

Technical White Paper

信号改善功能如何释放 CAN FD 收发器的真正潜力



Vikas Kumar Thawani

摘要

现代汽车通过执行很多功能来改善车辆的安全性、性能和舒适性；从动力总成到高级驾驶辅助系统，从车身电子装置和照明到信息娱乐和安全，不一而足。车辆中部署的大量电子控制单元 (ECU) 用于执行这些机电功能。

ECU 通过车内网络总线交换控制和数据日志信息。在控制器局域网 (CAN)、局域互连网络 (LIN)、FlexRay™ 和以太网之间，CAN 总线仍然是常见的选择。CAN 之所以广受欢迎，是因为它具有易用性、良好的共模噪声抑制、基于优先级的消息传递、处理总线争用的按位仲裁以及错误检测和恢复等特性。

CAN 网络的一个主要优势是，通过向现有的 CAN 总线中添加节点，可以轻松扩展汽车网络。然而，当网络变得复杂时，例如 CAN 节点的星形拓扑连接，这一优势就会减弱。这些网络中固有的末端接存根引起了反射，在速度较高时会导致发生信号通信故障。因此，具有灵活数据速率 (FD) 的 CAN 收发器尽管额定值为 5Mbps，但在实际车辆网络中必须以低于 2Mbps 的速率使用。信号改善功能 (SIC) 使 CAN FD 收发器能够以 5Mbps 及更高的速度用于复杂的星形网络，而无需进行大规模的重新设计。

内容

1 什么是 SIC ?	2
2 经典 CAN 和常规 CAN FD 的局限性	4
3 CAN SIC 如何减少总线振铃	5
4 有关 TI 的 TCAN1462 器件的实验结果	7
5 TI 的 CAN SIC 器件	9
6 CAN SIC 的优势	10
7 修订历史记录	10

插图清单

图 1-1. 无 SIC 功能的 CAN 总线和 RXD 波形	2
图 1-2. 有 SIC 功能的 CAN 总线和 RXD 波形	2
图 1-3. CAN SIC 标准兼容性	3
图 1-4. 系统图	4
图 2-1. 在星形网络中连接的 CAN 节点	5
图 2-2. 经典 CAN 速度下的 CAN 总线振铃和 RXD 干扰	5
图 3-1. CAN 总线电压电平	6
图 3-2. CAN SIC 技术：事件序列	7
图 4-1. 具有两个节点和振铃电路的网络	7
图 4-2. CAN FD 驱动网络的波形	8
图 4-3. CAN SIC 驱动网络的波形	8

表格清单

表 1-1. 比较 CiA 601-4 和 ISO 11898-2 时间规格	2
表 1-2. ISO 11898-2:2024 设置 C 中更新了参数	3
表 1-3. ISO 11898-2:2024 附录 A 中包含的参数和优势	4
表 5-1. TI 的 CAN SIC 收发器产品系列	9
表 5-2. 比较 TCAN1462 以及与其最接近的同类竞争器件	9

商标

FlexRay™ is a trademark of ASML Netherlands B.V.

CAN in Automation™ is a trademark of European Union.

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 什么是 SIC？

CAN 信号改进功能 (CAN SIC) 是添加到 CAN FD 收发器的改进，通过最小化信号振铃来提高复杂网络拓扑中可实现的最大数据速率。CAN SIC 首次在 CAN in Automation™ (CiA) 601-4 信号改善规范中进行了标准化，作为现有国际标准化组织 (ISO) 11898-2:2016 高速 CAN 物理层标准的补充。

图 1-1 展示了一个常规 CAN FD 收发器，其中 CAN 总线信号在高于 900mV (CAN 接收器的显性阈值) 和低于 500mV (CAN 接收器的隐性阈值) 时产生振铃，导致接收数据 (RXD) 干扰。图 1-2 展示了具有 SIC 功能的 CAN 收发器如何减弱总线信号振铃，从而产生正确的 RXD 信号。

