使用Agilent InfiniiVision系列MSO进行的汽车CAN总线调试

应用指南 1576

目录

引言..... 2

什么是MSO? 3

验证汽车挡风玻璃雨..... 4
刷系统工作是否正确

硬件加速 CAN 解码..... 5
揭示了偶发性问题

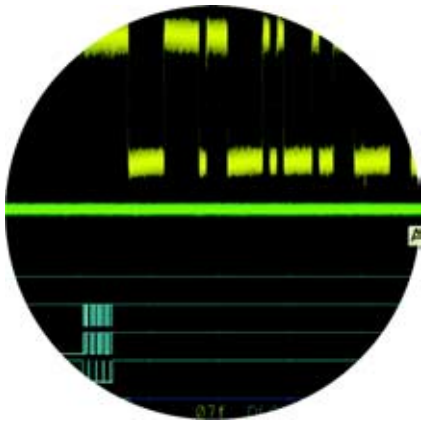
在错误帧处触发 MSO,..... 6
揭示信号完整性问题

在随机毛刺信号..... 8
处触发 MSO, 揭示
问题的来源

总结..... 9

术语表..... 10

相关文献..... 11



Agilent Technologies

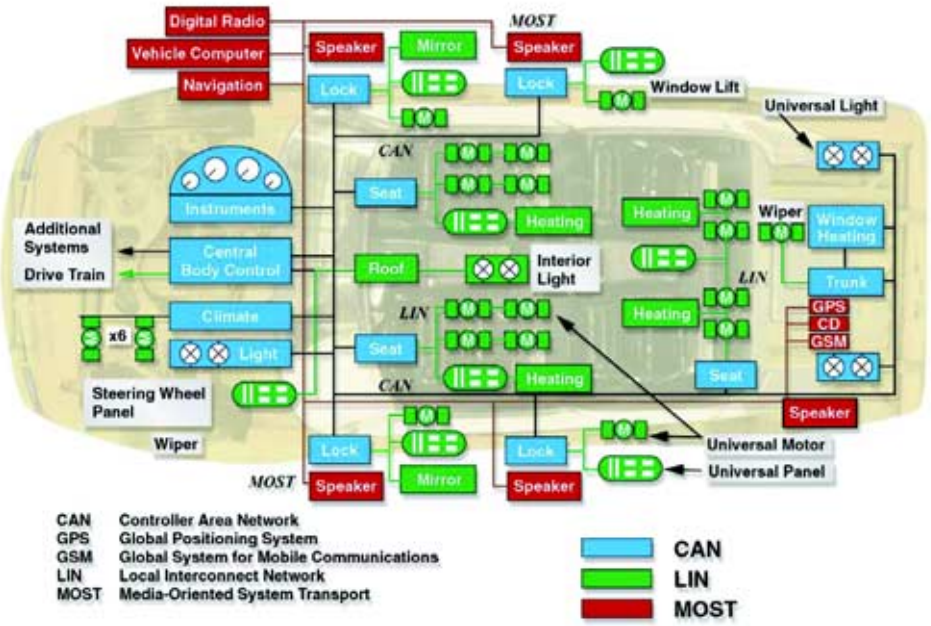
引言

为了改善系统通信质量和降低成本，今天所有的汽车设计都采用了多种串行总线通信协议。I^2C和SPI协议常常在电子控制单元(ECU)的芯片间通信中使用。对于各种汽车子系统(例如防盗锁、气囊打开、发动机控制和GPS导航等)之间的持久串行通信，CAN、LIN、MOST 以及 FlexRay 协议是应用在当今汽车领域中最常见的串行总线，如图1所示。但不幸的是，持久通信经常受到来自汽车内部自身环境的信号完整性问题的影响，包括点火系统和随机系统噪声的信号串扰，这有时会在关键通信周期中产生错误。

准确地说，汽车电子系统使用数字信号来控制多个模拟传感器和模拟发动机控制器，因此是一种嵌入式混合信号系统。多年来，传统的示波器是汽车电子系统工程师测试模拟和数字信号质量的首选工具。但是传统的模拟和数字示波器具有很多局限性，包括缺乏复杂的串行触发和采集的输入通道十分有限。然而，作为一款新型测量工具，混合信号示波器(MSO)可为调试和验证当今汽车设计的工作性能提供诸多优势。

