

## Application Note

## 在 RS-485 收发器上切换模式时减少 UART 接收器干扰



Ethan Sempsrott

## 摘要

当 RS-485 收发器上的接收器线路“R”被拉至高电平时，从发送到接收的转换可以在 UART 中启动一个启动条件。当半双工收发器从发送切换到接收时，R 线路会出现临时压降。R 线路上的压降可能导致意外的开始位，从而产生通信错误。本应用手册探讨了这种错误启动条件背后的原因以及如何消除错误启动。

## 内容

1 引言.....	2
2 RS-485 概述.....	2
3 短接 DE 和 nRE 引脚.....	3
4 R 引脚干扰基本知识.....	3
5 RS-485 收发器的理论干扰情况.....	4
6 理论 THVD24XX 空闲失效防护情况.....	4
7 RS-485 测试设置.....	5
8 THVD1400 电容结果.....	6
9 THVD2410 电容结果.....	9
10 压降权变措施.....	11
11 总结.....	13
12 参考资料.....	13

## 商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

## 1 引言

RS-485 是一款长距离差分接口，此接口能够以相对较高的速度进行通信，并增强信号完整性。在设计用于系统中的 RS-485 收发器时，可以有效地减少在可能的情况下连接到每个收发器的逻辑线路的数量。微控制器可以具有有限的 GPIO 来控制 RS-485 收发器。减少逻辑线路的一种方法是组合驱动器和接收器使能引脚，如图 1-1 所示。

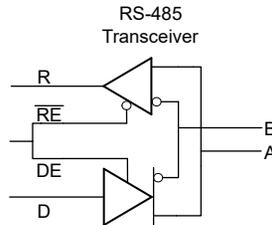


图 1-1. 半双工 RS-485 收发器上的短接 nRE 和 DE 引脚

当驱动器和接收器使能引脚短接在一起时，有些特定的设置可能会导致干扰。如果总线上的 RC 时间常数足够长，则可以在器件从发送切换到接收后立即读取接收器引脚上的低电压。这个电压低电平可读作 0 位。由于 R 线路被保持高电平，该 0 位可以被 UART 协议解释为启动条件。

本文档包含这些不良行为背后的理论分析。测试了半双工 RS-485 收发器，以展示大多数 RS-485 收发器。还会测试基于计时器的失效防护收发器，因为干扰可能会触发此功能。具体而言，THVD1400 代表测试中的所有通用半双工器件，测试了 THVD2410 以展示基于计时器的失效防护场景。最后，提供了一组权变措施，然后提供了展示这一点的测试数据。

## 2 RS-485 概述

RS-485 是一种标准化的物理层通信方法。由电信行业协会 (TIA) 和电子工业联盟 (EIA) 标准化的 RS-485 定义了多点差分系统的电气特性。这为设计人员提供了更高的抗噪性能，高达 50Mbps 的数据速率，并且通过在总线上使用多个收发器，能够以 100kbps 或更低的速率在 1.2km 的距离上进行传输。图 2-1 演示了使用半双工 RS-485 收发器的典型设置。

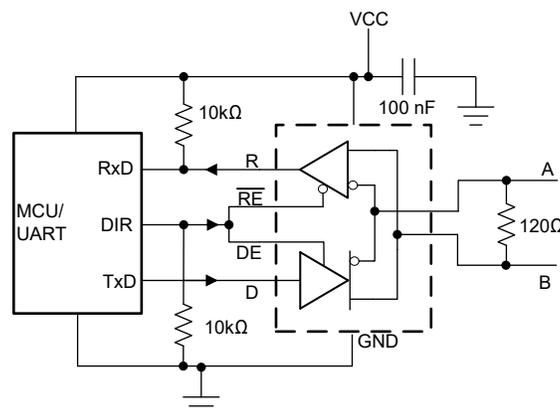


图 2-1. nRE 和 DE 短接的典型 RS-485 半双工设置

由于 RS-485 仅定义物理层，因此微控制器可以使用各种协议发送和接收数据。在发送模式下，收发器通过 D 引脚从 MCU 接收数据。然后，收发器可以通过差分输出将显性值和隐性值输出到总线：A 和 B。A 通常是同相总线，而 B 是反相总线。在接收模式下，收发器可以通过读取 A 总线和 B 总线之间的差异向 R 引脚输出数字信号。

### 3 短接 DE 和 nRE 引脚

以收发器的 NRE (表示为  $\bar{RE}$ ) 和 DE 引脚为重点, 我们注意到由一个标记为 DIR 的 MCU 引脚控制器件是接收还是驱动 A 和 B 总线线路上的数据。当 nRE 和 DE 是逻辑高电压时, 收发器仅驱动总线上的信号。同样, 当 nRE 和 DE 为低电平时, 收发器仅接收信号。在该设置中, 当 RC 时间常数足够长时, 从驱动器模式切换到接收器模式可能会导致接收器输出无效的电压电平。

### 4 R 引脚干扰基本知识

当短接的 DE 和 nRE 线路从高电平转换为低电平时, 收发器从在总线上发送转换到读取总线。R 通过电阻上拉至 VCC, 这意味着它具有高空闲状态。当存在高电平总线电容时, 剩余的最后一位可以从收发器之前发送的时刻输出到 R 引脚上。这是由于电容降低了总线上的放电速率。这对于使用 UART 协议的系统而言可能是一个特殊问题。如果 R 引脚暂时下降至低电平, MCU 可能会将此读取为错误的启动条件。

