



Vikas Kumar Thawani

## 摘要

现代汽车通过执行很多功能来改善其安全性、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，大量电子控制单元 (ECU) 部署在车辆中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)、本地互连网络 (LIN)、FlexRay 和以太网中，CAN 总线因其易用性、良好的共模噪声抑制、基于优先级的消息传递、可处理总线争用的按位仲裁以及错误检测和恢复等特性，一直备受追捧。

通过向现有 CAN 总线添加节点，可以轻松地扩展车辆网络，这也是一个主要优势。然而，当网络变得复杂时，例如 CAN 节点的星形拓扑连接，这种优势就会减弱。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，CAN 灵活数据速率 (FD) 收发器尽管额定值为 5 Mbps，但在实际车辆网络中必须以低于 2 Mbps 的速率使用。信号改善功能 (SIC) 使 CAN-FD 收发器能够以 5 Mbps 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 .....	2
3 SIC 如何减少总线振铃 .....	3
4 有关 TI 的 TCAN1462 器件的实验结果 .....	6
5 TI 的 CAN SIC 器件 .....	7
6 CAN SIC 的优势 .....	7

## 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 2-1. 在星形网络中连接的 CAN 节点 .....	3
图 2-2. 经典 CAN 速度下的 CAN 总线振铃和 RXD 干扰 .....	3
图 3-1. CAN 总线电压电平 .....	4
图 3-2. CAN SIC 技术：事件序列 .....	5
图 4-1. 具有两个节点和振铃电路的网络 .....	6
图 4-2. CAN-FD 驱动网络的波形 .....	6
图 4-3. CAN SIC 驱动网络的波形 .....	6

## 表格清单

表 1-1. 比较 CiA 601-4 和 ISO 11898-2 时间规格 .....	2
表 5-1. 比较 TCAN1462 以及与其最接近的同类竞争器件 .....	7

## 商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

## 1 什么是 SIC ?

信号改善是 CAN-FD 收发器中增加的一项额外功能，它通过最大限度地减少信号振铃来提高复杂星形拓扑中可实现的更大数据速率。CAN SIC 收发器需要满足或超过国际标准化组织 (ISO) 11898-2:2016 高速 CAN 物理层标准和 CAN-in-Automation (CiA) 601-4 信号改善规格的要求。

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 900 mV ( CAN 接收器的显性阈值 ) 和低于 500 mV ( CAN 接收器的隐性阈值 ) 时产生振铃，导致接收数据 (RXD) 干扰。根据 CiA 601-4，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。

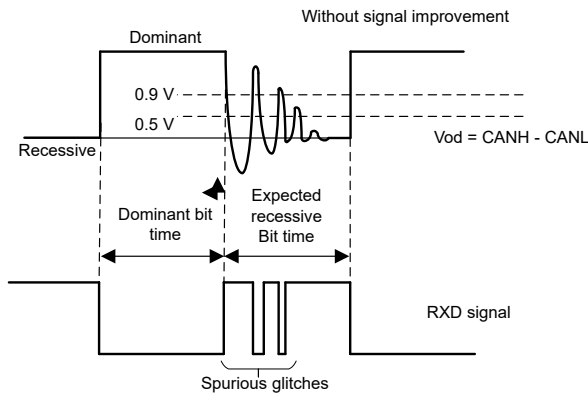


图 1-1. 无 SIC 功能的 CAN 总线和 RXD 波形

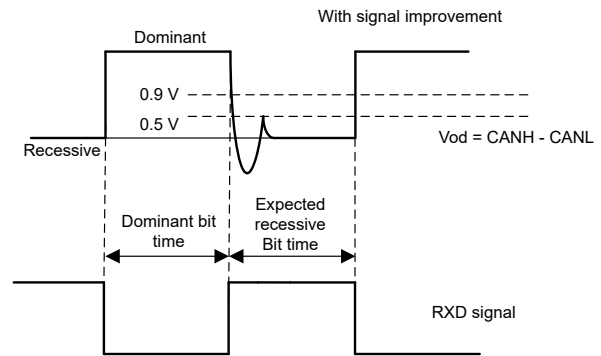


图 1-2. 有 SIC 功能的 CAN 总线和 RXD 波形

就电气参数而言，符合 CiA 601-4 的 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 中规定的时间与数据速率无关，同时适用于 2 Mbps 和 5 Mbps 运行。

