



Vikas Kumar Thawani, Mani Bhushan Ray

摘要

二十多年来，RS-485 一直是工业应用中极其常用的有线通信接口。RS-485 的平衡差分信号传输特性可抑制共模噪声，并能在嘈杂的工业环境中实现远距离通信。因此，RS-485 成为大多数工业应用（例如工厂自动化、保护继电器、光伏逆变器、电能表、电机驱动器和楼宇自动化）中常见的通信端口。

根据终端设备的需求，必须针对不同的总线电源、逻辑接口电源电压、网络长度和吞吐量来设计 RS-485 网络。因此，客户必须选择、测试和验证市场上提供的多个 RS-485 收发器，来满足独特的应用要求。此外，系统设计人员还为网络中的终端节点和中间节点开发了不同的印刷电路板 (PCB)，因为终端节点通常需要端接电阻器来提高信号质量。此过程会消耗大量的设计带宽和资源，从而增加系统设计时间和成本，并延迟产品上市时间。

借助 THVD1424，系统设计人员能够灵活地在任何网络中的任何节点位置（终端节点和中间节点）使用，无论是慢速还是快速的两线（半双工）或四线（全双工），皆可使用。因此，在使用 THVD1424 时，可以通过软件设计和配置一个通用 PCB 来满足各种应用需求，从而节省大量开发时间和精力。

内容

1 典型的 RS-485 网络和端接需求.....	2
2 网络长度、数据速率和残桩.....	3
3 用于可切换终端和双工切换的分立式设计.....	4
4 用于双工切换的分立式设计.....	4
5 THVD1424 和 THVD1454 灵活的 RS-485.....	5
6 THVD1424 应用图.....	6
7 THVD1424 四节点测试的实验结果.....	8
8 结论.....	10
9 修订历史记录.....	10

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 典型的 RS-485 网络和端接需求

图 1-1 和图 1-2 分别展示了采用半双工或全双工配置的典型 RS-485 网络。在这些拓扑结构中，所使用的驱动器、接收器和收发器通过网络残桩接至主电缆干线。残桩是收发器和电缆干线之间的电气距离，实质上代表了一段非端接的总线线路。

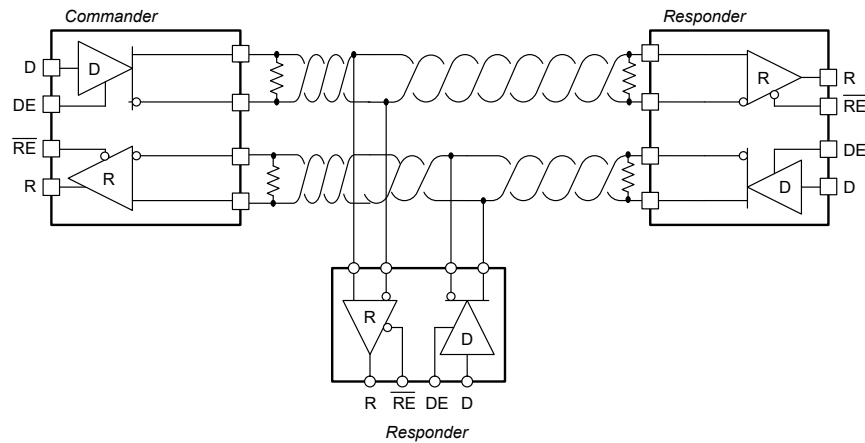


图 1-1. 全双工网络

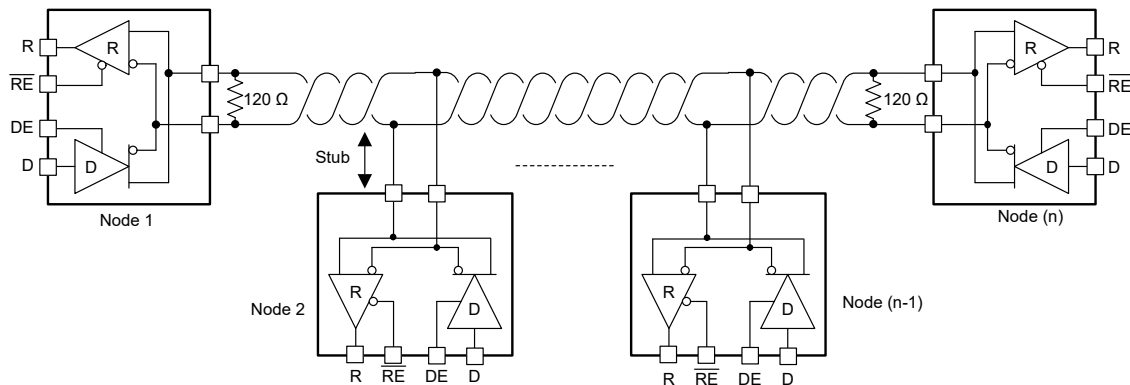


图 1-2. 半双工网络

全双工实现需要两个信号对（四根电线），以及具有用于发送器和接收器的单独总线访问线路的全双工收发器。全双工网络允许节点在一个对上发送数据，同时在另一个对上接收数据，从而实现较高的有效吞吐量。在半双工网络中，仅使用一对信号，并要求在不同的时间驱动和接收数据。这种配置降低了网络布线成本（与全双工网络相比），但代价是吞吐量下降。