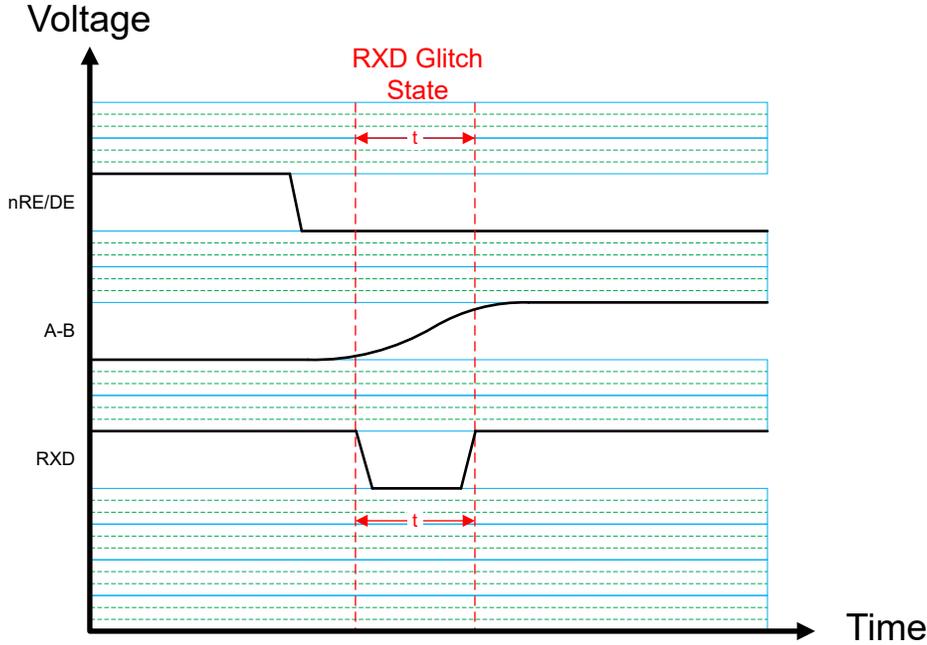


图 4-1. 理论 RXD 干扰状态

图 4-1 以图形方式呈现此干扰。nRE/DE 引脚被切换至接收模式, 而 A-B 总线差分缓慢转换至高电压。由于 A-B 总线上的电容, 从器件之前发送数据的时刻读取 RXD 电压。在这种情况下, R 引脚会显示低电压, 这称为“RXD 干扰状态”。大于 1V 的压降可能会导致 UART 错误。在本文中, 任何大于 1V 的压降都可视为干扰状态。

当差分输出 (A-B) 线路放电的时间大于开启接收器模式的时间时, RXD 引脚将经历方程式 1 中所示的电压变化。当接收器开始读取总线时, 差分总线仍在放电。由于总线设置和电容不同, 此放电时间可能存在很大差异。

$$t_{RXD\ ON} < t_{V_{OD}\ Discharge} \quad (1)$$

## 5 RS-485 收发器的理论干扰情况

为了使 RXD-485 收发器表现出该 RS 误差，必须同时存在多个设置条件：

- TXD 电压小于或等于  $V_{IL,max}$ 。
- RXD 线路被拉高至 VCC。
- nRE 和 DE 引脚短接在一起。
- 总线上具有相对较高的电容。
- 收发器最近在总线上从发送切换到接收。

由于模式发生变化，RXD 引脚从高阻抗切换到主动输出总线差分。总线上的电容很小，由于上拉电阻器的存在，RXD 线保持高电压。但由于各种电容源，RC 常数会有效阻止 RXD 电压拉至高电压值。如果 RC 常数足够大，总线上的电压放电会在 RXD 线上反映为电压下降，如图 4-1 所示。

THVD1400 可以针对此情况进行测试，并代表标准半双工 RS-485 器件。类似的结果也适用于其他具有短接使能引脚的 RS-485 半双工收发器。

## 6 理论 THVD24XX 空闲失效防护情况

THVD24XX 系列是另一条 RS-485 收发器线路，增加了额外的故障保护和其他保护功能。即，THVD24XX 器件具有失效防护功能，可检测差分总线上是否存在开路、短路或空闲电路。所有这三种情况都会导致总线的电压接近 0。为了检测这些条件，如果总线电压在  $V_{TH\_FSH}$  范围内的时间超过  $t_{D(OFS)}$ ，则器件可以输出逻辑高电平状态。方程式 2 展示了此情况：

$$\text{If } V_{TH\_FSH-} < V_{Bus} < V_{TH\_FSH+} \text{ For } t_{D(OFS)} \text{ Then } V_{RXD} = \text{Logic High} \quad (2)$$

与常规 RS-485 干扰情况类似，半双工 THVD24XX 器件可能会在存在足够高电容的情况下在 RXD 线路上发生电压漂移。THVD24XX 器件必须满足前面提到的相同条件才能改变电压：TXD 低于  $V_{IL,max}$ ，RXD 通过电阻器拉至高电平，而短接的 nRE/DE 引脚最近将器件切换至接收器模式。

但是，THVD24XX 失效防护器件的主要区别在于，当进入接收器模式时，器件可以在总线上具有足够电容的情况下进入失效防护模式。这与常规 RS-485 器件不同，因为该器件可能在不同的时间内显示压降。

由于电容的作用，A-B 总线上的电压变化缓慢，因此 R 引脚可以遵循总线的最后一个状态。如果该状态是 0V 左右的低电压，并且电压在阈值范围内，则该状态可能触发失效防护功能。一旦触发，R 引脚可以输出低电平，直到该失效防护计时器到期。尽管失效防护功能不适用于这种情况，但该功能提供了  $t_{D(OFS)}$  的可预测时间，直到总线在开关模式后准备好读取为止。

THVD2410 可以在这些条件下进行测试，THVD2450 也可以具有类似的结果。

## 7 RS-485 测试设置

THVD1400 和 THVD2410 均通过图 7-1 中的设置进行测试。对于逻辑侧，RXD 引脚将  $1\text{k}\Omega$  电阻器连接到 VCC。nRE/DE 引脚连接到  $5\text{kHz}$  方波以模拟收发器变化的模式。TXD 或 D 引脚保持在  $0\text{V}$ 。对于总线侧，使用  $60\Omega$  电阻器来模拟负载，C1 表示要测试的各种电容。可以测量 R 线路、nRE/DE 线路和差分 A-B 线路。

