进行的 ISO 9001 和 ISO 14001 质量认证。



产品符合 IEEE 标配 488.1-1987、RS-232-C 及泰克标配规定和规格。



接受评估的产品领域：电子测试和测量仪器的规划、设计/开发和制造。

东盟/澳大拉西亚 (65) 6356 3900  
比利时 00800 2255 4835\*  
中东欧和波罗的海 +41 52 675 3777  
芬兰 +41 52 675 3777  
香港 400 820 5835  
日本 81 (3) 67143086  
中东、亚洲和北非 +41 52 675 3777  
中华人民共和国 400 820 5835  
韩国 +822-6917-5084, 822-6917-5080  
西班牙 00800 2255 4835\*  
台湾 886 (2) 2656 6688

澳大利亚 00800 2255 4835\*  
巴西 +55 (11) 3759 7627  
中欧和希腊 +41 52 675 3777  
法国 00800 2255 4835\*  
印度 000 800 650 1835  
卢森堡 +41 52 675 3777  
荷兰 00800 2255 4835\*  
波兰 +41 52 675 3777  
俄罗斯和独联体 +7 (495) 6647564  
瑞典 00800 2255 4835\*  
英国和爱尔兰 00800 2255 4835\*

巴尔干、以色列、南非和其他国际电化学会成员国 +41 52 675 3777  
加拿大 1 800 833 9200  
丹麦 +45 80 88 1401  
德国 00800 2255 4835\*  
意大利 00800 2255 4835\*  
墨西哥、中南美洲和加勒比海 52 (55) 56 04 50 90  
挪威 800 16098  
葡萄牙 80 08 12370  
南非 +41 52 675 3777  
瑞士 00800 2255 4835\*  
美国 1 800 833 9200

\* 欧洲免费电话号码。如果打不通，请拨打 +41 52 675 3777

了解详细信息。Tektronix 拥有并维护着一个由大量的应用说明、技术简介和其他资源构成的知识库，同时会不断向知识库添加新的内容，帮助工程师解决各种尖端的技术难题。敬请访问 [cn.tek.com](http://cn.tek.com)。

版权所有 © Tektronix, Inc. 保留所有权利。Tektronix 产品受美国和外国专利权（包括已取得的和正在申请的专利权）的保护。本文中的信息将取代所有以前出版的资料中的信息。保留更改产品规格和价格的权利。TEKTRONIX 和 TEK 是 Tektronix, Inc. 的注册商标。所有提及的其他商标为其各自公司的服务标志、商标或注册商标。



26 Mar 2019 61C-61408-3

