

Technical Article

在發射訊號鏈設計中使用差分至單端 RF 放大器的優勢



Srinivas Seshadri、Keyur Tejani 和 Carey Ritchey

傳統射頻 (RF) 發射訊號鏈通常會使用數位轉類比轉換器 (DAC) 來產生基頻訊號。隨後會使用 RF 混波器和本機振盪器，將前述訊號升頻為所需的 RF 頻率。隨著 RF DAC 技術的進步，現在可直接以所需的 RF 頻率產生訊號，大幅簡化 RF 發射訊號鏈的設計與複雜性。

高頻 RF DAC 具有平衡差分輸出，而 RF 發射鏈和天線則為單端。過去，RF 工程師使用被動式平衡不平衡轉換器和中間級 RF 增益區塊這兩種裝置來執行差分至單端 (D2S) 轉換，以及增加 RF 訊號的功率。然而，被動式平衡不平衡轉換器有多項限制，包括印刷電路板 (PCB) 佔用空間大、插入損耗高、匹配不良、增益，以及在需要於高頻寬中運作時，相位會不平衡等。RF 被動式平衡不平衡轉換器也不支援於 DC 或接近 DC 運作。

D2S RF 放大器是單體裝置，能將差分訊號轉換為單端訊號，並在高頻寬中提供增益。本文概述相較於使用傳統被動式平衡不平衡轉換器和 RF 增益區塊方法，使用 D2S RF 放大器所能提供的優勢。

圖 1 顯示將 TRF1108 D2S RF 放大器做為 DAC 緩衝器和功率放大器 (PA) 預驅動器使用的情況。

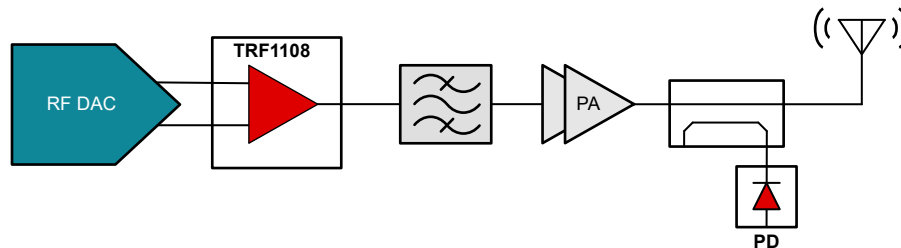


圖 1. 簡化的 RF 發射器訊號鏈，顯示將 TRF1108 差分至單端 RF 放大器做為 DAC 緩衝器和 PA 預驅動器使用的情況

在 4mm² 中的差分至單端轉換和增益

在 RF DAC 輸出執行 D2S 轉換的被動式平衡不平衡轉換器通常體積龐大且昂貴，特別當其需要為寬頻時更易有這種情況。被動式平衡不平衡轉換器的佔用空間偏大，會使 PCB 面積增加並導致 PCB 佈線較長，而這會限制 RF 性能，尤其是在搭配多通道 RF DAC 使用時更是如此。此外，寬頻被動式平衡不平衡轉換器也具有高插入損耗，需要以高性能 RF 增益區塊來補償訊號功率損失。

TRF1108 D2S RF 放大器是可執行 D2S 轉換並提供增益的單體裝置。D2S RF 放大器的頻寬涵蓋 DC 至 12GHz，可用於從 DC 至多 GHz 的寬頻 DAC 緩衝器應用。TRF1108 的 PCB 佔用空間極小，只有 2mm x 2mm，因此可縮減 PCB 面積，進而縮短佈線並提升 RF 性能。

图 2 顯示 TRF1108 的 2mm x 2mm PCB 佔用空間，可縮減所需的 PCB 面積，進而在 TRF1108 DAC39RF10 評估模組上縮短佈線並提升 RF 性能。

