



Vikas Kumar Thawani, Mani Bhushan Ray

摘要

近二十多年來，RS-485 一直是工業應用中最常用的有線通訊介面。RS-485 的平衡差動訊號可抑制共態雜訊，有助於在吵雜的工業環境中進行長距離通訊。RS-485 是大多數工業應用中的通用通訊埠，如工廠自動化、防護繼電器、太陽能轉換器、電表、馬達驅動和建築自動化。

根據終端設備的需求，RS-485 網路的設計必須適用於不同的匯流排供應、邏輯介面供應電壓、網路長度和輸送量。因此，客戶必須選擇、測試並認證市面上提供的多種 RS-485 收發器，才能滿足獨特的應用需求。此外，系統設計人員也為網路中的終端節點和中間節點開發不同的印刷電路板 (PCB)，因為終端節點通常需要用終端電阻器來改善訊號品質。此過程會耗用大量設計頻寬與資源，增加系統設計時間與成本，進而拖延到上市時間。

THVD1424 可讓系統設計人員在任何網路中的任何節點位置 (終端節點和中間節點)、雙線 (半雙工) 或四線 (全雙工)、緩慢或快速使用相同裝置。因此，使用 THVD1424 可以透過軟體設計和配置通用 PCB 以滿足各種應用需求，進而節省大量的開發時間和力氣。

目錄

1 典型 RS-485 網路與端接需求.....	2
2 網路長度、資料速率和殘段.....	3
3 適用於可切換終端和雙工切換的離散式設計.....	4
4 用於雙工切換的離散式設計.....	4
5 THVD1424 與 THVD1454 彈性 RS-485.....	5
6 附帶 THVD1424 的應用圖.....	6
7 THVD1424 四節點測試的實驗結果.....	8
8 結論.....	10
9 修訂記錄.....	11

商標

所有商標均為其各自所有者的財產。

1 典型 RS-485 網路與端接需求

圖 1-1 和 圖 1-2 各自說明了採用半雙工或全雙工配置的典型 RS-485 網路。在這些拓撲中，參與的驅動器、接收器和收發器透過網路殘段連接到主電纜中繼線。殘段是收發器和中繼線之間的電氣距離，基本上代表一條非端接匯流排線路。

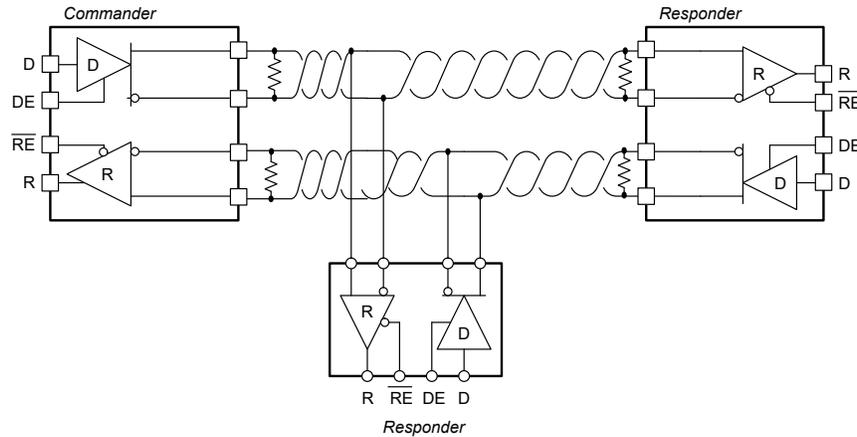


圖 1-1. 全雙工網路

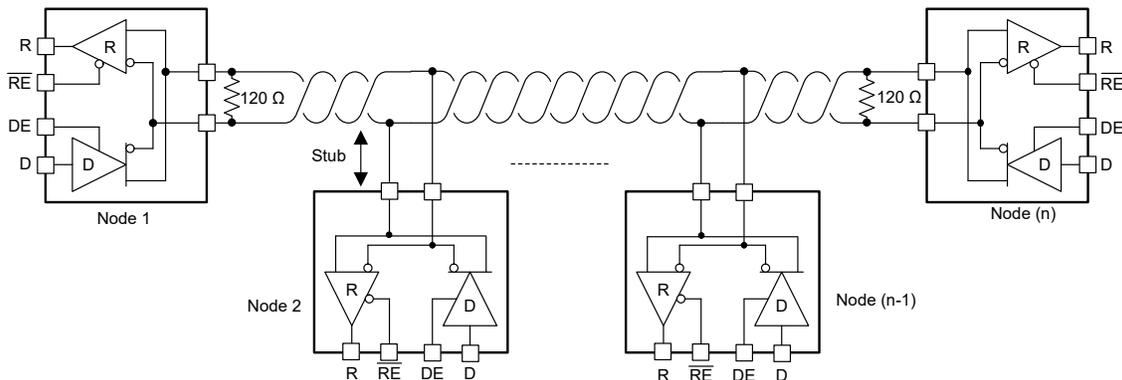


圖 1-2. 半雙工網路

全雙工實作需要兩對訊號（四線），以及具有發射器和接收器適用之不同匯流排接入線路的全雙工收發器。全雙工網路允許節點同時在一個配對上傳輸資料，同時在另一個配對上接收資料、進而達到高效率的輸送量。在半雙工網路中只使用一個訊號對時，會要求在不同時間驅動和接收資料。此配置降低了網路佈線成本（與全雙工網路相比），但代價是輸送量會降低。

