

Application Note

使用集成设计简化 RS-485 的浪涌保护



Parker Dodson

摘要

在处理 RS-485 系统中的浪涌瞬态时，大多数设计人员必须使用某种类型的保护电路，无论是分立式（最常见）还是集成在收发器内部。这种保护电路对于提高系统设计的稳健性至关重要，可在恶劣的工作条件和/或高电压瞬态下正常运行。保护功能不仅需要能够将大量电流分流到系统接地端，还需要将电压电平保持在收发器的绝对最大和最小额定值范围内。集成了浪涌保护功能的 RS-485 器件，例如 TI 新推出的高关断电压浪涌保护 THVD24x9x 系列或经典浪涌保护 THVD14x9 系列中的新增 THVD2419 和 THVD2429，为实现浪涌保护 RS-485 提供了多种更简单的解决方案。

内容

1 引言.....	2
2 实现 RS-485 浪涌保护的分立式方法.....	2
3 集成浪涌保护功能和 THVD14x9 系列器件.....	5
4 THVD24x9x - TI 的新一代集成浪涌保护 RS-485 器件.....	6
5 总结.....	7
6 参考资料.....	7

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 引言

RS-485 是一项长期的有线接口标准，可实现相对高速、稳定的远距离通信。由于系统遭受雷击等事件，许多 RS-485 系统可能会受到高压浪涌的影响，并且系统必须能够在发生其中一个事件期间正常运行。大多数经典的 RS-485 收发器都无法在不造成损坏的情况下处理总线引脚上的这些高压瞬态。因此，在设计中使用了更复杂的保护方案，以提高面对高电压瞬变的稳健性。所有这些保护方案的核心是一个可以钳制总线电压的器件，即保护二极管。过去，设计人员大多关注完全分立式设计，其中既有钳位二极管和限流电阻器，又有包括 TBU (瞬态阻断单元) 和 MOV (金属氧化物压敏电阻) 的更复杂配置。

随着 RS-485 收发器的演变，在某些特殊用途 RS-485 器件中实现了集成浪涌二极管等额外保护特性，我们在 THVD2419、THVD2429 以及 THVD14x9 系列器件中可看到这些特性。但是，当二极管开始分流电流时，线路上的电压可能会增加，线路的钳位电压与通过二极管分流的电流直接相关。由于许多 RS-485 器件具有低于 $\pm 15V$ 的非对称最小和最大额定电压，因此对于设计相对简单的保护方案的设计人员来说，很难寻找到既能在浪涌期间保护器件，同时还能在正常运行期间实现高质量通信的正确二极管和限流电阻器。

这种限制可通过 TI THVD24x9x 系列中的新集成浪涌器件产品线解决，包括 THVD2419 和 THVD2429 等器件。这些器件不仅具有用于保护的集成浪涌二极管，还在面向总线的引脚上提供高故障保护，这些引脚相对于电路接地可承受高达 $\pm 42V$ 的电压

为了充分了解这一新系列器件的优势，我们可以介绍三个要点。首先，了解 RS-485 的分立浪涌设计以及设计人员面临的设计挑战。其次，集成浪涌如何简化系统设计。最后，为什么更高的关断电压会将使用 THVD24x9x 的设计与其他浪涌保护 RS-485 设计分开。

2 实现 RS-485 浪涌保护的分立式方法

大多数经典 RS-485 器件虽然在许多标准工业环境下具有稳健性，但仍无法承受差分通信总线引脚上的高压浪涌而不会损坏。许多工业系统设计人员在面临此问题时可以采用分立式保护网络，根据收发器可能承受的浪涌信号的特性，这种网络的复杂性可能有所不同。不过，在讨论常见的分立式保护电路之前，可以讨论浪涌信号的评估方法。

许多设计人员在考虑浪涌保护时，需要一种方法来快速量化收到的浪涌保护程度。IEC 61000 4-5 是一项通用标准，也是 TI 会进行评估的标准，该标准是 TVS 二极管、气体放电管 (GDT) 和金属氧化物压敏电阻 (MOV) 等器件用来标准化浪涌抗扰度参数的通用标准。通常使用 1.2/50 - 8/20 μs 浪涌发生器进行测试，其中电压波形具有 1.2 μs 上升时间和 50 μs 下降时间，电流波形具有 8 μs 上升时间和 20 μs 下降时间。该标准支撑了许多器件 (包括 TI 的器件) 对于浪涌抗扰度的要求。显示功率随时间变化的 0.5kV 和 6kV 浪涌电压如图 2-1 所示