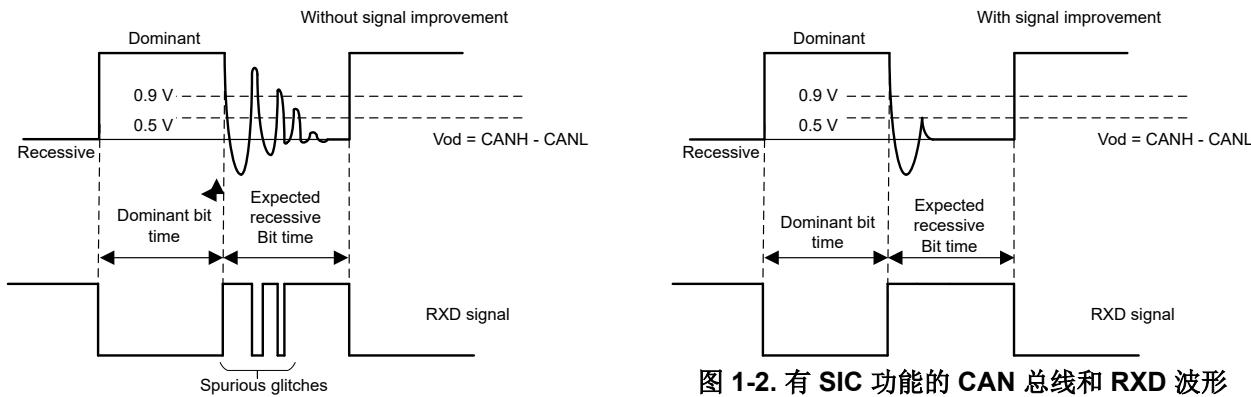


图 1-2. 有 SIC 功能的 CAN 总线和 RXD 波形

图 1-1. 无 SIC 功能的 CAN 总线和 RXD 波形

就电气参数而言，CAN SIC 收发器与常规 CAN FD 收发器相比，前者具有更严格的位时间对称性和环路延迟规格，如表 1-1 所示。发送和接收路径延迟的分离可以帮助系统设计人员清楚地计算存在其他信号链组件时的网络传播延迟。需要注意的一点是，CiA 601-4 (和 ISO 11898-2:2024 设置 C 及附录 A) 中规定的时序与数据速率无关，同时适用于 2Mbps 和 5Mbps 运行。

表 1-1. 比较 CiA 601-4 和 ISO 11898-2 时间规格

参数	符号	CiA 601-4 规格		ISO 11898-2:2016 规格	
		最小值 [ns]	最大值 [ns]	最小值 [ns]	最大值 [ns]
基于 TX 的信号改善时间	$t_{SIC_TX_base}$	不适用	530	不适用	
发送的位宽时间差	$\Delta t_{Bit(Bus)}$	-10	10	-65 表示 2Mbps	30 表示 2Mbps
				-45 表示 5Mbps	10 表示 5Mbps
接收的位宽时间差	$\Delta t_{Bit(RxD)}$	-30	20	-100 表示 2Mbps	50 表示 2Mbps
				-80 表示 5Mbps	20 表示 5Mbps
接收器时间对称性	Δt_{REC}	-20	15	-65 表示 2Mbps	40 表示 2Mbps
				-45 表示 5Mbps	15 表示 5Mbps
从发送器数据 (TXD) 到总线显性的传播延迟	$t_{prop(TxD-busdom)}$	不适用	80	只有环路延迟 (TXD 到总线到 RxD) 指定为最大 255 ns	
从 TXD 到总线隐性的传播延迟	$t_{prop(TxD-busrec)}$	不适用	80		
从总线到 RxD 显性的传播延迟	$t_{prop(busdom-RxD)}$	不适用	110		
从总线到 RxD 隐性的传播延迟	$t_{prop(busrec-RxD)}$	不适用	110		

2024 年，CAN SIC 集成到了整体 ISO 11898-2:2024 高速 CAN 物理层标准中，并更新了 CAN SIC 规范。在 ISO 11898-2:2024 中，随着数据速率的增加，有三组参数：A 组、B 组和 C 组。C 组包含 CAN SIC 收发器（称为 SIC 模式）的管理参数，现在指定最小 SIC 导通时间和差分 SIC 阻抗，以满足理论临界情况并保持最短的振铃抑制持续时间。[表 1-2](#) 显示了这些更新的参数。

表 1-2. ISO 11898-2:2024 设置 C 中更新了参数

参数	符号	ISO 11898-2:2024 设置 C 规格	
		最小值	最大值
差分内部电阻 (CANH 至 CANL)	$R_{DIFF_act_rec}$	75 Ω	133 Ω
主动信号改善阶段的开始时间	$t_{act_rec_start}$	不适用	120ns
主动信号改善阶段的结束时间	$t_{act_rec_end}$	355ns	不适用
被动隐性阶段的开始时间	$t_{pas_rec_start}$	不适用	530ns

