

透過節省時間和成本的創新技術 降低電源中的EMI



Yogesh Ramadass

傑出技術人員
設計經理
Kilby 電源、隔離器和馬達部門
德州儀器

Ambreesh Tripathi

科技會委員
系統經理 - 寬輸入降壓開關穩壓器
德州儀器

Paul Curtis

類比設計工程師
升壓和多通道/相位DCDC
德州儀器

The TI POWER logo, consisting of the text 'TI POWER' in a bold, sans-serif font, with four red dots below the 'I' and 'O' characters.

TI POWER

隨著電子系統越來越密集且互相連接，降低電磁干擾 (EMI) 影響也逐漸成為重要的系統設計考量。

EMI 無法再於後續處理，因為可能會在設計階段後期造成顯著影響，並需花費大量時間與金錢處理。

切換模式電源供應器是現代技術中最常見的電路之一，可在多數應用中透過線性穩壓器大幅提升效率。但這樣的效率必須付出代價，因在 SMPS 中切換電源金屬氧化半導體場效電晶體 (MOSFET)，會使其成為主要 EMI 來源，進而影響可靠性。EMI 主要來自非連續輸入電流、在切換節點的高電壓轉換率，以及電源迴路中因寄生電感而在切換邊緣產生的其他振鈴。

下頁圖 1 以降壓轉換器拓撲做為範例，說明各元件如何在不同頻帶中表現。由於減少體積和成本並提升切換頻率的壓力越來越高，加上需提高電壓轉換率以提升效率，使得 EMI 問題逐漸加劇。因此將成本效益與能夠輕鬆整合的 EMI 改善技術結合，同時不影響電源供應器設計，也成為必要的課題。

摘要

本白皮書檢視 EMI 切換節點電源供應器，並提供技術範例以幫助設計人員輕鬆快速地通過業界標準 EMI 測試。

1 何謂 EMI?

EMI 是一種電磁能量，是由切換電流和電壓產生之不想要的副產品，來自嚴格 EMI 測試時各種實體現象與表現。

2 傳統降低 EMI 的方法

降低 EMI 是一種需經過取捨的努力過程。傳統降低 EMI 的方法包含使用大型昂貴的濾波器或是降低切換電壓轉換率，是會直接影響效率的技術。

3 EMI 降低創新

為實現切換模式電源供應器的所有優點，EMI 降低技術便是解決傳統優缺點的重要關鍵。其中需要低頻與高頻 EMI 的創新解決方案，以及準確的建模技術。

何謂 EMI?

在需要電磁相容性 (EMC) 的系統中，會選用元件來降低系統干擾及被干擾的情況。終端設備製造商將不同供應商的元件整合在一起時，確保干擾物和易受干擾電路可和平共存的唯一方法，就是建立一套共用規則，將干擾限制在易受干擾電路可處理之特定干擾程度。

此類規則會以業界標準規格建立，例如適用汽車產業的國際無線電干擾特別委員會 (CISPR) 25，以及適用多媒體設備的 CISPR 32。CISPR 標準是 EMI 設計的重要關鍵，因其可決定任何 EMI 降低技術的目標性能。由於電磁干擾物通常為 SMPS，因此本白皮書的重點將放在降低干擾上。如需 EMI 標準完整清單，請參閱以下白皮書：[「電源供應器傳導式 EMI 規格概觀」](#)與[「電源供應器輻射式 EMI 規格概觀」](#)。

除了需了解適合特定應用的標準外，了解 EMI 的測量方式也十分重要，這些知識可讓您對降低 EMI 有更深入的見解。EMI 測量通常可分為傳導式與輻射式，可說明兩種測量方式及 EMI 的產生方式。雖然傳導式雜訊通常與較低頻率 (<30 MHz) 有關，輻射式雜訊則與較高頻率 (>30 MHz) 相關，但兩者的區別方法並沒有這麼簡單，因為傳導式與輻射式頻率範圍有所重疊。

傳導式雜訊測量的目的在量化裝置產生並送回電源的 EMI。由於其他敏感電路常會連接到相同的電源供應線路，因此降低許多應用的雜訊是非常重要的。長

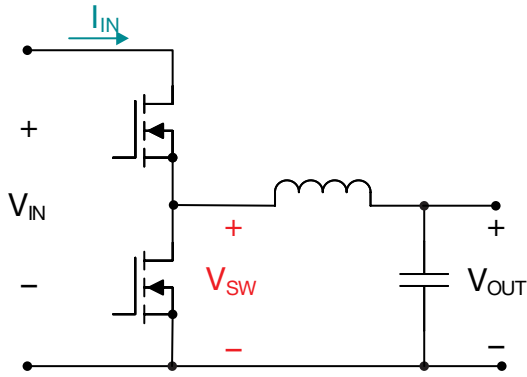


圖 1。SMPS 中的 EMI 來源範例。

線束在現代汽車產業中的使用越來越多，處理這類線束時更需要降低傳導式 EMI。

圖 2 說明為傳導式雜訊設定的通用測試，其中包含電源、線路阻抗穩定網路 (LISN)、EMI 接收器、供應線路與待測裝置 (DUT)。LISN 扮演的角色十分重要，可做為低通濾波器來確保 EMI 測量的重複性與可比性，並能為 DUT 提供準確阻抗。圖 2 也說明將傳導式雜訊細分為共模 (CM) 和差模 (DM) 電流的重要資訊。DM 電流會在電源線和傳回路徑中流動，是較低頻率下的主要因子。CM 電流則在各電源線和接地間流動，是較高頻率下的主要因子。