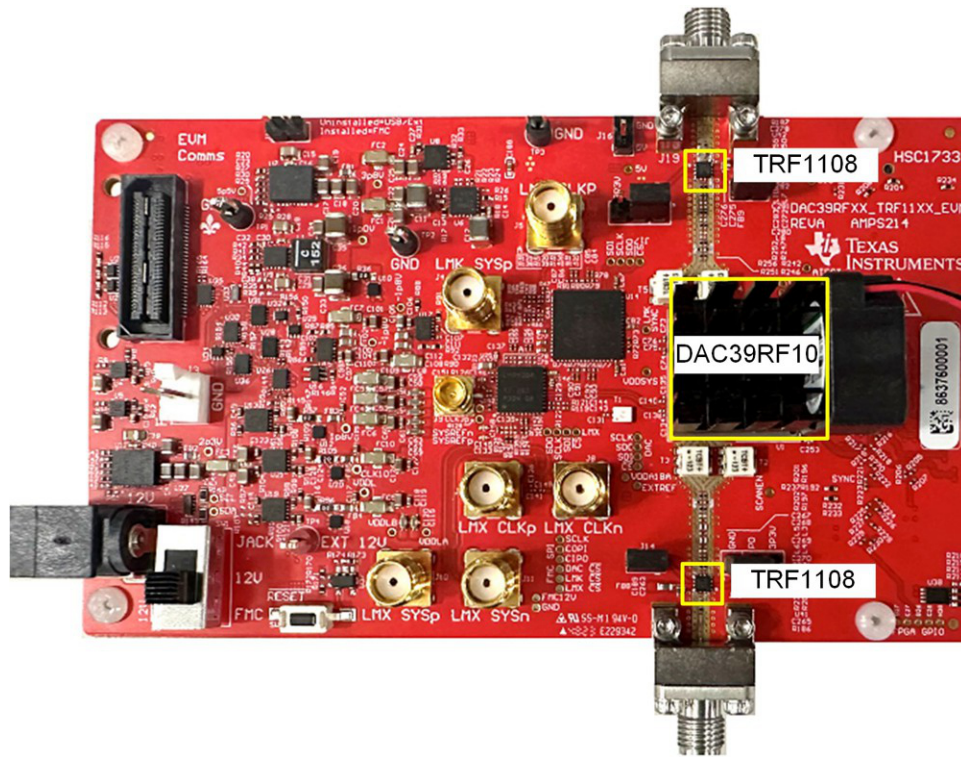


图 2. TRF1108 DAC39RF10 評估模組 (TRF1108-DAC39RFEVM)

高密度使用案例範例

雷達系統設計師可根據所需的距離、解析度和天線尺寸，選擇運作頻率。具備寬頻覆蓋範圍的 RF DAC 結合 D2S RF 放大器後，即可在對 RF 發射訊號鏈進行最少變更的情況下，將硬體設計重複用於不同頻帶應用。

結合 RF DAC 與 D2S RF 放大器，可為具備數位波束成形的高密度相位陣列雷達應用帶來眾多優勢。在這類應用中，多個 DAC 輸出會連接至多個天線，而每個天線都會發射相對於彼此為相移的 RF 訊號。多通道 RF 取樣 DAC 和收發器在單一晶粒和封裝中整合了多個 DAC。此整合有助於簡化系統設計，並縮減硬體尺寸和降低複雜性。然而，需要利用小型的高性能 D2S RF 放大器，才能有效利用這些多通道 RF DAC 所能實現的最高密度。

匹配的輸入與輸出

傳統上搭配 RF DAC 使用的寬頻被動式平衡不平衡轉換器難以維持良好的輸入與輸出回波損耗，且回波損耗也容易受到輸入與輸出終端阻抗影響。這種靈敏度會導致相關 RF 頻帶中的阻抗變化，進而讓發射訊號產生不必要的增益變動。TRF1108 的差分輸入阻抗匹配至 $100\ \Omega$ 。TRF1108 的單端輸出寬頻匹配至 $50\ \Omega$ ，可改善回波損耗，並在高 RF 頻寬間產生非常平緩的通帶響應（請參閱 图 3）。