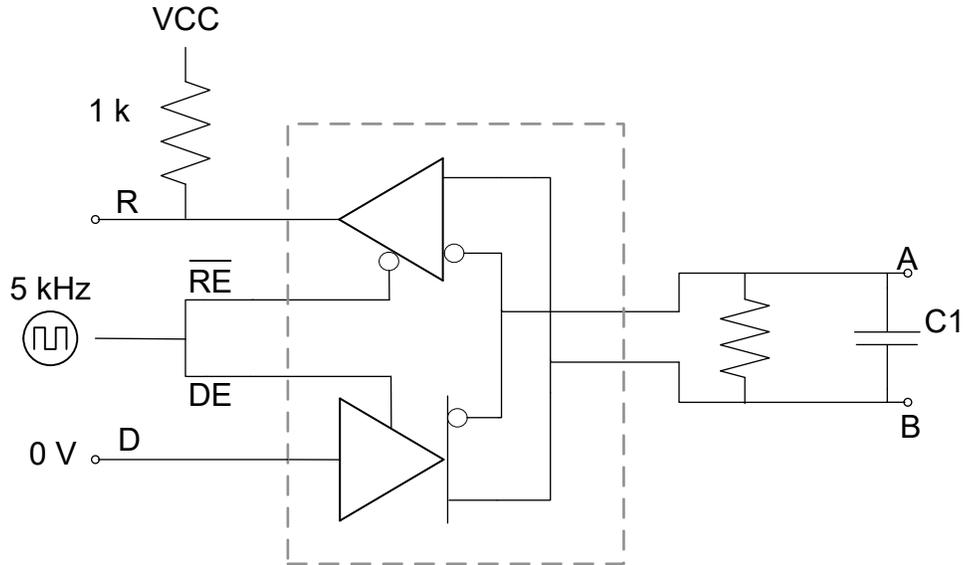


图 7-1. THVD 1400 和 THVD2410 设置

可在差分总线上测试两个电容源：单端和差分。单端电容是每条差分总线与地之间连接电容器 (C1 和 C2) 的位置。差分电容是从线路 A 连接到线路 B 的单个电容器 (C3)。这两种设置都可在  $50\text{pF}$  至  $1000\text{pF}$  之间进行测试。

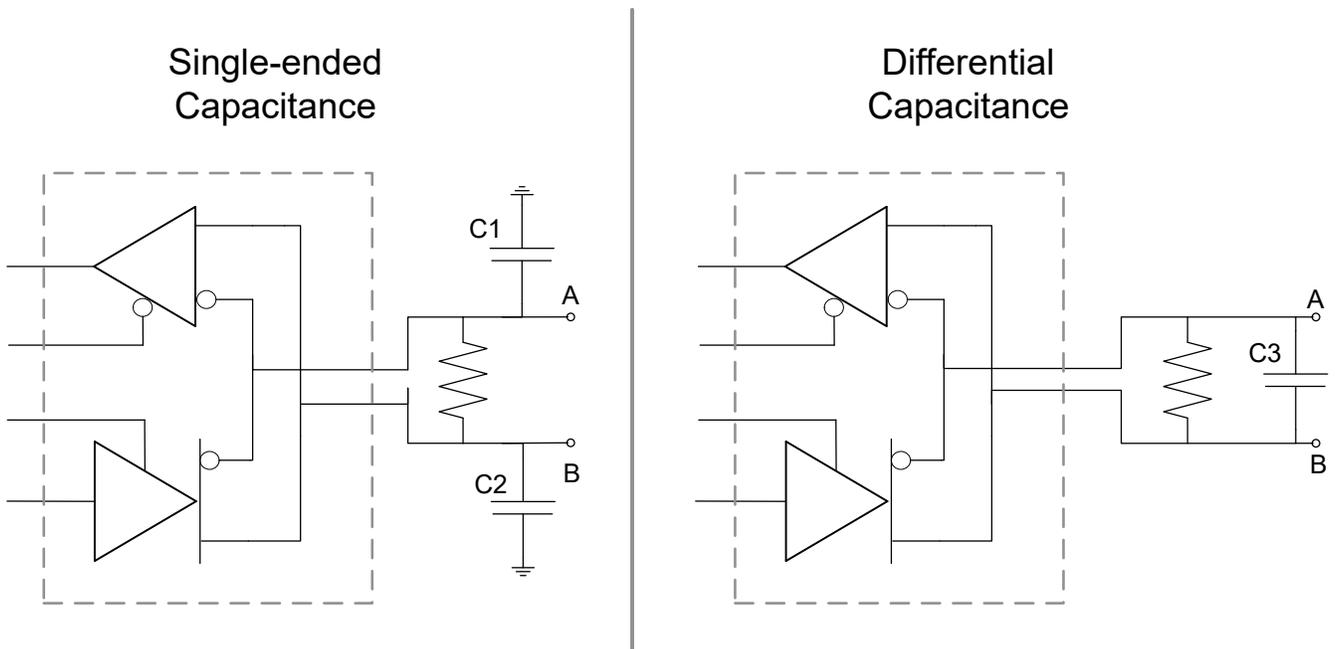


图 7-2. 单端和差分电容

## 8 THVD1400 电容结果

在上述设置和条件下，可以显示测试电容最高和最低的波形。表 8-1 列出了 D 保持为 0V 时所有单端和差分电容的压降时间。

对于 50pF 单端电容，图 8-1 展示了黄色 nRE/DE 线路从发送切换到接收。橙色 A-B 线展示了差分总线由于 RC 常数而逐渐拉至高电压。因此，R 引脚的压降持续 112ns。