附录 A 源自 ISO 11898-2:2024，基于设置 C 中的规格构建，引入了快速模式。这种快速模式支持 CAN XL，并且 SIC 模式收发器的时序和电压对称性更新可为 SIC 网络实现 CAN XL 兼容性，并简化向更快速度的迁移。附录 A 向后兼容设置 C，而附录 A 增加了与 CAN XL 的向前兼容性。这些标准之间的关系如图 1-3 中所示。

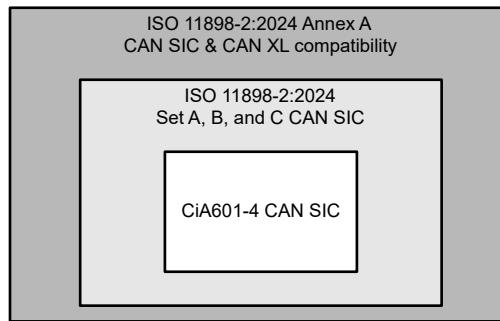


图 1-3. CAN SIC 标准兼容性

附录 A 不仅可以与当前 CAN SIC 网络兼容，还可用于未来的 CAN XL 网络。图 1-4 将此可视化。

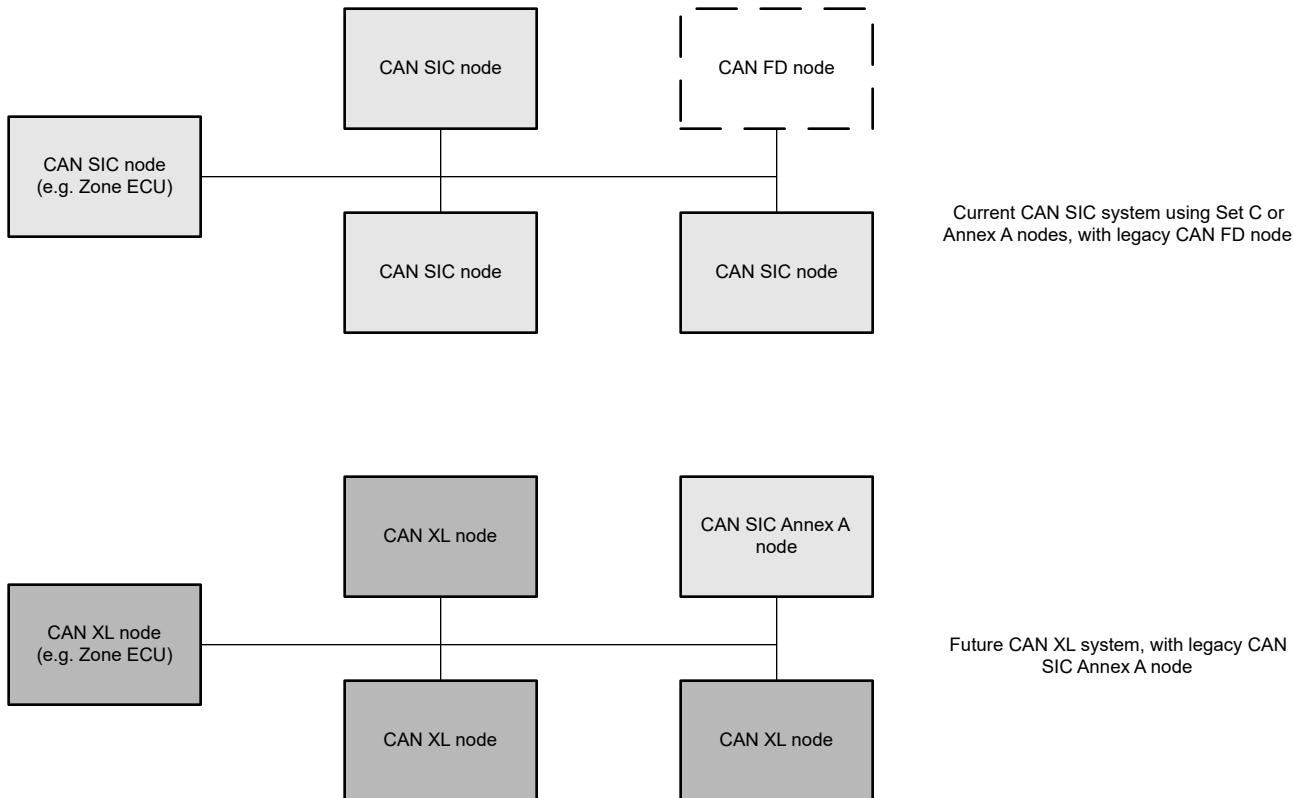


图 1-4. 系统图

所有 CAN SIC 收发器都必须满足或超过 ISO 11898-2:2024 设置 C 中规定的规范，并可以选择添加附录 A 中概述的其他要求。2024 之前发布的 CAN SIC 收发器除外，该收发器当时必须符合 CiA 601-4（监管标准）。ISO 11898-2:2024 中的 CAN SIC 规范稍作修改，通常已取代了针对新架构和设计的 CiA 规范。

ISO 11898-2:2024 附录 A 的参数和优点如表 1-3 所示。

表 1-3. ISO 11898-2:2024 附录 A 中包含的参数和优势

参数	符号	ISO 11898-2:2024 设置 C 规范	ISO 11898-2:2024 附录 A 规范	优势
