

Technical Article

使用交錯式接地面來改善隔離式電源的雜訊過濾



Josh Mandelcorn

傳統上，汽車電子元件通常是由啟動車輛的 12V 鉛酸電池供電。即使在發電機運作中而電池纜線斷開的情況下，電壓可能會飆高至 42V，但仍在 60V_{DC} 以下的超低電壓 (SELV) 安全範圍內。因此我們不需擔心導電印刷電路板 (PCB) 的佈線間距，去避免汽車電路產生觸電危險。

由於電動車 (EV) 馬達運作需要較高的電壓 (400V 或 800V)，因此現在汽車應用中就會考慮觸電危險。AC 主電源相連電路和公共電力的 SELV 電路之間的邊界所採用的嚴格間距，也同樣適用於與電動車高壓電池相連電路和使 12V 系統 (例如資訊娛樂系統和車身電子元件，多為照明) 運作的 SELV 電路之間的邊界。

不符 CISPR 25

在高電壓 EV 電池牽引逆變器中驅動高功率半導體開關所需的許多偏壓電源，皆由低電壓 12V 系統供電。問題是，這些隔離式電源供應器將大量共模雜訊泵送至 12V 汽車電池線路，這並不符合汽車國際無線電干擾特別委員會 (CISPR) 25 規定的傳導式排放限制 (此限制提高到 108MHz)。此雜訊主要由偏壓電源隔離變壓器的主要與次要繞組間的主要切換波形電容耦合驅動。在主要接地和次要接地之間具有高突波電壓額定值 (Y 電容器) 的旁路電容器會建立一個小迴路，可大量容納這種共模雜訊，而電池線路的共模濾波則進一步降低雜訊，進而符合 CISPR 25 限制。

車用電路的間距要求

高電壓 EV 電池與大多數傳統車用電路低電壓 12V 電池系統間的強化間距一般以 8mm 為目標。這將涵蓋 400V_{RMS}、污染等級 2 和材料群組 III；或 800V_{RMS}，同樣污染等級 2，但材料群組為 I。關於間距要求的更多詳情，請參閱國際電子電機委員會 (IEC) 60664-1 標準「絕緣協調，適用於具備低壓供電系統的設備 - 第 1 部分：原則、要求與測試」。

符合多層 PCB 爬電距離和間隙要求

IEC 最嚴格的間距要求制定原因是暴露於受污染空氣表面 (爬電) 的高電壓崩潰，以及空氣本身的擊穿或電弧 (間隙)。在橋接主要-次要屏障的元件 (如變壓器或集成電路 (IC)) 內，以及在沒有暴露於空氣或濕氣的多層 PCB 內層中，只要屏障能夠承受幾千伏特高電位測試，間距要求就會低得多。強化屏障應用中使用的 IC 通用測試等級為 5kV，允許四層或四層以上 PCB 的內層具有交錯式主要和次要接地。內層也有間距要求，但比暴露層的要求低得多。在部分應用中，800V 電池系統有 1mm 間距即可。

隔離式 DC/DC 轉換器示範

我們製作了兩塊電路板，展示我們 [UCC12051-Q1](#) 隔離式 DC/DC 轉換器排放性能與 CISPR 25 Class 5 限制的比較。此轉換器專為典型電池線路電磁干擾濾波器在 100mA 下負載 5V 輸入及 5V 輸出所設計。一塊電路板 (未發佈) 全部四層的主要和次要之間有 8mm 間距，另一個電路板 ([適用於汽車 CISPR 25 Class 5 排放的隔離式 5V 偏壓電源，參考設計](#)) 的兩個內層交錯主要和次要接地，兩種接地的間距為 1mm。從主要接地到次要接地的額外有效電容預估為 11pF。UCC12051-Q1 內的隔離式轉換器在 8MHz 下切換，以確保符合 CISPR 25 的第一個頻率是 32MHz 下的第四個諧波。

圖 1 是隔離式 5V 參考設計電路圖的片段，此電路圖顯示 IC 隔離式轉換器，搭配主要接地到二次接地的電容器以容納轉換器隔離變壓器產生的高頻雜訊。未發佈的電路板與隔離式 5V 參考設計相同，但缺少 PCB 層交錯。

