

## Technical White Paper

# 通过汽车认证且符合电磁兼容性标准的 3.3V CAN FD 收发器如何提高 ECU 性能



Vikas Kumar Thawani, Deep Banerjee, Lokesh Kumar Gupta, Sachin Jadhav, Vinay Agarwal

### 摘要

现代汽车系统通过执行很多功能来改善其安全性、性能和舒适性。设计工程师为高级驾驶辅助系统、车身电子装置和照明、信息娱乐和安全系统开发动力总成系统，这些系统包括大量电子控制单元 (ECU)，用于执行各种机电功能。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 和以太网等网络协议中，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。

迄今为止，车辆中部署的大多数 CAN 收发器都基于 5V 驱动器和接收器电源。这是因为 CAN 物理层 ( 国际标准组织 [ISO] 11898-2:2024 ) 和 CAN 元件级电磁兼容性 (EMC) 标准 ( 国际电工委员会 [IEC] 62228-3 ) 仅针对采用 5V 电源供电的 CAN 收发器提供了相应的规范和通过/未通过限制。有些子系统仅因为 CAN 收发器才需要 5V 电源轨。采用 3.3V 电源供电的 CAN 收发器无需使用 5V 电源轨，同时可与同一网络总线上的 5V CAN 收发器完全互操作并满足严格的汽车 EMC 要求，因此能够简化 ECU 的功率级设计。本白皮书介绍了 TI 符合汽车标准且经过 EMC 认证的 3.3V CAN 灵活数据速率 (FD) 收发器 TCAN3403-Q1 和 TCAN3404-Q1。

### 内容

1 引言.....	2
2 5V CAN 收发器.....	4
3 TI 的 TCAN3403-Q1、TCAN3404-Q1 CAN FD 收发器.....	5
4 TCAN340x-Q1 的互操作性 (IOPT).....	6
5 TCAN340x-Q1 的 EMC.....	7
6 TCAN340x-Q1 与 3.3V CAN 竞品相比的优势.....	8
7 结语.....	8
8 修订历史记录.....	8

### 插图清单

图 1-1. 典型 CAN 网络.....	2
图 1-2. 5V CAN 收发器应用原理图.....	2
图 1-3. CAN 信号机制，驱动器和接收器表示.....	3
图 2-1. CAN 收发器方框图.....	4
图 3-1. 3.3V CAN 收发器应用原理图.....	5
图 3-2. 5V CAN 和 3.3V CAN 收发器的波形比较.....	6
图 4-1. 5V 同构网络 CAN FD 帧波形.....	7
图 4-2. 3.3V 和 5V 异构网络 CAN FD 帧波形.....	7

### 表格清单

表 2-1. 5V CAN 收发器规格.....	4
表 3-1. TCAN340x-Q1 器件系列.....	5
表 3-2. 3.3V CAN 收发器规格.....	5
表 6-1. TCAN340x-Q1 与 3.3V CAN 竞品器件的特性比较.....	8

### 商标

所有商标均为其各自所有者的财产。



典型的 CAN 总线信号由显性阶段和隐性阶段组成。CAN 驱动器在显性阶段会在  $60\ \Omega$  负载上产生至少  $1.5\text{V}$  的差分信号，而该驱动器在隐性阶段会将总线弱偏置到共模  $2.5\text{V}$  电平。该信号机制专为按位仲裁而设计，并且具有最高优先级 ID（具有最多显性位的 CAN 帧标识字段）的器件可以控制总线，因为显性（强）驱动能够克服隐性（弱）偏置。接收节点会监测 CAN 高侧和 CAN 低侧差分信号，只要信号高于  $900\text{mV}$ （显性阈值）或低于  $500\text{mV}$ （隐性阈值），就能够对 CAN 消息进行解码。