市场上的大多数 RS-485 收发器为半双工或全双工，这意味着器件采用不同的引脚排列和封装。这是系统设计人员为其半双工和全双工设计平台选择不同器件时面临的第一个问题。

电信号通过铜缆（物理介质）从驱动器传输到网络上的所有接收器。驱动网络时，驱动器（TX）输出阻抗较低，而接收器（RX）输入阻抗通常以千欧姆（kΩ）为单位。如下图所示，每次信号遇到阻抗失配时，例如中间节点（A 点和 B 点处）或接收器输入端子（节点 n 处）的残桩，都会反射回一定量的信号，这会干扰总线上的信号，从而降低信号质量。反射因数（r）由方程式 1 求出。

$$r = (Z_t - Z_o) / (Z_t + Z_o) \quad (1)$$

其中 Z_t 是端接阻抗， Z_o 是电缆特性阻抗

根据传输线路理论，阻抗失配不连续性必须受到限制，才能尽可能地减少反射，这一点至关重要。为了实现这一点，建议的设计做法是将残桩长度保持最短并端接最远的节点。如果信号可以双向传输，则需要正确端接网络的两个远端。

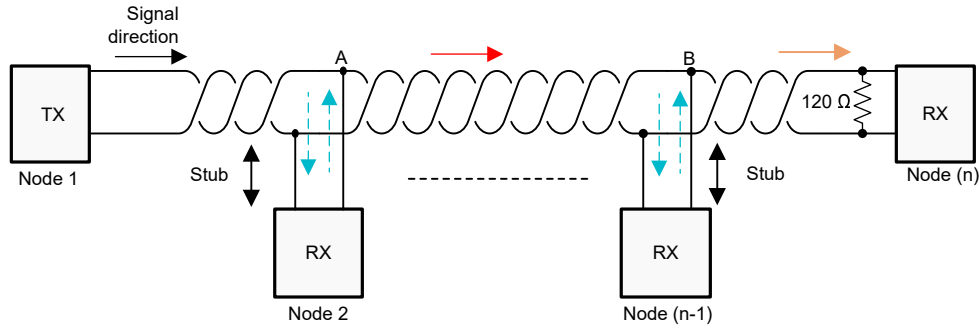


图 1-3. RS-485 网络中的信号反射现象

总线端接是提高信号质量的有效方法。如图 1-1 和图 1-2 所示，通常两个终端节点都使用端接电阻器进行端接，其值与传输电缆的特性阻抗相匹配。在楼宇自动化（HVAC、恒温器等）等某些应用中，可以在 RS-485 网络中添加或移除节点以重新配置网络。这就引出了系统设计人员面临的第二和第三个问题：终端节点的应用板设计必须不同于中间节点的应用板设计，并且技术人员需要手动干预以重新配置网络中的终端，这容易出现人为错误，例如电缆极性反转、不正确的端接等。

2 网络长度、数据速率和残桩

RS-485 标准提供了关于选择最大运行数据速率和网络长度的指南，如图 2-1 所示。

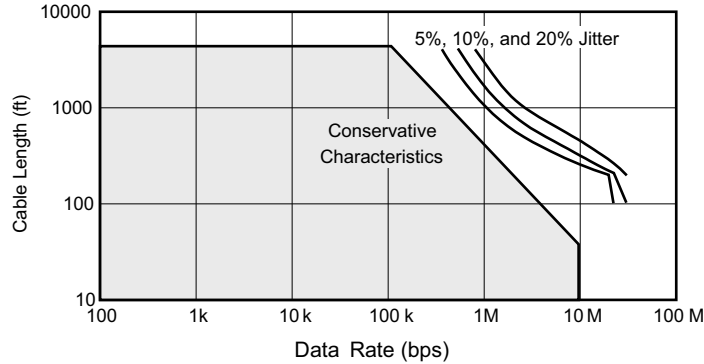


图 2-1. 电缆长度与数据速率特性间的关系

图 2-1 展示了与可容抖动相对应的信号速率和电缆长度之间的反比关系。实线是保守估计，几乎没有抖动。如果系统能够容忍信号中更高的抖动（图中的 5%、10% 和 20% 抖动曲线），同时仍然能够正确区分高位和低位，则可以延长网络长度。在较低数据速率下，由于电缆电阻会减弱信号，因此电缆的直流电阻会限制最大通信距离。随着信号频率的增加，电缆的交流特性和驱动器的上升/下降时间开始限制网络性能（在速度与距离方面）。

一旦确定了 RS-485 网络的网络长度和运行数据速率，下一个任务就是确定保持良好信号质量所需的最大残桩长度。作为通用且保守的指南，建议残桩的电气长度或往返延迟小于驱动器上升时间的十分之一，即最大的物理残桩长度，如方程式 2 所示。

$$L_{(STUB)} \leq 0.1 \times t_r \times v \times c \quad (2)$$

其中

- t_r 是驱动器上升时间的 10/90
- c 是光速 (3×10^8 m/s)
- v 是电缆或布线的信号速度，以 c 的系数表示
- v 是电缆或布线的信号速度，以 c 的系数表示