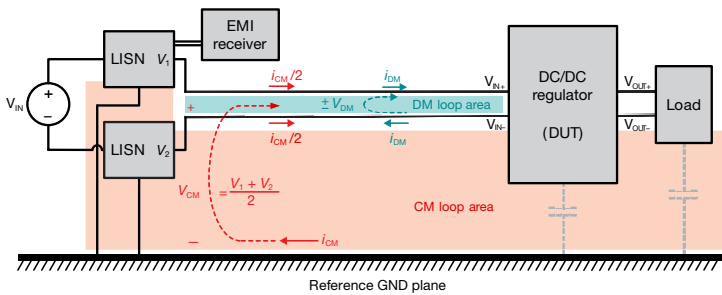
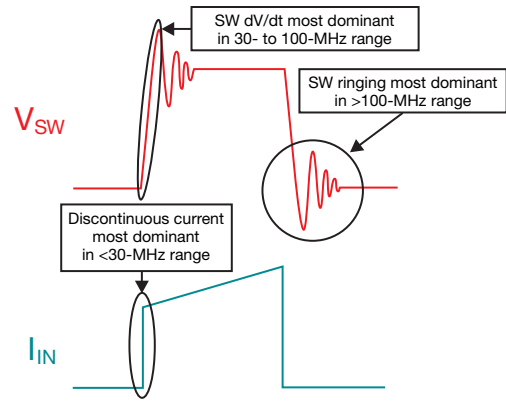


圖 2。為傳導式雜訊測量設定的通用測試，分別以藍綠色和紅色標示 DM 與 CM 迴路。

輻射式測量的配置與傳導式測量類似，兩者的主要差異在於 EMI 接收器並不會直接連接到 LISN，而是與附近的天線相連接。SMPS 的輻射式能量來自產生磁



場的快速暫態電流迴路，以及產生電場的快速暫態電壓表面。由於產生輻射磁場的同個電流迴路會產生 DM 傳導式雜訊，產生輻射電場的同個表面也會產生 CM 傳導式雜訊，因此許多 EMI 緩解技術會減少傳導式與輻射式雜訊，但也可特別針對其中一者。

一般而言，低頻率雜訊會透過大型被動濾波器來進行緩解，因此會增加機板面積和解決方案成本。高頻率雜訊則因寄生本質的關係，在測量、建模與緩解方面有不同挑戰。常見的高頻率雜訊緩解技術包含控制電壓轉換率和減少寄生。下頁圖 3 簡要說明了本白皮書中的緩解技術、對各緩解技術最有利的頻帶，以及 CISPR 25 標準所涵蓋的頻率範圍範例。

在高低頻率範圍中降低 EMI 的傳統方法

當系統共用實體接觸時，SMPS 中非連續電流產生的輸入電壓漣波便會傳導至其他系統。若未進行適當緩解，過多輸入或輸出電壓漣波會影響來源、負載或鄰近系統的運作。過去可透過被動電感器電容器 (LC) 型的 EMI 濾波器來降低輸入漣波，如下頁圖 4 所示。LC 濾波器可提供所需衰減來滿足 EMI 規格。但其代價則是依所需衰減而需增加系統尺寸和成本，進而降低整體功率密度。此外，輸入 EMI 濾波器設計的大型電感器在大於 30 MHz 的頻率下會產生衰減損失，因為其自我共振頻率較低，並需鐵氧體磁珠等必要的額外元件才能處理高頻率衰減。