图 4 特别指出在结合 RF DAC 时，TRF1108 的匹配输入与输出如何在 100MHz 至 8GHz 间实现平缓的通带响应。

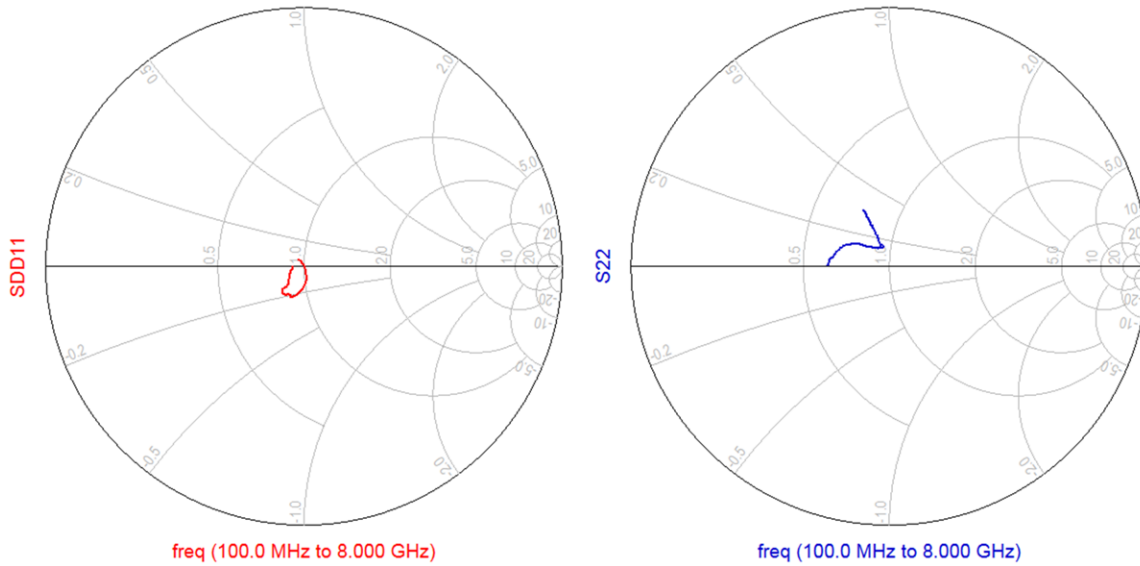


图 3. TRF1108 输入和输出 S 参数的史密斯图

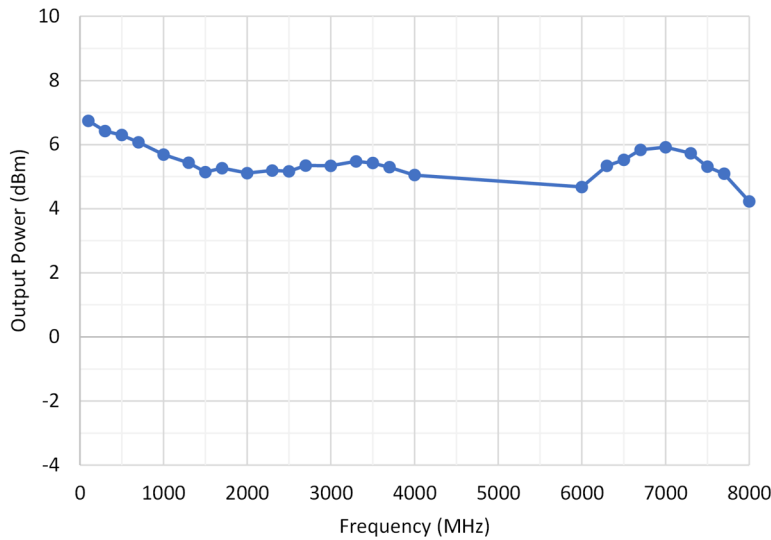


图 4. 从 100MHz 至 8GHz 的 TRF1108 DAC39RF10 频率响应

针对性能最佳化

宽频被动式 RF 平衡不平衡转换器的插入损耗高，这会降低 RF DAC 的最大讯号功率位准。需要将单端高性能 RF 增益区块搭配被动式平衡不平衡转换器使用，以补偿其插入损耗，并提高 RF 讯号的功率位准。单端 RF 增益区块的二阶非线性性能通常较差，且当讯号频宽涵盖多个倍频程时，无法滤除造成的失真。此外，宽频平衡不平衡转换器的不良增益和相位不平衡，也会导致进一步不平衡，进而降低 RF 讯号的二阶非线性。

TRF1108 等 D2S RF 放大器整合了回馈技术，有助于改善增益和相位不平衡性能。相较于单端 RF 增益区块，输入的差分本质可改善二阶失真。TRF1108 D2S RF 放大器可为多倍频程 RF 发射应用提供较佳的二阶非线性。

結論

RF DAC 的技術進步，協助在雷達、軟體定義無線電以及 RF 測試與測量設備中實現靈活的寬頻 RF 應用。在多通道 DAC 和 RF 取樣收發器中整合多個 RF DAC 後，簡化了發射訊號鏈設計，並且也降低了多發射 RF 和相位陣列應用對大規模 PCB 面積的需求。

如 [TRF1108](#) 等 D2S RF 放大器可提供從 DC 至 12GHz 的 RF 訊號頻寬。其可讓 RF DAC 的高 RF 頻寬和性能更為完善。[TRF1108](#) 是單晶片 D2S RF 放大器，可改善經典被動式平衡不平衡轉換器和 RF 增益區塊。其可提供較小的 PCB 面積、較短的 RF 佈線長度、較佳的匹配，以及經強化的性能。如此即可實現更高的密度、更佳的性能，以及靈活的 RF 發射設計。

其他資源

- 如需更多有關 D2S RF 放大器的技術資訊，請查看應用說明：「[採用 Xilinx RFSoc 資料轉換器的 TRF1208、TRF1108 主動式平衡不平衡轉換器介面](#)」。
- 閱讀我們的類比設計期刊文章：「[平衡不平衡轉換器對 RF DAC 二次諧波的影響](#)」。
- 前往 TI.com 訂購 [TRF1108EVM](#) 並立即開始使用。
- 查看 TI 的 [RF 與微波產品](#)。

註冊商標

所有商標皆屬於其各自所有者之財產。

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 © 2024, 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 © 2024, Texas Instruments Incorporated