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

参数	表示法	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 ( 对于 2 Mbps )	30 ( 对于 2 Mbps )
				- 45 ( 对于 5 Mbps )	10 ( 对于 5 Mbps )
接收的位宽时间差	$\Delta t_{Bit(RxD)}$	-30	20	- 100 ( 对于 2 Mbps )	50 ( 对于 2 Mbps )
				- 80 ( 对于 5 Mbps )	20 ( 对于 5 Mbps )
接收器时间对称性	$\Delta t_{REC}$	-20	15	- 65 ( 对于 2 Mbps )	40 ( 对于 2 Mbps )
				- 45 ( 对于 5 Mbps )	15 ( 对于 5 Mbps )
从发送器数据 (TXD) 到总线显性的传播延迟	$t_{prop(TxD-busdom)}$		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	$t_{prop(TxD-busrec)}$		80		
从总线到 RXD 显性的传播延迟	$t_{prop(busdom-RxD)}$		110		
从总线到 RXD 隐性的传播延迟	$t_{prop(busrec-RxD)}$		110		

## 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 1 Mbps。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 5 Mbps。然而，为了向后兼容经典 CAN，仲裁阶段的信号传输速率仍然限制为 1 Mbps。

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，但它不足以跟上车辆 CAN 总线网络中持续增长的 ECU 数量。设计人员意识到，他们无法利用 CAN-FD 收发器的真正潜力，因为复杂星形网络导致的总线振铃影响了正确的信号通信。图 2-1 是星形拓扑示例。

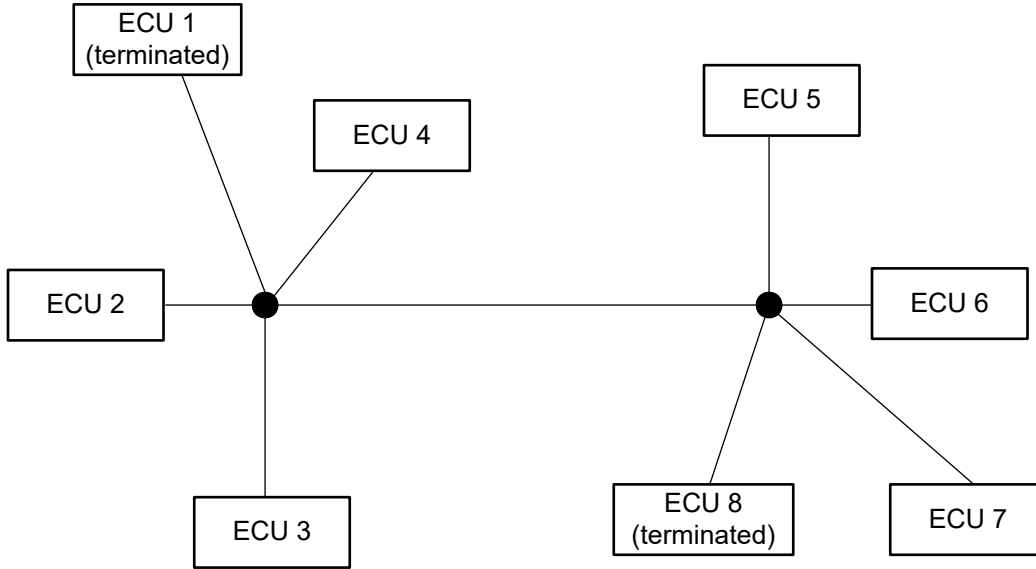


图 2-1. 在星形网络中连接的 CAN 节点

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，因此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。

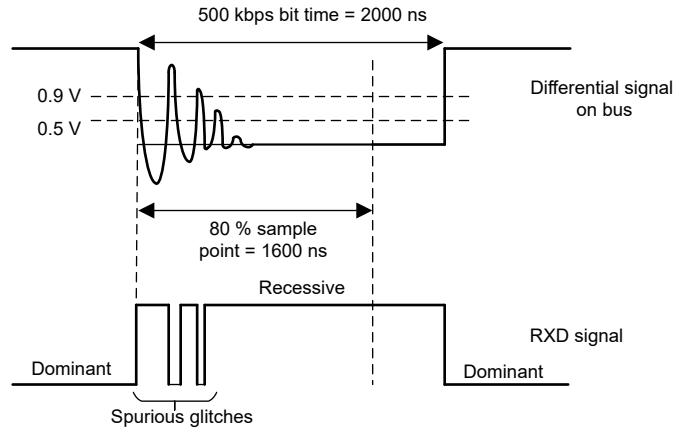


图 2-2. 经典 CAN 速度下的 CAN 总线振铃和 RXD 干扰

对于 5 Mbps CAN-FD，200 ns 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 5 Mbps 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 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。