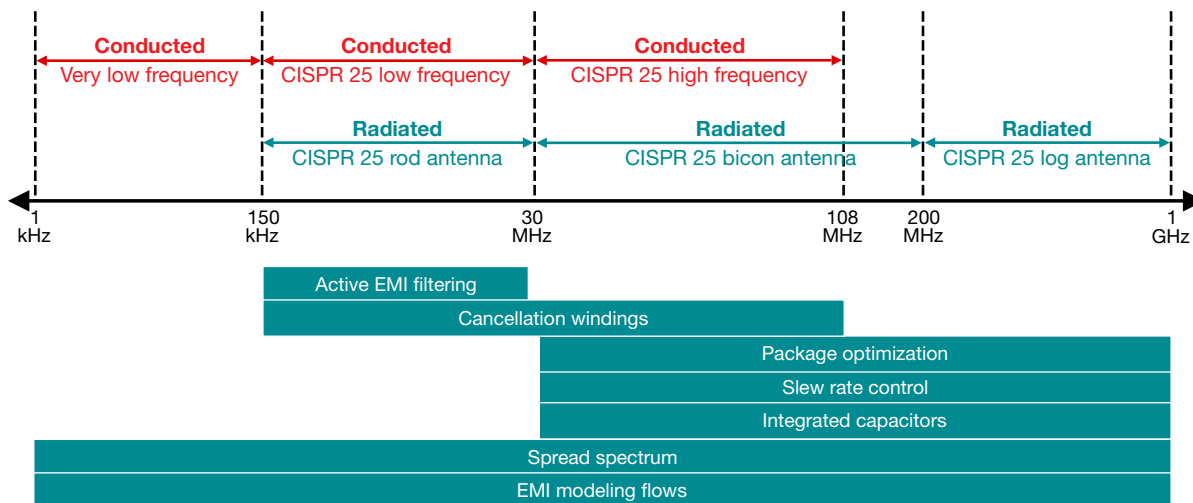


圖 3。本白皮書提到的 EMI 緩解技術摘要。

另一種緩解 EMI 的傳統方法是利用展頻 (或時脈抖動) 來進行 SMPS 的切換頻率調變, 進而降低與基本切換頻率與其諧波相關之頻譜峰值, 代價則是會增加雜訊底線, 如下頁 圖 5 所示。

展頻技術執行簡單, 並可與其他 EMI 減緩方法搭配使用, 因此是一種非常具吸引力的技術。但此技術並非萬靈丹, 因其只能對現有 EMI 提供相對降低的效果, 且具有性能隨低切換頻率下降的特性。此外, 傳統上只能將展頻套用在單一頻帶上, 相關原因我們將在下一節中闡述。

若要將濾波器電感器的尺寸縮到最小, 您可為 SMPS 設計選擇較高的切換頻率。但切換器運作請務必避免敏感頻帶。舉例來說, 過去汽車電力解決方案偏好使用的切換頻率為 sub-AM 頻帶 (約為 400 kHz)。選擇較高切換頻率來縮小電感器尺寸, 代表必須避免整個 AM 頻帶 (525 至 1,705 kHz), 才不會在較嚴格的汽車 EMI 頻帶中發生基本切換突波。

德州儀器 (TI) 切換轉換器的切換頻率高於 1.8 MHz, 以滿足 EMI 頻帶要求。追求更高切換頻率對切換轉換上升與下降時間帶來顯著限制, 以減少切換損失。

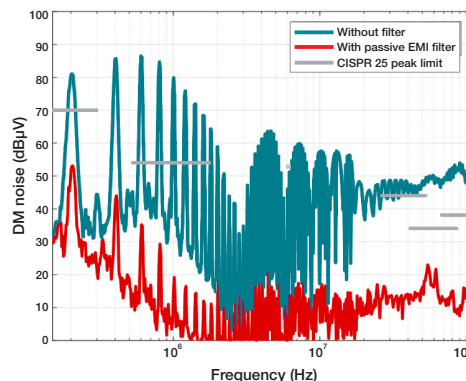
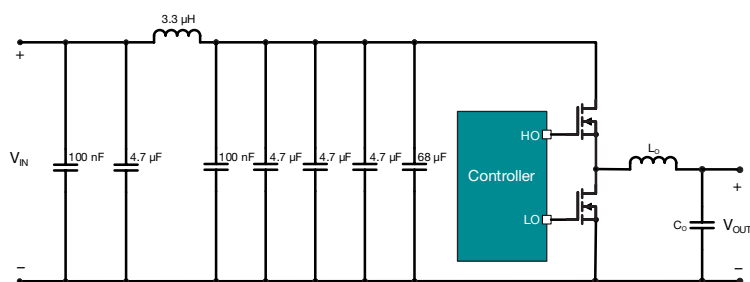