为了说明 Agilent InfiniiVision 系列MSO(6000和7000系列)的独特优势，本应用指南讨论了一种对基于 CAN 的汽车系统的信号完整性问题进行调试的典型方法。MSO 不但可以同步和捕获 CAN 差分信号 (CAN 差分信号将模拟传感器数据数字化传输到 ECU)，还能够重复捕获和测量远程模拟输入传感器的输出幅度。与此同时，MSO 还可用于捕获 ECU 中的多个 SPI 控制信号。但是在我们介绍这种特殊的汽车 CAN 设计以及如何使用 MSO 对信号完整性问题进行调试和验证之前，我们首先来定义一下什么是我们所说的“MSO”。

图 1: 典型串行总线控制下的分布式汽车电子系统



什么是 MSO?

MSO是一种混合测试仪器，它兼有数字存储示波器(DSO)的全部测量功能和逻辑分析仪的部分测量功能，以及部分串行协议分析功能，是一款单一的、协同式仪器。利用MSO，您可以在同一个屏幕上观察多路时间队列模拟、并行数字以及串行解码波形，如图2所示。尽管当今很多传统示波器的触发能力有限，但是当前的一些MSO却具有成熟的串行触发和协议解码分析能力，是汽车电子系统调试的最佳选择。

与完整的逻辑分析仪相比，MSO通常缺乏足够的数字采集通道；与串行协议分析仪相比，MSO又缺少较高的分析提取能力。但是MSO相对较为简单，因此很容易使用，避免了逻辑分析仪和协议分析仪的复杂操作。事实上，MSO的一大优势就是它的使用模式。MSO的使用方法和示波器十分相似。由于MSO具有高度综合的特点，它比使用两种不同仪器(示波器与逻辑分析仪组合或示波器与串行总线协议分析仪组合)配合进行混合信号测量的解决方案更加简单易用。一款性能优异的MSO(例如Agilent MSO7000)具有快速的波形更新速率、串行触发和分析能力，且操作简单(基本上与示波器相似，而不像逻辑分析仪或协议分析仪那样复杂)。

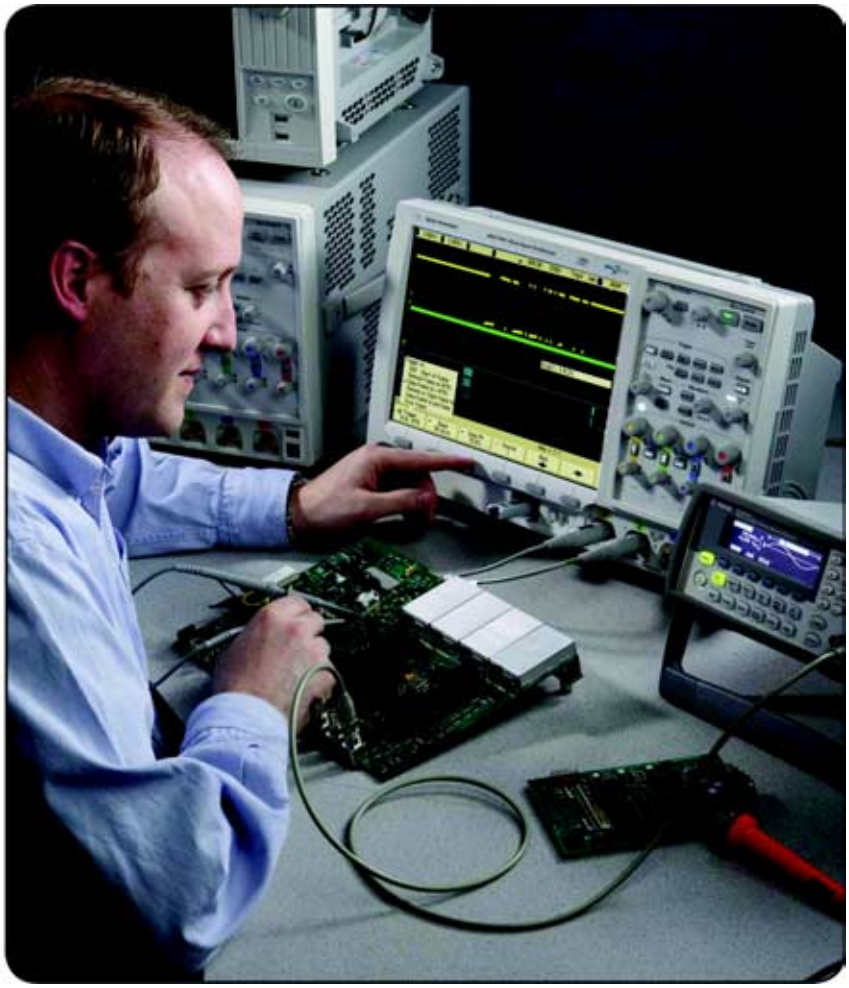


图 2: Agilent 7000 系列混合信号示波器(MSO)