这就引出了系统设计人员面临的第四个问题：针对慢速或快速网络设计选择不同的器件。

3 用于可切换终端和双工切换的分立式设计

系统设计人员试图设计一个带有可切换终端电阻器的通用 PCB，以便同一 PCB 可用于 RS-485 网络中的所有节点，并且可以使用光继电器驱动器（例如光 MOS）。光 MOS 是一款可响应逻辑输入信号并启用或禁用低电阻半导体开关的器件。光学隔离使总线能够在任何共模电压下运行，而不受控制信号基准的影响。下图展示了该设计并将解决思路扩展到包括可切换双工，这意味着，通过使用两个额外的光 MOS，可以构建一个可充当半双工或全双工并启用或禁用终端的设计。

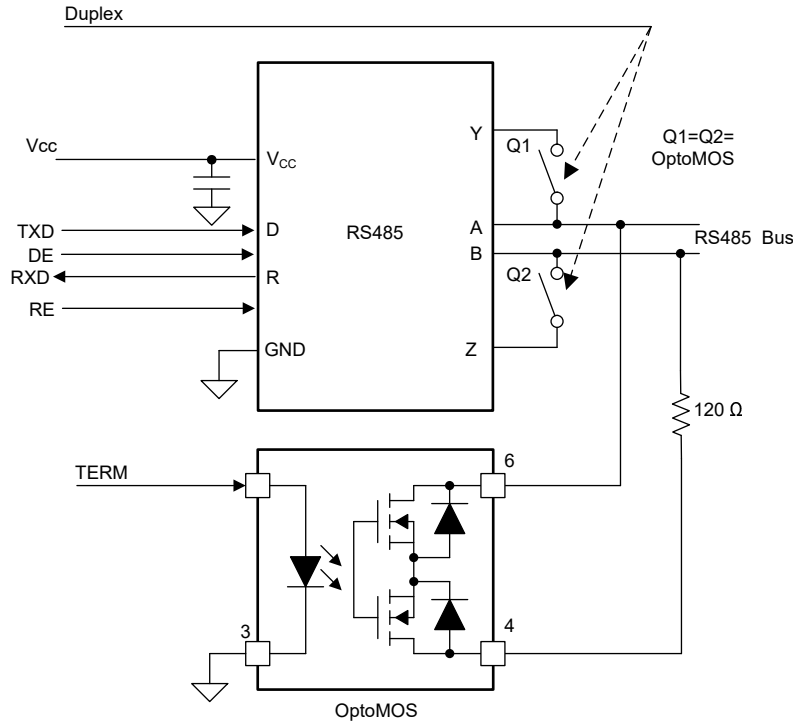
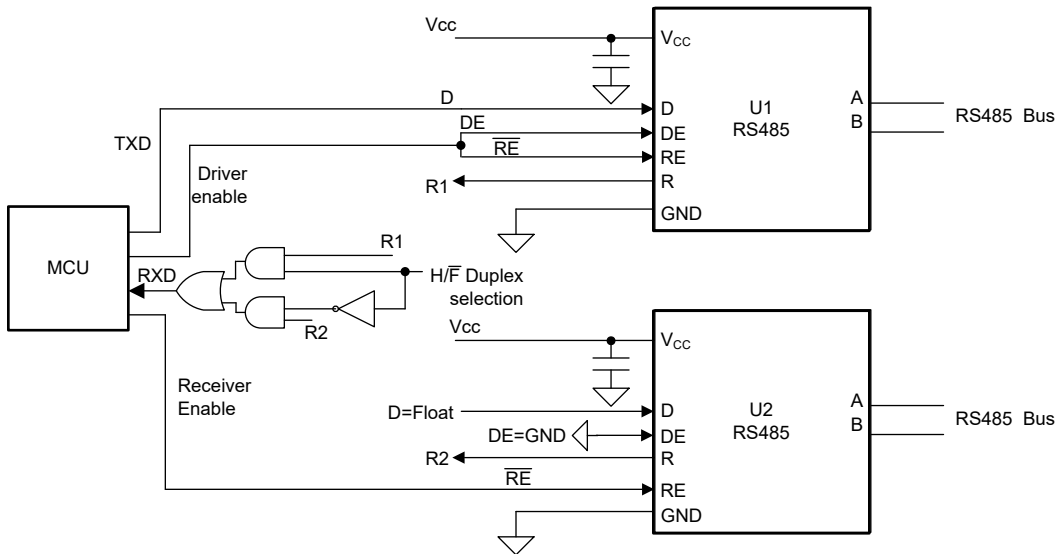


图 3-1. 针对可切换终端和双工切换的光 MOS 实施

前一个设计的问题是，这会占用相当大的电路板面积并且成本高昂。

4 用于双工切换的分立式设计

可用作引脚控制半双工或全双工的设计的替代分立式实现方案是：使用两个半双工收发器，并按照如下所示构建逻辑，以便发送和接收双线或四线网络的数据。



Duplex Selection	RXD	U1	U2
High (half duplex)	R1	Acts as TX and RX. Driver enable signal controls it	Can be ignored for half duplex operation.
Low (Full duplex)	R2	Acts as TX	Acts as RX

