

Application Note

使用 THVD4431A 管理 RS-485 半双工系统中的接收器输出瞬态



Rannie Zhou, Kai Lai, Shishir Goyal, Ethan White

摘要

具有快速边沿速率和短驱动器禁用时间的 RS-485 收发器可实现高速通信，但需要仔细进行系统设计，以管理方向切换期间的瞬态行为。本应用手册讨论了使用高性能 RS-485 收发器时的系统级注意事项，例如半双工模式下的 THVD4431(A) 在总线上使用铁氧体磁珠。文中提供了实用的设计建议，以确保稳健的 UART 通信。

内容

1 简介.....2

2 THVD4431A RS-485 半双工运行.....3

 2.1 模式配置.....3

 2.2 驱动器禁用时序.....3

3 系统级瞬态行为.....4

 3.1 观察结果.....4

 3.2 发生原因.....5

4 设计建议.....8

 4.1 增加差动总线电容.....8

 4.2 添加总线偏置电阻器.....10

 4.3 铁氧体磁珠选择.....10

 4.4 软件注意事项.....10

5 总结.....10

6 参考资料.....10

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 简介

RS-485 是一种稳健的差分物理层标准，广泛用于工业自动化、楼宇自动化和电信中的远距离多点通信。在许多应用中，半双工 RS-485 收发器共享一对差分总线线路用于发送和接收。数据流的方向由方向 (DIR) 引脚控制，该引脚在发送期间使能驱动器并禁用接收器，在接收期间反之。

THVD4431 是一款高度集成的多协议收发器，支持 RS-232、RS-422 和 RS-485 物理层。在 RS-485 半双工模式下，DIR 引脚控制总线方向：当 DIR 为高电平时，使能驱动器，禁用接收器。当 DIR 为低电平时，禁用驱动器，使能接收器。