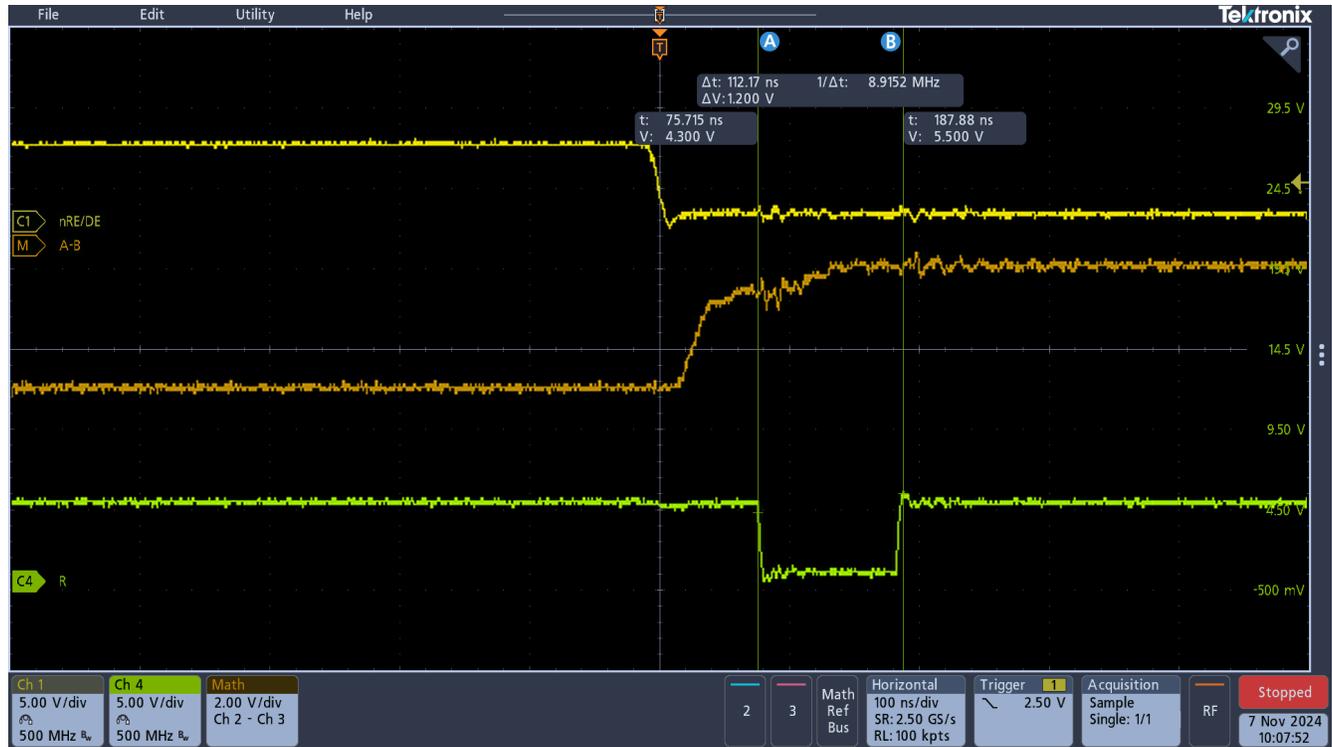


图 8-1. THVD1400 50pF 单端电容

图 8-2 展示，当总线上有 1000pF 单端电容时，可以看到 189ns 的较长压降。A-B 总线需要更多的时间才能达到稳定的电压值。

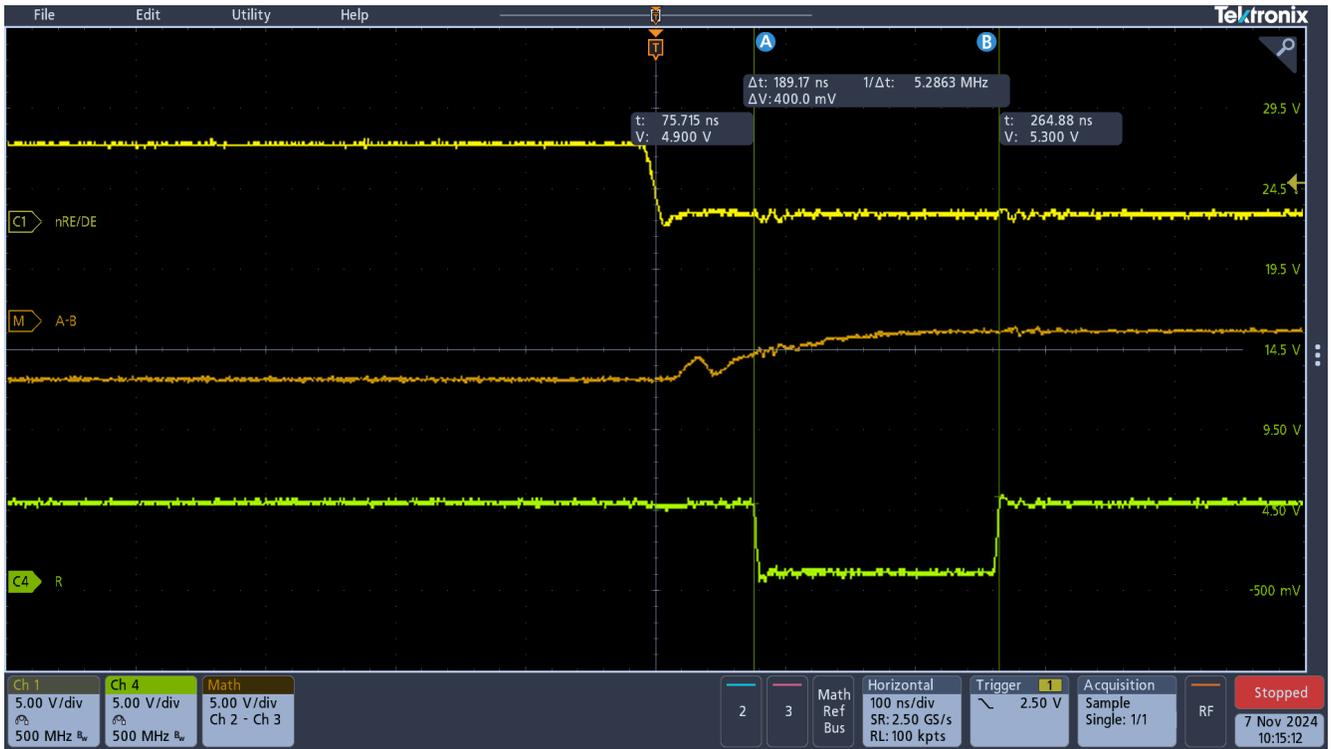


图 8-2. THVD1400 1000pF 单端电容

对于 50pF 的差分电容，压降持续 114ns，如图 8-3 所示。

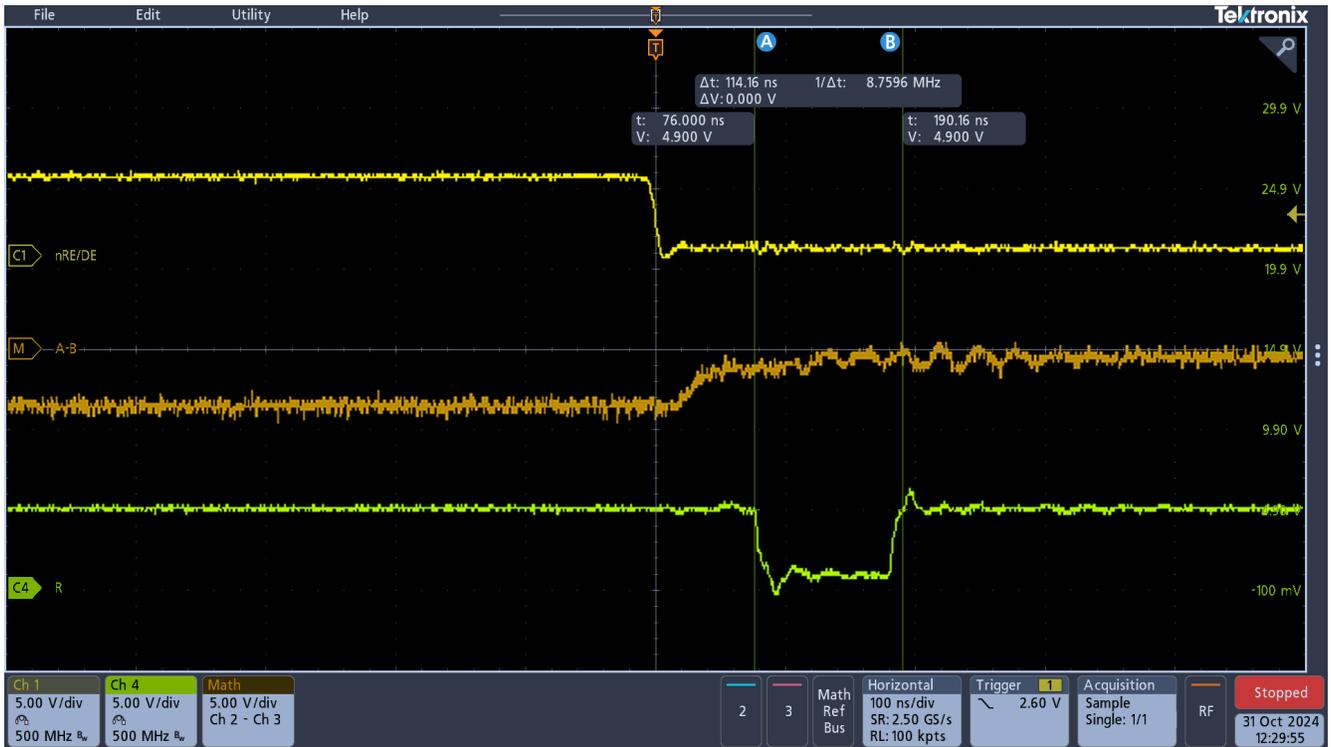


图 8-3. THVD1400 50pF 差分电容

对于 1000pF 的差分电容，压降持续 284ns，如图 8-4 所示。同样，可以看到 A-B 总线需要更多时间才能达到高电压。因此，压降周期会更长。