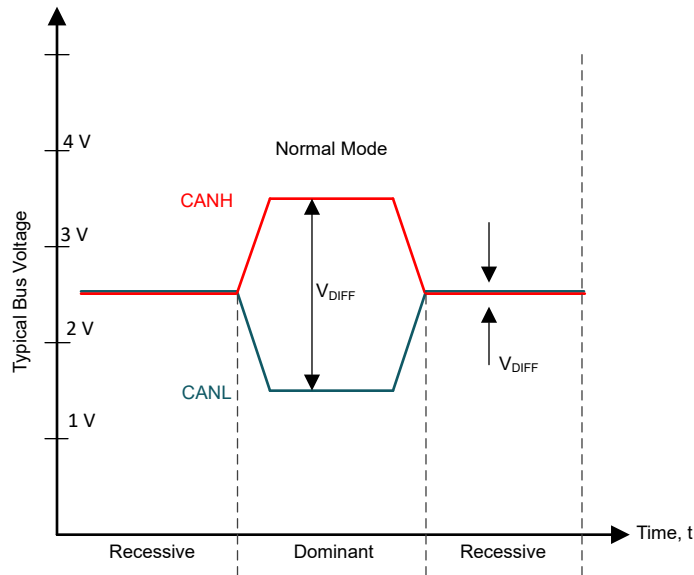


图 3-1. CAN 总线电压电平

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，因为它由发送器强力驱动。CAN 收发器在显性阶段的差分发送器输出阻抗约为  $50\ \Omega$ ，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  $60\ k\Omega$ ，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  $100\ \Omega$ ）。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  $60\ k\Omega$ 。图 3-2 显示了这一现象。

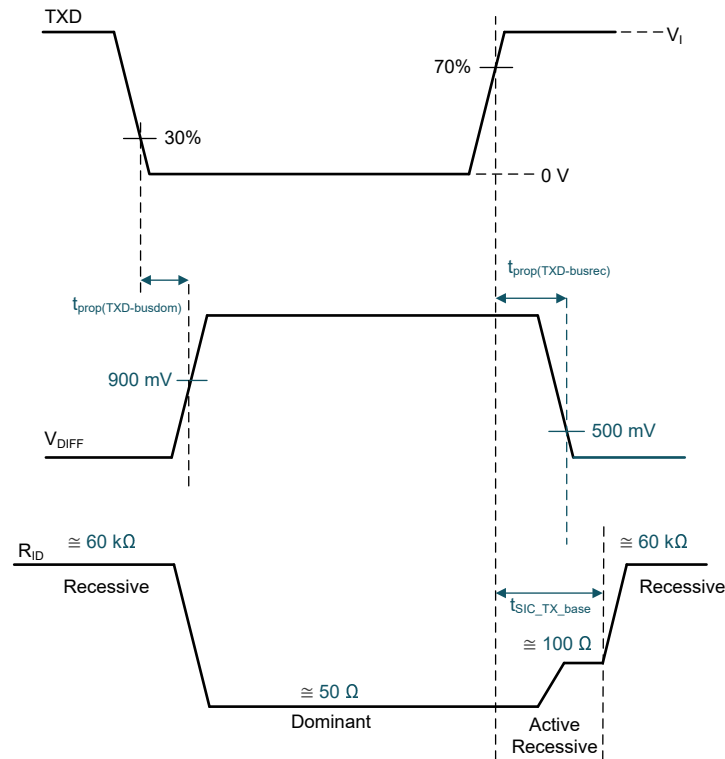


图 3-2. CAN SIC 技术：事件序列

在强力驱动总线的主动隐性阶段，一个重要因素是它至多只能持续 530 ns ( $t_{SIC\_TX\_base}$ ，如表 1-1 所列)。CAN-FD 协议的数据阶段至多只能持续 200 ns (如果以 5 Mbps 的速率运行)，因此，这种振铃抑制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。然而，在仲裁阶段 (对于 1 Mbps 运行，最快的位持续时间为 1 μs，多个发送器可以同时发送，显性位必须覆盖隐性位)，振铃抑制的持续时间可能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。