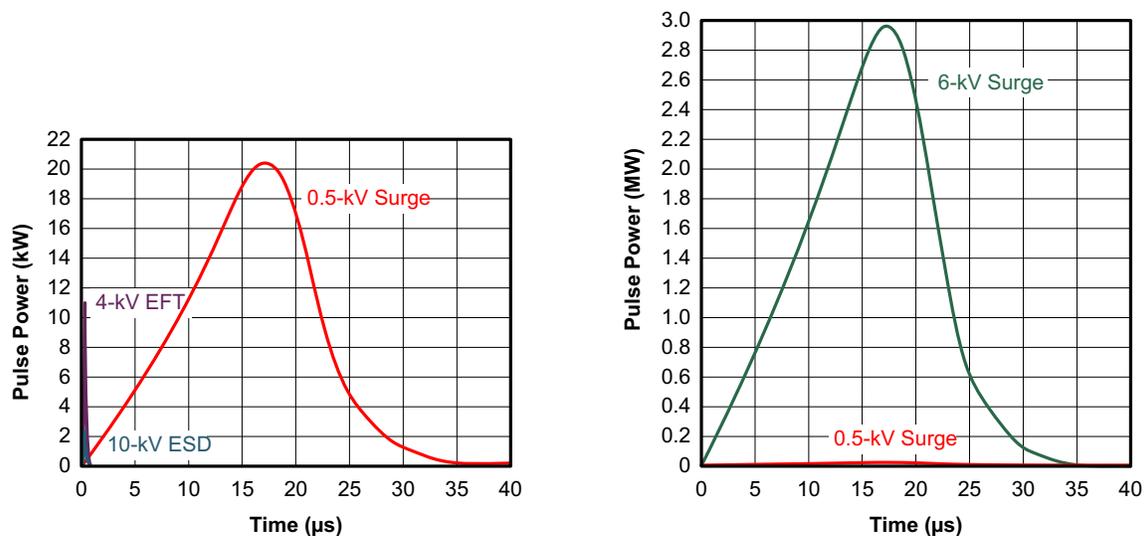


图 2-1. 浪涌和 ESD 功率比较

较简单的保护方案的工作原理是限制电流、钳制线路电压和对进入差分线路的峰值浪涌电流进行额外滤波。

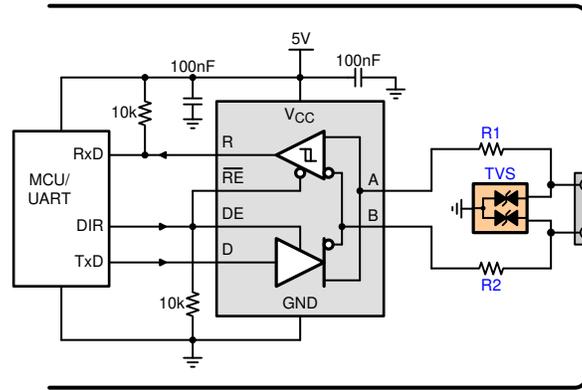


图 2-2. 具有基本分立浪涌保护功能的 RS-485 半双工收发器

在图 2-2 中，端口的传入浪涌将限制电流以设置 TVS 二极管的钳位电压。了解二极管可以将总线钳位到预期浪涌条件下的电平非常重要。通过二极管分流的电流可以直接与总线钳位电压相关，因此在浪涌源和总线保护之间设置电流限制非常重要。R1 和 R2 是防脉冲低值电阻器，通常这些电阻器可以是厚膜电阻器或绕线电阻器，大小约为 10 Ω。这些电阻器有助于滤除来自总线的持续较短峰值电压，这进一步提高了节点的整体额定值。TI 的许多 RS-485 数据表建议将 CDSOT23-SM712 二极管与 CRCW0603010RJNEAHP 厚膜电阻器配合使用。