验证汽车挡风玻璃雨刷系统工作是否正确

在汽车上集成一个新的嵌入式设计之前，首先应该在实验室环境下，使用 Agilent MSO 验证原型汽车挡风玻璃雨刷系统的电路和协议工作是否正确。图 3 显示的是使用 MSO7104A 捕获并显示原型系统中的多个与时间相关的模拟和数字信号。通道 1 波形 (顶端 ／ 黄色迹线) 是与各种远程子系统 (包括挡风玻璃雨刷系统) 进行通信的差分 CAN 总线信号。通道 2 波形 (中间 ／ 绿色迹线) 是远程雨量传感器的模拟输出信号电平，该传感器能够从光学上探测落在挡风玻璃上的雨 ／ 雪量。图中还显示了ECU中各种与时间相关的 SPI 控制信号 (靠近示波器屏幕底部的蓝色迹线)，包括CLOCK、DATA、CS 和 INTERRUPT 信号。这些信号都是通过 MSO 的 16 个逻辑定时通道捕获的。示波器屏幕底部出现各种颜色的总线迹线是与时间相关的 CAN 数据包解码信息。这些数据包是在用户指定的 CAN 采集通道上捕获的，在此例中为通道 1。

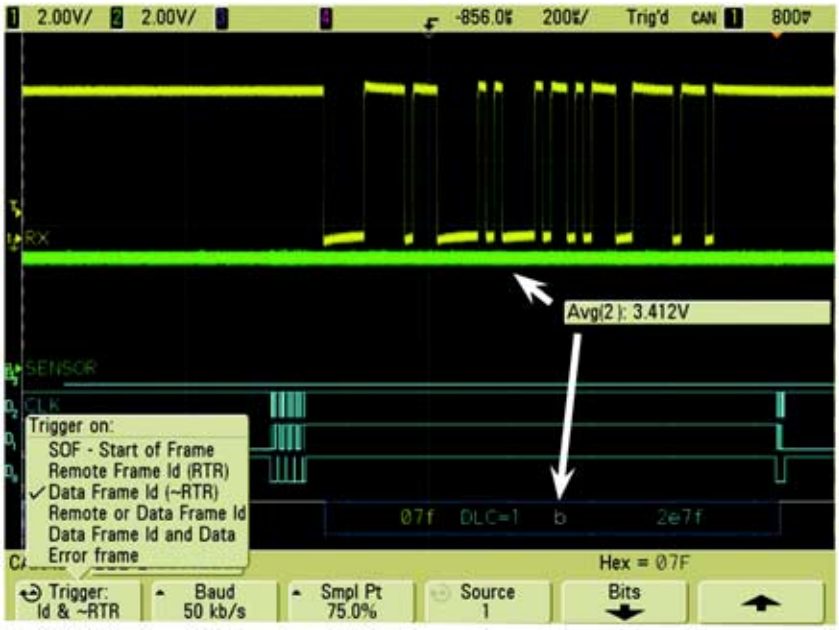


图 3: 使用带有 CAN 触发和解码的 MSO 捕获多个 SPI 和 CAN 信号

在这个特殊的设计中，远程模拟传感器的瞬态输出幅度通过模数转换器 (ADC) 被转换为数字值，然后作为特定数据帧 ($07F_{HEX}$) 内的单一数据比特串行传输到 ECU。为了捕获传感器输出的重复传输以及验证原型机操作是否正确，MSO 被最初设置为在 CAN 数据帧 $07F_{HEX}$ 上触发，如图 3 所示。模拟传感器的输出值通常在此帧中传输。在这种示波器设置状态下，汽车设计工程师可以很容易地对传感器输出 (3.41 V) 的模拟幅度进行测量，并且监控和验证在 CAN 数据包中实际传输的数据值 (B_{HEX})。在实验室中测试原型汽车雨刷系统时，并没有发现问题，CAN 差分信号看上去几乎没有噪声。

