

適用於隔離式 ADC 訊號鏈解決方案的低 EMI 設計

Dr. Ralph Oberhuber

Precision Analog-to-Digital Converters

簡介

現今使用的電子裝置數量不可勝數，加上這些裝置的體積尺寸越來越精小，使電磁干擾 (EMI) 成為電路設計人員的主要課題。用於通訊、運算和自動化的電路需要在接近 [1] 的範圍內執行。產品也必須符合政府電磁相容性 (EMC) 法規。幾乎每個國家/地區都對其境內行銷或銷售的電子產品的 EMC 進行管制。在美國，聯邦通信委員會 (FCC) 設立法規來規範所有商業 (非軍事) 電磁輻射源 [2]，並在美國國家標準協會 (ANSI) 的標準 C63.4 [3] 中定義輻射和傳導 EMI 測試程序。歐盟 (EU) 國家/地區對電磁排放和電子裝置抗擾性進行了監管；電磁相容性指令 [4] 基本上規定設備必須符合 EMC 的統一標準，並據以進行測試和標籤。

有大量的 EMC 標準與各種類型的設備息息相關。例如，國際電工委員會 (IEC) 61000 標準涵蓋大多數商用產品的抗擾性要求，而國際無線電干擾特別委員會 (CISPR) 32 標準則規定傳導與輻射排放的限制 [5]。表 1 列出了相關產品領域的 CISPR、歐洲規範和 FCC 標準。美國和歐盟以外的許多其他國家/地區指定須符合 FCC 或 EU EMC 要求，或訂立他們自己的規範。美國和歐洲以外國家/地區的法規通常類似於 FCC 或歐盟規定 [6]。

產品部門	CISPR 標準	EN 標準	FCC 標準
車用	CISPR 25	EN 55025	-
多媒體	CISPR 32	EN 55032	第 15 部分
工業、科學、醫療	CISPR 11	EN 55011	第 18 部分
家用電器，電動工具及其它類似產品等	CISPR 14-1	EN 55014-1	-
照明設備	CISPR 15	EN 55015	第 15 和 18 部分

表 1. 輻射和傳導式排放的主要產品標準摘要 [5]。

在考慮智慧電表等特定類型設備時，低 EMI 要求變得更加明顯。智慧電表是未來能源分配的極重要的一環。智慧電表能為公用事業和最終用戶提供即時用量數據，幫助用戶

人監控能源使用情況，同時免除了挨家挨戶抄電表數據的麻煩。大多數智慧電表是透過無線 M-Bus 或 ZigBee 等無線通訊 [7] 進行連線，或是連接行動電話網路 (GSM、LTE cat NB1- NB2- NB2、2G/3G/5G)。如 圖 1 中所示，智慧電表包含射頻 (RF) 發送器電路，通常位於與電能計量 (計量學) 電路板相同的外殼中。務必儘量減少計量電路的輻射排放，以避免干擾射頻通訊，因為射頻通訊能以 800MHz、900MHz、1,800MHz、2,100MHz 或 2,700MHz 等頻率運作。計量電路還需要抗電磁敏感性 (能夠承受無線通訊的電磁能量)，以避免射頻雜訊注入敏感電能量測前端時出現計費錯誤。