市面上大多數 RS-485 收發器皆為半雙工或全雙工，表示裝置採用不同的針腳配置與封裝。這是系統設計人員為其半雙工和全雙工設計平台選擇不同裝置的第一個問題。

電子訊號藉由銅纜（實體媒介）從驅動器傳送到網路上的所有接收器。驅動網路時，驅動器 (TX) 輸出阻抗較低，而接收器 (RX) 輸入阻抗通常為千歐姆 (kΩ)。如下圖所示，每次訊號遇到阻抗不相符（例如中間節點的殘段（在點 A 和 B）或接收器輸入端子（在節點 n））時，一些訊號會被反射回來，以致干擾到匯流排上的訊號，進而使訊號品質降低。反射係數 (r) 由 方程式 1 提供。

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

其中 Z_T 是端接阻抗，Z_o 是電纜特性阻抗

根據傳輸線路原理，阻抗不相符不連續性必須限於最小化反射。為此，建議的設計做法是將殘段長度保持在最小值，並終止最遠的節點。如果訊號可以雙向傳送，則網路的兩端都需要正確端接。

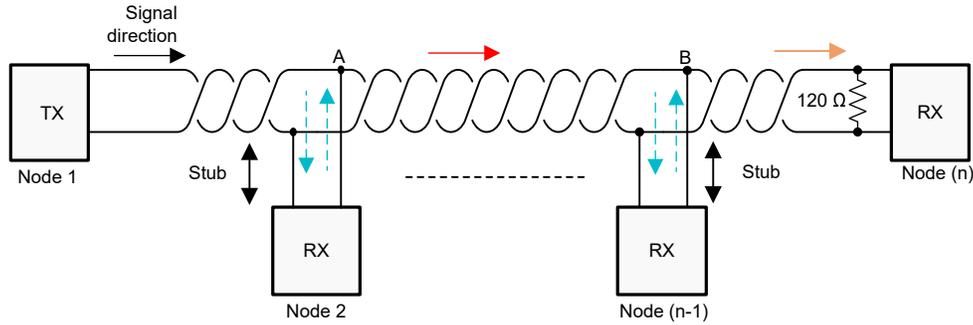


图 1-3. RS-485 網路中的訊號反射現象

匯流排端接是提升訊號品質的有效方法。如 图 1-1 和 图 1-2 所示，通常兩個終端節點都使用終端電阻進行端接，其值與傳輸電纜的特性阻抗相符。在建築自動化 (HVAC、恆溫器等) 等特定應用中，可新增或移除 RS-485 網路的節點來進行重新配置。這會導致系統設計人員遇到第二和第三個問題：終端節點的應用電路板設計必須與中間節點不同，所以技術人員需要手動干預以重新配置網路中的端接處理，因此容易發生人為錯誤，例如纜線極性反相、端接不正確等。

2 網路長度、資料速率和殘段

RS-485 標準提供了選擇最大操作資料速率和網路長度的指引，如 图 2-1 中所示。

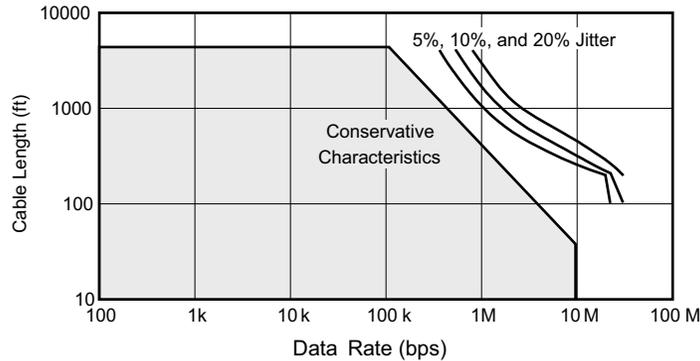


图 2-1. 纜線長度與資料速率特性

图 2-1 所示為訊號速率與纜線長度之間對應於容許抖動的反比關係。實線是指幾乎無抖動的保守估計。如果系統能承受訊號中較高的抖動 (圖中為 5%、10% 和 20% 抖動曲線)，同時仍能正確區分高低位元，則可延長網路長度。資料傳輸速率低時，纜線的 DC 電阻會限制最大通訊距離，因為纜線電阻會使訊號減弱。隨着訊號頻率增加，電纜的 AC 交流電屬性和驅動器的上升/下降時間會開始限制速度與距離的網路效能。

決定 RS-485 網路的網路長度和運作資料速率後，接下來的任務是決定最大殘段長度、以維持良好的訊號品質。以一般保守的標準來說，殘段的電力長度或來回通訊延遲時間，建議最好小於驅動器上升時間的十分之一，以提供最大實體殘段長度，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 是驅動器的 10/90 上升時間
- c 為光速 (3×10^8 m/s)
- v 是纜線或軌跡的訊號速度，以 c 為倍數
- v 是纜線或軌跡的訊號速度，以 c 為倍數

這導致系統設計人員第四個問題：為其慢速或快速的網路設計選擇不同的裝置。

3 適用於可切換終端和雙工切換的離散式設計

系統設計人員嘗試設計具有可切換終端電阻的通用 PCB，以便能在 RS-485 網路中的所有節點上使用相同的 PCB，並可使用光學繼電器驅動器如光學 MOS。光電 MOS 裝置可回應邏輯輸入訊號，並啟用或停用低電阻半導體切換開關。光學隔離使匯流排能夠處於任何不受控制訊號參考影響的共模電壓。下圖顯示此設計及延伸概念，涵蓋可切換的雙工，意即使用兩個額外的光電 MOS，而此設計可建立為半雙工或全雙工，並啟用或停用端接。