但不幸的是，当这个汽车子系统被集成到汽车中时，汽车的雨刷系统出现不稳定性。经证实，ECU 获得的数据值并不总是与模拟湿度传感器的实际物理条件相匹配。如果电路问题可预知，并且可重复，就能够很容易地隔离和追踪电路问题的根本原因。但是在此项特殊的汽车设计中，一旦设计被集成到汽车中，传感器数据传输发生错误就会成为随机事件和偶发事件，很难找出问题的原因。

硬件加速 CAN 解码揭示偶发性问题

图4显示了在实验室中最初测量相同信号获得的结果，但是这一次的信号是在自动雨刷系统集成到汽车上后捕获的。我们现在看到了噪声的影响，以及由汽车中的苛刻环境造成的对差分 CAN 信号的干扰。汽车设计工程师在反复触发数据帧 ID: $07F_{HEX}$ 时，监视示波器的显示。如图4所示，工程师在CAN解码字符串(底部迹线)中发现了一个偶发的红色“闪烁字符”。MSO 的 CAN 解码功能将颜色编码“错误”的CRC显示为红色，其他的帧错误状态显示为红色总线迹线。这种示波器波形具有极快的更新速率(每秒高达 100,000 个实时波形)和硬件加快串行解码功能，这对于捕获偶发的数据传输错误十分重要。硬件加速串行解码功能以每秒更新 60 次的速度显示解码的字符串，高于人眼的读取速度，但是还是能够看到偶发的彩色编码的错误情况。

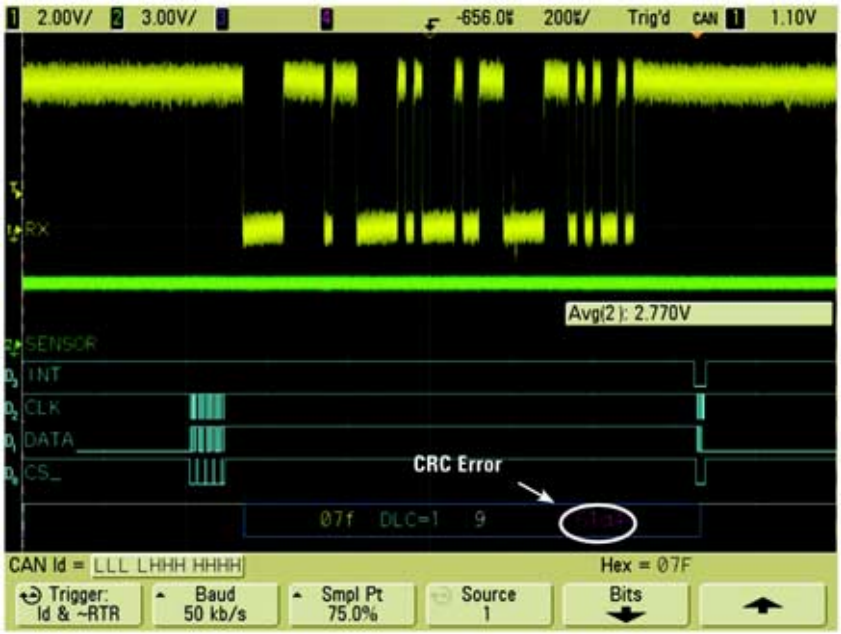


图 4: 触发数据帧 ID:$07F_{HEX}$ 时，在 CAN 解码中观察到的随机错误

大多数具有深存储器和串行解码能力的示波器，更新速度非常慢，这主要是因为深存储器记录是通过软件后期处理技术来解码的。波形和解码更新有时会占用数秒钟的时间，这就意味着如果出现偶发错误，大多数的错误将在示波器的停机时间而不是采集时间内随机出现。因此，利用传统的示波器几乎不可能随机捕获错误传输，即便是该示波器具有CAN触发和解码功能也不行。但是 Agilent InfiniiVision 系列MSO中的硬件加速CAN解码，能够在统计学上增强获得随机和偶发错误的概率，这是因为该系列MSO中的波形和 CAN 解码更新率高于数据帧 $07F_{HEX}$ 重复出现的速率。