本文說明 EMI 來源 (特別指輻射排放) 並呈現一些將類比訊號鏈 EMI 最小化的技術，其中包含詳細佈局範例與量測結果。

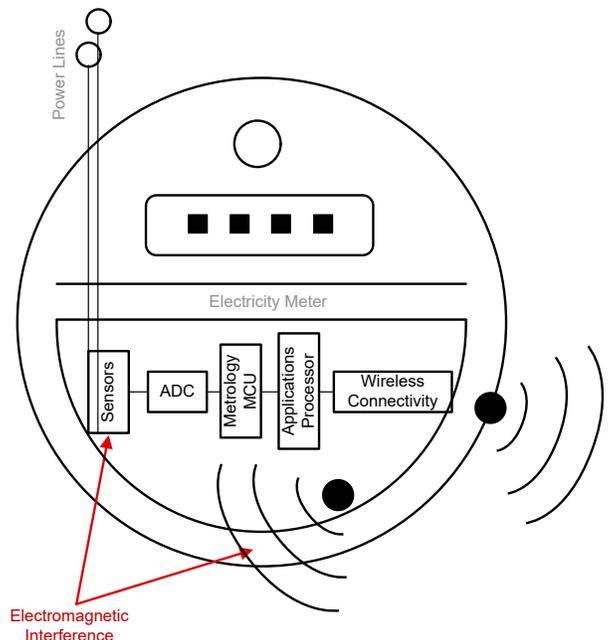


圖 1. 具備射頻功能的智慧電表。

EMI 來源和輻射排放

EMC 是指電氣系統在有 EMI 的情況下在其預定環境中正常工作的能力，並且不會成為超出相關標準 [1] 規定限制的電磁環境干擾源。

EMI 可以輻射或傳導。輻射干擾以無線電波的形式傳輸，也稱為 RF 干擾。傳導式干擾來自於傳輸訊號與電源之纜線電流所產生的磁場。

本文的重點是儘量減少輻射排放。在印刷電路板 (PCB) 或安裝在 PCB 上的積體電路 (IC) 內部，部分輻射排放的主要來源包括：

- 時脈號等切換訊號，並在數位訊號轉換期間快速變更電壓位準。這是因為訊號中的高頻元件所造成。切換和時脈訊號是 IC 內部和當中之各種零組件運作同步化的重要關鍵。
- 切換穩壓器和其他零組件，會導致電流透過電源線快速變化。
- 輸入/輸出緩衝器，尤其是與高速介面相關的緩衝器，如 USB、HDMI 或乙太網路，因為它們可處理高速訊號轉換。

- IC 內部電路中以高於基頻訊號的頻率產生的非線性行為所建立的諧波。
- IC 互連及架構中的寄生電容、電感與電阻。
- 靜電放電 (ESD) 事件會觸發 ESD 保護電路。

圖 2 說明 TI 的 AMC131M03 電氣隔離類比轉數位轉換器 (ADC) [8] 以及因內部架構和 PCB 連接而產生的主要輻射排放源。ADC 用於三相能源計量應用，且 圖 2 顯示單相 (相位 A) 的電路。訊號鏈設計用於擷取電壓和電流測量值以進行能量監測 [8]。ADC 通道 0 使用分流電阻測量相位電流，通道 1 透過電阻分壓器 [8] 測量相位電壓。最相關的排放源是內部切換 DC/DC 轉換器 (a 在 圖 1 中)，會在高壓側 [8] 中產生隔離電源。輻射排放的第二高源是數位字隔離 (b 在 圖 2 中)，因為是透過堆疊式電容器屏障 [8]、[9] 使用高頻開/關鍵控傳輸進行實作。此外，時脈訊號在寬頻率範圍內發射輻射，例如 ADC 調變器時鐘 CLKIN (c 在 圖 2 中) 以及 ADC 和微控制器 (d 在 圖 2 中) 之間的數位通訊介面。