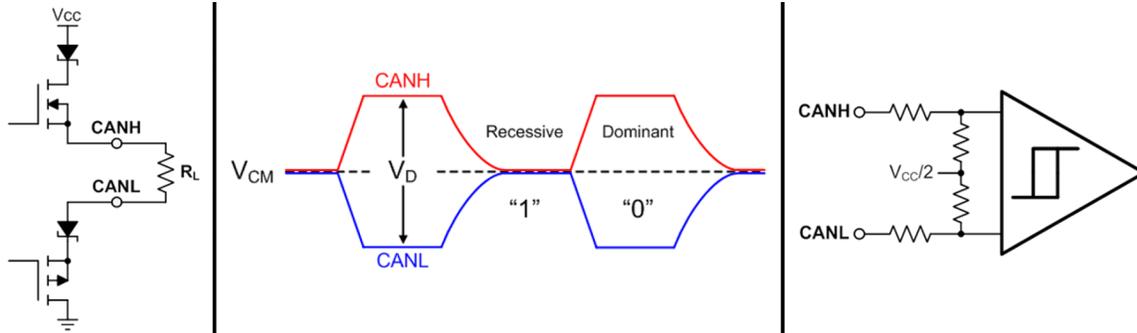


图 1-3. CAN 信号机制，驱动器和接收器表示

$$V_D = V_{\text{CANH}} - V_{\text{CANL}}$$

对于驱动器： $V_{\text{OD(DOM)}} \geq 1.5\text{V}$  @  $60\ \Omega$  负载

对于接收器： $V_{\text{ID(DOM)}} \geq 900\text{mV}$ ， $V_{\text{ID(rec)}} \leq 500\text{mV}$

CAN 线束分布在整辆车上。CAN 收发器产生的任何共模干扰都可能导致辐射，从而影响汽车其他子系统的功能。同样，线束也容易受到其他模块的电磁干扰。因此，电磁兼容性是任何汽车 CAN 收发器的关键要求。不同子系统的 CAN 收发器可能来自不同的半导体供应商，因此，要在主流汽车网络中使用任何 CAN 收发器，互操作性是另一项要满足的要求。

## 2 5V CAN 收发器

如图 2-1 所示，为了使驱动器能够在 CAN 高侧端子和 CAN 低侧端子上产生 1.5V 的最小差分电压，高侧和低侧晶体管（图 2-1 中以红色虚线矩形突出显示）必须具有适当的大小，以便这些晶体管在由 4.5V 电源（因为 5V 主电源的变化范围可能为  $\pm 10\%$ ）供电时的最大压降为 3V。