为了使示波器的显示只锁定在一个“错误的”数据传输事件上，设计工程师先是试着在看到“红色”解码字符串时，快速按下示波器前面板上的 STOP 键。但不幸的是，由于示波器的波形和解码更新速率太快，在按下 STOP 键的时候，后面的几个采样已经开始，因此屏幕显示通常停留在“正常的”数据传输上。

在发生错误时触发 MSO

下一步是设置示波器的触发，使其只与错误帧同步，如图 5 所示。在这种触发设置条件下(即在帧发生错误时触发)，示波器只捕获和显示“错误的”CAN 传输，而不捕获“正常的”传输。现在，工程师可以在任意时刻按下STOP键，分析最新出现错误的 CAN 传输帧的信号质量；或者使用示波器的单次采集模式，将示波器的显示锁定在下一个“错误的”数据传输上。从此处的显示来看(图 5)，工程师的第一个猜测是：随机的数据传输问题可能是由于多余的随机噪声与差分CAN信号(顶端的黄色迹线)发生耦合而产生的。通过该示波器的 MegaZoom III 技术显示系统提供的 256 级显示亮度，我们可以清晰地看到 CAN 信号上的噪声呈现高斯分布，图像质量与传统的示波器类似。但是在使用 MSO 的“标准偏差”测量功能测量随机噪声之后，工程师认为信号噪声电平在指定的容限范围内，并且不包含错误。