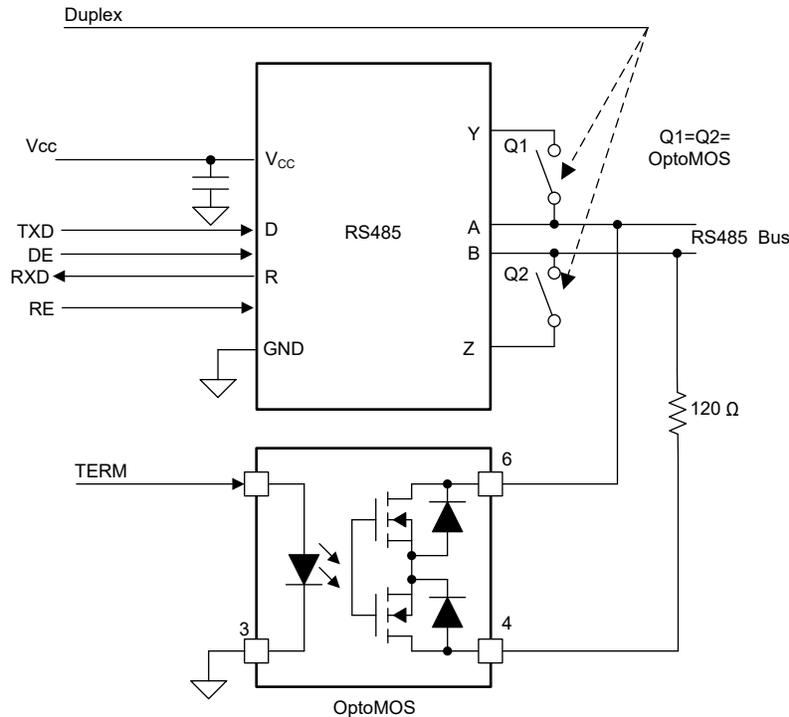
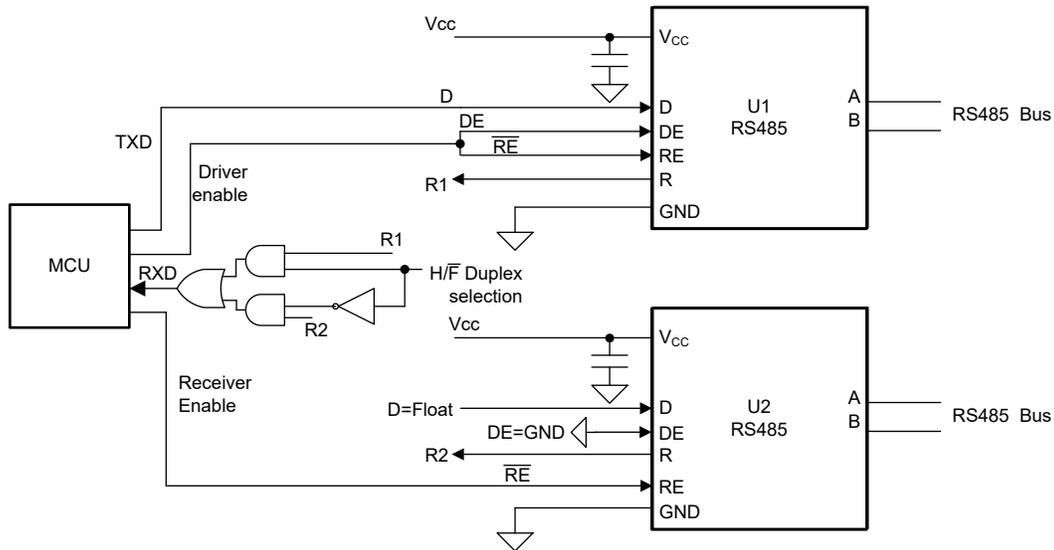


图 3-1. 適用於可切換終端和雙工切換的光電 MOS 實作

先前設計的問題在於此項佔用大量電路板空間，且價格昂貴。

4 用於雙工切換的離散式設計

可做為針腳控制的半雙工或全雙工的設計的替代離散式實作，是使用兩個半雙工收發器並建構邏輯，如下所示，以傳輸和接收雙線或四線網路的資料。



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. 雙工切換的邏輯實作

由於有兩個 RS-485 收發器和邏輯閘，因此存在設計佔用大量電路板空間的相同問題。

5 THVD1424 與 THVD1454 彈性 RS-485

前面章節中描述的所有問題，均具有一個簡單的解決方案：THVD1424 和 THVD1454。

德州儀器推出了業界首款真正靈活的 RS-485 收發器。此系列具有兩種獨特的裝置：

- **THVD1424** 具有晶片內建 120-Ω 可切換終端，涵蓋驅動器與接收器匯流排針腳、針腳控制的雙工切換與轉換率控制，可為所有類型的網路及所有節點位置啟用通用裝置。此裝置可透過配置針腳 H/F，使用於半雙工或全雙工 RS-485 網路。裝置配備電壓轉換率控制接腳 SLR，可用於將裝置設定為最大 20-Mbps 模式或限制電壓轉換率的 500-kbps 模式。終端電阻器透過 TERM_TX 和 TERM_RX 兩個接腳來控制。由於存在支援 1.65 V 至 5.5 V 的獨立 VIO 針腳，因此本裝置也能與低電壓微控制器連接。匯流排供應電壓 V_{CC} 可不受 V_{IO} 影響，並支援 3 至 5.5 V。所有功能皆以極小的熱效率封裝 16-VQFN 來進行封裝 (3-mm x 3-mm)