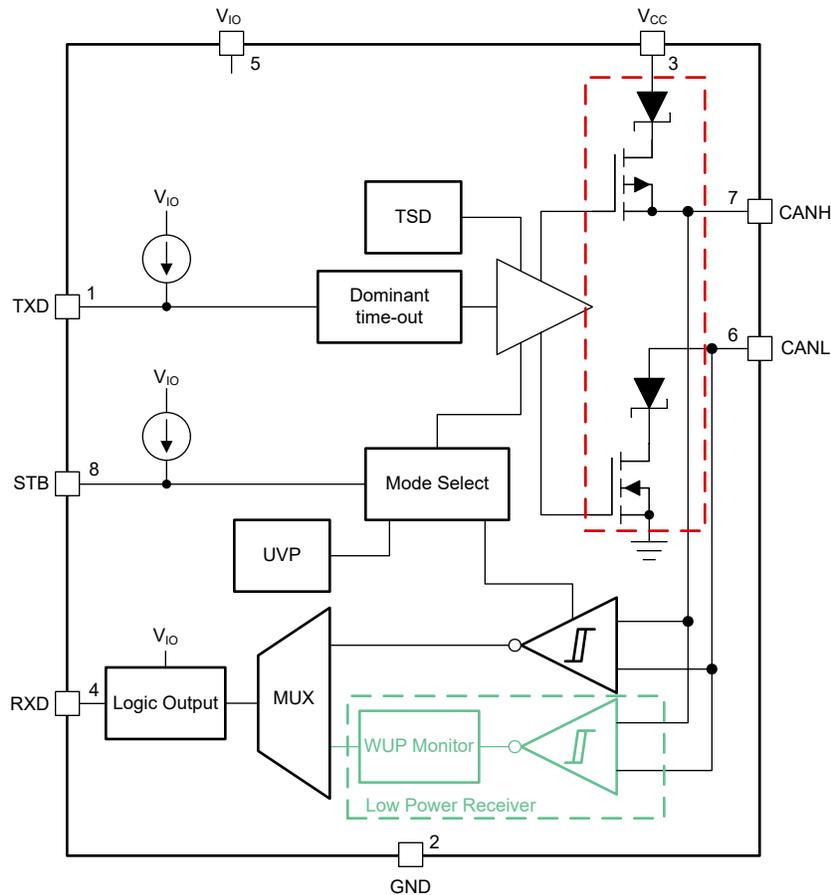


图 2-1. CAN 收发器方框图

CAN 总线收发器可以是该子系统中唯一的 5V 元件。现代 MCU 的 I/O 电源降至 3.3V 时，有可能完全取消 5V 电源轨，从而通过缩减物料清单和减小 PCB 空间来简化功率级并节省成本。高总线容错 CAN 总线收发器与标准 5V CAN 收发器封装兼容并由单个 3.3V 电源供电，可以消除对专用 5V 电源的需求，从而有助于简化设计并降低成本。

表 2-1. 5V CAN 收发器规格

参数	条件	最小值 (V)	最大值 (V)
$V_{CANH}$	显性输出，总线负载 $50\ \Omega \leq R_L$	2.75	4.5
$V_{CANL}$	$\leq 65\ \Omega$	0.5	2.25

### 3 TI 的 TCAN3403-Q1、TCAN3404-Q1 CAN FD 收发器

TI 推出了两款通过汽车认证和 EMC 认证的 3.3V CAN FD 收发器。表 3-1 展示了 TCAN3403-Q1 和 TCAN3404-Q1 之间的差异。

表 3-1. TCAN340x-Q1 器件系列

器件型号	引脚 5	引脚 8
TCAN3403-Q1	超低功耗关断模式	具有远程唤醒功能的低功耗待机模式
TCAN3404-Q1	低压 I/O 支持	

还需要注意以下几个方面：

- 即使在最低 3V 电源电压下（因为 3.3V 主电源可能有  $\pm 10\%$  的变化），这些器件在  $50\ \Omega$  总线负载下也可提供至少 1.5V 的差分输出电压。这样可以确保符合 ISO 11898-2 (2024) 中的 VOD 规范。
- 接收器阈值与标准的 5V CAN 收发器完全相同，并符合 ISO11898-2 (2024) 标准。
- 单端规格如表 3-2 所示，与 CAN 物理层标准 ISO 11898-2(2024) 略有偏差。

表 3-2. 3.3V CAN 收发器规格

参数	条件	最小值 (V)	最大值 (V)
$V_{CANH}$	显性输出，总线负载 $50\ \Omega \leq R_L$ $\leq 65\ \Omega$	2.25	$V_{CC}$
$V_{CANL}$		0.5	1.25
$V_{CANH}$ 、 $V_{CANL}$	隐性	1.9V (典型值)	

驱动器晶体管（图 2-1 中以红色虚线矩形突出显示）的大小必须确保高侧和低侧在 3V 工作总线电源电压下的压降之和最大为 1.5V。最低工作电源电压的这一压降要求器件的隐性偏置电压为 1.9V，而标准 5V CAN 收发器为 2.5V。由于 CAN 用作差分接口，处于显性和隐性状态的单端电压对于正常运行或通信并不重要。这意味着这些器件符合 ISO 11898-2 (2024) 标准。

图 3-1 是采用 TCAN3404-Q1 的应用示意图，其中展示了采用单个 3.3V 电源稳压器运行 MCU 和 CAN 收发器，因而无需使用标准 5V CAN 收发器所需的 5V 稳压器。