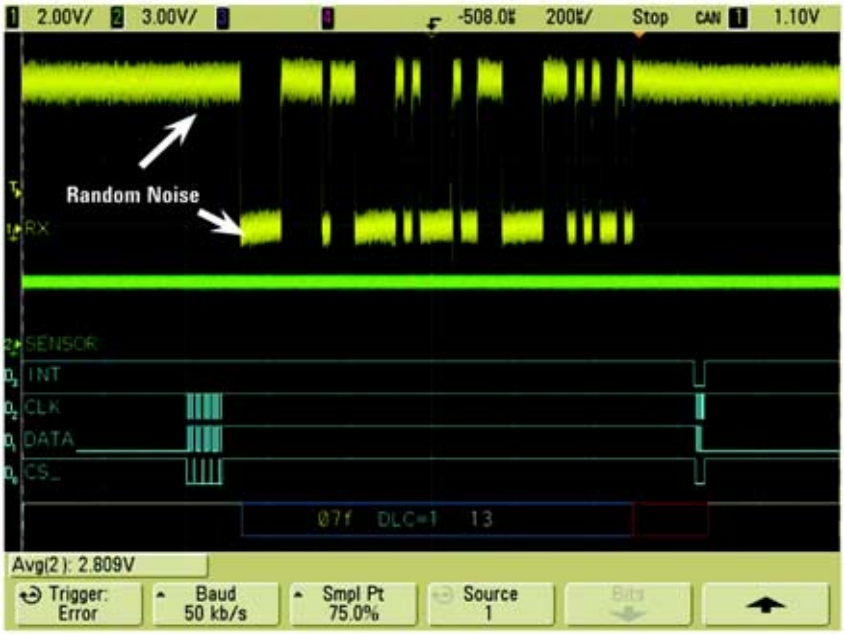


图 5: 在 CAN 错误帧上触发，只采集错误的传输帧

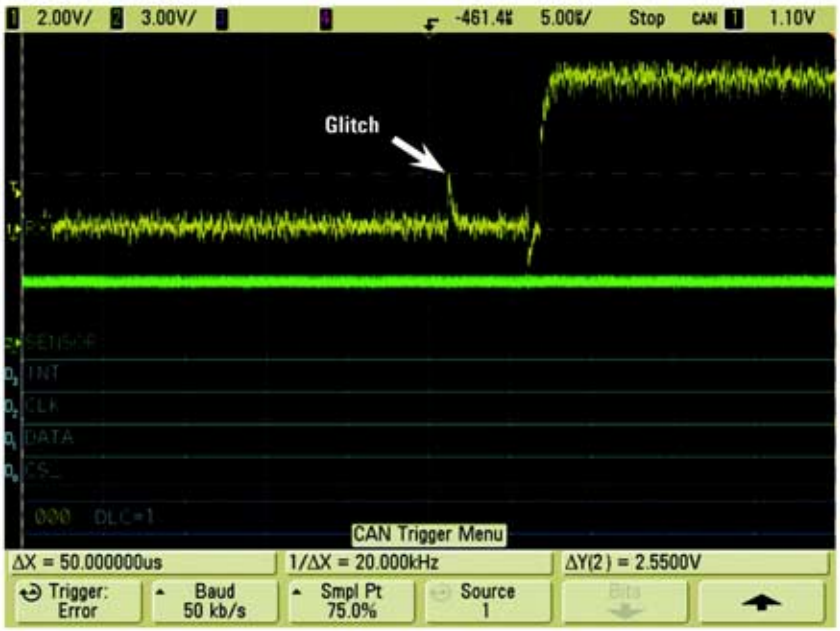


图 6: 放大差分 CAN 波形，显示出毛刺信号

在进一步检查通道 1 上的差分 CAN信号之后，工程师发现在该帧的数据传输中，在差分CAN信号的第五个上升沿之前出现了一个很窄的毛刺信号。如图 5 所示，当以 200 μs/div 为主时基，在示波器的屏幕上进行扫描，利用深存储器采集(高达8 M个点)的常规“压缩”模式观察已存储的CAN帧时，几乎看不见这个毛刺信号，因此很容易被忽视掉。但是当工程师将存储迹线的时基扩大到 5 μs/div (图 6 所示)，利用这种示波器的高采样分辨率(高达 4 GSa/s)就可以很容易地观察到这个毛刺信号。

使用 MSO 的光标对已发现的毛刺信号的幅度进行测量后，工程师再次按下前面板上的 RUN 键，仅对错误帧进行触发，同时开始重复采集。当观察示波器上重复波形的更新时，工程师发现窄毛刺信号不仅偶然出现，而且是在数据帧的随机位置上出现，与差分 CAN 信号没有特定的相位关系。看上去，这些毛刺信号是在与相位无关的信号源发生耦合时产生的。如果能够追踪到这些毛刺信号源，那么就可以更容易地确定和解决根本问题。

在随机毛刺信号处触发 MSO, 揭示问题的来源

为了使示波器与“相位不相关的”毛刺信号同步，而不是与错误帧同步，汽车设计工程师接下来需要对示波器进行设置，使其只在毛刺信号上触发。这可通过使用示波器的脉宽触发功能得以实现，该功能可被定义为对用户指定的时间范围(脉冲宽度)内的正脉冲或负脉冲进行触发。在该示例中，工程师将示波器配置成只在通道1输入(差分CAN信号)的脉冲宽度<500 ns 的正脉冲上触发采集。在这种设置状态下，示波器上的显示与随机出现的毛刺信号实现同步，捕获和显示的总是示波器默认屏幕中心触发位置附近的毛刺信号。现在，CAN数据帧在相对相位关系上与毛刺信号触发源没有关系。