圖 4。適合降低 EMI 的典型 LC 型被動濾波器, 以及取得的衰減。

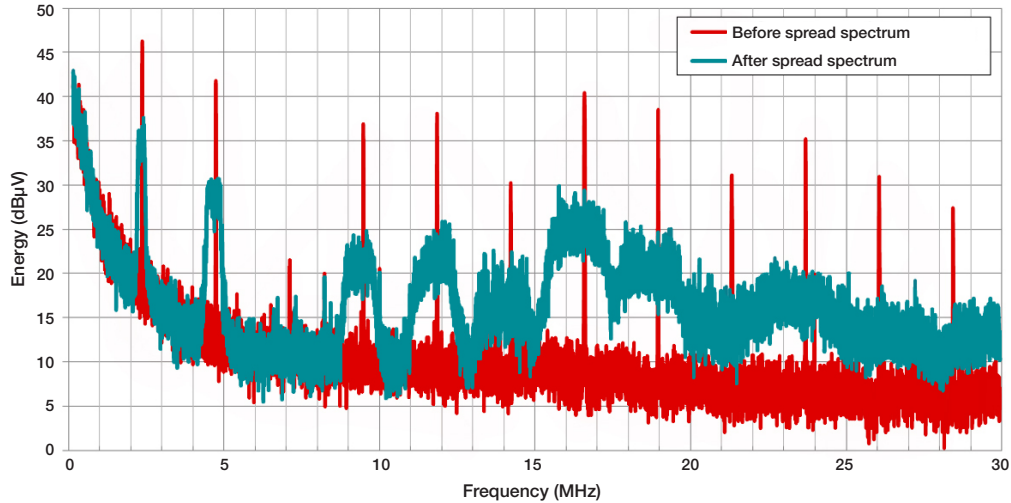


圖 5。有展頻及無展頻的 SMPS 頻譜範例。

但對上升與下降時間非常短的切換節點而言，即使在接近其第 100 個諧波的高頻率下，都還是能保持非常高的能量含量 (如圖 6 中所示)，再次突顯高效率與低 EMI 間的取舍。

由於 DC/DC 轉換器的電源路徑中存在寄生電感，因此高電壓轉換率另外會造成高頻率切換節點振鈴，進而增加振鈴頻率及以上頻率下的雜訊。下頁中圖 7 說明切換節點的電壓轉換率和相關振鈴會如何影響雜訊。傳統限制因切換轉換而產生 EMI 雜訊的方法，是在切換裝置的閘極驅動路徑中增加有意電阻使其減緩速度。如此將使轉換較晚發生，進而加快雜訊衰減，並在振鈴頻率下減少 8 至 10-dB 雜訊。然而，減