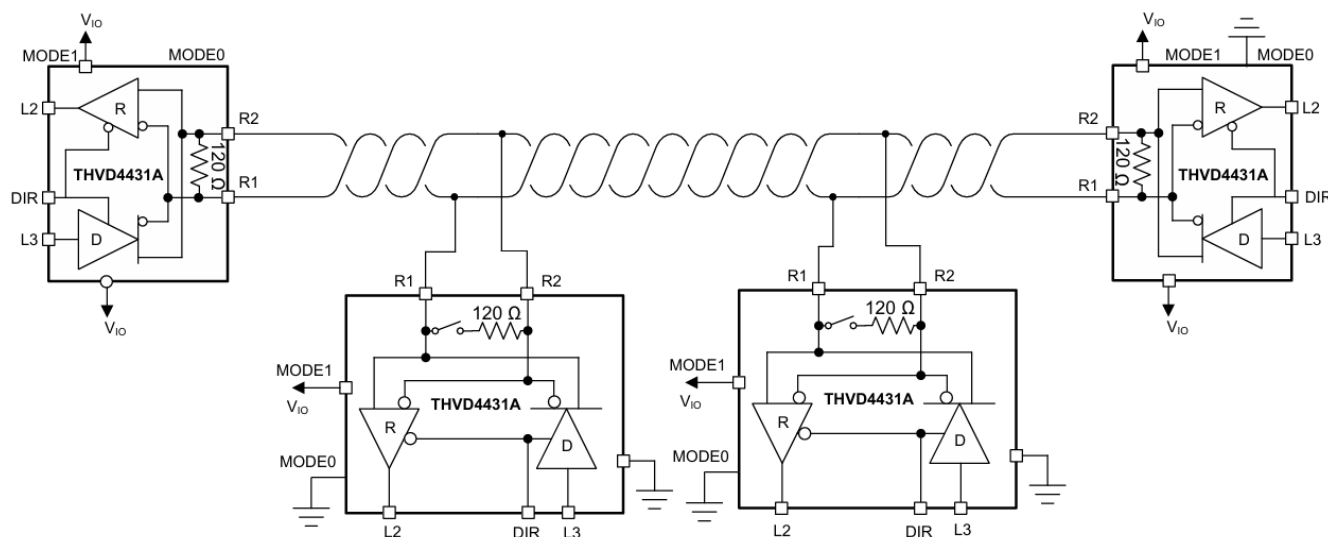


图 1-1. 具有半双工收发器的典型 RS-485 网络

在某些系统实现中，在 DIR 从高到低切换期间，接收器输出引脚 (L2) 上可能出现毛刺。UART 可能会将该毛刺误解释为起始位，导致接收到额外的 0x00 字节，并引发系统级帧错误。本应用手册分析了这种毛刺的根本原因，并提供了实用的设计。

2 THVD4431A RS-485 半双工运行

2.1 模式配置

THVD4431A 通过 MODE 引脚配置为 RS-485 半双工模式。该器件支持多种协议，包括 RS-232、RS-422 和 RS-485，并具有引脚可选模式控制功能。在 RS-485 半双工模式下：

- DIR = 高电平 → 使能驱动器，禁用接收器（发送模式）
- DIR = 低电平 → 禁用驱动器，使能接收器（接收模式）

2.2 驱动器禁用时序

可帮助理解毛刺的一个关键参数是驱动器禁用时间。理想情况下，从发送模式切换到接收模式没有切换时间，但实际的模拟器件无法做到这一点。对于 THVD4431A，典型的驱动器禁用时间约为 65ns。该切换时间导致 RS-485 驱动器关断，当总线上存在电感元件时，会产生显著的 di/dt 。

3 系统级瞬态行为

3.1 观察结果

在 RS-485 总线线路 (R2 和 R1) 上放置了铁氧体磁珠的系统中, 当收发器从发送模式切换到接收模式 (DIR 从高到低切换) 时, 接收器输出 (R) 上可能出现短暂的电压扰动。

该瞬态持续时间非常短, 通常低于大多数 UART 的采样窗口。然而, 在某些系统配置中, 该瞬态可能被解释为起始位, 导致意外的 0x00 字节以及随后的校验和或组帧错误。图 3-1 展示了理论上尖峰和毛刺的样子, 图 3-2 展示了电路板上捕获的实际波形。