图 4-1. 双工切换的逻辑实现

该设计存在同样的问题，即两个 RS-485 收发器和逻辑门占用了相当大的电路板面积。

5 THVD1424 和 THVD1454 灵活的 RS-485

前面几节所述的所有问题都有一个简单的解决方案：THVD1424 和 THVD1454。

德州仪器 (TI) 已率先推出真正灵活的 RS-485 收发器。该系列包括两个独特的器件：

- **THVD1424** 具有跨驱动器和接收器总线引脚的片上 $120\ \Omega$ 可切换终端、引脚控制的双工切换和压摆率控制，可作为各种类型网络以及所有节点位置的通用器件。通过配置引脚 H/F，该器件可用于半双工或全双工 RS-485 网络。该器件具有压摆率控制引脚 SLR，可用于将器件设置为最大 20Mbps 模式或转换速率限制为 500kbps 模式。可以使用两个引脚 TERM_TX 和 TERM_RX 来控制终端电阻器。由于存在支持 1.65V 至 5.5V 电压的独立 VIO 引脚，该器件还能够与低压微控制器连接。总线电源电压 VCC 可独立于 VIO 并支持 3V 至 5.5V 电压。所有特性均打包到一个散热高效的小型 16-VQFN 封装 (3mm x 3mm) 中

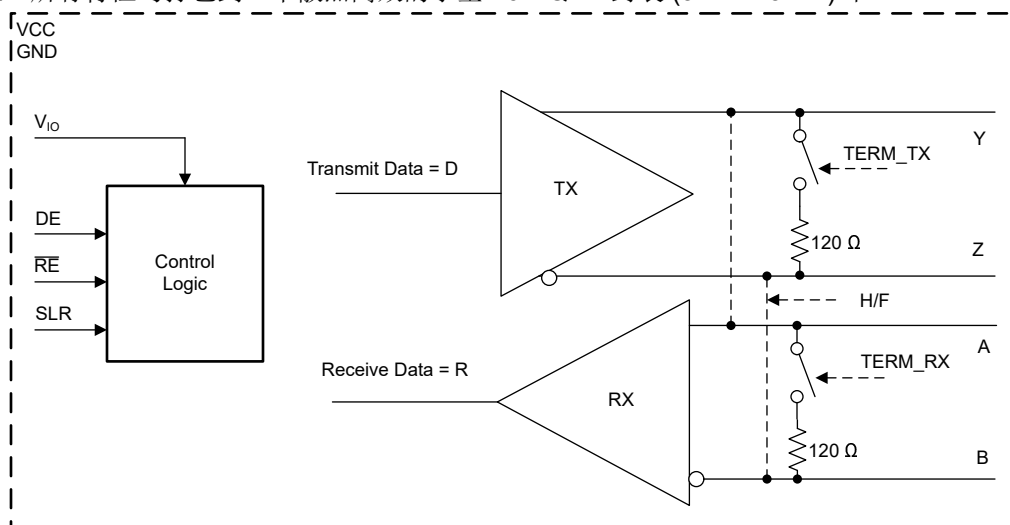


图 5-1. THVD1424 方框图

- 与 THVD1424 相比，THVD1454 具有一个特性子集。THVD1454 采用节省空间的 10-VSON 封装 (3mm × 3mm)，仅适用于半双工网络。该器件还具有跨总线引脚的片上 120 Ω 可切换终端和压摆率控制。该器件为寻求与同类竞争解决方案引脚兼容的客户提供了一种出色的替代方案。