差分负载范围	R_L	50-65 Ω	45-65 Ω	借助较宽的负载范围，可在网络中使用不同类型的电缆。
差分负载上的差分电压，最小值	V_{OD_MIN}	1.4V	1.5V	信号更宽、更强，不易受到耗散的影响。
唤醒滤波器时间	t_{WK_FILTER}	0.5 至 1.8 μs	0.5 至 0.95 μs	缩短的唤醒滤波器时间允许 1Mbps 的仲裁速率，同时仍能耐受 $\geq 0.5 \mu s$ 的差分噪声和干扰。
驱动程序对称性	$V_{symmetry}$	$\pm 10\%$	$\pm 5\%$	越严格，发射量越低。
唤醒模式	不适用	D-R-D	D-R-D-R	更具弹性地应对误唤醒事件。

2 经典 CAN 和常规 CAN FD 的局限性

第一代 CAN 协议 ISO 11898-2（又称经典 CAN）于 1993 年左右发布。该协议只允许进行 8 字节的有效载荷数据传输，最大指定数据速率为 1Mbps。这些限制很快就在汽车应用中付诸实践，车辆上有许多电子节点，它们通过 CAN 总线相互通信。

CAN FD 协议规范于 2015 年左右发布，它将有效载荷长度增加到 64 字节，而将数据阶段的最大信号传输速率增加到 5Mbps。然而，为了与经典 CAN 的向后兼容性，仲裁阶段的信令速率仍限制在 1Mbps。

虽然 CAN FD 带来了更快的数据速率和更长的有效载荷等优势，但这些优势不足以跟上车辆 CAN 总线网络中持续增长的 ECU 数量。设计人员意识到，利用 CAN FD 收发器的真正潜力是不可能的，因为总线振铃（由复杂的星形网络引起）会影响正确的信号通信。图 2-1 是星形拓扑示例。