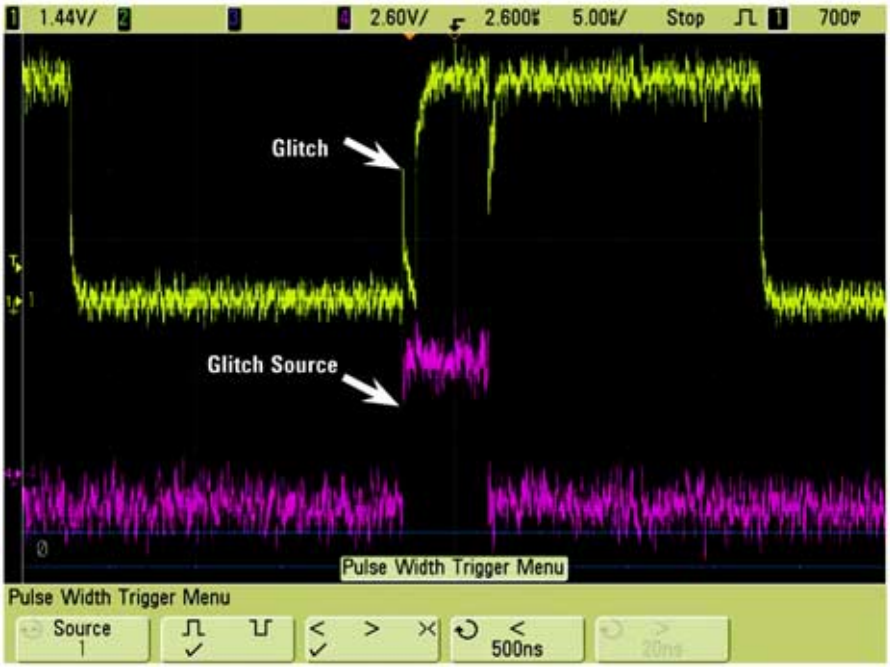


图 7: 用脉冲宽度触发可揭示随机和偶发毛刺信号的来源

为了跟踪此毛刺信号源，工程师将另一个探针与4+16通道MSO中未使用的通道(通道 4)相连，然后开始探测汽车中的“可疑”信号，以查看哪个信号可能与毛刺信号同步或呈相位相关。几分钟后，工程师发现了毛刺信号源，如图 7 所示。通道 4 波形(底部的粉色迹线)显示了一个控制中继的数字脉冲。该中继引发汽车电压调节器中出现高压浪涌。如果电压调节器在数据帧 ID:07F_{HEX} 传输期间发生循环，挡风玻璃雨刷系统将不时地出现错误。一旦工程师追踪到问题的来源，就能很容易地从高压浪涌中隔离出挡风玻璃雨刷CAN节点，从而更好地对系统加以保护；此外，还可以显著地提高 CAN 系统的噪声抗扰度。

总结

本文讨论了如何使用 Agilent InfiniiVision 系列混合信号示波器(MSO)来更高效、更经济地激活和调试汽车中采用串行总线 CAN 数据传输的嵌入式混合信号设计。MSO 的关键特性使得汽车设计师能够快速地发现偶发错误产生的原因。这些关键特性有: 与时间相关的模拟和逻辑多通道采集、快速的波形更新速率、硬件加速CAN总线解码以及包括帧ID、错误帧和毛刺信号／脉冲宽度触发在内的多种触发功能。尽管本应用指南只重点介绍了一种自动挡风玻璃雨刷系统应用，但是文中论述的调试方法也可直接应用于其他的汽车应用中。以后当您需要激活和调试您的嵌入式汽车混合信号设计时，您可以考虑使用Agilent InfiniiVision系列MSO来代替现有的DSO、协议分析仪和(或)逻辑分析仪测量解决方案。

术语表

ADC	模拟数字转换器，有时称作模数转换器
CAN	控制器局域网: 一种数据速率在 10 kbps 至 1 Mbps 之间的差分双线接口，包括车窗和座椅控制、发动机管理和刹车系统等多种应用
DSO	数字存储示波器: 利用实时或等时采样技术，采集和显示输入信号的模拟特征
ECU	电子控制单元: 应用于汽车中的一种嵌入式计算机系统
I^2C	内部集成电路总线: 一种采用自仲裁协议的通用双线串行总线，常用于芯片之间的通信
LIN	局域互联网络: A 类协议，在长达 40 米的电缆上以高达 19.2 kbps 的速度工作。典型应用包括车窗控制以及其他的对时间或安全性要求不高的功能 (如舒适度控制)
MOST	媒体定向系统传输总线: 为汽车媒体 (娱乐) 网络 (例如视频、CD 等) 提供光学解决方案
MegaZoom III 专利技术	安捷伦采集和显示专利技术: 为数字存储示波器提供快速的波形更新速率 (>100000实时波形／秒) 及高分辨率显示质量 (符合或超过传统模拟示波器的显示质量)
MSO	混合信号示波器: 结合了示波器的全部测量功能以及逻辑分析仪的部分测量功能，并且包括模拟和数字两种波形的时间相关显示
SPI	串行外设接口总线: 是众多微处理器外围芯片所采用的 4 线串行通信接口。SPI 电路是一种同步串行数据链路，可为 CPU 以及其他支持 SPI 的设备提供低带宽或中带宽 (1 megabaud) 网络连接支持