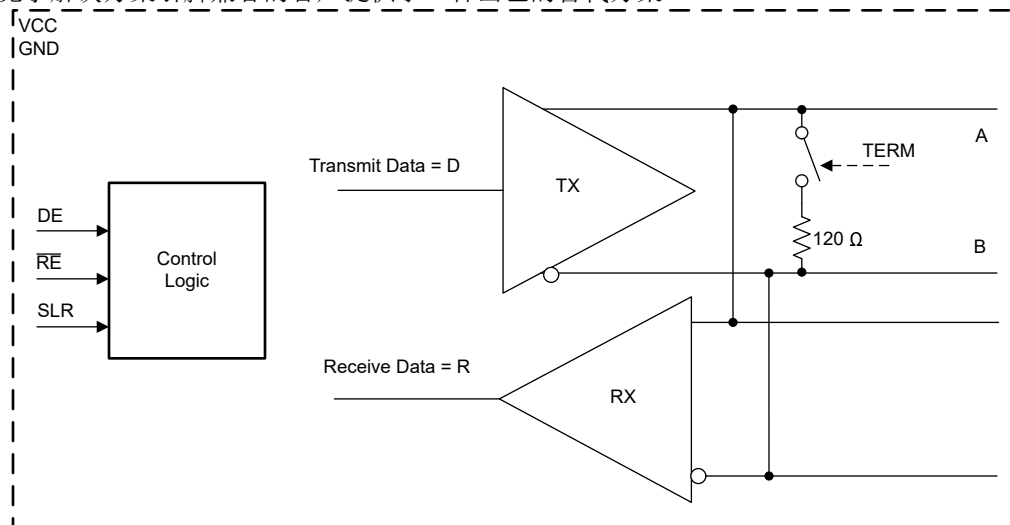


图 5-2. THVD1454 方框图

提供的其他特性包括：

这两款器件提供的其他特性包括：

- 可以跨总线引脚启用或禁用总线引脚上的终端电阻器，而不受驱动器或接收器启用/禁用状态的影响。
- 在 3V 至 5.5V 电源电压、-7V 至 12V 共模电压以及 -40°C 至 125°C 温度范围内对终端进行严格调节。
- 该器件可由 3.3V 或 5V 总线电源供电运行。
- 总线引脚提供 1/8 单位负载，支持总线上的 256 个节点。
- 失效防护接收器（用于总线开路、短路和空闲情况）。
- 对总线引脚提供 4 级 IEC 61000-4-2 ESD 保护：±8kV 接触放电/±15kV 空气放电。
- 接收器路径中针对低速模式的干扰滤波器，可滤除快速噪声脉冲。
- 工业级工作温度范围：-40°C 至 125°C。
- 总线短路电流限制、热关断和电源欠压等集成式保护。

6 THVD1424 应用图

图 6-1、图 6-2 和图 6-3 展示了 TI 灵活的 RS-485 收发器 THVD1424 的多功能性。这些网络图突出展示了 THVD1424 如何适用于半双工和全双工网络。仅通过软件配置，即可在所有节点位置复制相同的电路板设计。这也消除了对终端重新配置的手动干预，因为可以由软件处理。