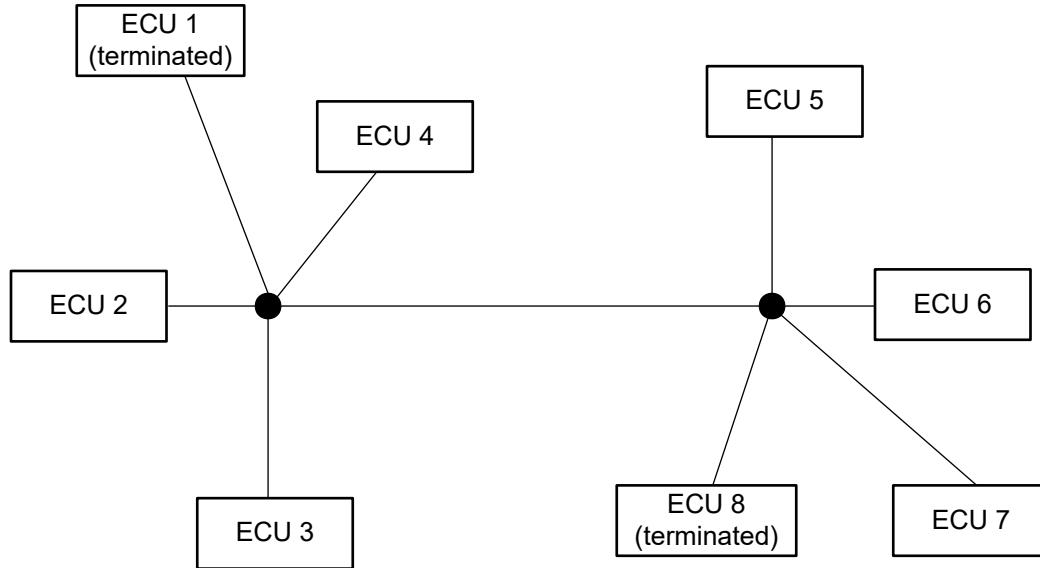


图 2-1. 在星形网络中连接的 CAN 节点

在具有多个存根的复杂星形拓扑中，在总线上传输的信号会遭遇阻抗不匹配，从而导致反射。这些反射会扭曲 CAN 总线并使其振荡，从而导致采样点处的 CAN 总线电平和 RXD 不正确。尽管这些网络效应并不特定于 CAN FD 网络，但当经典 CAN 以低速运行时，位持续时间更长，总线振铃减少，从而可以对正确的位进行采样（如图 2-2 所示），从而实现正确的通信。

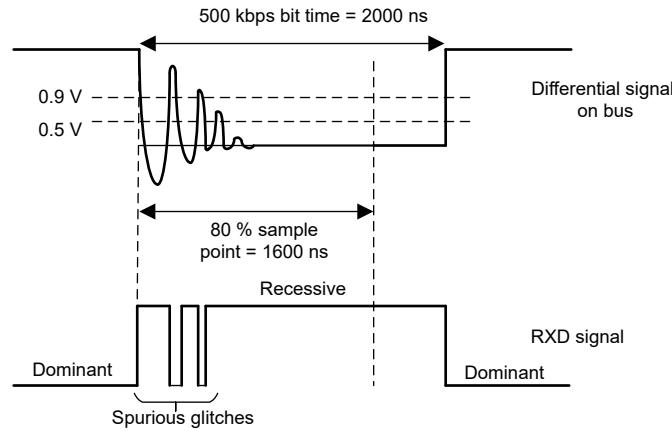


图 2-2. 经典 CAN 速度下的 CAN 总线振铃和 RXD 干扰

对于 5Mbps CAN FD，200ns 的位持续时间过短，以致复杂星形拓扑中的振铃无法消失，从而妨碍了可靠的数据通信。这就使系统设计人员无法以 5Mbps 的速度使用 CAN FD。

随着现代车辆对更多的网络数据交换和更快的吞吐量有需求，CAN SIC 为下一代车载通信总线技术铺平了道路，该技术速度更快并提供了更大的网络灵活性和可扩展性。

3 CAN SIC 如何减少总线振铃

CAN 总线在正常运行期间有两种逻辑状态：隐性和显性，如图 3-1 所示。

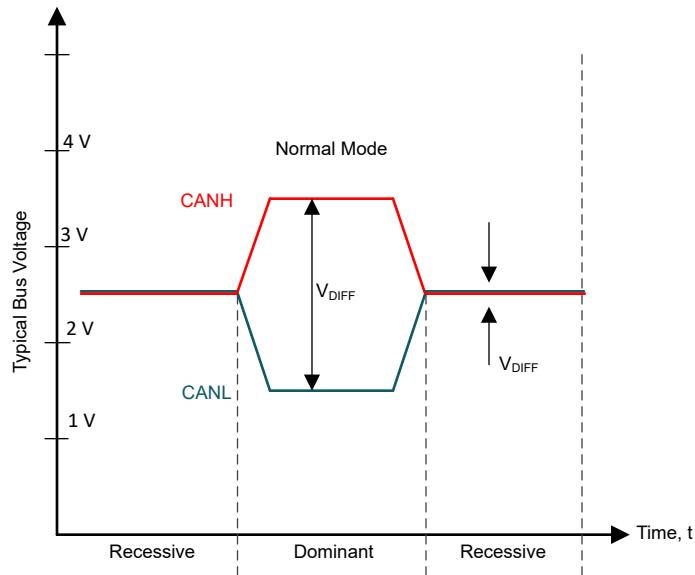


图 3-1. CAN 总线电压电平

当以差分方式驱动总线时，总线为显性状态，对应于 TXD 和 RXD 引脚上的逻辑低电平。当总线通过接收器内部的高阻值输入电阻器 (R_{IN}) 偏置为 $V_{CC}/2$ 时，总线为隐性状态，对应于 TXD 和 RXD 引脚上的逻辑高电平。在仲裁期间，显性状态会覆盖隐性状态。CAN 总线上的隐性到显性信号边沿通常是干净的，因为此边缘由发送器强力驱动。CAN 收发器在显性阶段的差分发送器输出阻抗约为 50Ω ，与网络特征阻抗紧密匹配。对于常规 CAN FD 收发器，当驱动器差分输出阻抗突然变为约 $60k\Omega$ ，且反射回来的信号遇到阻抗不匹配而导致振铃时，会出现显性到隐性边沿。