緩切換邊緣的代價是切換轉換器的峰值電流效率降低 2% 至 3%。

減少低頻率雜訊的創新

我們來看看 TI 在打造轉換器和控制器時使用的幾個技術，來說明與效率、EMI、尺寸和成本相關的基本優點。

展頻

展頻運用能量轉換原理，將能量散布在多個頻率，以降低 EMI 峰值。但易受干擾電路「看到」的峰值能量可能不會減少，需視易受干擾電路頻寬與頻率調變方

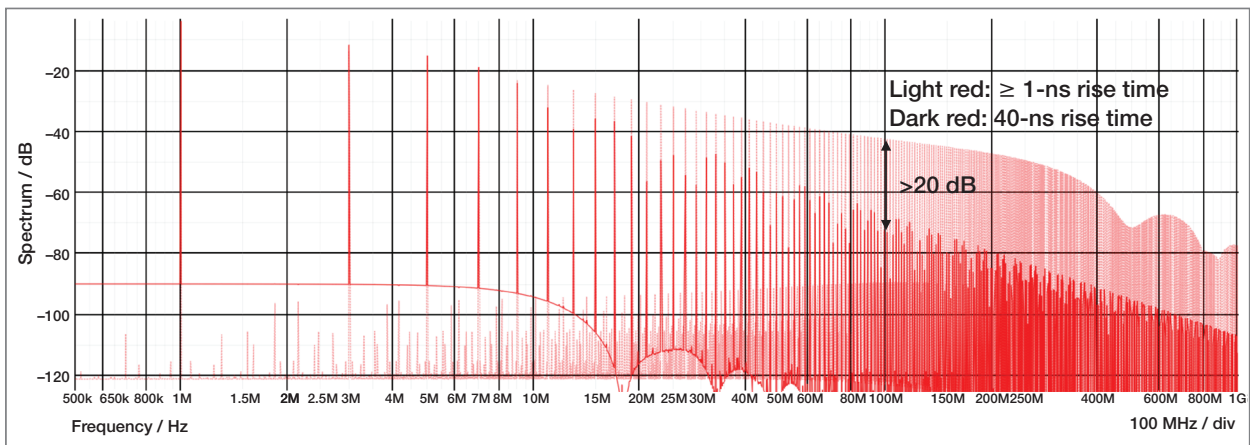


圖 6。方波形 EMI 圖與不同上升時間。

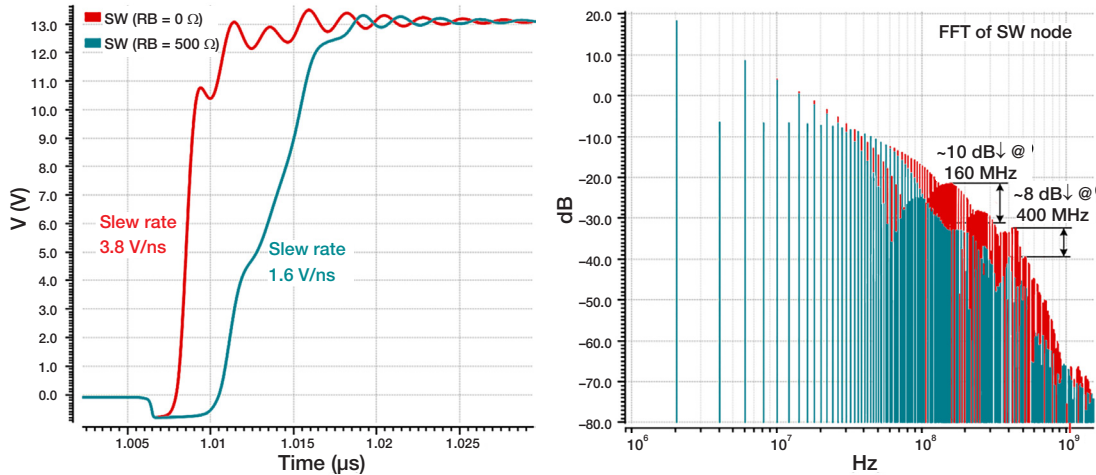


圖 7。不同切換節點電壓轉換率與相關振鈴對高頻率雜訊的影響。電壓轉換率降低會影響 30- to 200-MHz 頻帶中的 EMI 衰減，振鈴減少則會影響振鈴頻率 400 MHz 左右下的 EMI。

法間的關係而定。測量 EMI 時，頻譜分析儀便會做為易受干擾電路，並由業界標準設定解析度頻寬 (RBW)。因此以最有效的方式，針對目標標準來進行頻率調變是非常重要的。根據經驗法則，必須讓調變頻率 f_m 大約等於目標 RBW，並讓展頻頻寬 Δf_c 介於 $\pm 5\%$ 至 $\pm 10\%$ 。圖 8 說明時域與頻域中的參數。

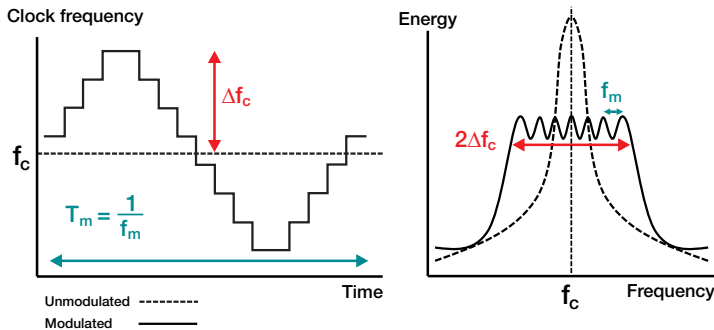


圖 8。時域與頻域中的展頻參數 f_m 與 Δf_c 。

通常會將 f_m 設在 9 kHz 左右，以對 CISPR 25 等標準中的低頻帶進行最佳化，但這又正好在音頻範圍中。為克服此問題，您可以偽隨機方式進一步進行三角調變，在不對傳導式和輻射式 EMI 性能造成顯著影響的情況下散佈音頻能量。圖 9 說明時域與頻域中的調變曲線，也是同步降壓升壓轉換器 [TPS55165-Q1](#) 中的功能。

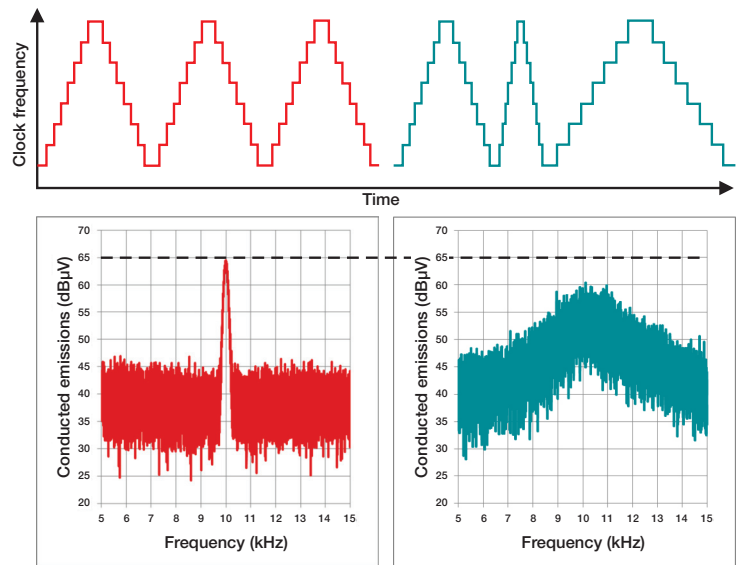


圖 9。在每個調變週期總結時進行三角波形偽隨機調變以減少可聞音。

EMI 不限於單一頻帶 (進而限於單一 RBW) 而採用多頻帶的特性也帶來另一項挑戰，因為展頻通常只能以單一頻帶為目標進行改善。一種稱為雙隨機展頻 (DRSS) 的數位展頻技術是解決此問題的新方法。DRSS 的基本原理是兩個以不同 RBW 為目標的調變曲線疊加在一起。如需更多資訊，請參閱應用報告「[EMI 緩解技術：雙隨機展頻](#)」。下頁圖 10 說明時域中的 DRSS 調變曲線，以及以低 RBW 為目標的三角包絡線和以高 RBW 為目標的疊加偽隨機列。