表 2-1. 具有基本分立式浪涌保护 BOM 的 RS-485 半双工收发器

元件	封装尺寸	封装/设计区
CDSOT23-SM712	2.9mm x 2.3mm	6.67mm ²
CRCW0603010RJNEAHP	1.55mm x 0.85mm	1.3175mm ²
采用 SOIC 封装的标准 8 引脚 RS-485 收发器	4.9mm x 3.91mm	19.16mm ²
总体设计尺寸： (2 个电阻器、1 个 IC、1 个二极管)	不适用	28.465mm ²

添加基本浪涌保护所必需的两个电阻器和二极管会在总空间预算中增加几乎 50% 的 IC 封装空间。这也不包括布局注意事项，因为这也会导致总设计尺寸增大。TI 仅建议采用上述设计应对大约 $\pm 1\text{kV}$ 浪涌电压，但较高的浪涌电平可能需要较大的二极管。

了解收发器能够检测到的最大电压非常重要。如果总线钳位过高，收发器仍可能损坏，因此设计人员必须跟踪总线的钳位电压。除了尺寸增加和收发器的严格最大电压之外，该设计还有另一个缺陷，即浪涌电压的持续时间必须相对较短。RS-485 保护系统中通常使用的 TVS 二极管无法承受通过其无限期分流的大量电流。此外，如果二极管在大电流条件下运行时间过长，二极管可能会损坏，总线上由此产生的电压尖峰可能会导致收发器和保护器件损坏。

虽然之前讨论的简单保护方法对许多系统大有裨益，但其他系统可能需要更可靠的方法。一种在系统中实现更高级别保护的可靠方法是，除了上述简单网络之外，还采用瞬态阻断单元 (TBU) 和金属氧化物压敏电阻 (MOV)。

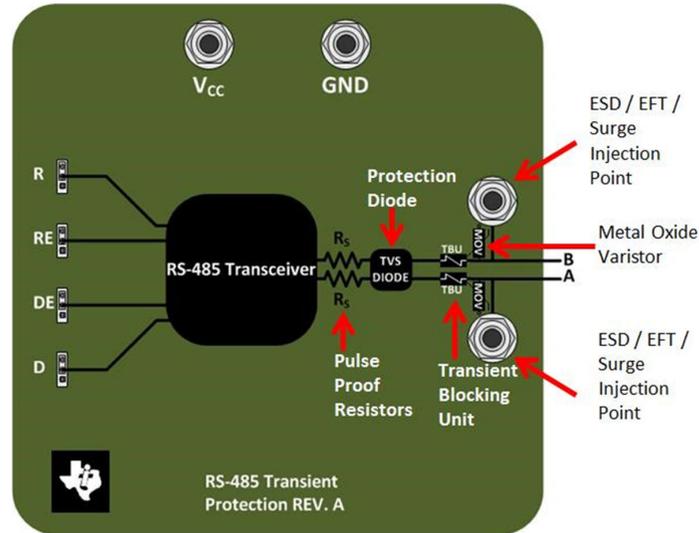


图 2-3. 为 RS-485 总线提供可靠的分立式浪涌保护

图 2-3 展示了由 TVS 二极管和防脉冲电阻器组成的简单网络仍处于与更简单保护方案中相同的位置。但是，还添加了 TBU 和 MOV 以提高稳健性。TBU 显示为电流限制器和电压断开电路。在过压或过流事件期间，TBU 可以限制通过器件的电流，然后在短暂的延迟后，可以有效地断开浪涌源的负载，包括 RS-485 器件。MOV 的作用类似于双向浪涌二极管和总线的额外钳位级，以在大浪涌下提供保护。它们无法防止浪涌电流，可能会出现持续电流故障问题。由于这些限制，它们与 TBU 配对，以在主总线上增加电流保护和电压钳位。

在大多数浪涌保护 RS-485 系统中，可以找到简单或复杂的变化，同时可能存在异常值。这两种设计经过精心测试，可满足特定的保护需求。但是，电路板上每增加一个元件，设计的复杂性和所需的布板空间就会增加，这可能会给设计人员带来相当大的压力，使其无法充分实现所有设计目标。