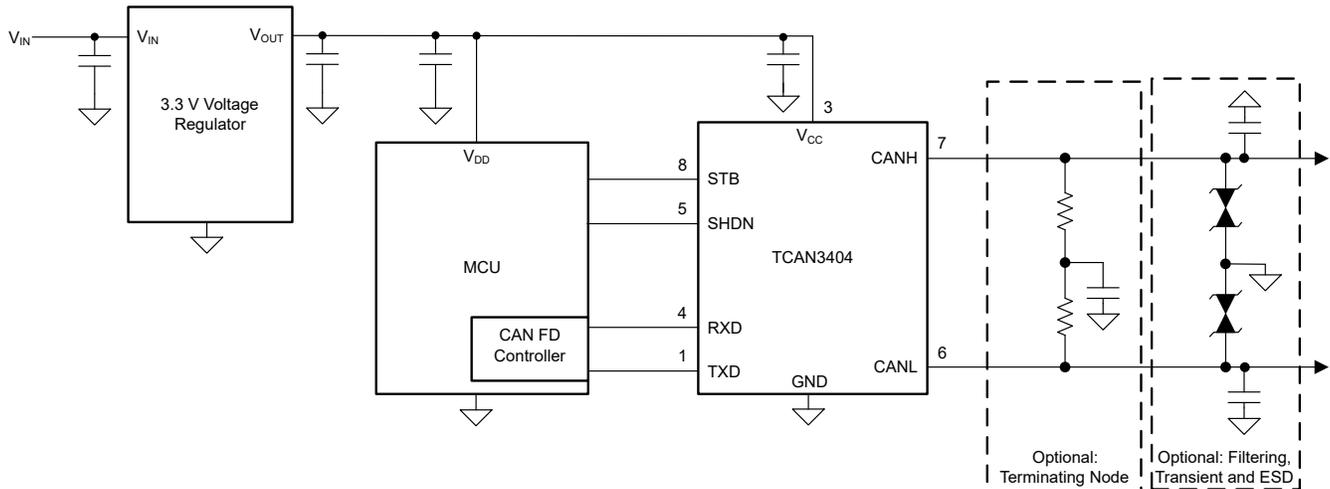


图 3-1. 3.3V CAN 收发器应用原理图

图 3-2 比较了 TCAN340x-Q1 和标准 5V CAN 之间的单个器件级波形。

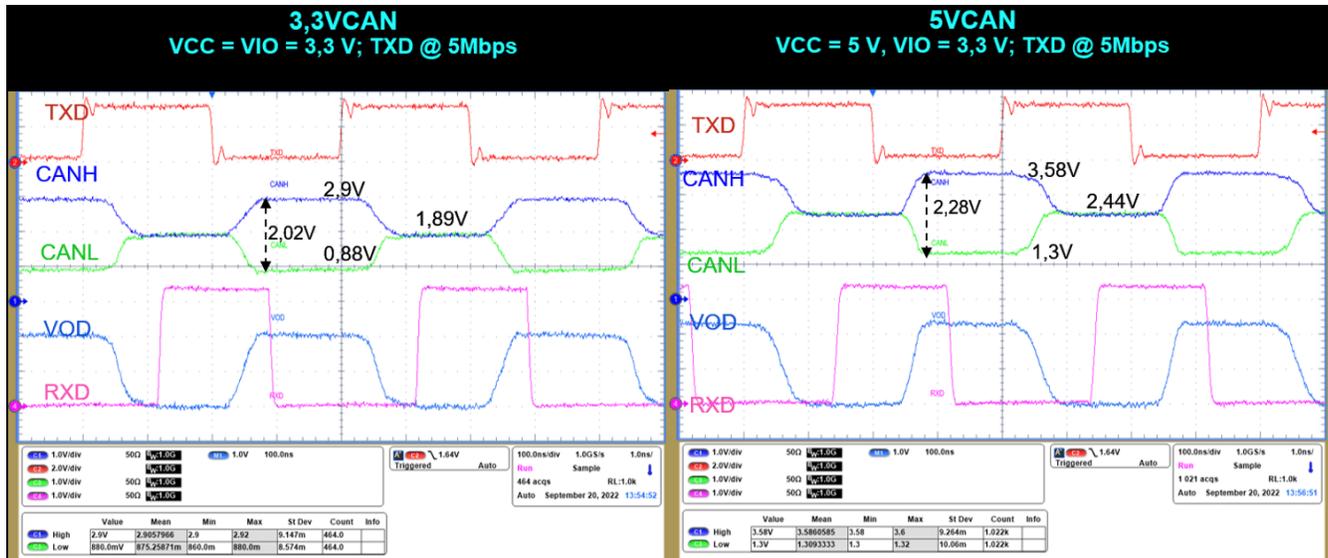


图 3-2. 5V CAN 和 3.3V CAN 收发器的波形比较

当 TCAN3403-Q1 和 TCAN3404-Q1 与同一总线网络中的 5V CAN 收发器结合使用时，轻微的隐性偏置失配可能会对辐射产生影响。但是，这两款器件中采用的专有设计技术可在同构（网络中的两个节点均为 TCAN340x-Q1）和异构（一个节点为 TCAN340x-Q1，另一个节点为标准 5V CAN）网络条件下确保符合 IEC 62228-3 EMC 标准。