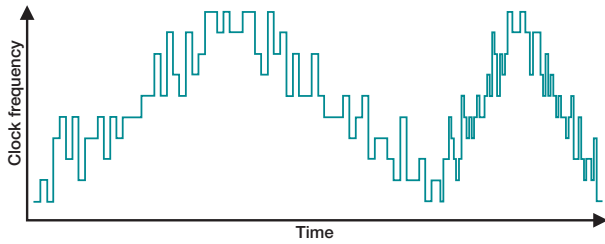


圖 10。DRSS 時域調變曲線。

圖 11 說明非同步升壓控制器 **LM5156-Q1** 在有 DRSS 和沒有 DRSS 情況下的傳導式雜訊性能。您可以看到在 150-kHz 至 30-MHz 及 30 至 108-MHz 頻帶下頻譜峰值都顯著下降，這兩個頻帶也是 CISPR 25 汽車標準的主要頻帶。**LM5157-Q1** 非同步升壓轉換器也具備 DRSS 功能並可達到類似性能。

由於 EMI 來源相似，且頻率展頻也提供相同優點，因此展頻技術可適用非隔離式和隔離式拓撲。**UCC12040** 和 **UCC12050** 隔離式 DC/DC 轉換器與整合式變壓器因具備內部展頻技術，因此可通過部分 CISPR 32 Class B EMI 測試限制。

主動 EMI 濾波

為大幅提升低頻譜中的雜訊情形，**LM25149-Q1** 降壓控制器採用了主動 EMI 濾波方法。整合式主動 EMI 濾波器可做為有效低阻抗分流，因此可減少輸入的

DM 傳導式雜訊。圖 12 說明降壓控制器的主動 EMI 濾波器如何與輸入線路相連接。感測接腳與注入接腳會透過對應電容器與輸入連接。主動 EMI 濾波器區段中的主動元件會將感測到的訊號放大，並透過注入電容器注入適當反極性訊號，以將輸入線路中的整體干擾降到最低。如此可減少被動元件所需的濾波負擔，進而降低其尺寸、體積與成本。

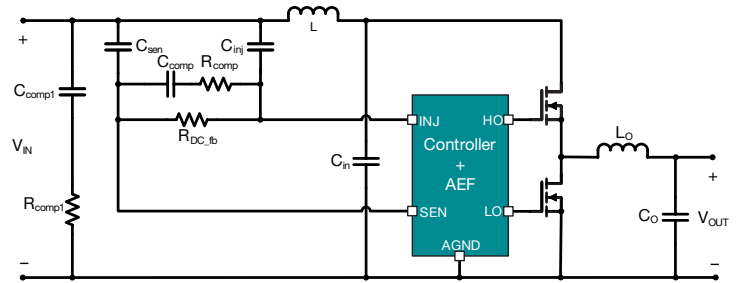


圖 12。主動 EMI 濾波器顯示感測、注入電容器與補償元件。

下頁圖 13 說明降壓轉換器在 400-kHz 切換頻率下的 EMI 測量結果，來比較主動和被動 EMI 濾波方法。若要有有效滿足 CISPR 25 Class 5 頻譜遮罩，被動 EMI 濾波器就需要 3.3- μ H DM 電感器與 10- μ F DM 電容器。主動濾波方法可以僅為 1 μ H 的 DM 電感器和 100-nF 的感測與注入電容器，達到相同有效的衰