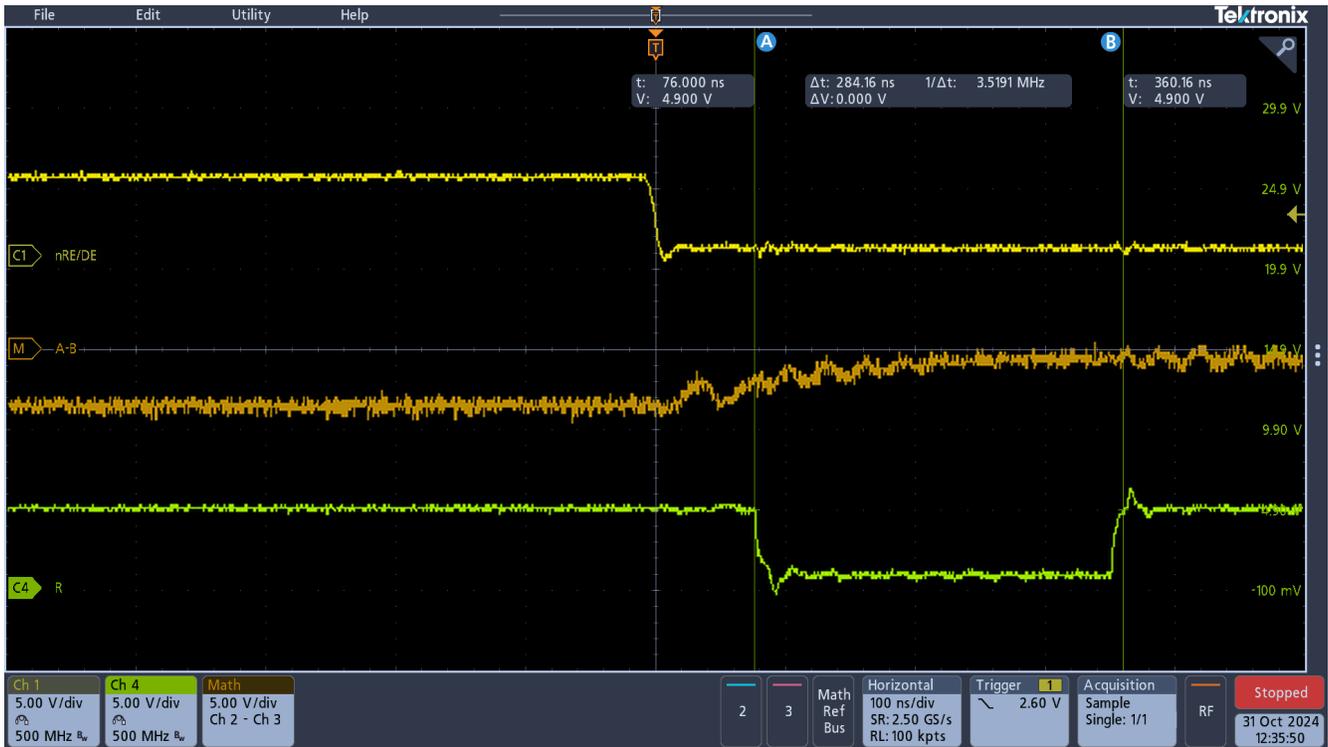


图 8-4. THVD1400 1000pF 差分电容

表 8-1 展示了当总线上的电容增加时，压降时间会增加。

表 8-1. THVD1400 干扰结果

	电容								
	50pF	100pF	220pF	330pF	470pF	570pF	760pF	860pF	1000pF
单端干扰时间 (ns)	112	121	141	147	159	166	172	181	189
单端压降 (V)	0.60	0.73	0.69	0.82	0.65	0.72	0.64	0.52	0.61
差分干扰时间 (ns)	114	124	140	156	184	193	211	249	284
差分压降 (V)	0.43	0.39	0.26	0.47	0.30	0.51	0.43	0.48	0.44