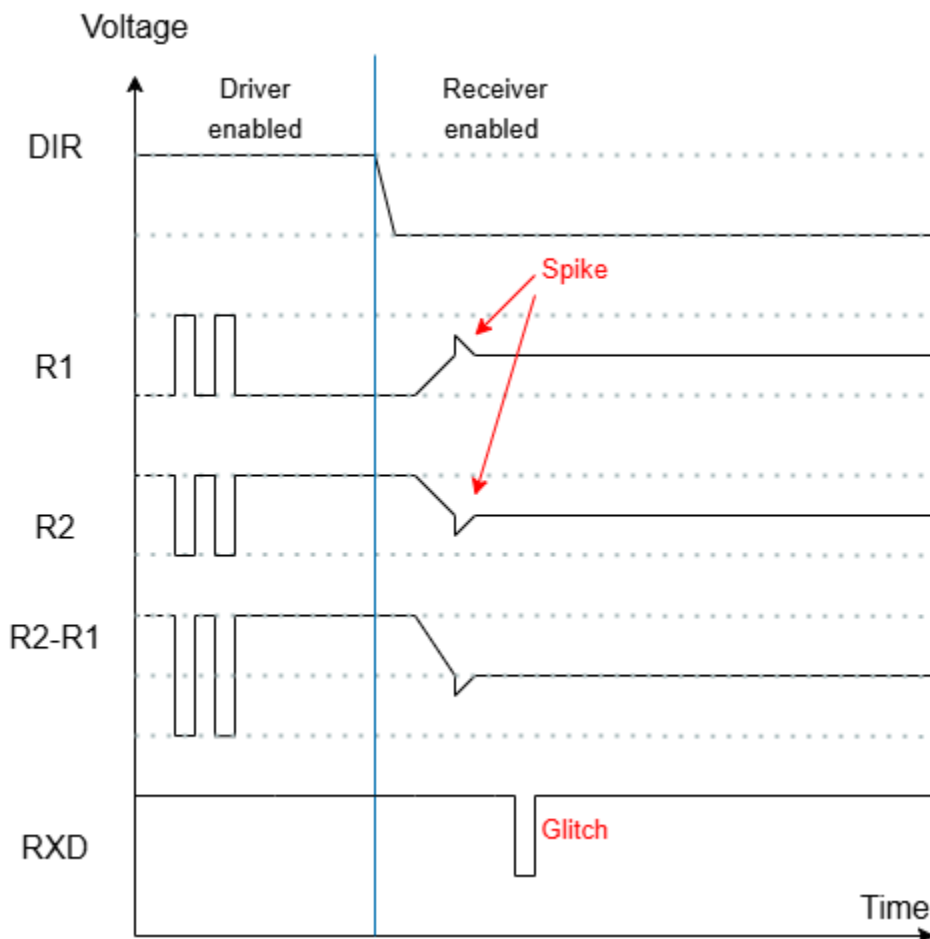


图 3-1. 理论 RXD 干扰状态



图 3-2. 实际的 RXD 毛刺 (约 100ns)

3.2 发生原因

铁氧体磁珠中的电感储能是 RXD 上出现该毛刺的根本原因。RS-485 接口上常用铁氧体磁珠来抑制 EMI。虽然有效，但铁氧体磁珠是电感元件，当电流流过时会存储能量。如果串联总线寄生电感足够大，也可能产生相同的影响。

在发送期间 (DIR = 高电平)，电流流过两条总线线路上的铁氧体磁珠，使其磁化。在切换期间 (DIR 从高到低)，驱动器关断，电流停止流动。电感中存储的能量通过系统负载和寄生元件耗散。这种耗散会在 R2 和 R1 总线上产生短暂的振铃波形。在短时间内，这会在总线上产生接近接收器输入阈值的差动电压，并导致 RXD 上出现毛刺。