基于发送器的 SIC 检测到 TXD 上出现显性到隐性边沿时，会在驱动器输出上激活振铃抑制电路。CAN 驱动器继续强力驱动总线呈现隐性，直至 $t_{SIC_TX_base}$ ，以便减少反射，并且采样点处的隐性位很干净。在这一主动隐性阶段，发送器输出阻抗较低（约为 100Ω ）。反射的信号没有出现巨大的阻抗不匹配，因此振铃会大大减弱。在该阶段结束并且器件进入被动隐性阶段之后，驱动器输出阻抗上升至约 $60k\Omega$ 。图 3-2 显示了这一现象。

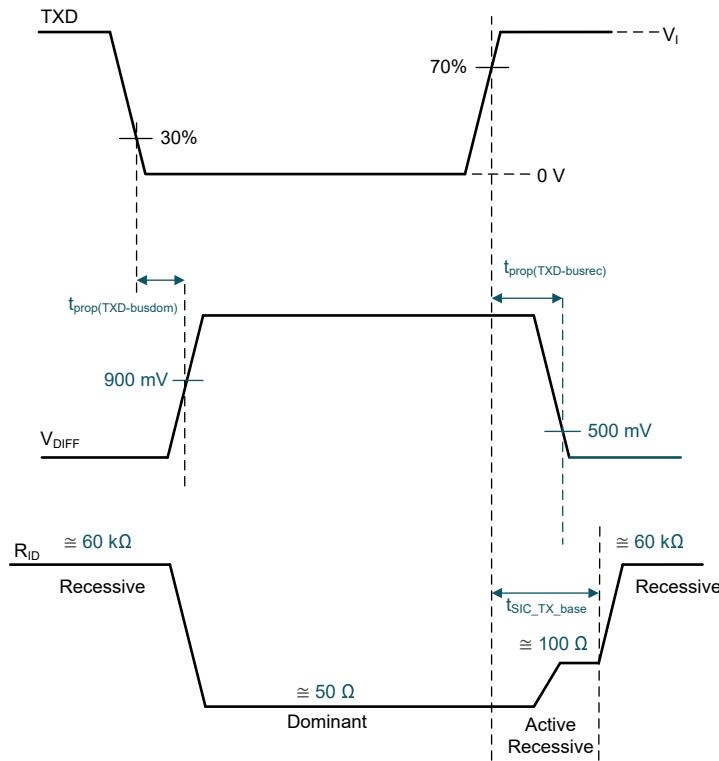


图 3-2. CAN SIC 技术：事件序列

重要的是，强力驱动总线的主动-隐性相预计最多只能持续 530 纳秒 ($t_{SIC_TX_base}$ ，如表 1-1 所列)。CAN FD 协议的数据阶段至多只能持续 200ns (如果以 5Mbps 的速率运行)，因此，这种振铃抑制仅将在整个隐性位持续时间内处于活动状态，从而产生正确的 CAN 总线和 RXD 信号。但是，在仲裁阶段 (1Mbps 运行时，最短的位持续时间为 1 μ s)，多个发送器可以同时发送，显性位必须覆盖隐性位。振铃抑制持续时间会对总体网络长度和仲裁速度造成一些限制。更多详细信息，请参阅 CiA 601-4 规格。

4 有关 TI 的 TCAN1462 器件的实验结果

为了展示德州仪器 (TI) 八引脚 [TCAN1462](#) CAN SIC 收发器的振铃抑制功能，德州仪器 (TI) 使用以下设置进行了实验：

- 双节点点对点通信，其中节点 1 为 [TCAN1462](#)，节点 2 为 [TCAN1044A](#)，这是一种常规的 CAN FD 收发器，如图 4-1 所示。仿真复杂星形拓扑的振铃网络 (由 CiA 601-4 指定) 通过 CAN 总线终端进行连接。如图 4-2 和图 4-3 中的波形所示，当 TCAN1462 进行驱动时，CAN 总线和 RXD 信号看起来很干净。但当 TCAN1044A 进行驱动时，总线上会产生相当大的振铃和 RXD 干扰。