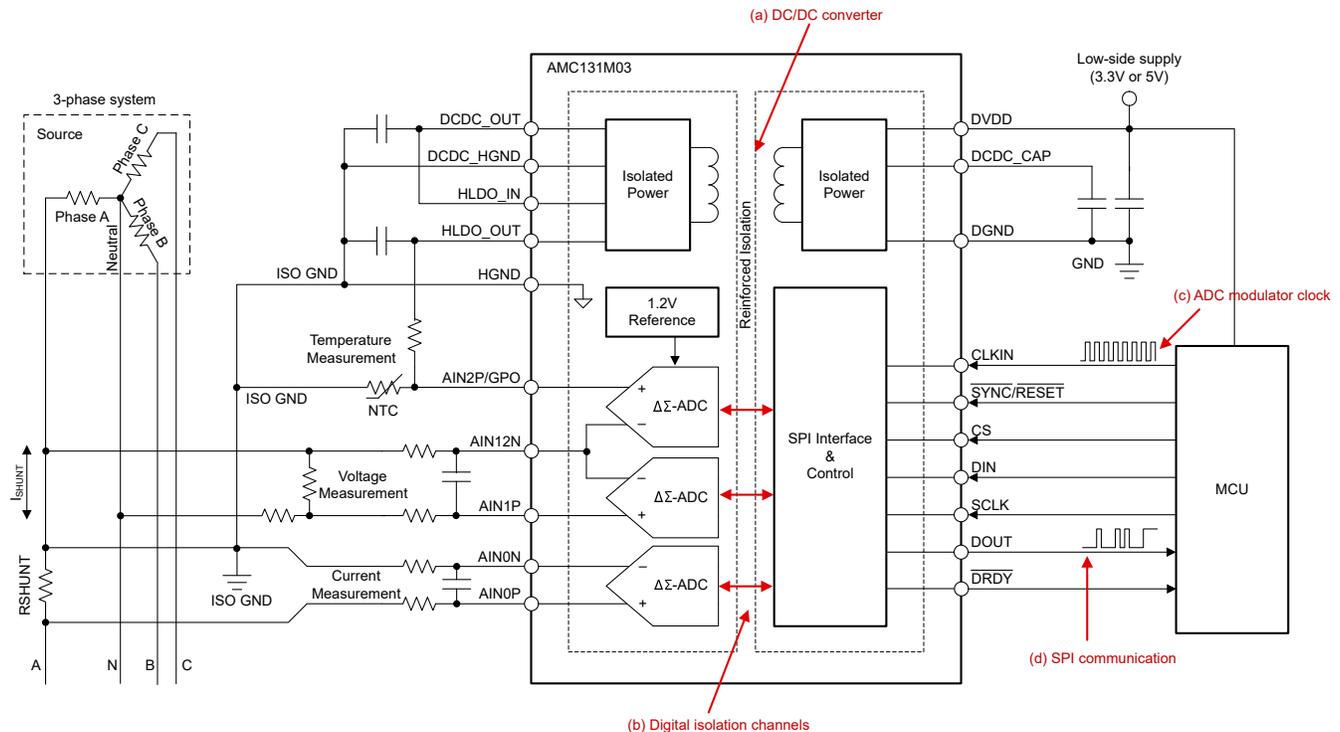


圖 2. 含隔離式 ADC 和輻射排放來源的類比訊號鏈。

將 EMI 降到最低的技术

將 EMI 降到最低的幾種常見的 PCB 設計技術，也會在參考文件 [1]、[10]、[11] 中詳細說明：

- 正確接地。這是減少輻射排放的最有效方式之一。小心接地可避免接地環路用作天線。使用接地面也有助於減少迴路區，並為訊號提供傳回路徑，進而降低 EMI 的潛在性。但在其他情況下，接地面可能會在敏感節點上建立天線，並增加輻射排放 (請參閱圖 5 中的特定範例)。
- 元件置放。以最小化訊號走線長度的方式置放元件，特別是對於高速訊號。將數位和類比零組件分開，以避免干擾。
- 直線、短軌路由。以直線路由高速走線並保持最短，可將 EMI 的潛在性降到最低。此外，請注意避免在走線中產生直角，以免造成反射及訊號損失。
- 使用去耦電容器。去耦電容器可為接地的高頻雜訊提供短傳回路徑。將去耦電容器置放在儘可能靠近 IC 的電源供應針腳的地方。

- 受控阻抗。控制訊號走線的阻抗符合來源和負載的阻抗，有助於防止可能導致輻射排放的訊號反射。
- 屏蔽。有時，在 PCB 的某些區域使用金屬屏蔽或屏蔽材料可防止輻射排放。
- 使用濾波器。濾波器可阻擋造成輻射排放的特定頻率，在電源供應電路中尤其實用。
- 層疊。在多層 PCB 中，請注意以最小化 EMI 的方式排層。一般而言，在電源層和接地層間交替是較好的做法，因為這有助於減少迴路區，並為訊號提供傳回路徑。地面上層與底層可做為內部訊號層的屏蔽場，例如產生輻射放射的時脈。
- 避免時脈諧波。時鐘訊號會產生干擾電路其他部分的諧波。展頻技術可幫助將這些諧波散播出去，並降低其影響。
- EMI 模擬。輻射式排放模擬工具可以幫助預測和最小化 PCB 設計階段本身的 EMI [12]、[13]。