相关安捷伦文献

出版物名称	出版物类型	出版编号
Agilent Technologies Oscilloscope Family Brochure	手册	5989-7650EN
Agilent 7000 Series InfiniiVision Oscilloscopes	技术资料	5989-7736EN
Agilent 6000 Series InfiniiVision Oscilloscopes	技术资料	5989-2000EN
Agilent 5000 Series InfiniiVision Oscilloscopes	技术资料	5989-6110EN
Agilent InfiniiVision Series Oscilloscope Probes and Accessories	技术资料	5968-8153EN
CAN/LIN (N5424A) and FlexRay (N5432A) Options for Automotive Applications Using Agilent's InfiniiVision Series Oscilloscopes	技术资料	5989-6220EN
Evaluating Oscilloscopes for best Signal Visibility	应用指南	5989-7885EN
Debugging Embedded Mixed-Signal Designs Using Mixed Signal Oscilloscopes	应用指南	5989-3702EN
Choosing and Oscilloscope with the Right Bandwidth for your Applications	应用指南	5989-5733EN
Evaluating Oscilloscope Sample Rates vs. Sampling Fidelity	应用指南	5989-5732EN
Evaluating Oscilloscope Vertical Noise Characteristics	应用指南	5989-3020EN
The Extending the Range of Agilent InfiniiMax Probes	应用指南	5989-7587EN

如欲下载这些文件，可在 URL 中插入出版编号: http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/xxxx-xxxxEN.pdf

产品网站

关于应用软件及产品信息的最新详情，请访问我们的产品网站: www.agilent.com/find/scopes

安捷伦示波器

从 20 MHz 到>90 GHz 的多种外形 | 业界领先的技术指标 | 功能强大的应用软件

www.agilent.com

欢迎订阅免费的

安捷伦电子期刊

www.agilent.com/find/emailupdates
得到您所选择的产品和应用的最新信息。

Agilent Direct

www.agilent.com/find/agilentdirect
高置信地快速选择和使用您的
测试设备解决方案

Agilent Open

Agilent Open 简化连接和编程测试系统的过程，以帮助工程师设计、验证和制造电子产品。Agilent 的众多系统就绪仪器，开放工业软件，PC 标准 I/O 和全球支持，将加速测试系统的开发。要了解更详细的情况，请访问：**www.agilent.com/find/openconnect**。

Remove all doubt

使您的设备恢复如新并准时送还

安捷伦承诺经我们维修和校准的设备在返回您时就像新设备一样。安捷伦设备在整个生命期中都保持其全部价值。您的设备将由接受过安捷伦专业培训的技术人员，使用全新的工厂校准规范，自动维修诊断步骤和正品备件进行维修和校准。您可对您的测量充满信心。

安捷伦还为您的设备提供各种测试和测量服务，包括入门级培训、现场培训，以及系统集成和项目管理。

要了解有关维修和校准服务的详细情况，请访问：

www.agilent.com/find/removealldoubt

有关安捷伦开放实验室暨测量方案中心和安捷伦测试与测量技术认证，
请访问：**www.agilent.com.cn/find/openlab**

安捷伦电子测量事业部中文资料库：**http://www.tm.agilent.com.cn/chcn/**

安捷伦电子杂志教育版：**http://www.reeducate-agilent.com/english**

Windows® is a U.S. registered trademark of Microsoft Corporation.

请通过 Internet、电话、传真得到测试和测量帮助。
在线帮助：www.agilent.com/find/assist
热线电话：800-810-0189
热线传真：800-820-2816

安捷伦科技有限公司总部
地址：北京市朝阳区望京北路 3 号
电话：800-810-0189
(010) 64397888
传真：(010) 64390278
邮编：100102

上海分公司
地址：上海张江高科技园区
碧波路 690 号 4 号楼 1-3 层
电话：(021) 38507688
传真：(021) 50273000
邮编：201203

广州分公司
地址：广州市天河北路 233 号
中信广场 66 层 07-08 室
电话：(020) 86685500
传真：(020) 86695074
邮编：510613

成都分公司
地址：成都市下南大街 6 号
天府绿洲大厦 0908-0912 室
电话：(028) 86165500
传真：(028) 86165501
邮编：610012

深圳分公司
地址：深圳市福田中心区
福华一路六号免税商务大厦 3 楼
电话：(0755) 82763668
传真：(0755) 82763181
邮编：518048

西安办事处
地址：西安市高新区科技路 33 号
高新国际商务中心
数码大厦 23 层 01-02 室
电话：(029) 88337030
传真：(029) 88337039
邮编：710075

安捷伦科技香港有限公司
地址：香港太古城英皇道 1111 号
太古城中心 1 座 24 楼
电话：(852) 31977777
传真：(852) 25069256

香港热线：800-938-693
香港传真：(852) 25069233

E-mail: tm_asia@agilent.com

本文中的产品指标和说明可不经通知而更改
©Agilent Technologies, Inc. 2009

出版号：5989-5049CHCN
2009 年 2 月　印于北京

Agilent Technologies