TCAN3403-Q1 和 TCAN3404-Q1 的其他特性包括：

- 高达  $\pm 58V$  的强大高总线容错能力，可在 12V 和 24V 电池应用中发生误接线故障时避免造成器件损坏。
- 扩展的共模工作电压范围为  $\pm 30V$ ，即使存在较大的地电位差或电压干扰，该接收器也能持续接收数据，而不会中断。
- 与标准 5V CAN 收发器封装兼容，同时还具有关断功能，可将电源电流消耗降低至小于  $5\mu A$ ，从而实现无缝升级。
- 封装选项包括引线式小外形集成电路 (SOIC)-8、具有可湿性侧面的无引线超小外形无引线 (VSON)-8 和超小型引线式小外形晶体管 (SOT)-23。

市场上已有许多 3.3V CAN 收发器，但没有一款收发器同时满足汽车认证和 EMC 认证要求。TCAN340x-Q1 为寻求一款完全可互操作且稳定可靠的 3.3V CAN 收发器的汽车设计人员提供了一个方案，帮助他们克服异构网络中的 EMC 挑战。

## 4 TCAN340x-Q1 的互操作性 (IOPT)

如前一节所述，TCAN340x-Q1 的 CAN 高侧和 CAN 低侧端子隐性偏置电压为 1.9V。共模电压的这一微小变化（与标准 5V CAN 收发器的 2.5V 相比）处于 ISO 11898-2 (2024) 标准规定的  $-12V$  至  $+12V$  共模电压范围内。此外，TCAN340x-Q1 在 3.3V 电压下运行时具有  $\pm 30V$  的扩展共模电压范围，因此隐性偏置电平的这种微小变化相对而言微不足道，使 TCAN340x-Q1 能够与任何其他符合 ISO 11898-2 标准的收发器无缝通信。TCAN340x-Q1 能够完全与同一总线上由 5V 电源供电的其他收发器实现互操作。

TI 的 TCAN340x-Q1 3.3V CAN 收发器系列已成功通过国际公认的第三方通信和系统组织的测试，符合高速 CAN 收发器的互操作性测试规范。TCAN340x-Q1 器件已成功通过同构和异构网络测试，可以根据要求提供证书。

在 C&S IOPT 测试中，TCAN340x-Q1 在所有节点均为该器件的 16 节点 2Mbps 线性网络中进行了测试，并还在 8 节点 5Mbps 同构线性网络中进行了测试。此外，在异构条件下进行了 16 节点 2Mbps 网络测试（4 个节点为 TCAN340x-Q1，12 个节点为黄金基准 5V CAN 收发器）。同样，还在异构条件下进行了 8 节点 5Mbps 网络测试（2 个节点为 TCAN340x-Q1，6 个节点为黄金基准 5V CAN 收发器）。在所有网络条件下，均在启动时故意在网络中引入 CAN 总线接地短路、CAN 对电池短路、节点之间的接地漂移和节点断开等故障，然后消除故障并检查

通信完整性。此外，TI 在有仲裁和无仲裁的情况下分别对各种不同的网络（多节点复杂星形拓扑）进行了内部测试，TCAN340x-Q1 在所有网络条件下都通过了 IOPT 测试。以下是在 2Mbps 数据速率（500kbps 仲裁速率）下测试的同构（全部为 5V 节点）和异构（3 个 TCAN340x-Q1 和 8 个标准 5V CAN 节点）11 节点复杂三重星形网络在仲裁期间的两个波形。波形清楚地表明 RXD 没有任何错误。即使总线共模 VCM 在异构条件的帧期间发生移动，差分总线和 RXD 波形仍然不受干扰且与所有 5V 同构网络条件相当。