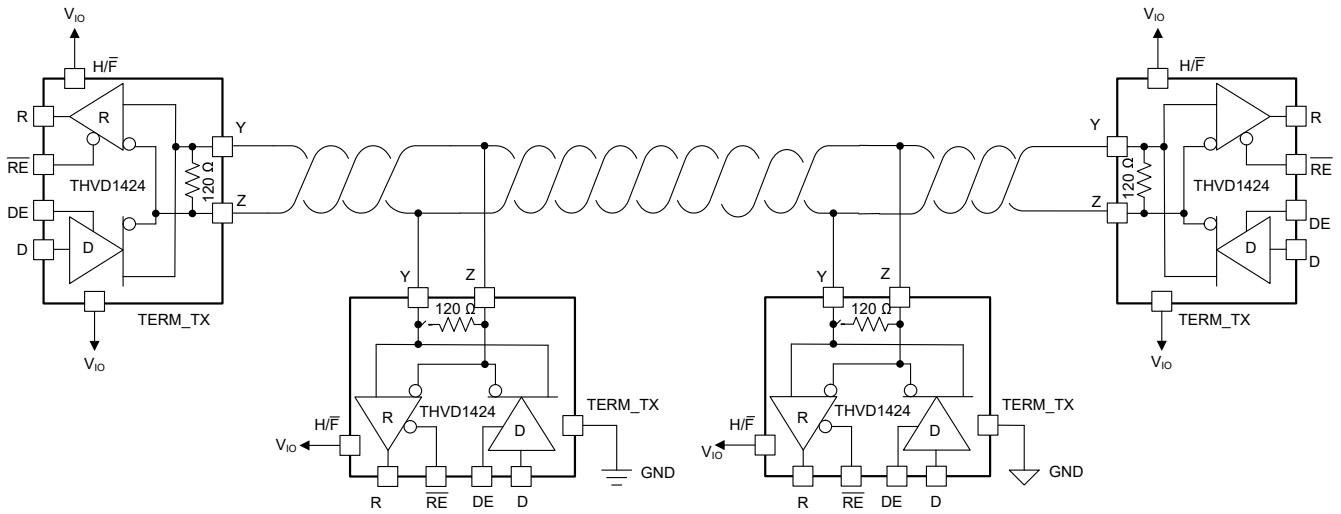


图 6-1. 使用 THVD1424 的半双工网络

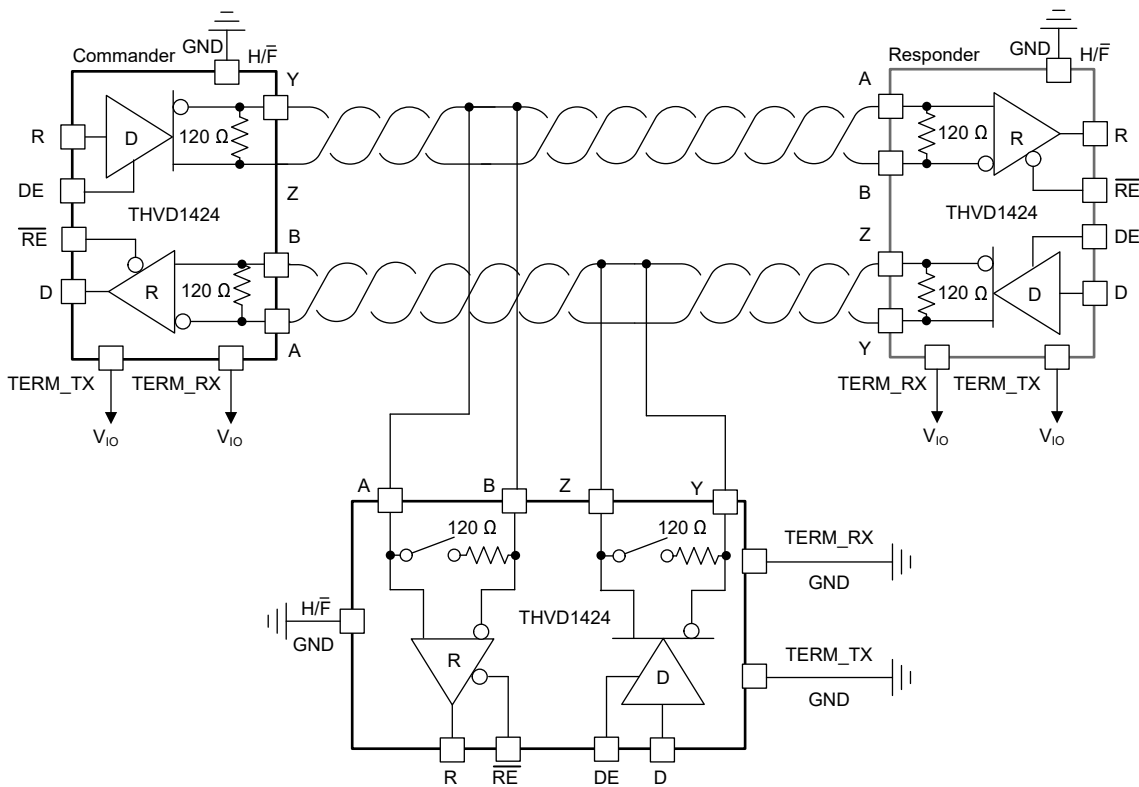


图 6-2. 使用 THVD1424 的全双工网络

THVD1424 只需在电源引脚 VCC 和 VIO 上使用两个 1 μ F 旁路电容器即可运行，从而提供极其紧凑且功能丰富的设计。所有逻辑引脚均可硬接线至电源或接地，并且位于封装的两侧。所有四个总线引脚均位于封装的一侧，可实现直通式布局。图 6-3 展示了带有旁路电容器的器件的三维图像。

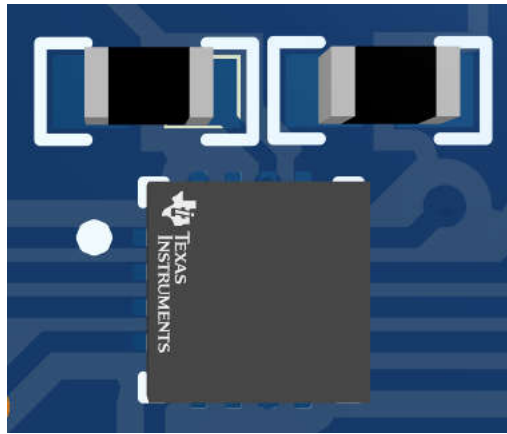


图 6-3. THVD1424 布局图

7 THVD1424 四节点测试的实验结果

使用 50 英尺双绞线电缆和四个 THVD1424 板构建了一个四节点半双工网络，连接方式如下所示。多点网络的理想拓扑是菊花链，但此处构建的网络是具有残桩的总线拓扑，可显示使信号质量恶化的长残桩的影响。