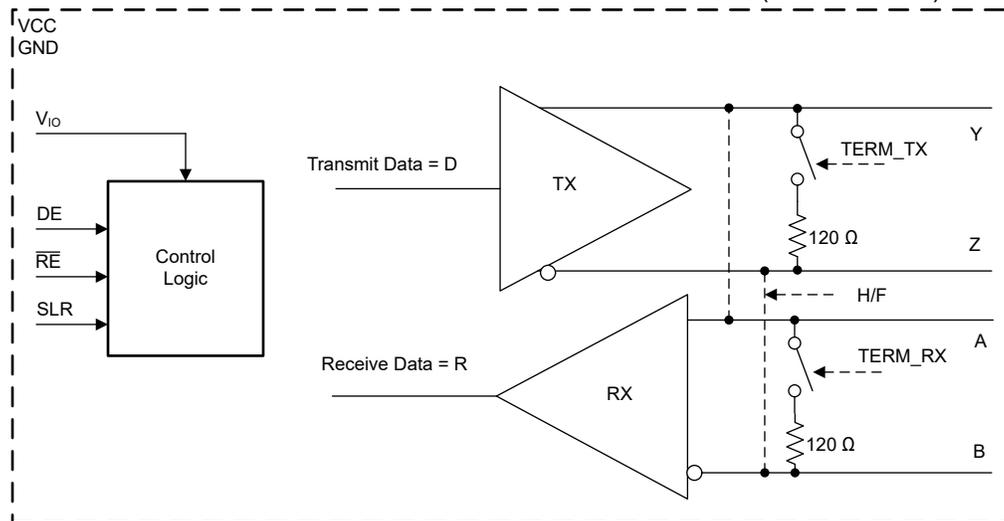


图 5-1. THVD1424 方塊圖

- 相較於 THVD1424，THVD1454 具有一個子集的功能。THVD1454 採用節省空間的 10-VSON 封裝 (3-mm×3-mm)，僅針對半雙工網路設計。此裝置也具備晶片內建 120-Ω 可切換終端，橫跨匯流排接腳和電壓轉換率控制。此裝置為正在尋求與同等競爭解決方案針腳相容的客戶，提供卓越的替代方案。

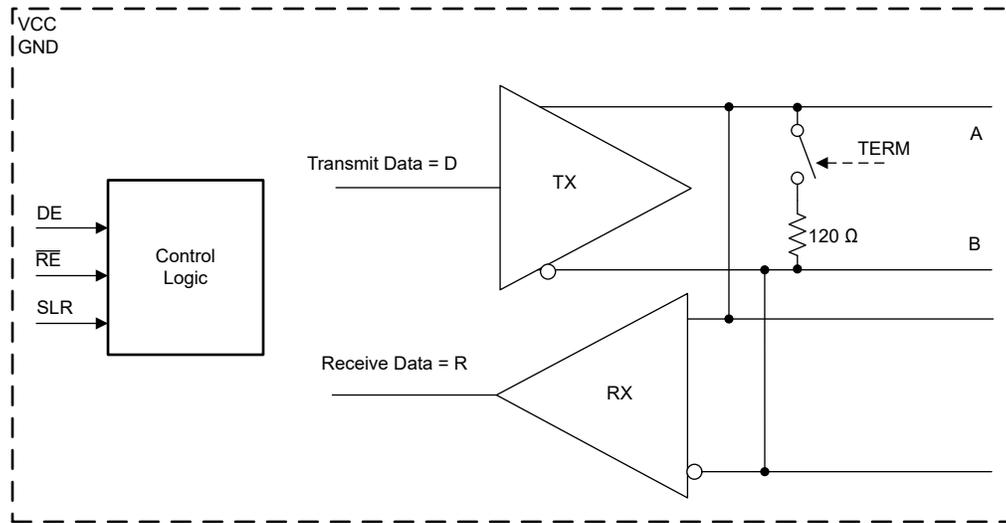


图 5-2. THVD1454 方塊圖

提供的其他獨特功能包括：

這兩種裝置提供的其他獨特功能包括：

- 匯流排針腳間的終端電阻可跨匯流排針腳啟用或停用，不受驅動器或接收器啟用/停用狀態影響。
- 端接受電源電壓 3 至 5.5 V、共模電壓 -7 V 至 12 V 以及溫度 -40°C 至 125°C 的嚴格調節。
- 裝置可在 3.3 V 或 5 V 匯流排供電下運作。
- 匯流排針腳提供 1/8 單位負載，支援匯流排上 256 個節點。
- 匯流排開路、短路或閒置條件適用的自動防故障接收器。
- 匯流排針腳上的等級 4 IEC 61000-4-2 ESD 防護：±8 kV 觸點放電/±15 kV 空氣放電。
- 適用於低速模式的接收器路徑中的突波濾波器，可濾除快速雜訊脈衝。
- 廣泛的工業溫度範圍：-40°C 至 125°C。
- 整合式防護如匯流排短路電流限制、過熱自動關機，以及供電欠電壓。

6 附帶 THVD1424 的應用圖

图 6-1、图 6-2 和图 6-3 展示 TI 的靈活 RS-485 收發器 THVD1424 的多元用途。網路圖醒目提示了 THVD1424 適用於半雙工和全雙工網路。只需使用軟體配置即可在所有節點位置複製相同的電路板設計。這也不需要人工介入，因為透過軟體就能終止重新配置。