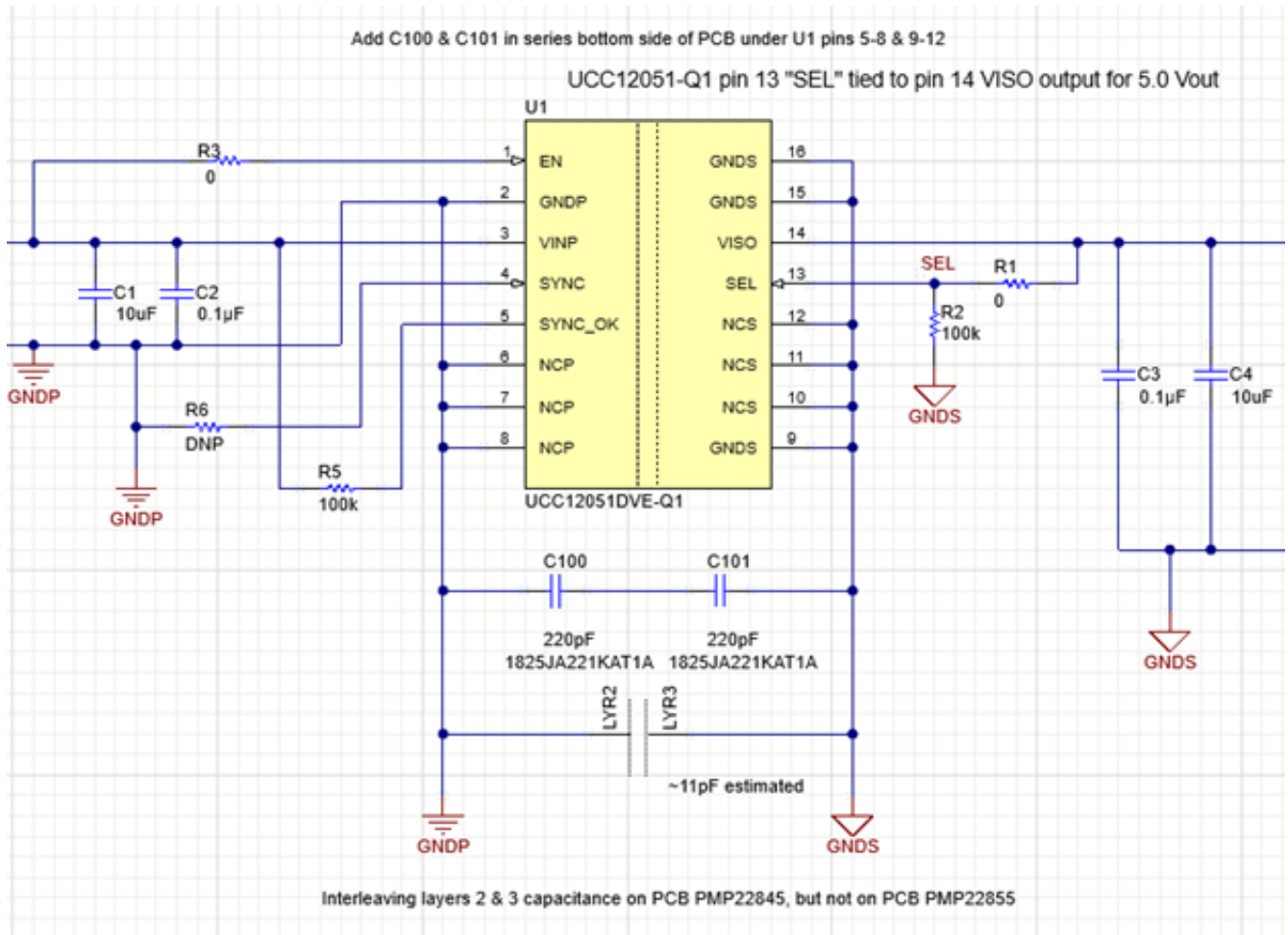


图 1. 隔離式 5V 參考設計中 DC/DC 轉換器的主要和次要介面顯示新增的旁路電容器 C100 和 C101，以及交錯式內層電容。來源：德州儀器

考量到安全備援需求和維持主要與次要間距的需求，我們串聯兩個 Y 電容器 (C100 和 C101) 以橋接主要與次要接地。因此，有效電容為各電容器值的一半。某些情況下需要串聯三個電容器 (330pF 電容器) 來維持必要間距。