## 9 THVD2410 电容结果

THVD2410 具有与 THVD1400 相同的设置，展示了在每个电容测试中触发空闲失效防护。当从发送模式切换到接收模式时，THVD2410 进入空闲失效防护状态  $10\mu\text{s}$ 。图 9-1 和图 9-2 展示了在  $50\text{pF}$  和  $1000\text{pF}$  条件下具有相同的失效防护时间。这些结果在单端和差分电容中是一致的。

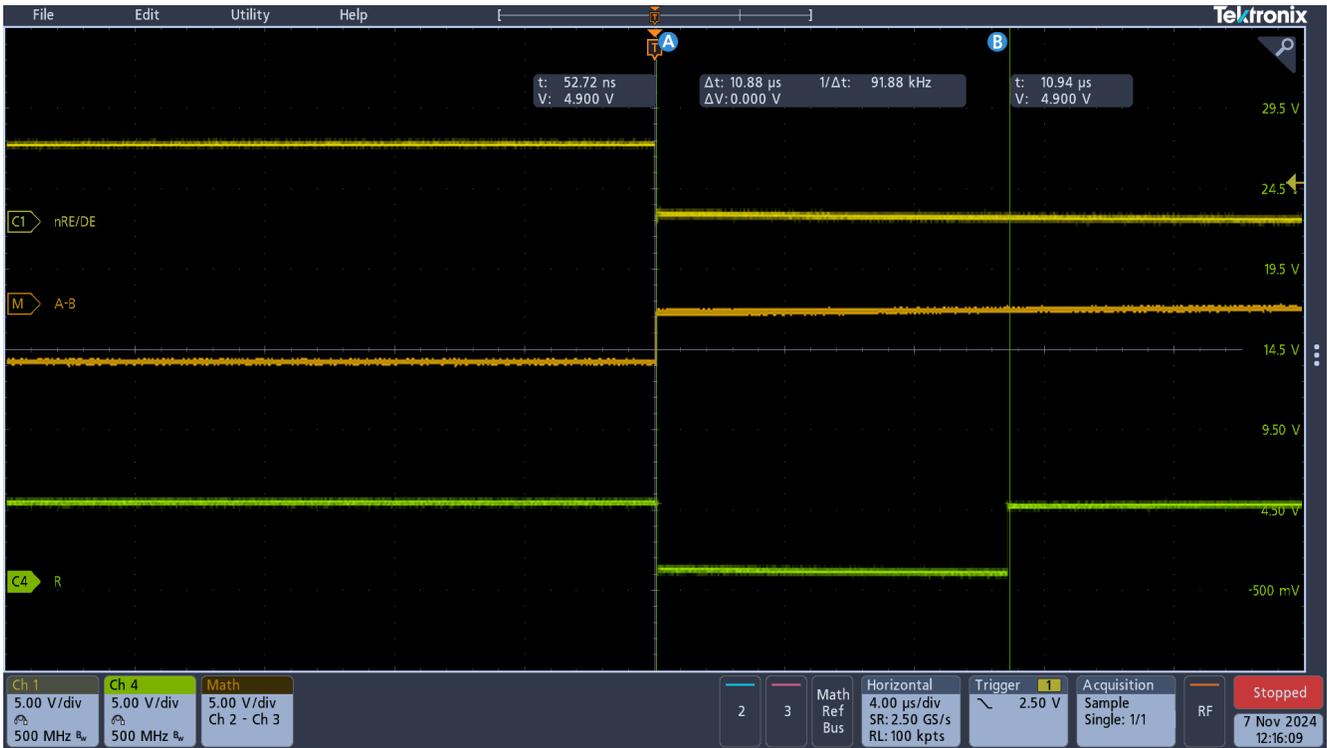


图 9-1. THVD2410  $50\text{pF}$  单端电容

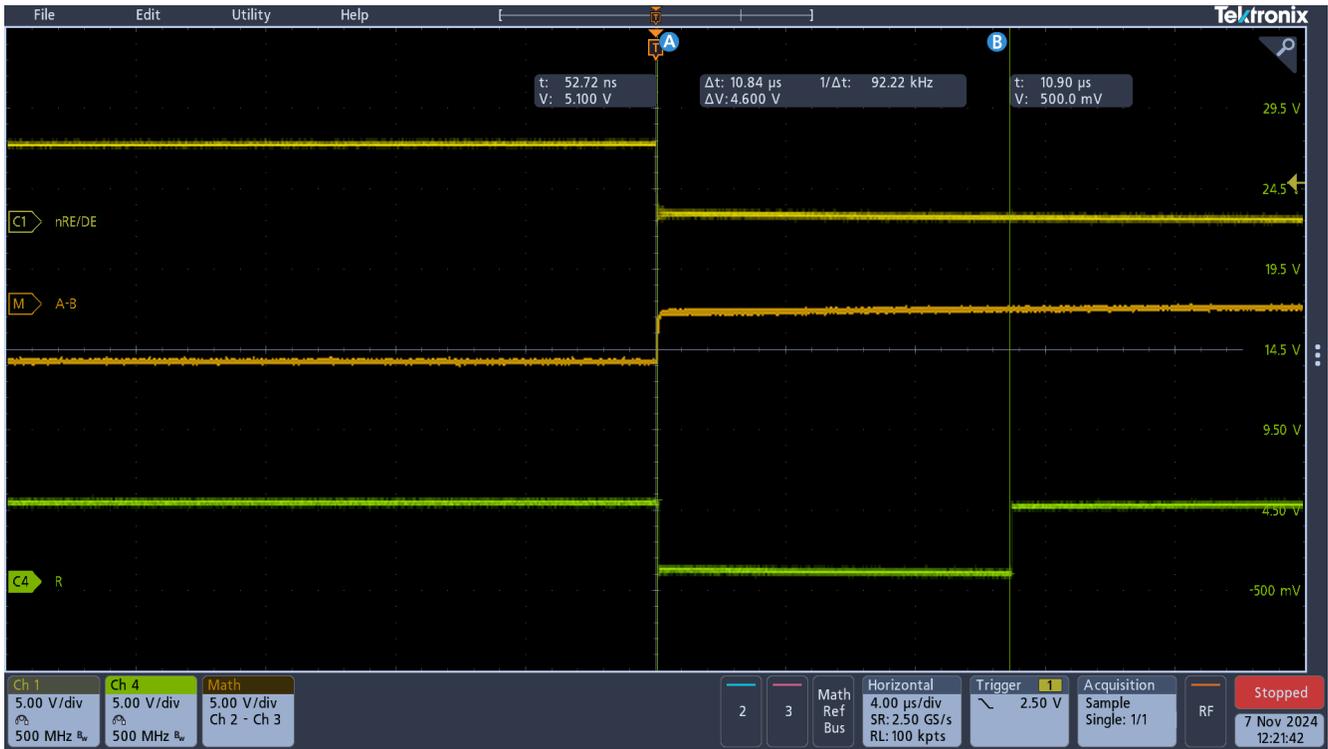


图 9-2. THVD2410 1000pF 单端电容

由于总线差分电压进入  $V_{TH\_FSH}$  范围的时间足够长，因此 THVD2410 进入空闲失效防护模式。

表 9-1. THVD2410 失效防护结果

	电容								
	50pF	100pF	220pF	330pF	470pF	570pF	760pF	860pF	1000pF
单端干扰时间 (μs)	10.56	10.67	10.63	10.69	10.65	10.71	10.63	10.65	10.69
单端压降 (V)	0.60	0.69	0.65	0.64	0.73	0.65	0.48	0.61	0.64
差分干扰时间 (μs)	10.67	10.76	10.71	10.65	10.67	10.71	10.67	10.68	10.77
差分压降 (V)	0.56	0.73	0.72	0.63	0.68	0.56	0.69	0.77	0.65

## 10 压降权变措施

如果 RXD 线路上的压降导致系统出现问题，有多种方法可以解决该压降。

- 主要权变措施是用 TXD 线路上的高电压结束最后一次传输。这将消除 RXD 线路上的压降。在前面讨论的各种测试中，在 TXD 线路上模拟了 0V 低电压。当 TXD 线保持电压高电平时，THVD1400 和 THVD2410 都不存在压降，如图 10-1 和图 10-2 中所示。