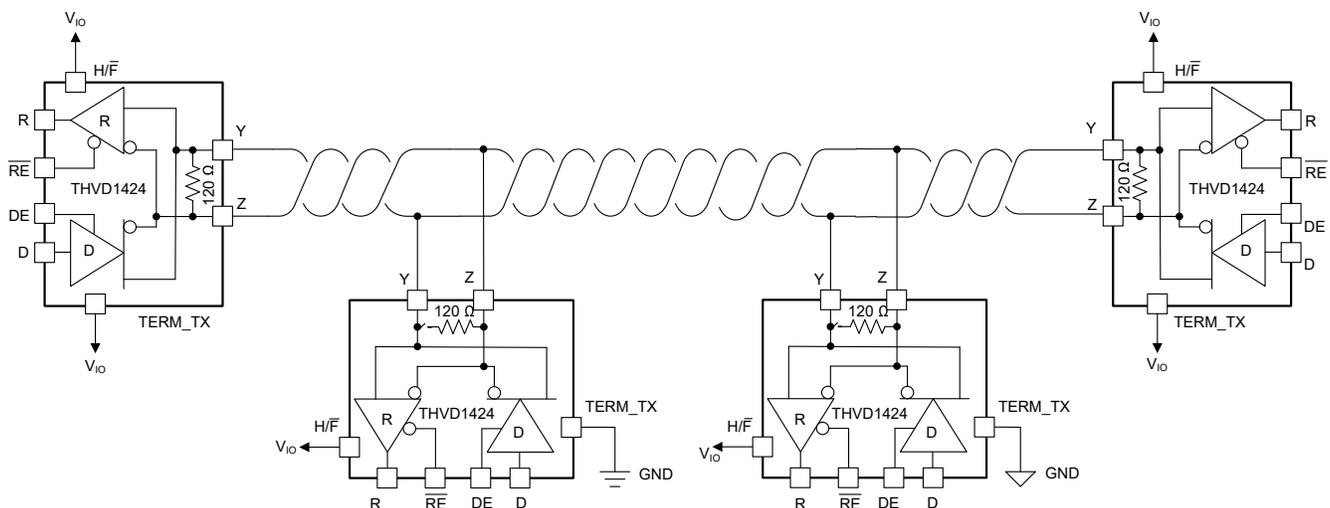


图 6-1. 使用 THVD1424 的半雙工網路

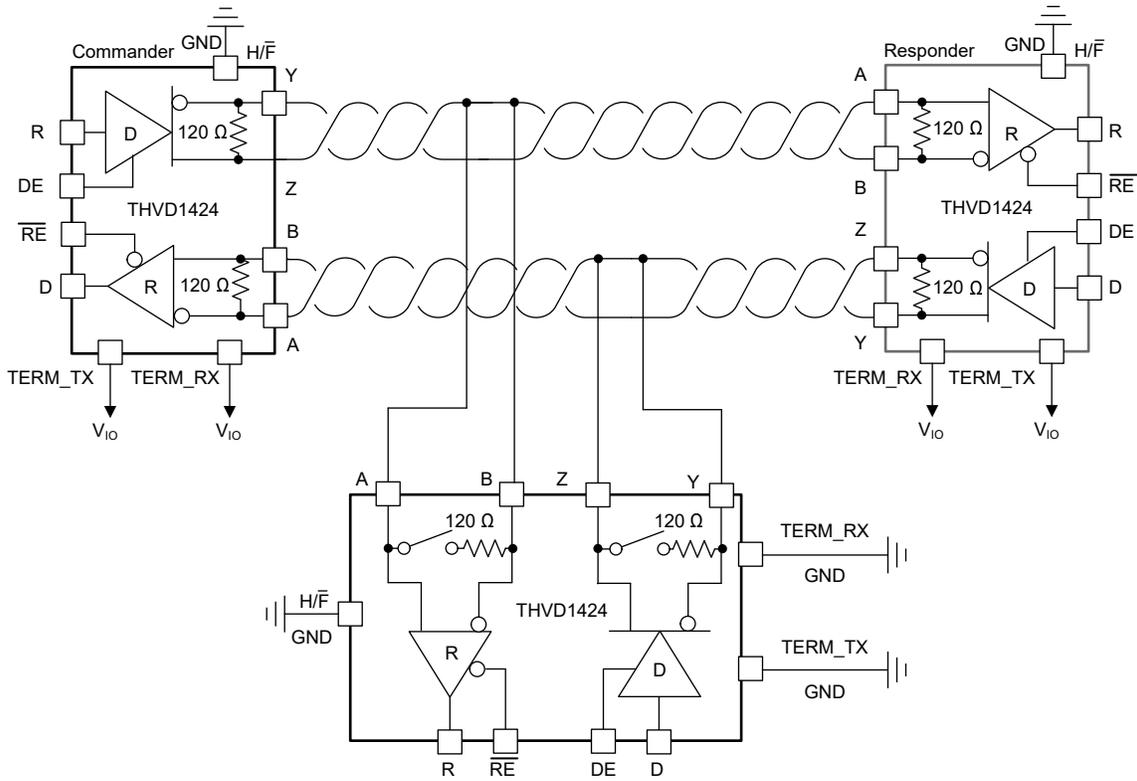


图 6-2. 使用 THVD1424 的全雙工網路

THVD1424 只需在供應針腳、VCC 及 VIO 上使用兩個 1 uF 旁路電容器運作，就能提供極精巧的多功能設計。所有邏輯針腳皆可固線供電或接地，而且可位於封裝側邊。所有四個匯流排針腳皆位於封裝的一側，以利於流通式佈線。附帶旁路電容器的裝置的三維圖像，如 图 6-3 所示。