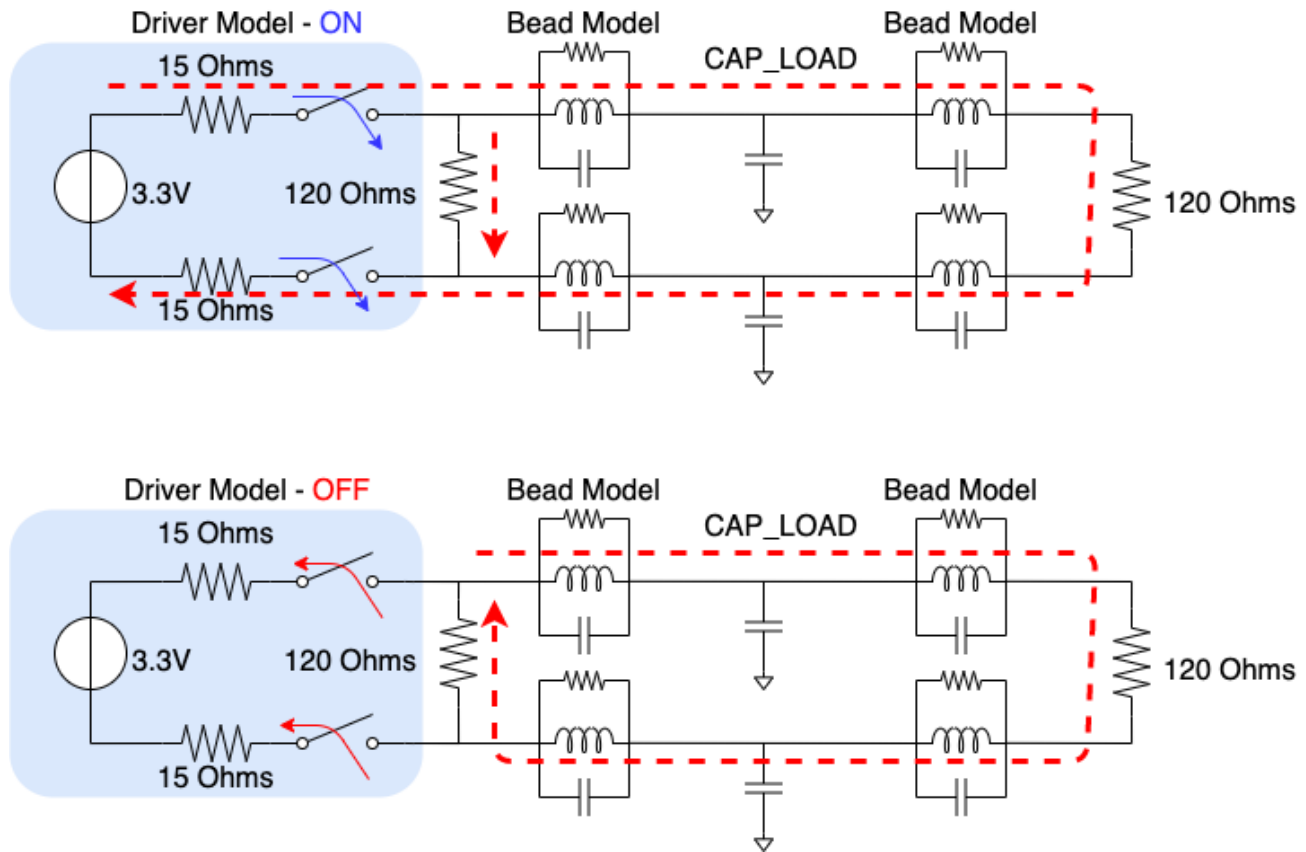


图 3-3. 磁珠 (串联总线电感) 的影响

图 3-4 显示了仿真电路，包括真实磁珠模型、电容器和远端终端电阻器。图 3-5 展示了 L2 上出现毛刺的仿真结果，与理论分析一致。

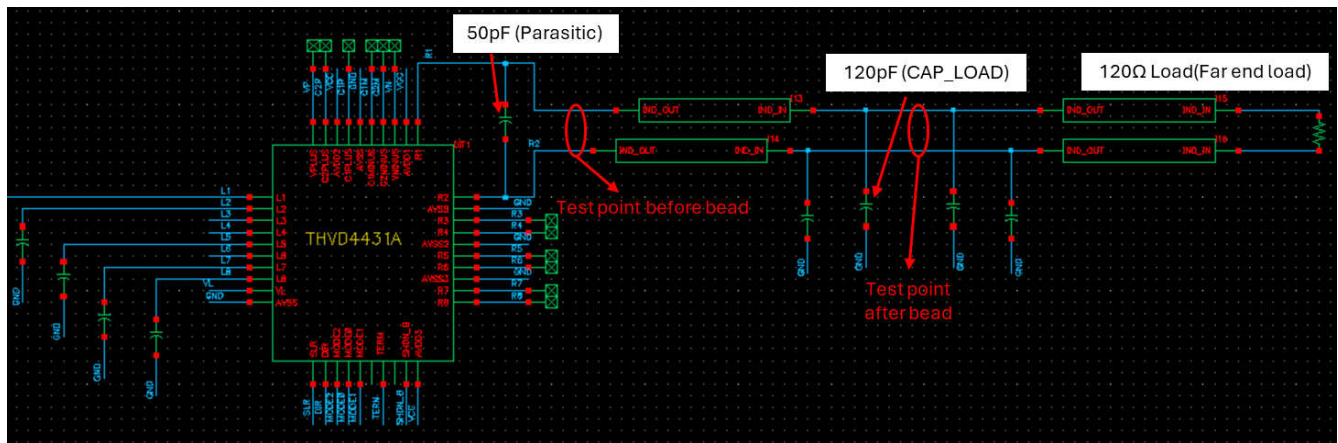


图 3-4. 使用真实磁珠模型的仿真电路

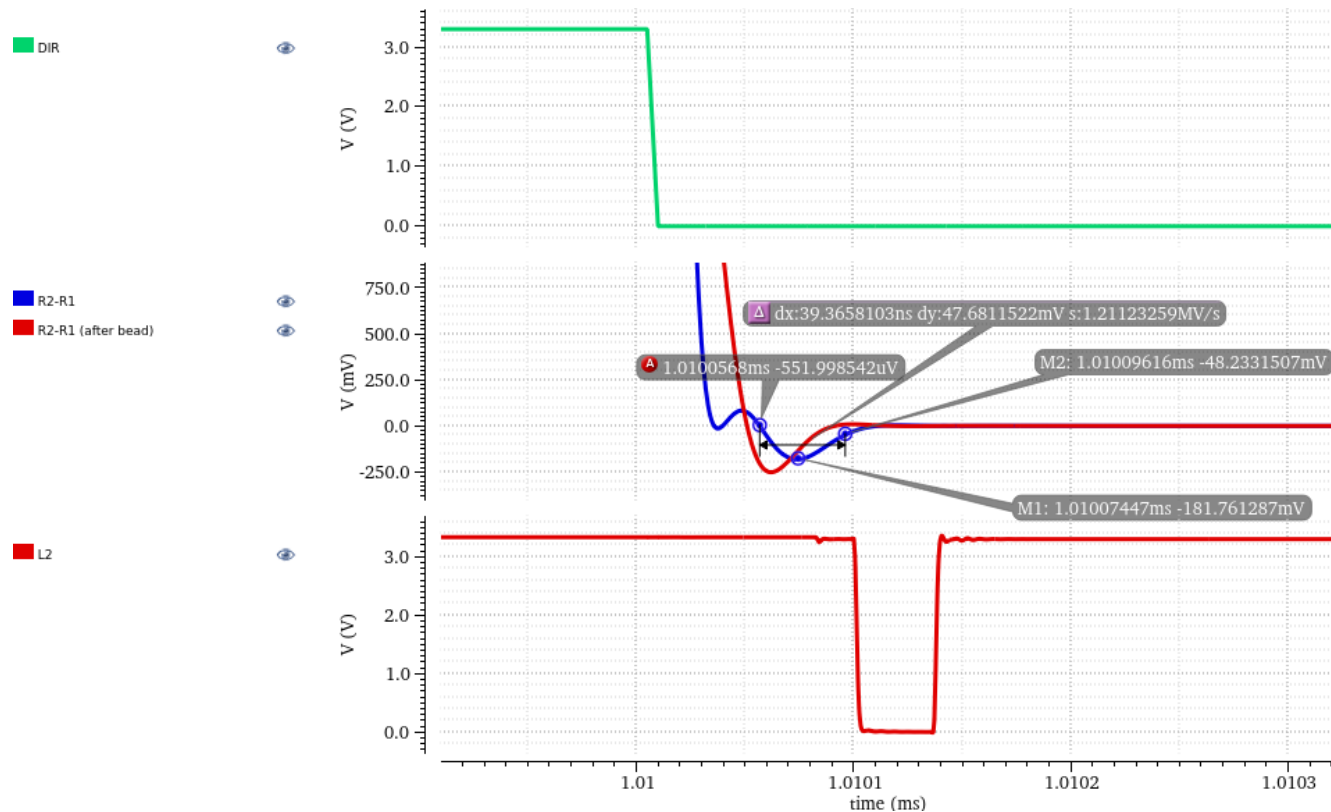


图 3-5. RXD (L2) 上的仿真毛刺

THVD4431A 的驱动器禁用时间典型值为 65ns。这种快速关断特性可实现更高的数据吞吐量、减少总线争用时间并提高整体系统效率。但是，快速关断也会产生更高的 di/dt 。当存在铁氧体磁珠时，与较慢的传统器件相比，这会导致更高振幅的瞬态。由于这是任何高速收发器在存在电感总线元件时的自然行为，因此在类似条件下，任何快速 RS-485 收发器都可能观察到相同的瞬态。