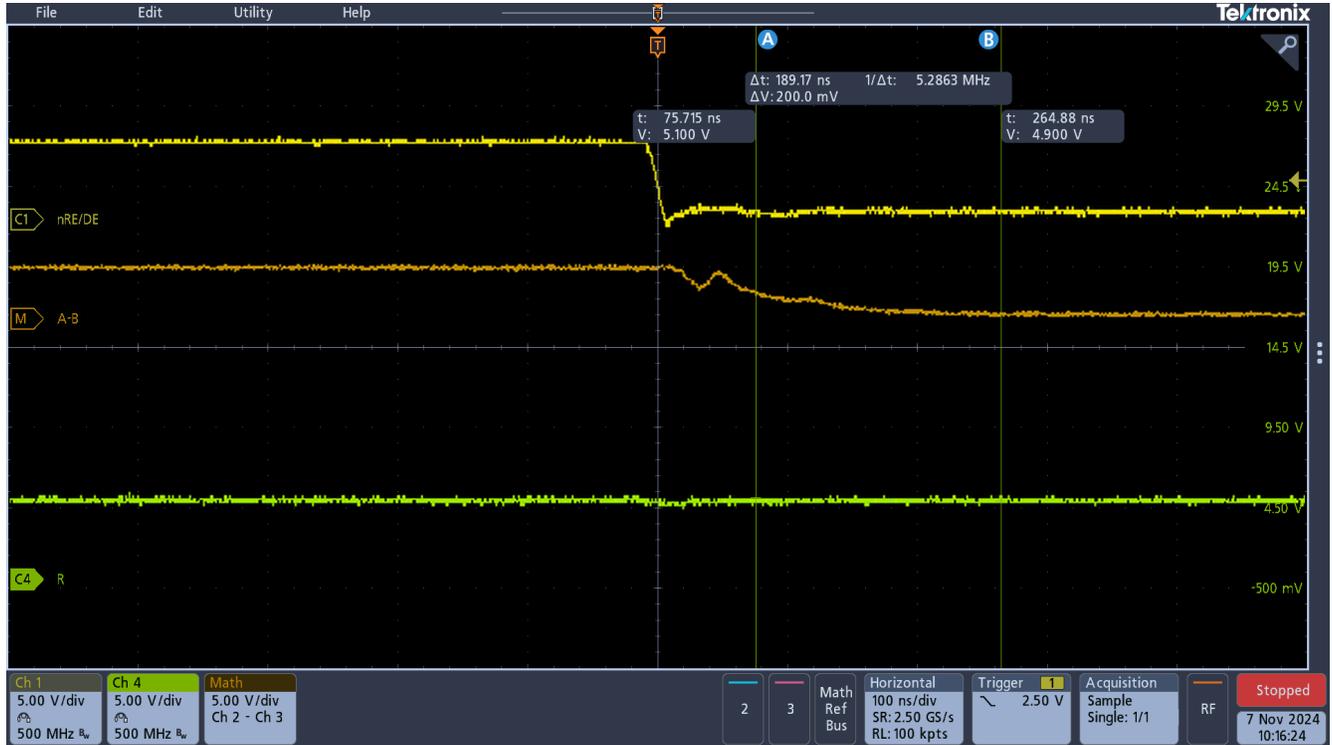


图 10-1. THVD1400 1000pF TXD 高电平

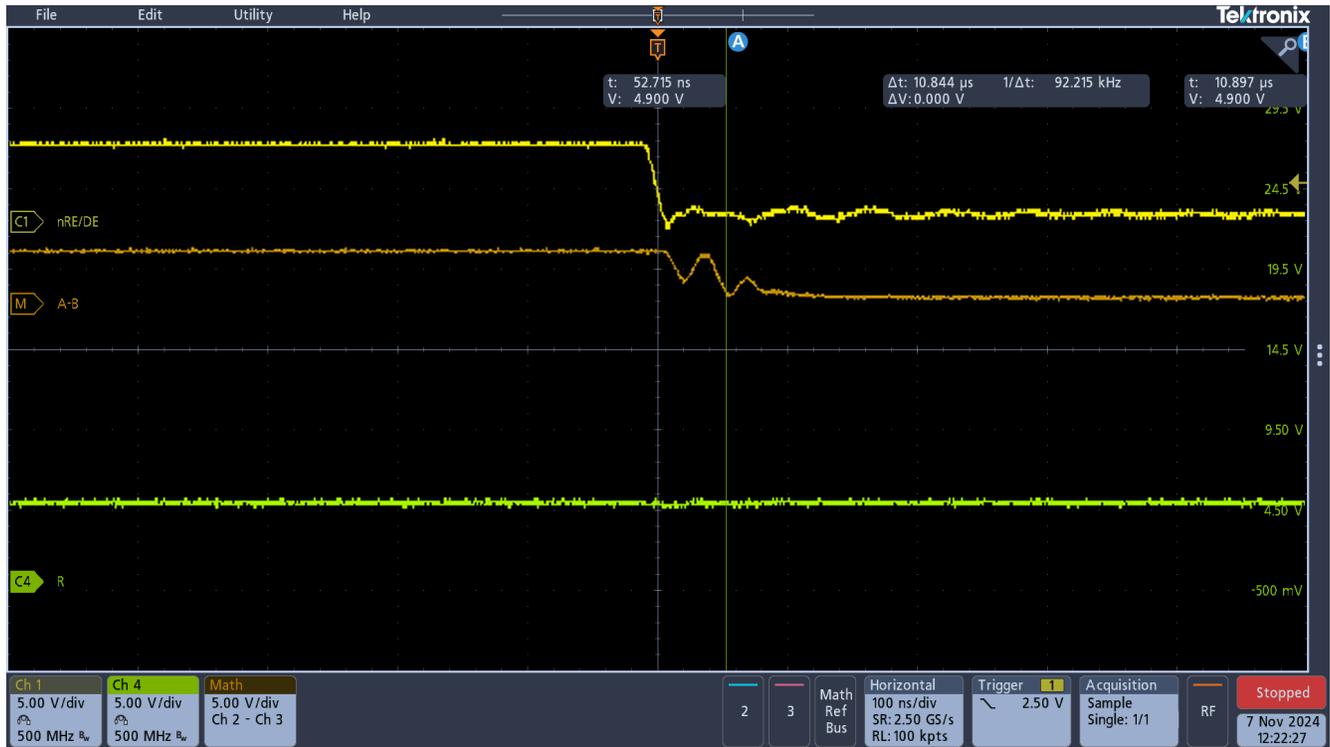


图 10-2. THVD2410 1000pF TXD 高电平

将最后一个 TXD 位保持为高电平适用于 THVD1400 和 THVD2410 的单端和差分电容设置。此权变措施也适用于 RXD 线路上由于高电容而出现压降的大多数 RS-485 器件。

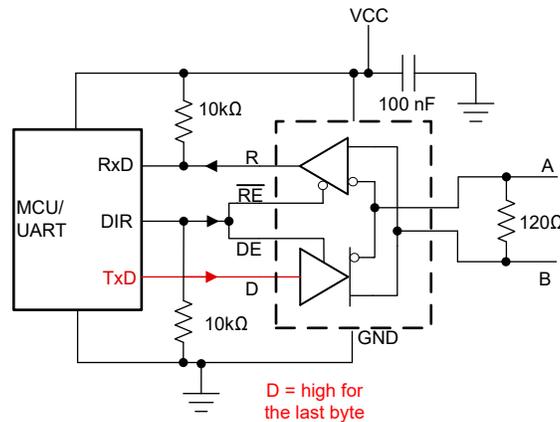


图 10-3. DE 和 RE 短接，D=高电平

- 另一种权变措施是使用 MCU 单独控制 nRE 和 DE 引脚。可以在各种模式之间关闭和打开 nRE 和 DE (存在轻微的延迟)，而不是将它们短接在一起，以便总线有足够的时间放电。这样，电容器就可以在收发器开始读取总线之前完全放电。
- 最后，如果特定系统不能采用其他方法，则需要尽可能减小总线上的电容，以缩短 RXD 压降时间。需要移除不必要的滤波电容器或其他电容元件。

## 11 总结

在切换到接收器模式后，短接任何半双工 RS-485 收发器的驱动器和接收器使能引脚可能会产生具有高电容的 R 引脚压降。使用 THVD1400 和 THVD2410，在 50pF 至 1000pF 的总线电容范围内测试应用场景，可看到 TX 至 RX 模式开关期间发生的干扰。THVD1400 干扰是差分总线上 RC 时间常数的结果，而 THVD2410 干扰是失效防护延迟和差分总线上 RC 时间常数的组合。在进入收发器接收器模式之前，在 TXD 或 D 引脚上发送逻辑高电平，成功消除总线电容导致的任何压降。对于 THVD1400 和 THVD2410，当 TXD 引脚保持高电平时，所有测试的电容都显示没有压降。

## 12 参考资料

- 德州仪器 (TI)，[RS-485 设计指南](#) 应用手册。
- 德州仪器 (TI)，[RS-485 基础系列](#) 技术白皮书。
- 德州仪器 (TI)，[RS-422 和 RS-485 标准概述和系统配置](#) 应用手册。

## 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、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。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  
版权所有 © 2025，德州仪器 (TI) 公司