圖 3 是圖 2 中導入的類比訊號鏈詳細電路圖。

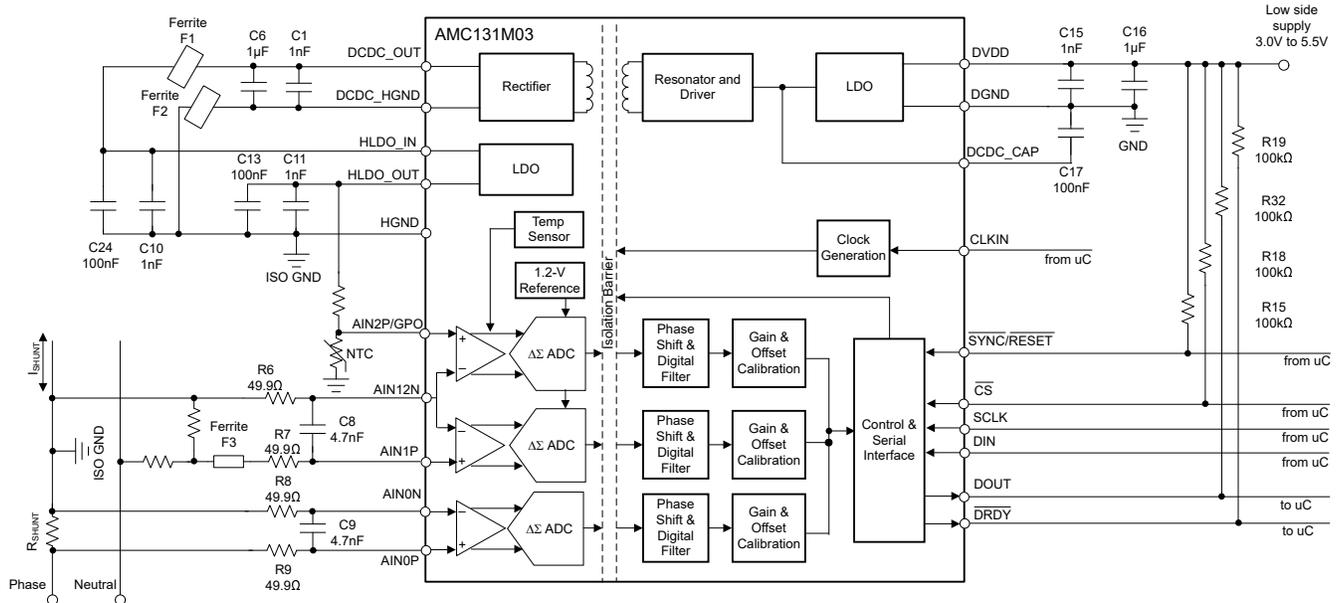


圖 3. 圖 2 中類比訊號鏈的詳細電路圖。

圖 4 而且 圖 5 說明在 AMC131M03 對應 PCB 佈局中採用輻射減排技術的應用。圖 4 顯示「良好」佈局，保留高電壓域中 ADC 輸入和電源路由的短路軌跡 (AMC131M03 佈

局左側的 PCB 區域)，並置放旁路電容器 C1、C6、C8、C9、C11、C13、C14 和 C24 靠近 IC。

降低 EMI 時，隔離式接地節點 ISO_GND 的接地系統是一個重要層面。最小化軌跡長度，而不將接地面置於高電壓

域中，可將此節點上的天線降至最低，進而將輻射發射降至最低 [14]。鐵氧體磁珠 F1 和 F2 插入電源連接 DCDC_OUT 和 DCDC_HGND，以阻擋高頻雜訊。您也可在過度輻射排放的頻率 (視 PCB 設計而定) 以與電壓量測