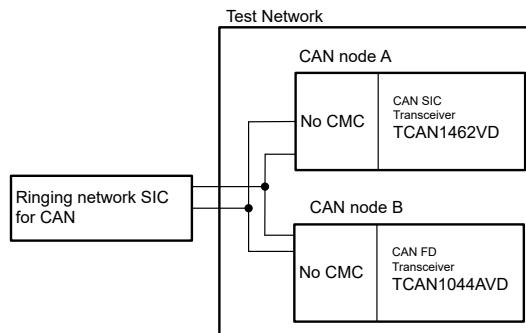


图 4-1. 具有两个节点和振铃电路的网络

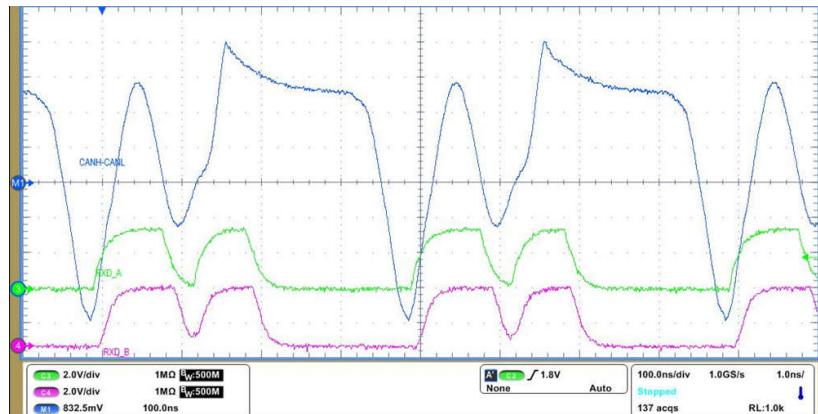


图 4-2. CAN FD 驱动网络的波形

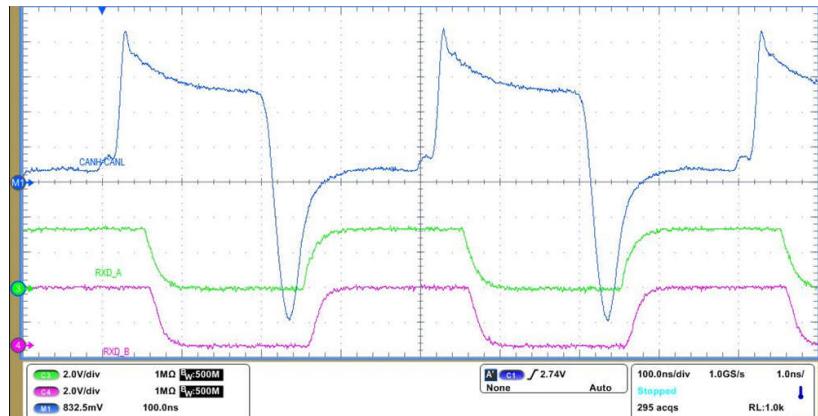


图 4-3. CAN SIC 驱动网络的波形

极其负向的 V_{OD} 不是问题， V_{OD} 上没有过冲，从而产生干净的 RXD。

5 TI 的 CAN SIC 器件

TI 发布了符合 CiA 601-4 和 ISO 11898-2:2024 附录 A 标准的 CAN SIC 器件，包括支持待机模式的 8 引脚 TCAN1472-Q1 和具有睡眠模式和 WAKE/INH 功能的 14 引脚 TCAN1473-Q1 和 TCAN1473A-Q1。TI 还提供 TCAN1473C-Q1 和 TCAN1473AC-Q1，这两款器件是具有睡眠模式和 WAKE/INH 功能且符合 ISO 11898-2:2024 Set C 标准的 14 引脚 CAN 收发器，不包括附录 A 中概述的附加 CAN XL 兼容性要求。TI 的 ISO 11898-2:2024 CAN SIC 器件如下面表 5-1 中所示。