以下是在 2Mbps 数据速率（500kbps 仲裁速率）下测试的同构（全部为 5V 节点）和异构（3 个 TCAN340x-Q1 和 8 个标准 5V CAN 节点）11 节点复杂三重星形网络在仲裁期间的两个波形。波形清楚地表明接收到的 RXD 没有任何错误。即使总线共模 V<sub>CM</sub> 在异构条件的帧期间发生移动，差分总线和 RXD 波形仍然不受干扰且与所有 5V 同构网络条件相当。

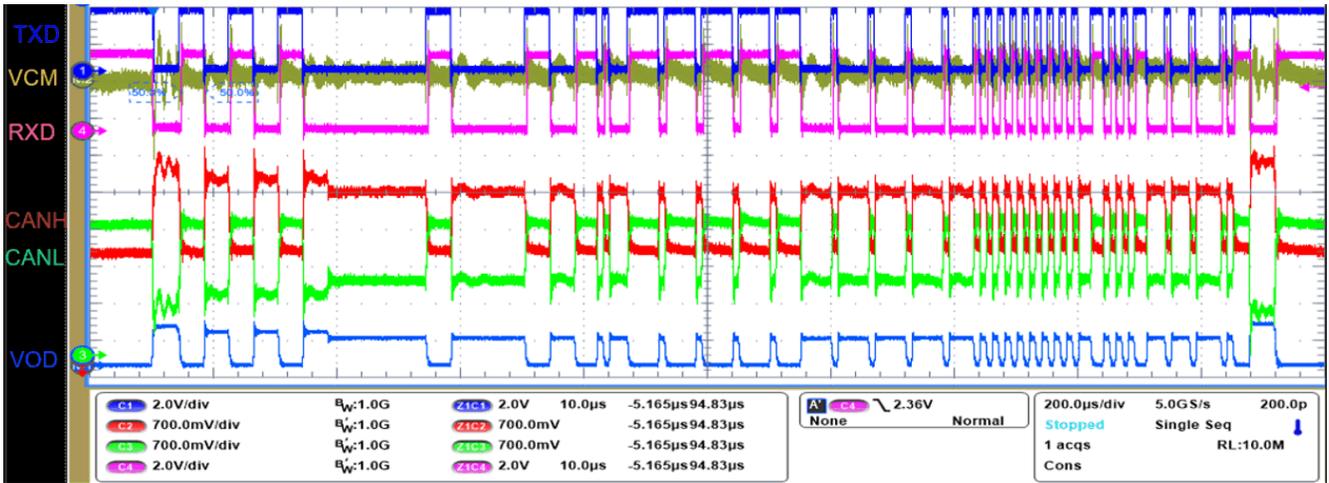


图 4-1. 5V 同构网络 CAN FD 帧波形

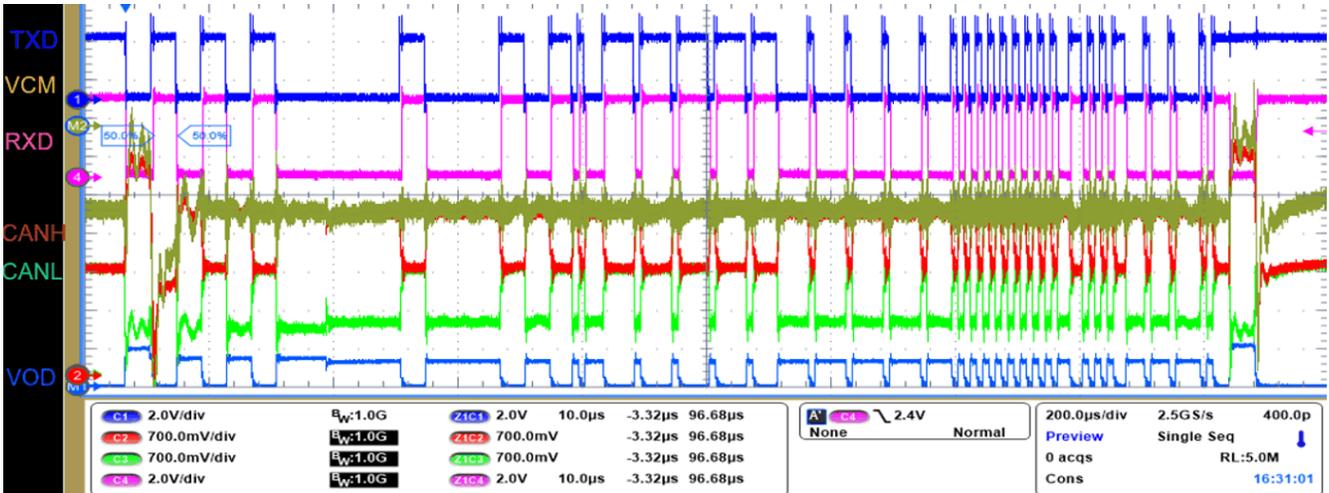


图 4-2. 3.3V 和 5V 异构网络 CAN FD 帧波形

## 5 TCAN340x-Q1 的 EMC

如前几节所述，要让 CAN 收发器通过主要汽车制造商的认证，必须满足元件级 EMC 要求。用于测试和验证 CAN 收发器是否符合 EMC 要求的一种标准是 IEC62228-3:2019。该标准测试 CAN 收发器在 2 节点设置中的传导发射和传导抗扰度，以及 ISO10605 ESD 和脉冲瞬态。

CAN 用作差分接口，差分信号引起的电磁能量在很大程度上会被抵消，但任何共模失配都会在电缆线束上体现出来，并导致大量的系统级辐射。为了满足 EMC 要求，TCAN340x-Q1 在设计上做了大量努力，目的是在总线上升和下降转换期间保持 CANH 和 CANL 之间的开关对称性。此外，TCAN340x-Q1 中采用了一些专有的设计技术，

因此可以在驱动和接收 CAN 数据的同时动态调整总线共模，从而满足异构网络中的辐射要求。同构网络 ( CAN 总线上的所有节点均为 3.3V ) 中的辐射比更严格的异构网络 ( 同一总线上混合使用 3.3V 和 5V CAN 节点 ) 中的辐射更容易满足要求，因为在隐性条件下会出现共模移动。

TCAN340x-Q1 在同构和异构网络条件下均符合 IEC 62228-3:2019 规定的严格 EMC 要求，并可按要求提供合规报告。