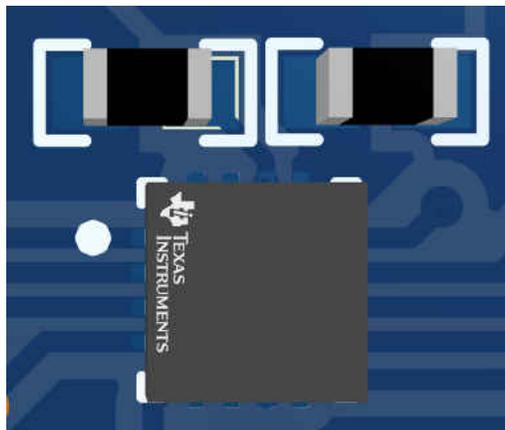


图 6-3. THVD1424 的佈線圖

7 THVD1424 四節點測試的實驗結果

使用 50 英尺雙絞線電纜和四個連接的 THVD1424 板構建了一個四節點半雙工網路，如下所示。多點網路的理想拓撲是菊輪鍊，但此處建置的網路是附帶殘段的匯流排拓撲，用於顯示長殘段使訊號品質惡化的影響。

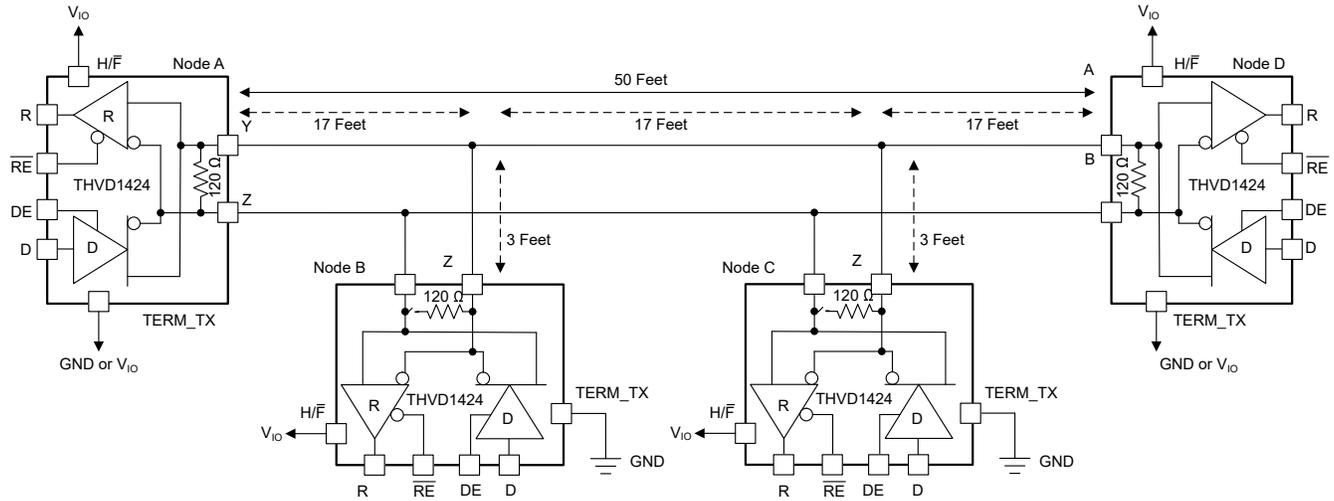


图 7-1. 利用 THVD1424 進行網路設定

每個節點都連接到 5 V，而所有節點間普遍都使用接地。節點 B 是使用函數產生器驅動，並在節點 A 上檢查匯流排波形。

情況 1：每個節點的電壓轉換率控制 (SLR) 針腳都連至接地，以檢查高速端接的影響。節點 B 以 2 Mbps 驅動

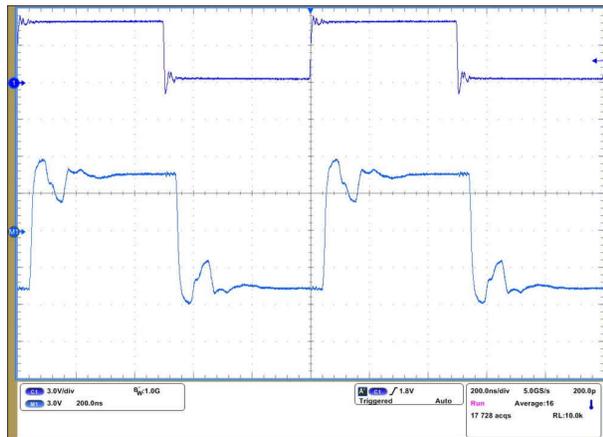


图 7-2. 節點 A 和節點 D 未端接，訊號速率為 2 Mbps

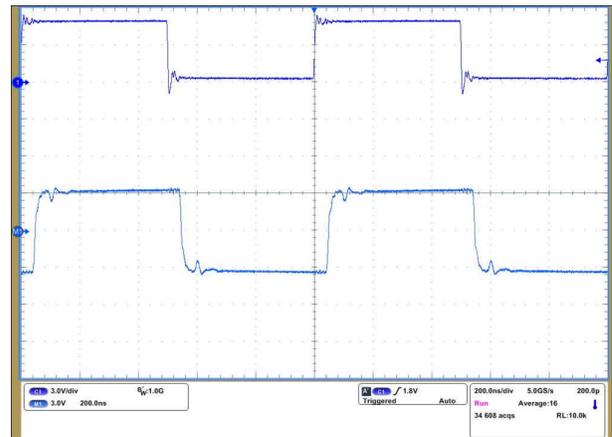


图 7-3. 節點 A 和節點 D 已端接，訊號速率為 2 Mbps

情況 2：節點 B 以 10 Mbps 驅動

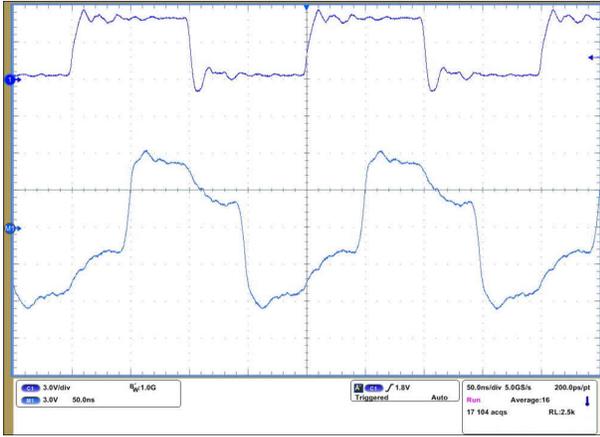