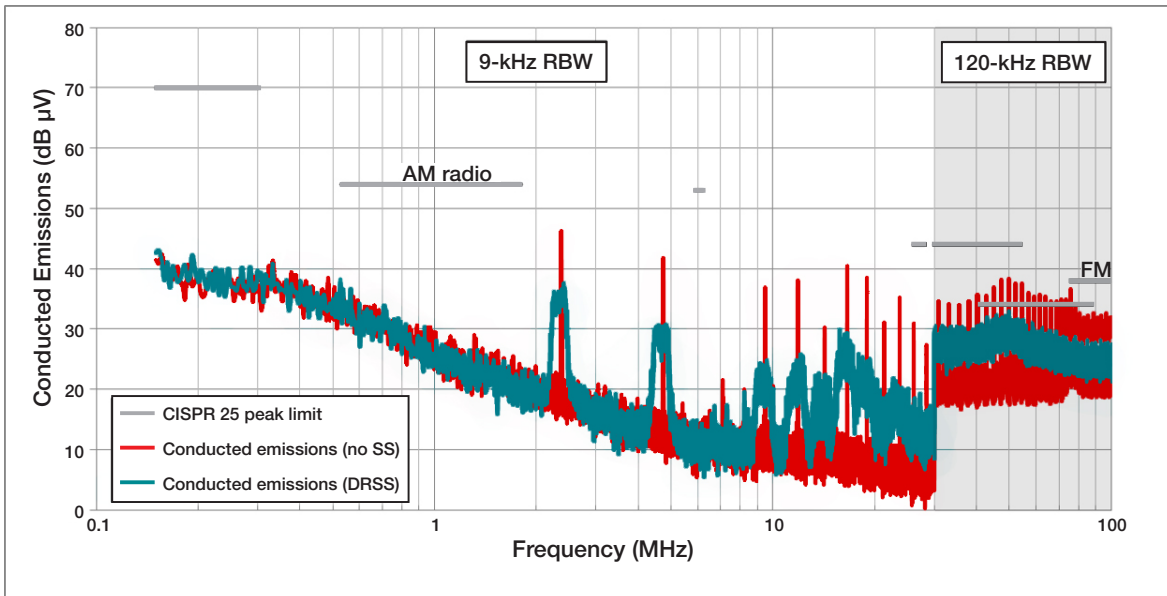


圖 11。LM5156-Q1 升壓控制器使用非特別為低 EMI 設計的印刷電路板 (PCB) 時展頻前後的 EMI 性能。

減。如此將可幫助將被動濾波器的尺寸與體積分別降到原始值的 43% 和 27%。針對高電流轉換器，則可透過減少電感器 DC 電阻來進一步提升成本與效率。

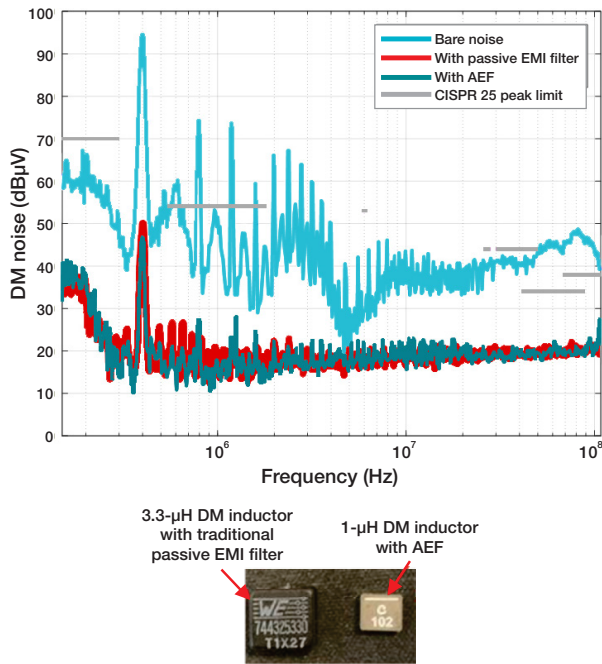


圖 13 使用被動與主動濾波得到的 EMI 衰減，以及比較 12-V 輸入、5-V/5-A 輸出降壓轉換器在兩種方式中濾波所需的被動電感器。

抵銷線圈

與非隔離式轉換器不同，跨越隔離邊界的額外雜訊路徑是造成隔離式轉換器中共模 (CM) EMI 的主要原因。圖 14 說明在標準返馳轉換器中的隔離變壓器寄生電容。CM 電流可直接透過與各切換節點相關的寄生電容，直接從主要線圈流到接地。CM 電流也會因線圈間的寄生電容從主要線圈流到次要線圈，造成 CM EMI 測量值增加。過去可運用輸入電源路徑中的大型 CM 扼流器對此額外干擾進行衰減。

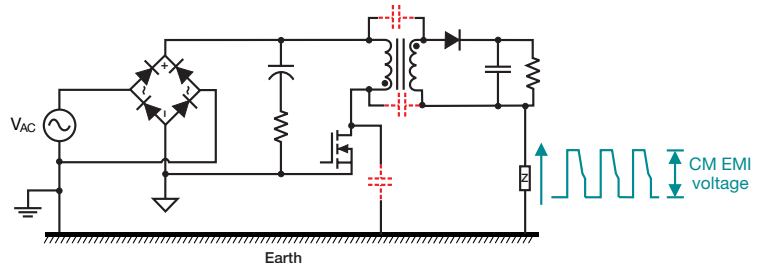


圖 14 在返馳轉換器中產生寄生。

為了幫助縮小被動濾波尺寸，[適合高功率密度 5 至 20-V AC/DC 變壓器的 65-W 主動箝位返馳矽晶 FET 參考設計](#) 採用隔離式轉換器特定的抵銷線圈和屏蔽方法。如下頁圖 15 所示，經過改良的內部變壓器架構在內部主要與次要層間插入額外附屬線圈層