## 6 TCAN340x-Q1 与 3.3V CAN 竞品相比的优势

**表 6-1. TCAN340x-Q1 与 3.3V CAN 竞品器件的特性比较**

参数	竞争器件 A	竞争器件 B	竞争器件 C	TCAN340x-Q1	系统含义
已通过汽车认证	否	否	否	是	只有 TI 通过汽车认证
通过 EMC 认证	否	否	否	是	只有 TI 通过汽车 EMC 认证
CAN 总线关断电压	±36V	±40V	±60V	±58V	TI 可支持 12V 和 24V 汽车电池子系统
接收器共模电压范围	±25V	±25V	±36V	±30V	TI 具有扩展的运行共模电压范围
最大数据速率	1Mbps	5Mbps	4Mbps	8Mbps	保证以 CAN FD 数据速率及更高速率运行
电源电流 ( 待机模式 )	600 μ A	60 μ A	不适用	17 μ A	更低的待机电流消耗可减少电池电压消耗

## 7 结语

TI 的 TCAN340x-Q1 是通过 EMC 认证的 3.3V CAN 收发器，对汽车设计人员极具吸引力，可用于替代标准的 5V CAN 收发器。该器件与 5V CAN 收发器封装兼容，并可与其完全互操作，同时还符合物理层 ISO11898-2:2024 规范。TCAN340x-Q1 可帮助将 CAN 解决方案成本降低 25% ( 省去了汽车级 5V LDO )，并将 PCB 空间减小 70%。TCAN340x-Q1 有助于消除应用中传统上仅 5V CAN 收发器才需要的 5V 电源轨，同时降低 BOM 成本和缩小 PCB 尺寸，开启了 3.3V CAN FD 收发器的新时代。

## 8 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 * (June 2024) to Revision A (July 2024)	Page
• 更新了节 摘要 .....	1
• 更新了节 1 .....	2
• 更新了节 2 .....	4
• 更新了节 3 .....	5
• 更新了节 4 .....	6
• 更新了节 7 .....	8

## 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 © 2024，德州仪器 (TI) 公司