4 设计建议

以下设计实践可确保在使用 THVD4431A 或任何高速 RS-485 收发器时实现稳健通信。

4.1 增加差动总线电容

在总线线路之间添加电容，可为高频能量提供低阻抗路径，从而衰减瞬态。如果添加额外的磁珠来改善 EMI 性能，请遵循以下建议：

- 添加一个容值大于 220pF 的差动电容器 (R2 至 R1)，并尽可能靠近收发器引脚放置。图 4-1 展示了容值在 20pF 至 620pF 范围内的总线电容器 (CAP_LOAD) 的仿真结果。
- 在每条总线线路上添加接地电容器。图 4-2 展示了在每条总线线路上添加连接至 GND 的 390pF 电容器后的实际波形。

此解决方法可能对信号完整性具有轻微影响，因此 TI 建议用户在电路板上进行测试以验证信号完整性。图 4-3 显示，在总电容为 620pF 时，上升和下降时间从约 18ns 增加到约 40ns，并且仍完全支持 10Mbps 通信。

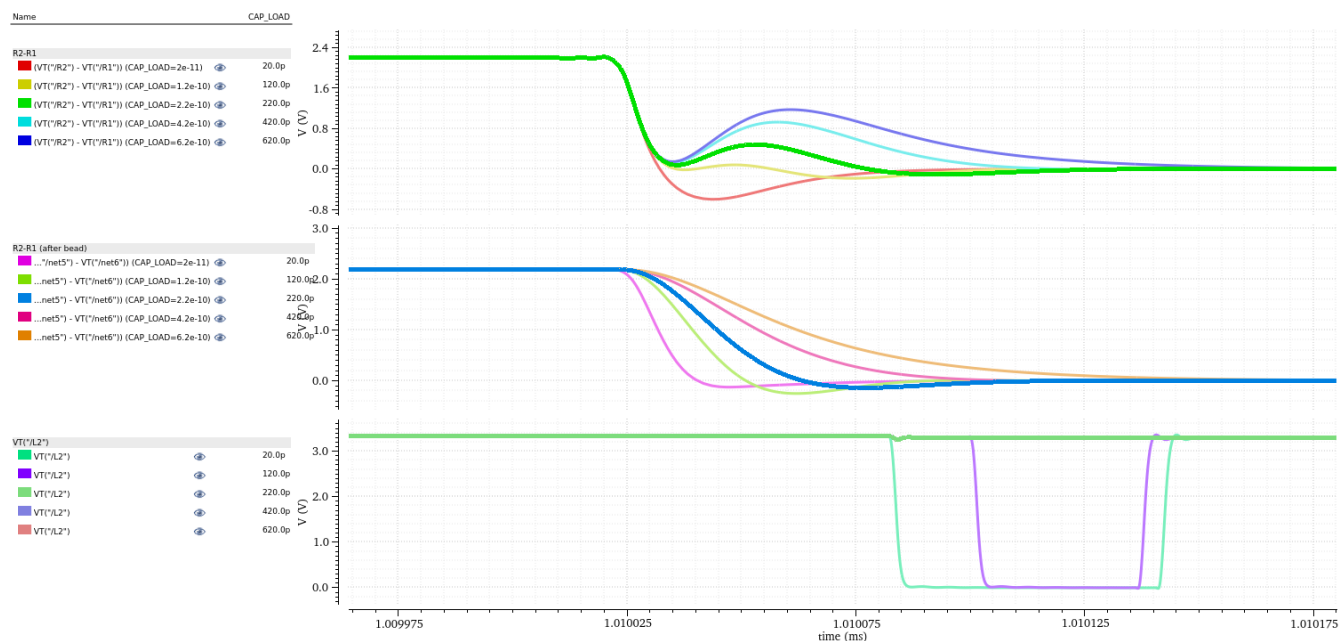


图 4-1. 仿真结果：20pF 到 620pF CAP_LOAD 的影响



图 4-2. 测试结果：增加总线电容器后无毛刺

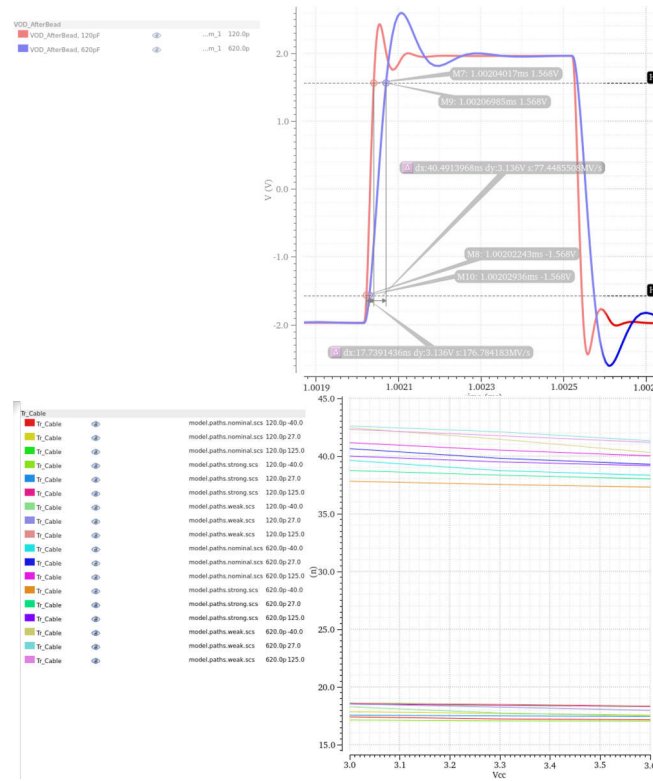


图 4-3. 仿真结果：增加 CAP_LOAD (120pF 和 620pF) 的影响

4.2 添加总线偏置电阻器

外部失效防护偏置电阻器可在空闲期间提供定义的总线状态，并有助于抑制瞬态。R2 上拉（至 VIO）和 R1 上拉（至 GND），阻值范围为 750 Ω 至 10k Ω 。更低的阻值可提供更强的偏置，但会增加静态电流，因此对于大多数应用，优先选择 1k Ω 至 10k Ω 。