3 集成浪涌保护功能和 THVD14x9 系列器件

在基本了解了浪涌保护在 RS-485 总线上的工作原理后，设计人员需要提出的下一个问题是，是否有更好的方法来帮助简化设计，同时维护受到良好保护的系统？幸好，有一种设计可解决此问题，这种设计在 RS-485 器件中集成了浪涌保护。考虑到任何浪涌保护 RS-485 通信节点的核心是有一个 TVS 二极管，可在瞬态过压事件期间帮助钳制总线电压，在 RS-485 器件的内部集成 TVS 二极管便是顺理成章的事。TI 和 THVD14x9 系列器件旨在通过将简单的保护设计集成到收发器封装中来满足这一需求。

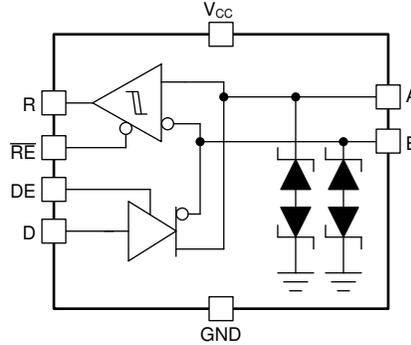


图 3-1. THVD14X9 系列器件功能方框图

取代分立式保护方案而改用集成式设计有两个主要优势。首先是便于设计 - 考虑到非浪涌保护 RS-485 器件没有附加任何特定的浪涌额定值，保护网络必须符合传入浪涌的额定值，并尊重收发器上的电压额定值，这就带来了将浪涌波形转换为收发器所见峰值电压的设计难题。但是，TI 的 THVD14x9 系列中的器件等集成设计可以通过根据 IEC 61000-4-5 进行测试来帮助解决此问题，该标准可以标准化浪涌发生器以及浪涌波形的特性。

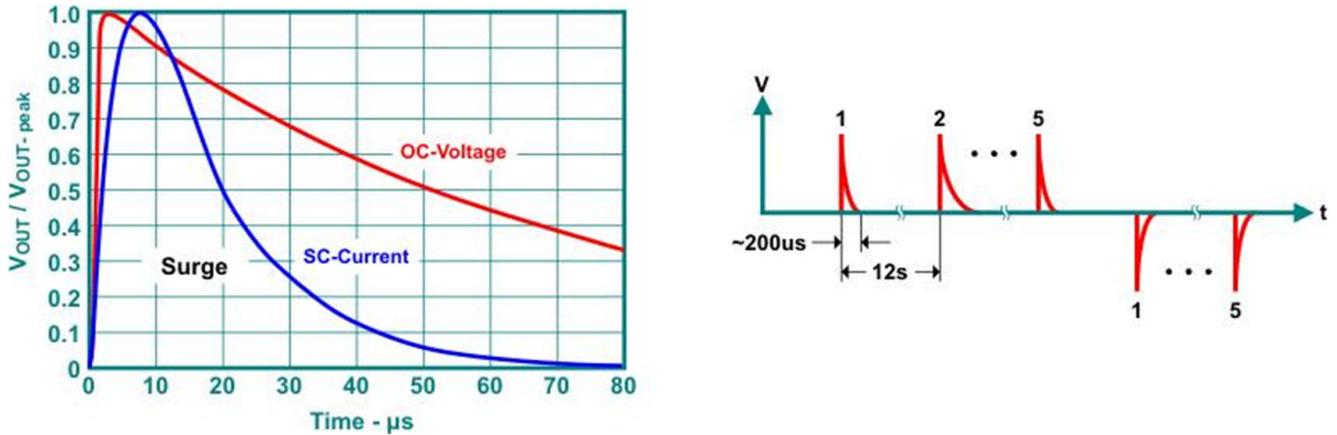


图 3-2. 浪涌测试特性

图 3-2 展示了开路电压和短路电流的标准化波形。图 3-2 还展示了标准浪涌测试中的重复率。该标准是评估多种类型保护器件中的浪涌保护的一种很常见方法。在传统的分立式实现方案中，收发器没有额定的浪涌保护，这就给设计人员带来了另一个必须确定的未知因素，但如果使用具有 IEC 61000 4-5 等级的集成浪涌器件，设计人员就能立即知道设备的额定浪涌等级。这方面的一个示例是 THVD1419，其 IEC 61000 4-5 额定值为 $\pm 2.5\text{kV}$ 。但在分立式实现方案中，如果二极管在额定浪涌电压下钳位过高，则二极管的保护等级未必会从 1:1 转换为节点的保护等级。使用集成浪涌器件为收发器提供保护等级，可降低这种风险。