的電阻分壓器串聯置放額外具有高阻抗的鐵氧體磁珠 (F3)。

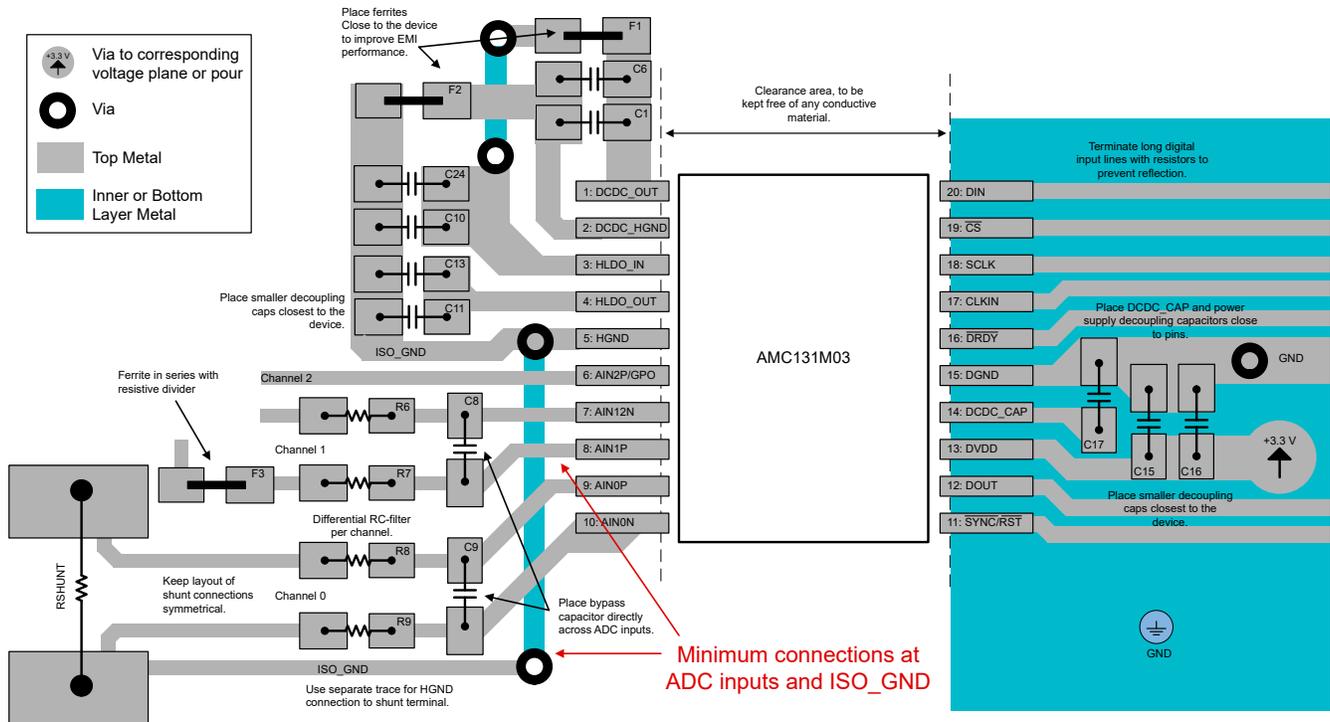


圖 4. 良好的 PCB 佈局 (低 EMI)。

圖 5 說明「不良」佈局，顯示連接至 ISO_GND 節點的接地面，此方式可做為天線使用，並可大幅增加輻射排放 [14]。

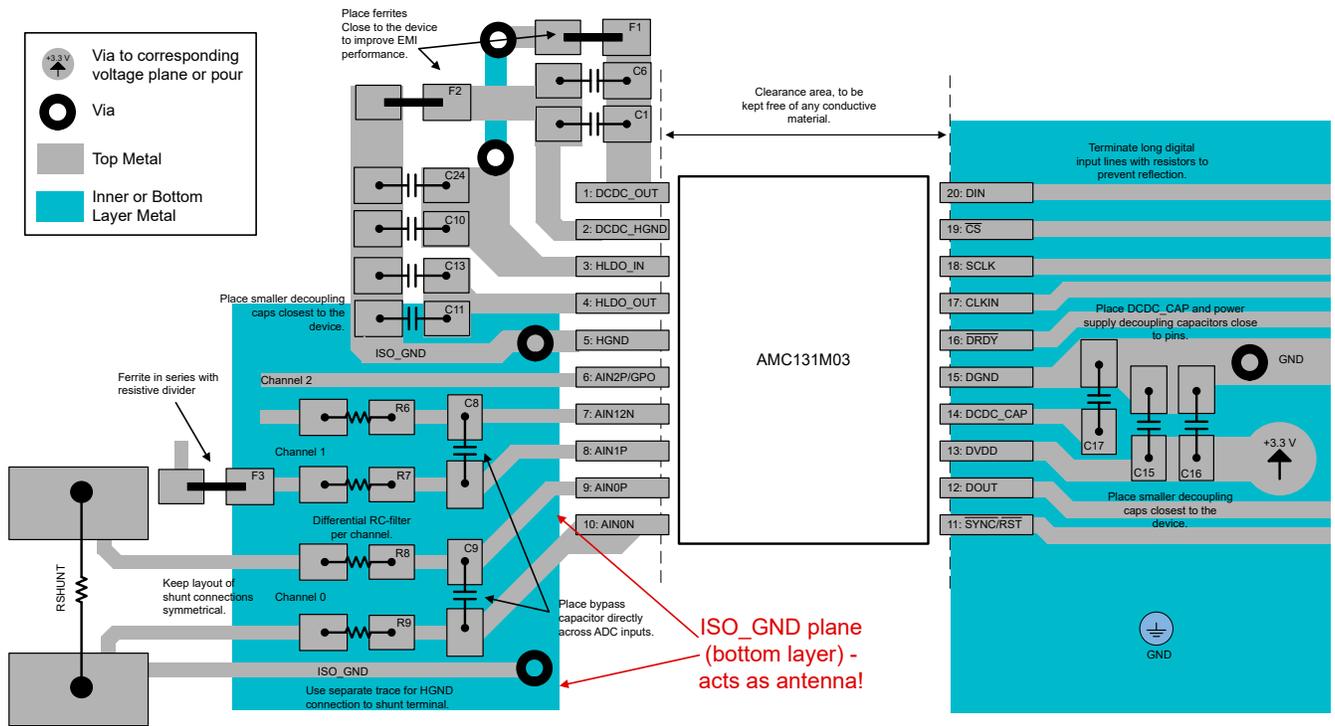


圖 5. PCB 佈局不良 (高 EMI)。

圖 6 和 圖 7 展示使用圖 4 中描述的佈局實現對 AMC131M03 PCB 進行的輻射發射量測。量測結果採用配置為 3m 距離的水平和垂直偏移的寬頻天線，符合半回波室中的 CISPR 11 要求。ADC 正在 CLKIN 接腳接收連續時脈，並且正在產生轉換結果。但是，當排放曲線特徵時，沒有序列周邊介面通訊。此設計符合 CISPR 11 Class A 與 Class B 標準與 13dB 容限，為具備資料與電源強化隔離功能的 ADC 提供市面上最低輻射排放性能。