4.3 铁氧体磁珠选择

当需要 EMI 滤波时：

- 选择电感较低、直流电阻较高的铁氧体磁珠，以改善阻尼性能。
- 考虑将铁氧体磁珠放置在更靠近连接器的位置，而不是紧邻收发器。
- 在系统验证期间评估瞬态行为。

4.4 软件注意事项

由于瞬态仅发生在接收器使能时的 DIR 切换期间，MCU 的 UART 通常不会主动采样。如果 UART 捕获到瞬态，可将固件配置为在方向切换窗口期间忽略 RX 信号，以作为临时解决方法。

5 总结

THVD4431A 等快速收发器具有显著的性能优势，但需要适当关注系统级设计。RS-485 总线线路上的铁氧体磁珠与快速驱动器禁用切换相互作用，会产生短暂的瞬态。有三种实用的解决方案可供选择：

1. 在总线之间添加 $\geq 220\text{pF}$ 的差动电容
2. 添加外部失效防护偏置电阻器（750 Ω 至 10k Ω ）
3. 选择具有适当阻尼特性的铁氧体磁珠

这些建议广泛适用于任何高速 RS-485 收发器，代表了稳健工业通信系统的良好工程实践。

6 参考资料

1. 德州仪器 (TI)，[具有 120 \$\Omega\$ 可切换终端、引脚可选诊断回送和 IEC-ESD 的 THVD4431A 多协议 \(RS-232、RS-422、RS-485\) 收发器](#)，数据表。

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 © 2026，德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期：2025 年 10 月