使用集成浪涌设计的下一个主要优势是缩小尺寸。由于工艺和技术随着时间的推移而不断改进，RS-485 收发器以及保护二极管能适合业界通用的 8 引脚 SOIC 器件，该器件会占用大约 19.16mm^2 的布板空间。如果使用通用 RS-485 二极管实现采用标准 SOIC 封装的分立式设计，则设计尺寸可能会增加约 50%。使用集成式设计时可以避免这种情况。即使需要 TBU 和 MOV 等更强大的保护，集成 TVS 二极管仍然可以缩小整体设计尺寸，即便在需要额外外部保护的系统中也是如此。

虽然使用集成浪涌有两个主要优势，但器件很明显有一个缺点。缺点是使用集成式设计时缺乏灵活性。虽然使用集成式设计可以减少设计需要确定的未知因素，但它也限制了在实施系统时的设计选择。THVD14x9 系列在很大程度上仍受制于标准 RS-485 限制，即更标准的共模范围，THVD14x9 系列的共模范围为 $\pm 12V$ 。这在许多系统中通常可以接受，但对于接地电流较大或节点之间距离较远的系统， $\pm 12V$ 共模范围可能不足以在这些系统中实现正确通信。突出这一问题的另一个例子是防护等级 - 如果需要比提供的防护等级更高的防护等级，那么很可能有一种分立式实现方案可以满足设计目标，这就使得为集成式设计支付溢价并非理想选择。虽然这仍然表明，标准 RS-485 器件上的集成浪涌保护功能对更典型的应用非常有益，但它确实完全涵盖了受保护 RS-485 的应用范围。不过，TI 最新的浪涌保护 RS-485 产品 THVD24x9x 系列器件已经解决了其中一个问题。

4 THVD24x9x - TI 的新一代集成浪涌保护 RS-485 器件

直到最近，集成保护与分立式保护之间的权衡才变得简单。分立式设计以更高的设计复杂性为代价提供更高的设计灵活性，而集成式设计则提供更简单、更小巧的设计，代价是设计范围更窄且需要为集成支付额外费用。为了解决上一代浪涌保护 RS-485 收发器上范围更窄的问题，TI 的全新 THVD24x9x 系列通过提高关断电压范围和共模电压范围来提高可支持应用的灵活性。