图 7-4. 節點 A 和節點 D 未端接，訊號速率為 10 Mbps

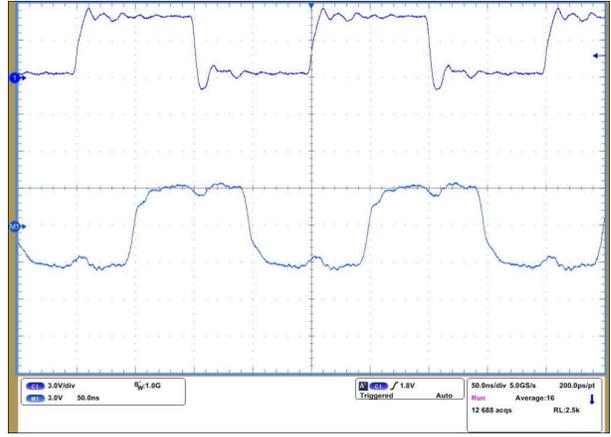


图 7-5. 節點 A 和節點 D 已端接，訊號速率為 10 Mbps

情況 3：節點 B 以 20 Mbps 驅動

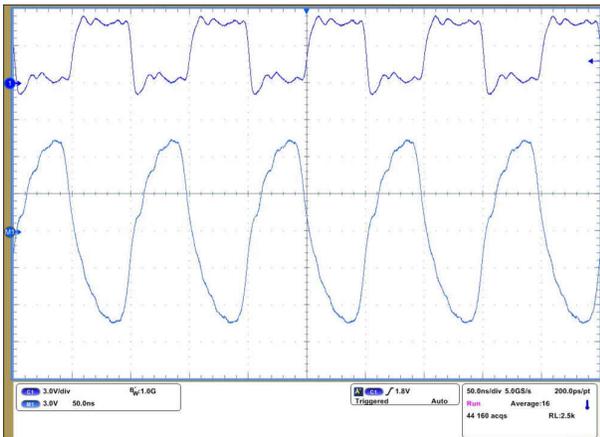


图 7-6. 節點 A 和節點 D 未端接，訊號速率為 20 Mbps

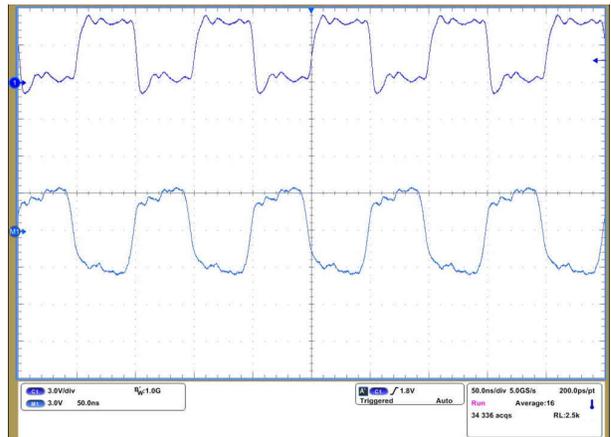


图 7-7. 節點 A 和節點 D 已端接，訊號速率為 20 Mbps

情況 4：所有節點的 SLR 針腳均為高電平，節點 B 的驅動速度為 500 kbps。

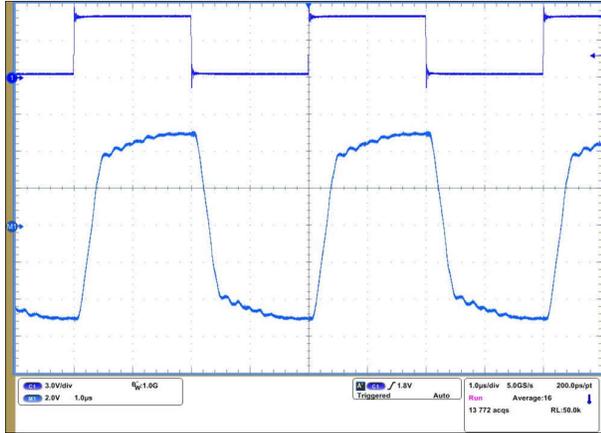


图 7-8. 節點 A 和節點 D 未端接，訊號速率為 500 kbps

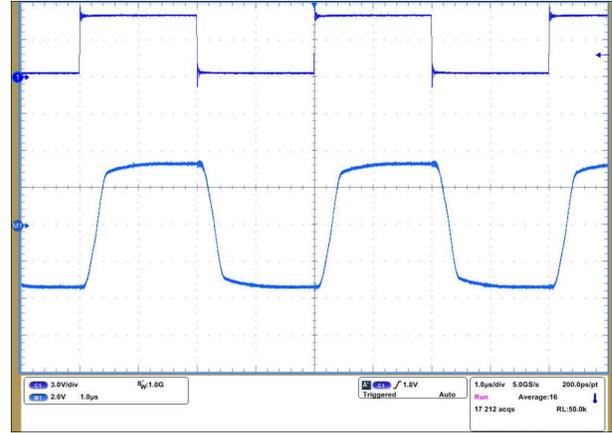


图 7-9. 節點 A 和節點 D 已端接，訊號速率為 500 kbps

如上面的波形所示，在網路兩端的端接可以透過減少反射來顯著改善匯流排波形。即使 500 kbps 的速度慢許多，在低速和在這個距離時，端接便可選用，端接仍可改善匯流排波形。