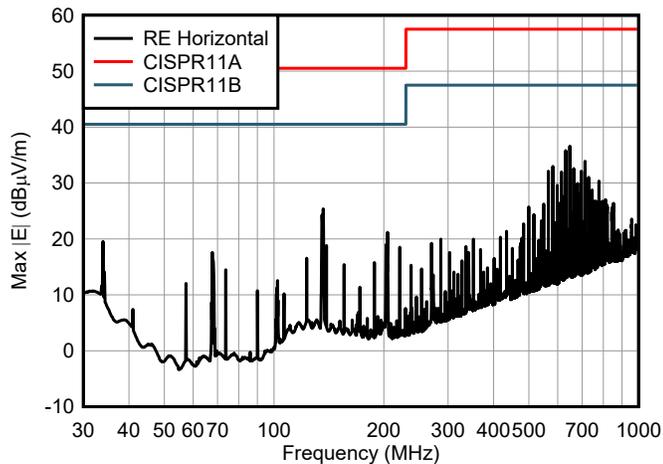


圖 6. 水平輻射排放 CISPR 11 量測。

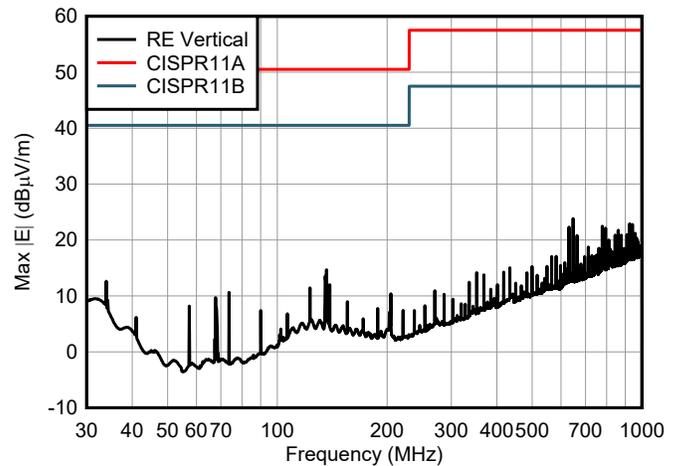


圖 7. 垂直輻射排放 CISPR 11 量測。

結論

為了確保電子電路完全按照設計執行，必須保護電路免受 EMI 影響。同時，電路本身不得發射會威脅或降低其他設備性能的輻射。要符合 EMC 標準規範，需要提供四種個層級的 EMI 保護：元件層級、電路板層級、系統層級和整體系統層級 [15]。

這裡介紹的技術可將 PCB (電路板) 設計層級的 EMI 降至最低，並且很容易應用於實際範例，即用於電量計量之具

有增強隔離 [16] 功能的一流精密 ADC 訊號鏈。在使用建議的 EMI 降低技術進行縝密的設計時，這個設計可為相關 EMC 標準實現足夠的裕度 [17]。

參考

1. Ott, Henry W. 2009. 「電磁相容性工程」。紐澤西州霍博肯：John Wiley & Sons.
2. **第 15 部分 – 射頻裝置**。FCC Title 47, Chapter I, Subchapter A. FCC：華盛頓特區，2024 年 1 月 11 日。
3. **美國國家標準 9 kHz 至 40 GHz 範圍內低壓電氣及電子設備射頻雜訊輻射排放測量法**。IEEE C63.4-2009. 紐澤西州皮斯卡特維，2009 年 9 月 15 日。
4. **歐洲議會和理事會 2004 年 12 月 15 日關於成員國電磁相容性相關法律近似的指令 2004/108/EC 和廢除指令 89/336/EEC**。歐盟官方公報。比利時布魯塞爾，2004 年 12 月 31 日。
5. 德州儀器：**電源供應器傳導式 EMI 規格概要**。
6. LearnEMC.com. n.d. **EMC 法規**。2024 年 1 月 14 日存取。
7. Envocore.com. n.d. **智慧電表如何通訊？** 2024 年 1 月 14 日存取。
8. Texas Instruments. n.d. **AMC131M03 三通道、同步取樣 24 位元隔離式 Delta-Sigma ADC**。2024 年 1 月 14 日存取。
9. 德州儀器：**以可靠且經濟實惠的隔離技術解決高電壓設計難題**。
10. Altium.com. n.d. **降低 EMI 的 PCB 設計技術**。2024 年 1 月 14 日存取。
11. Analog Devices (Maxim Integrated). **EMI 防護的實用層面**。教學課程 1167，2002 年 8 月 21 日。
12. Remcom. n.d. **電磁模擬軟體**。2024 年 1 月 14 日存取。
13. Cadence. n.d. **Clarity 3D 瞬態求解器**。2024 年 1 月 14 日存取。
14. 德州儀器：**衰減 AMC3301 系列輻射排放 EMI 的最佳實務**。
15. Electronic Design. n.d. **符合電子系統的 EMI 標準**。2024 年 1 月 14 日存取。
16. 德州儀器：**高電壓強化隔離：定義及測試方法**。
17. 德州儀器：**了解數位隔離器的電磁遵循測試**。

重要聲明：本文所述德州儀器及其子公司相關產品與服務經根據 TI 標準銷售條款及條件。建議客戶在開出訂單前先取得 TI 產品及服務的最新完整資訊。TI 不負責應用協助、客戶的應用或產品設計、軟體效能或侵害專利等問題。其他任何公司產品或服務的相關發佈資訊不構成 TI 認可、保證或同意等表示。

所有商標均為其各自所有者的財產。

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