在 图 2 中，左圖是層間距全為 8mm 的未發佈電路板；右圖是隔離式 5V 參考設計，頂層和底層間距為 8mm，內層則只有 1mm，以便和主要與次要接地面重疊。

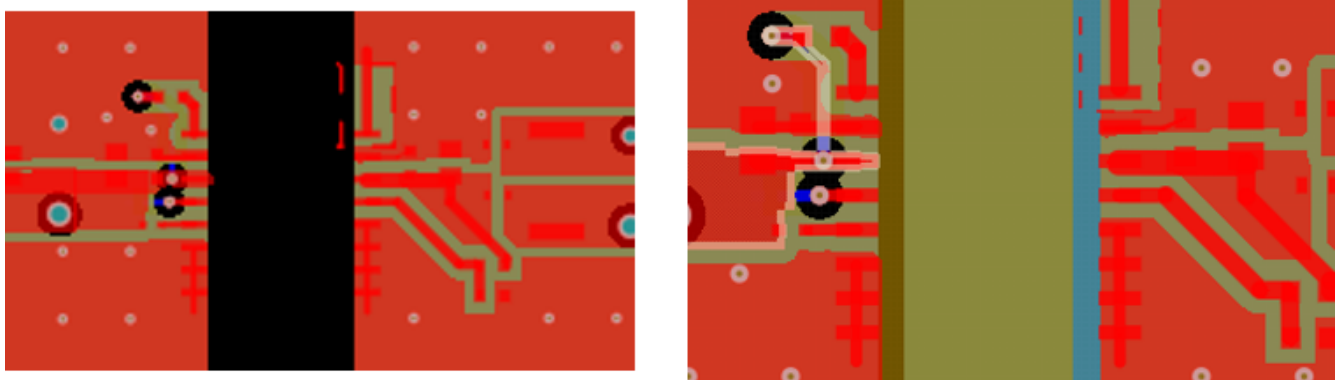


图 2. 層間距皆為 8mm (左) 相對於頂層和底層間距為 8mm (右)：頂層為紅色，第 2 層為深綠色，第 3 層為淺藍色，第 4 層為棕褐色，第 2 層與第 3 層重疊處為淺綠色，任一層上的銅都不是黑色。來源：德州儀器

輻射放射與 CISPR 25 的比較

在隔離式 5V 參考設計中，我們預期在主要與次要接地間增加了 11pF 電容的交錯結構，能確實對超過 200MHz 的輻射排放有幫助。的確如此，即使沒有旁路電容器 C100 和 C101 (圖 3)，交錯層也讓所有超過 200MHz 頻率的輻射排放都通過 CISPR 25 Class 5。如果沒有交叉層，在主要與次要接地間便需要額外的 Y 電容器，才能使相同頻率範圍符合規範。如需瞭解排放測試設定，請參閱[測試報告](#)。