表 5-1. TI 的 CAN SIC 收发器产品系列

ISO 11898-2:2024 器件	说明	引脚数	C 组或附录 A？	引脚对引脚 CAN FD 器件
TCAN1472-Q1	具有待机模式的 CAN SIC 收发器	8	附录 A	TCAN1044A-Q1
TCAN1473-Q1	具有唤醒/INH 功能的 CAN SIC 收发器	14	附录 A	TCAN1043N-Q1
TCAN1473A-Q1	具有唤醒/INH 功能的 CAN SIC 收发器	14	附录 A	TCAN1043A-Q1
TCAN1473C-Q1	具有唤醒/INH 功能的 CAN SIC 收发器	14	设置 C	TCAN1043N-Q1
TCAN1473AC-Q1	具有唤醒/INH 功能的 CAN SIC 收发器	14	设置 C	TCAN1043A-Q1
TCAN1476V-Q1	具有待机模式的双 CAN SIC 收发器	14	附录 A	TCAN1046AV-Q1
TCAN1575-Q1	具有选择性唤醒/局部联网功能的 CAN SIC 收发器	14	附录 A	TCAN1145-Q1
TCAN1576-Q1	具有选择性唤醒/局部联网功能、看门狗及总线故障诊断功能的 CAN SIC 收发器	14	附录 A	TCAN1146-Q1

TCAN1472 有两种型号：用于 5V 总线/逻辑电平的 TCAN1472 和支持 1.8V 至 5V 逻辑电平的 TCAN1472V。与市场上的同类竞争器件相比，这些器件具有巨大优势，如表 5-2 所示。

表 5-2. 比较 TCAN1462 以及与其最接近的同类竞争器件

参数	同类竞争器件	TCAN1472	终端系统含义
V_{io} (逻辑电源) 范围	3V 至 5.5V	1.7V 至 5.5V	TI 面向未来的 1.8V 逻辑 I/O 支持
SIC 时间	仅符合 $\pm 5\%$ V_{CC}	符合 $\pm 10\%$ V_{CC}	TI 不需要严格的稳压电源来满足标准所要求的重要 SIC 参数
最小 V_{od} 为 1.5V	仅符合 $\pm 5\%$ V_{CC}	符合 $\pm 10\%$ V_{CC}	
总线故障保护	-36V 至 40V	$\pm 58V$	高总线故障意味着更能抵御故障。此外，TI 为 24V 系统提供总线故障支持，支持跨平台重复使用
在总线引脚上提供静电放电 (ESD) 保护	$\pm 6kV$	$\pm 8kV$	更高程度的 ESD 保护
Small Outline Transistor-23 封装	否	是	TI 提供外形尺寸更小的封装选项

6 CAN SIC 的优势

与常规 CAN FD 收发器相比，CAN SIC 收发器具有显著的系统性优势，而无需在物理层或应用层进行设计更改。这些收发器能够以更快的比特率运行，在选择网络拓扑时拥有更多的自由，同时可降低车辆成本和重量。

CAN SIC 可与 CAN FD 和高速 (HS) CAN 节点互操作，因此 CAN SIC 收发器可以在与 CAN FD 和 HS CAN 收发器相同的总线上运行。

如表 1-1 所示，CAN SIC 收发器可显著改善位时间对称性，从而为会使 CAN 信号恶化的任何网络效应提供更多裕度。收发器对发送和接收位的降级要小得多，同时可减少位持续时间，从而以 8Mbps 的速率可靠地运行。最后，与 CAN FD 收发器的环路延迟最大为 255ns 相比，CAN SIC 收发器的环路延迟最大为 190ns，这有助于延长最大网络长度。

7 修订历史记录

注：以前版本的页码可能与当前版本的页码不同

Changes from Revision * (April 2022) to Revision A (October 2025)	Page
• 添加了 FlexRay 商标.....	1
• 在新发布的 ISO11898-2:2024 标准化上添加了 节 1	2
• 添加了 CiA 商标.....	2
• 更新了 节 5 中的器件。	9

重要通知和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做出任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、与某特定用途的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他安全、安保法规或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的相关应用。严禁以其他方式对这些资源进行复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。对于因您对这些资源的使用而对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，您将全额赔偿，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 销售条款](#))、[TI 通用质量指南](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款或 TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。除非德州仪器 (TI) 明确将某产品指定为定制产品或客户特定产品，否则其产品均为按确定价格收入目录的标准通用器件。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

版权所有 © 2025 , 德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期 : 2025 年 10 月