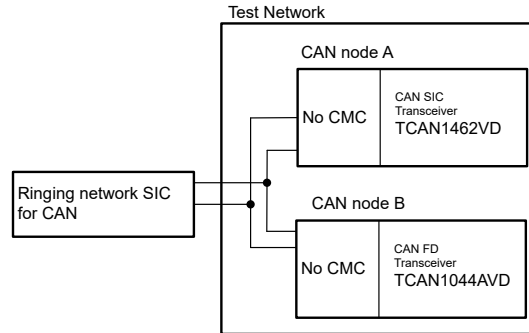


图 4-1. 具有两个节点和振铃电路的网络

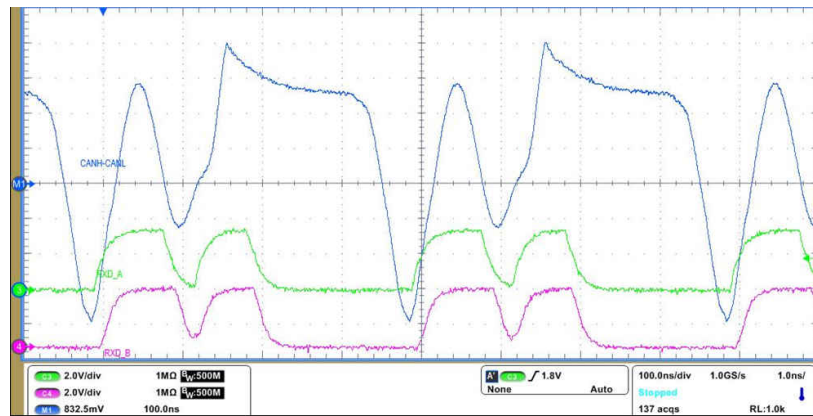


图 4-2. CAN-FD 驱动网络的波形

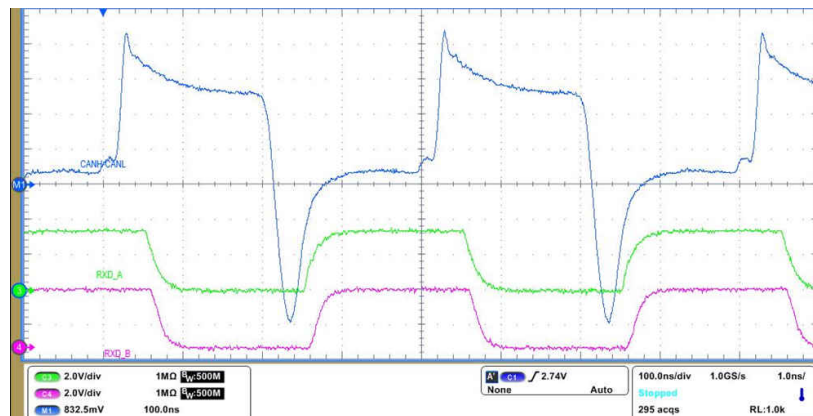


图 4-3. CAN SIC 驱动网络的波形

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 发布了两款 CAN SIC 器件：支持待机模式的八引脚 [TCAN1462](#)，与传统的八引脚 CAN 收发器兼容；具有睡眠模式和 WAKE/INH 功能的 14 引脚 [TCAN1463](#)，与传统的 14 引脚 CAN 收发器兼容。

TCAN1462 有两种型号：用于 5V 总线/逻辑电平的 TCAN1462 和支持 1.8V 至 5V 逻辑电平的 TCAN1462V。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 5-1 所示。

**表 5-1. 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	TCAN1462	终端系统含义
V <sub>io</sub> (逻辑电源) 范围	3V 至 5.5V	1.71V 至 5.5V	TI 面向未来的 1.8V 逻辑 I/O 支持
SIC 时间	仅符合 ±5% V <sub>CC</sub>	符合 ±10% V <sub>CC</sub>	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 <sub>od</sub> 为 1.5V	仅符合 ±5% V <sub>CC</sub>	符合 ±10% V <sub>CC</sub>	
总线故障保护	-36V 至 40V	±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	6 kV	±8 kV	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 向后兼容 ISO 11898-2，因此它可以在与 CAN-FD 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 8 Mbps 的速率可靠地运行。最后，与 CAN-FD 收发器的环路延迟最大为 255 ns 相比，CAN SIC 收发器的环路延迟最大为 190 ns，这有助于延长最大网络长度。

## 重要声明和免责声明

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任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、某特定用途方面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功能安全、信息安全、监管或其他要求。

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 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/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。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2022，德州仪器 (TI) 公司