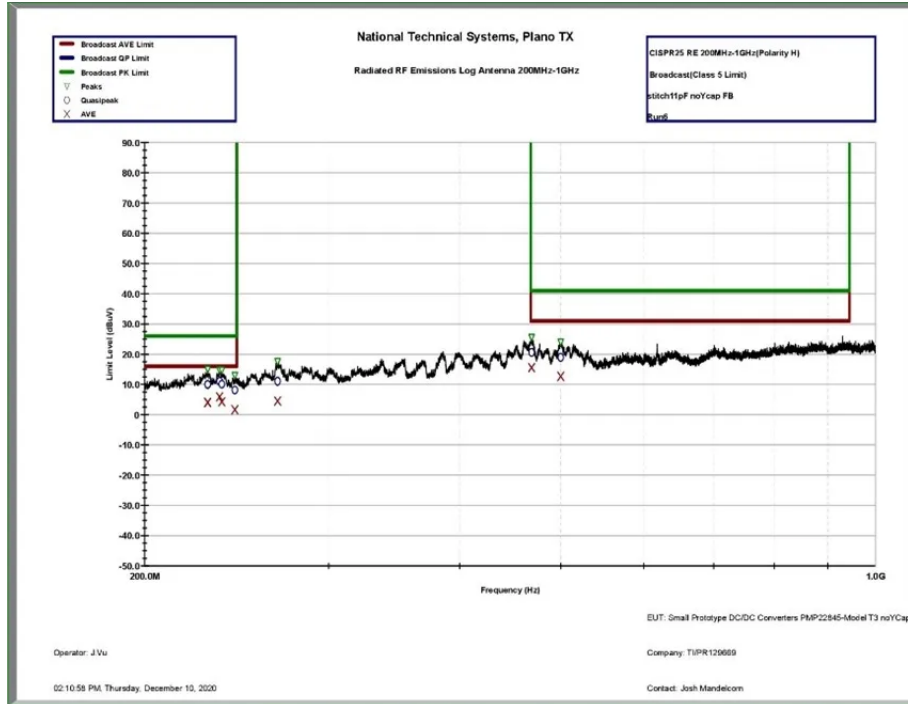


圖 3. 超過 200MHz 輻射發射與 CISPR 25 Class 5 的比較，無任何額外 Y 電容器。此特定掃描不在隔離式 5V 參考設計測試報告中。電路板以大於 10dB 的容限通過限制。來源：德州儀器

令人驚訝的是，在嚴格的傳導排放限制下，30 到 108MHz 範圍的濾波 (C101 和 C102) 都大幅提升。有了主要接地與次要接地間 110pF 的有效額外電容，交錯層可將整個 30 到 108MHz 範圍內的傳導式雜訊多減少約 4 到 8dB。在此頻率範圍內，交叉層將不通過的 4dB 轉換成具有 4dB 容限的通過結果。

傳導式排放與 CISPR 25 的比較

圖 4 和 圖 5 顯示兩塊電路板的傳導式排放掃描，唯一的差別在於內層交錯。兩份掃描都在相同的線路阻抗穩定網路 (LISN) 上進行，具有相同的共模電池線路濾波，以及 5V 輸出的 100mA 負載。



图 4. 隔離式 5V 參考設計 (有交錯層) 傳導式排放與 CISPR 25 Class 5 的比較，30 到 108MHz：以 4.5dB 容限通過，最糟的情況為 82MHz 「CISPR 平均」偵測結果。來源：德州儀器



图 5. 未發佈電路板 (無交錯層) 傳導式排放與 CISPR 25 Class 5 的比較，30 到 108MHz：以 3.8dB 容限不通過，最糟的情況為 32MHz 「CISPR 平均」偵測結果。來源：德州儀器

具有預估 11pF 的交錯層對濾波的功勞遠大於在有效 110pF 電容中增加 11pF 改善濾波約 1dB。內層接地面可降低橋接 Y 電容器的有效電感，並可更妥善地分流這些高頻諧波。

這樣改善濾波可為近距離接地面帶來優勢，提升電容器濾波性能，無論目標是限制輸出雜訊、控制非隔離應用的排放或減少半導體應力與故障都是如此。

相關內容

- 用電訣竅 #117：在完整操作條件下進行測試之前，先測量 LLC 諧振電路
- 用電訣竅 #116：如何降低 PFC 的 THD
- 用電訣竅 #115：GaN 開關整合如何在 PFC 中實現低 THD 與高效率
- 停止 EMI 在 EV 設計中散布
- 新的 EMI 威脅？

其他資源

- 請使用 [PCB 爬電計算機](#) 以取得強化隔離的雙重結果。
- 歡迎造訪德州儀器網站取得更多資訊：
 - 「[如何滿足汽車應用中更高的隔離爬電和間隙需求。](#)」
 - 「[用電訣竅：接地面 - 切換穩壓器雜訊管理的關鍵要素。](#)」
 - 「[符合汽車排放要求的功率轉換技術。](#)」
 - 「[透過減少電感寄生降低降壓轉換器 EMI 和電壓應力。](#)」

相關標準

- IEC 60664-1 絕緣協調，適用於具備低壓供電系統的設備 - 第 1 部分：原則、要求與測試
- IEC 61800-5-1 可調速度電力驅動系統 - 第 5-1 部分：安全需求 - 電力、熱與能源
- 國際電子工業聯接協會 (IPC) 2221B 印刷電路板設計通用標準
- CISPR 25 5.0 版 b 2021 車輛、船隻和內部燃燒引擎 - 無線電干擾特性 - 板載接收器保護的測量限制和方法

前述內容均發佈於 [EDN.com](#)。

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