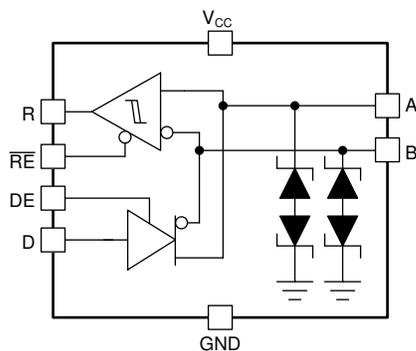


图 4-1. THVD24X9 系列器件功能方框图

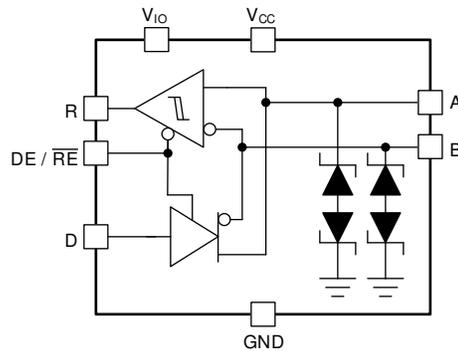


图 4-2. 采用 SOIC 封装的 THVD24X9V 系列器件功能方框图

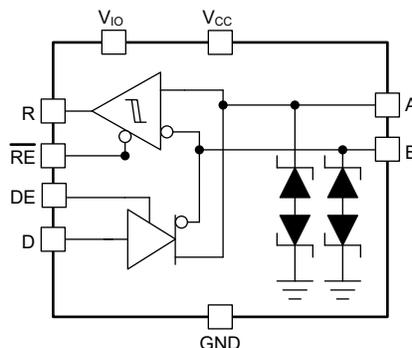


图 4-3. 采用 VSON 封装的 THVD24X9V 系列器件功能方框图

TI 的下一代浪涌保护 RS-485 可提供超过上一代集成浪涌的多项优势。这些产品可以分为三个主要类别：标准 RS-485 运行、设计尺寸和控制器接口。

在标准 RS-485 运行中，除了其 IEC 61000-4-5 额定值之外，THVD24x9x 系列（包括 THVD2419 和 THVD2429 等器件）可提供高达 $\pm 25V$ 的扩展共模电压额定值以及高达 $\pm 42V$ 的关断电压（SOIC 封装为 $\pm 2.5kV$ ，VSON 封装为 $\pm 1.5kV$ ）。这样，即可在可能存在较大接地电势差的系统中使用集成浪涌保护器件。这在收发器连接到电机的系统中尤其重要，因为使用电机的系统在运行过程中，会在接地线上施加大量电流。在接地线较大的系统中，这会在节点之间的参考平面上产生较大压降。标准 RS-485 在一定程度上对此进行了预期，但在某些工业系统中，标准级别是不够的。过去，这可能意味着需要选择支持更高共模的不同收发器并将分立式保护设计置于前端，但 THVD24x9x 系列器件通过在正常运行期间允许较大的共模电压范围而避免了这一要求。

THVD24x9x 系列器件的另一个优势是，除了标准的 8 引脚 SOIC 封装外，它还提供采用更小的 10 引脚 VSON 封装的产品，该封装的面积仅为 9mm^2 。设计人员不仅可在标准 SOIC 封装中缩小尺寸，而且可以使用 VSON 封装，并且布板空间仅为 9mm^2 ，从而实现更简单的浪涌保护形式。使用第一部分中的分立式示例，与 THVD24x9x 系列器件中的一个 VSON 产品相比，二极管和防脉冲电阻器会占用更多空间，仅为 9.3mm^2 。这意味着经典分立式实施在 VSON 封装中具有比 THVD24x9x 更大的保护电路，它不仅能提供集成保护，还能在 $3\text{mm} \times 3\text{mm}$ 的微型封装中提供收发器。

最后，另一个主要优势是 THVD24x9x 中采用 THVD24x9V 形式的器件具有额外的电源引脚，可为 RS-485 总线提供单独的电压电源，并为逻辑引脚提供单独的电源。该独立电源引脚可通过低至 1.65V 的电压供电，从而允许使用 1.8V 控制器控制 RS-485 节点。如果没有单独的电源引脚，则可能会引入额外的电平转换电路。THVD24x9V 器件系列不仅集成了保护功能，还集成了电平转换功能，从而可以更灵活地使用还可在浪涌瞬变情况下提供保护的 RS-485 器件。

5 总结

浪涌保护是许多 RS-485 设计中必不可少的部分。过去，设计人员主要被迫使用分立式保护实施方案，其中既有简单的二极管和电阻器设置，也有包括 MOV 和 TBU 在内的更强大的架构。TI 有两款主要浪涌保护 RS-485 器件系列，即 THVD14x9 和 THVD24x9x，可帮助设计人员简化其浪涌保护 RS-485 系统。使用 TI 的某款浪涌保护产品可以帮助设计人员简化设计和元件选择，减小系统的总设计尺寸，置于更标准的 RS-485 系统中（将 THVD14x9 系列与 THVD1419 或 THVD1439 等器件配合使用）或更严苛的 RS-485 系统中，这些系统可能要求更大的标准工作范围（将 THVD24x9x 系列与 THVD2419 和 THVD2429 等器件配合使用）。

6 参考资料

- 德州仪器 (TI)，[设计指南：TIDA-00731 IEC ESD、EFT 和 Surge RS-485 总线保护设计指南](#) 参考设计。
- 德州仪器 (TI)，[THVD14x9 具有浪涌保护功能的 3.3V 至 5V RS-485 收发器](#) 数据表。
- 德州仪器 (TI)，[THVD14x9x 具有 4kV 浪涌保护功能和 1.8V VIO 的 3V 至 5.5V RS-485 收发器](#) 数据表。
- 德州仪器 (TI)，[THVD24x9 采用小型封装、具有集成浪涌保护和高总线故障保护功能的 3V 至 5.5V RS-485 收发器](#) 数据表。

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