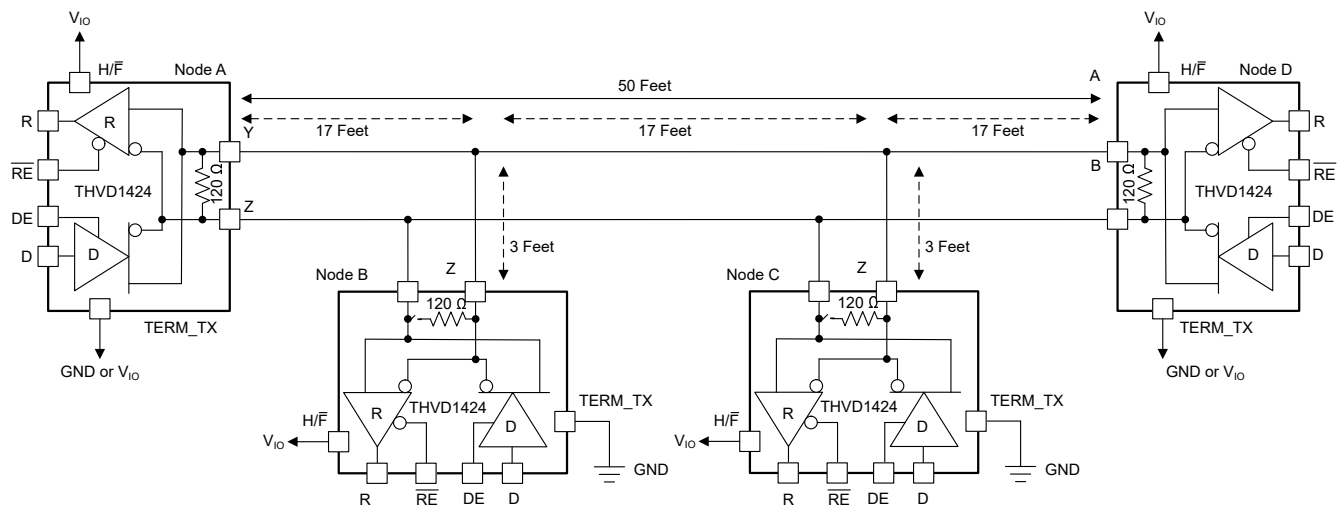


图 7-1. THVD1424 的网络设置

每个节点都连接到 5V 电压，所有节点之间的接地端是共用的。使用函数发生器驱动节点 B，并在节点 A 上检查总线波形。

情况 1：每个节点的压摆率控制 (SLR) 引脚均接地，可检查高速端接的影响。以 2Mbps 速率驱动节点 B

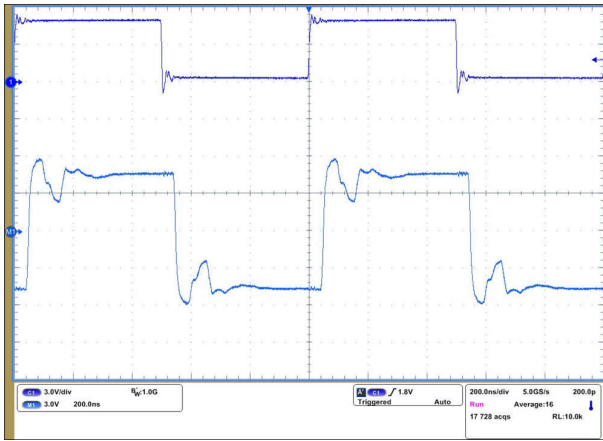


图 7-2. 节点 A 和节点 D 未端接，信令速率为 2Mbps

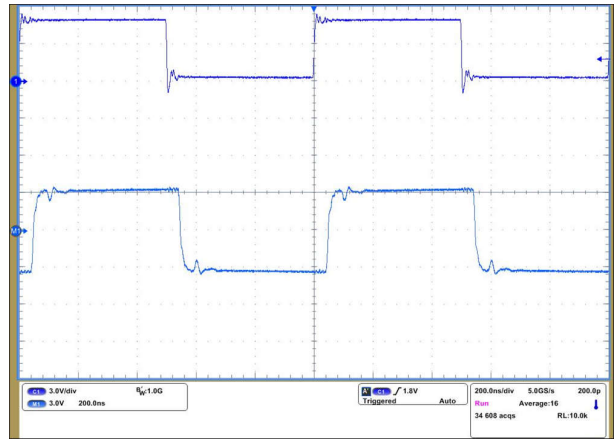


图 7-3. 节点 A 和节点 D 端接，信令速率为 2Mbps

情况 2：以 10Mbps 速率驱动节点 B

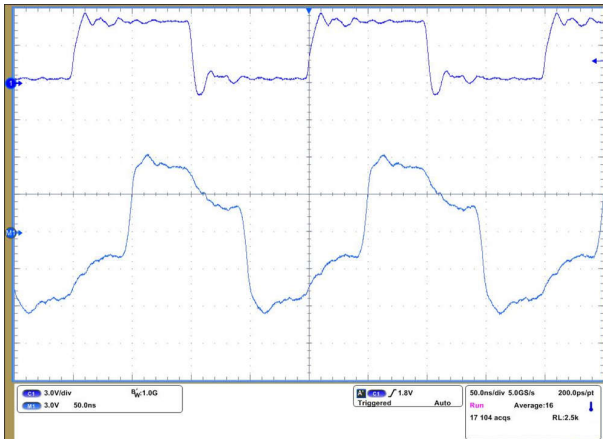


图 7-4. 节点 A 和节点 D 未端接，信令速率为 10Mbps

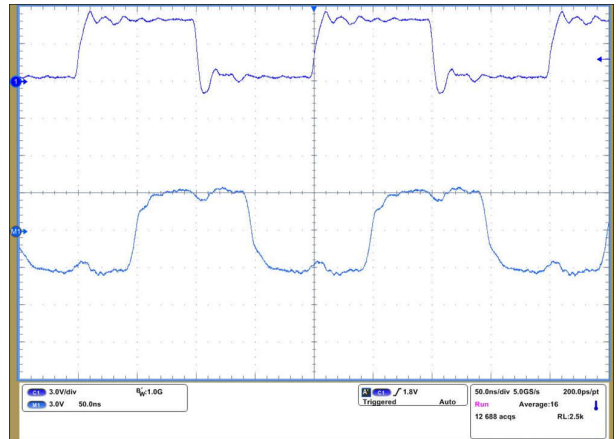


图 7-5. 节点 A 和节点 D 端接，信令速率为 10Mbps

情况 3：以 20Mbps 速率驱动节点 B

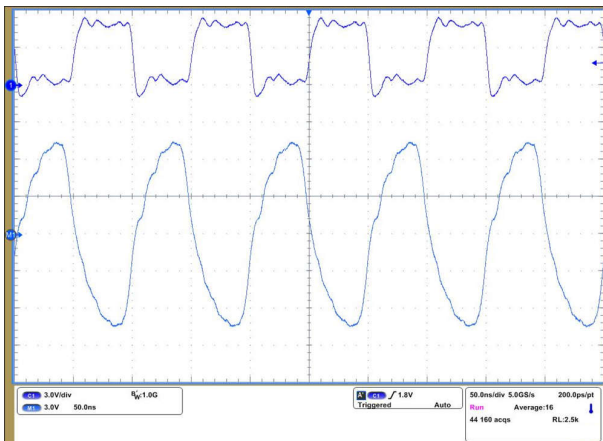


图 7-6. 节点 A 和节点 D 未端接，信令速率为 20Mbps

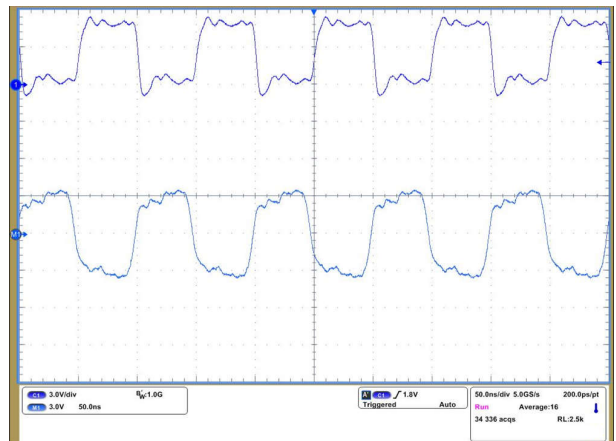


图 7-7. 节点 A 和节点 D 端接，信令速率为 20Mbps

情况 4：所有节点的 SLR 引脚都设为高电平，以 500kbps 速率驱动节点 B。

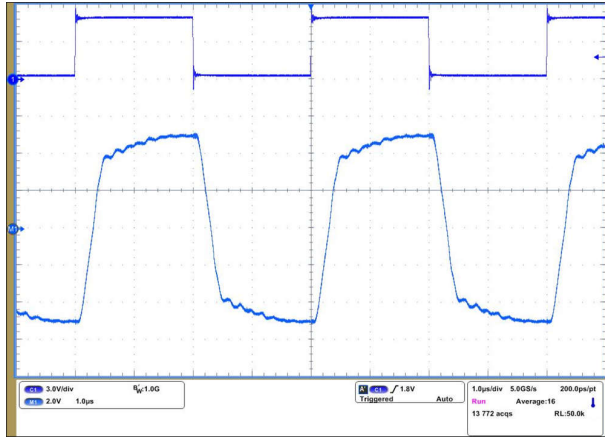


图 7-8. 节点 A 和节点 D 未端接，信令速率为 500kbps

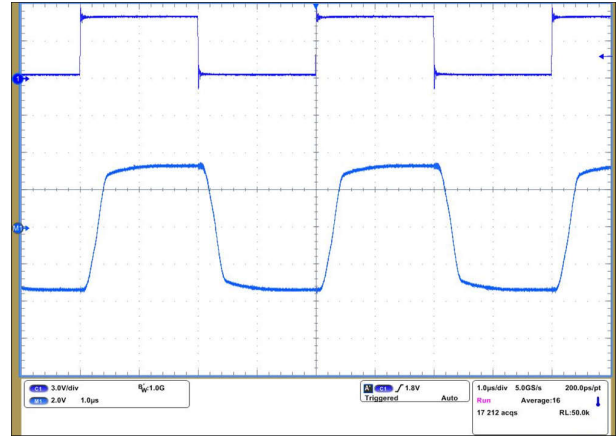


图 7-9. 节点 A 和节点 D 端接，信令速率为 500kbps