請注意：端接匯流排波形的波幅較小，這是因為卸載的驅動器差動輸出擺動更接近電源，因此大於負載的驅動器輸出。另外，殘段長度有意保持在這些轉換時間內實際網路中所遇到的長度（對於 20 Mbps 模式下設定的驅動器通常為 10 ns）。另一個注意事項是，20 Mbps 訊號速率的 50 英尺網路長度效率會因纜線的 AC 損失而稍微變差，因此即使在端接條件下也不理想。

8 結論

德州儀器的 THVD1424 和 THVD1454 裝置為 RS-485 網路的系統設計人員所面臨的常見問題提供令人信服的解決方案，而不會增加電路板空間或解決方案成本。THVD1424 是業界首款提供具真實靈活的 RS-485 收發器。系統設計人員測試並認證裝置後，即可在所有目前和未來設計平台上使用，以大幅降低開發成本、時間，並加快上市時間。為了進行快速評估，[THVD1424EVM](#) 評估模組適用於 THVD1424，[THVD1454EVM](#) 則適用於 THVD1454。

9 修訂記錄

Changes from Revision B (March 2023) to Revision C (May 2023) **Page**

- 在整個發佈過程中新增了 THVD1454 1
-

Changes from Revision A (January 2023) to Revision B (March 2023) **Page**

- 更新使用 THVD1424 的全雙工網路影像..... 6
-

Changes from Revision * (October 2022) to Revision A (January 2023) **Page**

- 更新了整份文件中表格、數字和交互參考的編號格式..... 1
 - 更新的全雙工網路影像..... 2
 - 更新的半雙工網路影像標題..... 2
-

重要聲明與免責聲明

TI 均以「原樣」提供技術性及可靠性數據（包括數據表）、設計資源（包括參考設計）、應用或其他設計建議、網絡工具、安全訊息和其他資源，不保證其中不含任何瑕疵，且不做任何明示或暗示的擔保，包括但不限於對適銷性、適合某特定用途或不侵犯任何第三方知識產權的暗示擔保。

所述資源可供專業開發人員應用 TI 產品進行設計使用。您將對以下行為獨自承擔全部責任：(1) 針對您的應用選擇合適的 TI 產品；(2) 設計、驗證並測試您的應用；(3) 確保您的應用滿足相應標準以及任何其他安全、安保或其他要求。

所述資源如有變更，恕不另行通知。TI 對您使用所述資源的授權僅限於開發資源所涉及 TI 產品的相關應用。除此之外不得複製或展示所述資源，也不提供其它 TI 或任何第三方的知識產權授權許可。如因使用所述資源而產生任何索賠、賠償、成本、損失及債務等，TI 對此概不負責，並且您須賠償由此對 TI 及其代表造成的損害。

TI 的產品均受 [TI 的銷售條款](#) 或 [ti.com](#) 上其他適用條款，或連同這類 TI 產品提供之適用條款所約束。TI 提供所述資源並不擴展或以其他方式更改 TI 針對 TI 產品所發布的可適用的擔保範圍或擔保免責聲明。

TI 不接受您可能提出的任何附加或不同條款。

郵寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2023, Texas Instruments Incorporated

IMPORTANT NOTICE AND DISCLAIMER

TI PROVIDES TECHNICAL AND RELIABILITY DATA (INCLUDING DATA SHEETS), DESIGN RESOURCES (INCLUDING REFERENCE DESIGNS), APPLICATION OR OTHER DESIGN ADVICE, WEB TOOLS, SAFETY INFORMATION, AND OTHER RESOURCES "AS IS" AND WITH ALL FAULTS, AND DISCLAIMS ALL WARRANTIES, EXPRESS AND IMPLIED, INCLUDING WITHOUT LIMITATION ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE OR NON-INFRINGEMENT OF THIRD PARTY INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS.

These resources are intended for skilled developers designing with TI products. You are solely responsible for (1) selecting the appropriate TI products for your application, (2) designing, validating and testing your application, and (3) ensuring your application meets applicable standards, and any other safety, security, regulatory or other requirements.

These resources are subject to change without notice. TI grants you permission to use these resources only for development of an application that uses the TI products described in the resource. Other reproduction and display of these resources is prohibited. No license is granted to any other TI intellectual property right or to any third party intellectual property right. TI disclaims responsibility for, and you will fully indemnify TI and its representatives against, any claims, damages, costs, losses, and liabilities arising out of your use of these resources.

TI's products are provided subject to [TI's Terms of Sale](#) or other applicable terms available either on [ti.com](https://www.ti.com) or provided in conjunction with such TI products. TI's provision of these resources does not expand or otherwise alter TI's applicable warranties or warranty disclaimers for TI products.

TI objects to and rejects any additional or different terms you may have proposed.

Mailing Address: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2023, Texas Instruments Incorporated