如上面的波形所示，将网络两端进行端接可通过减少反射来显著改善总线波形。尽管 500kbps 的速率要低得多，并且在低速和这个距离下，端接成为可选项，但端接的存在仍然可以改善总线波形。

请注意：端接总线波形具有较小的振幅，这是正常现象，因为空载驱动器差分输出摆幅更接近电源，因此大于负载驱动器输出。此外，对于这些转换时间（设置为 20Mbps 模式的驱动器的典型值为 ~10ns），有意保持残桩长度比实际网络中遇到的长度更长。另外值得注意的是，由于电缆的交流损耗，20Mbps 信令速率的 50 英尺网络长度的性能稍差，因此即使在端接条件下，波形也不理想。

8 结论

德州仪器 (TI) 的 THVD1424 和 THVD1454 器件为 RS-485 网络系统设计人员面临的常见问题提供了极具吸引力的解决方案，而不会增加电路板空间或解决方案成本。THVD1424 是业界较早推出的真正具有灵活性的 RS-485 收发器。一旦系统设计人员对器件进行测试和鉴定，即可将其用于当前和未来的所有设计平台，从而大幅降低开发成本，缩短开发时间并加快产品上市步伐。为了进行快速评估，THVD1424EVM 评估模块可用于 THVD1424，THVD1454EVM 可用于 THVD1454。

9 修订历史记录

Changes from Revision B (March 2023) to Revision C (May 2023)	Page
• 在整个出版物中添加了 THVD1454	1

Changes from Revision A (January 2023) to Revision B (March 2023)	Page
• 更新了使用 THVD1424 的全双工网络图像.....	6

Changes from Revision * (October 2022) to Revision A (January 2023)	Page
• 更新了整个文档中的表格、图和交叉参考的编号格式.....	1
• 更新了全双工网络图像.....	2
• 更新了半双工网络图像标题.....	2

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 © 2023，德州仪器 (TI) 公司