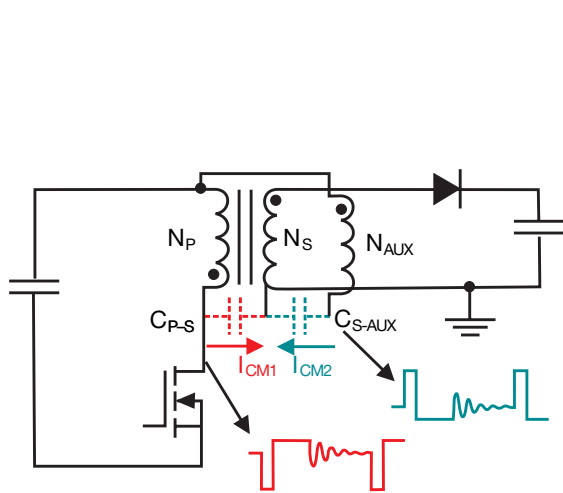
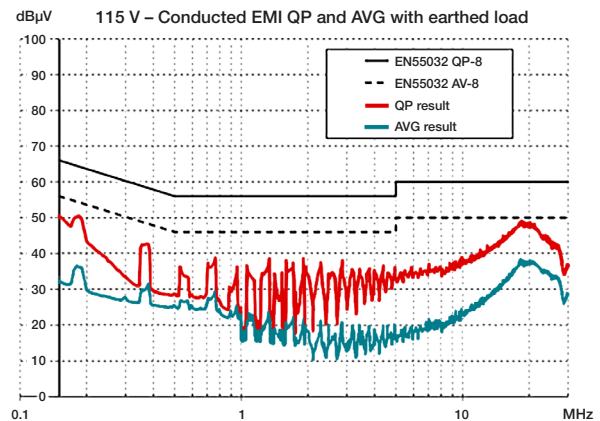
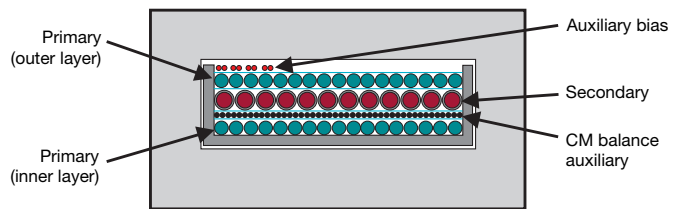


圖 15 使用屏蔽與抵銷線圈減少返馳轉換器中的 EMI。



(如黑色所示) 以取得 CM 平衡。附屬線圈 CM 平衡層會屏蔽內部半主要至次要介面，幫助產生抵銷 CM 電壓，使來自外部的半主要層 CM 注入變為空值。將來自附屬線圈與主要外部層的寄生電容等化至次要層，可推動來自抵銷層的反相 CM 電流，幫助讓從外部半主要層注入次要層的 CM 電流成為空值。接近零 CM 電流流入次要層的淨效應可降低 CM 雜訊，並可以最少 CM 濾波顯著幫助設計滿足 EMI 頻譜標準。

減少高頻率雜訊的創新

我們目前提到的 EMI 緩解技術通常都在減少低頻率雜訊 (<30 MHz)，在所需被動濾波量上有對應減少效果，並具備相關尺寸、體積與成本優點。接著我們來看看專為緩解高頻率雜訊 (>30 MHz) 而設計的技術。

HotRod™ 封裝

降低高頻率雜訊的主要方法之一，是將電源迴路電感降到最低。TI 的 [LM53635-Q1](#)、[LMS3655-Q1](#)、[LM61495-Q1](#)、[LMR33630-Q1](#) 與 [LM61460-Q1](#) 等降壓式轉換器從焊線封裝轉為導線覆晶 (HotRod) 封裝，幫助降低電源迴路電感，進而減少切換節點振鈴。HotRod 封裝會覆蓋矽晶粒並將其直接放在導線架上，將切換電流流動的接腳焊線產生之寄生電感降到最低。圖 16 說明 HotRod 封裝的組成架構與優點。除了改善電源迴路電感外，HotRod 式封裝也可幫助降低電源路徑中的電阻，不但可提升效率，也可縮小解決方案尺寸。

裝置採用 HotRod 封裝的另一個優點，是可幫助平行輸入路徑接腳配置，即 DC/DC 轉換器輸入電容的配置安排。將 DC/DC 轉換器接腳最佳化可使輸入電容配置對稱，輸入電源迴路產生的反向磁場位於對稱迴路中，因此可將送到鄰近系統的雜訊量降到最低。平行輸入路徑可進一步降低高頻 EMI，特別是在最嚴格的 FM 頻帶下，如圖 17 所示。

強化式 HotRod™ QFN

強化式 HotRod 四方平面無引腳 (QFN) 封裝可提供 HotRod 封裝的所有 EMI 降低功能，並擁有切換節點電容更低的額外優點，進而減少振鈴。與 HotRod 封裝相比，採用強化式 HotRod QFN 的裝置之輸入電壓 (V_{IN}) 和接地 (GND) 接腳上的電阻器-電感器-電容器 (RLC) 寄生也會減少。

[LM60440-Q1](#) 降壓式轉換器提供強化式 HotRod QFN，下頁圖 18 將說明接腳與機板配置。強化式 HotRod QFN 不僅可提升效率，其提供在封裝中心有大型黏晶粒板的配置。DAP 可透過 PCB 幫助熱消耗，且與 HotRod 封裝相比，可使接點溫度的上升減少 15% 以上。此外， V_{IN} 、GND 與切換模式接腳上的低 RLC 寄生也可提升效率並減少 EMI。如同預期，此將幫助改善 EMI，特別是在切換節點振鈴頻帶附近，如圖 19 所示。

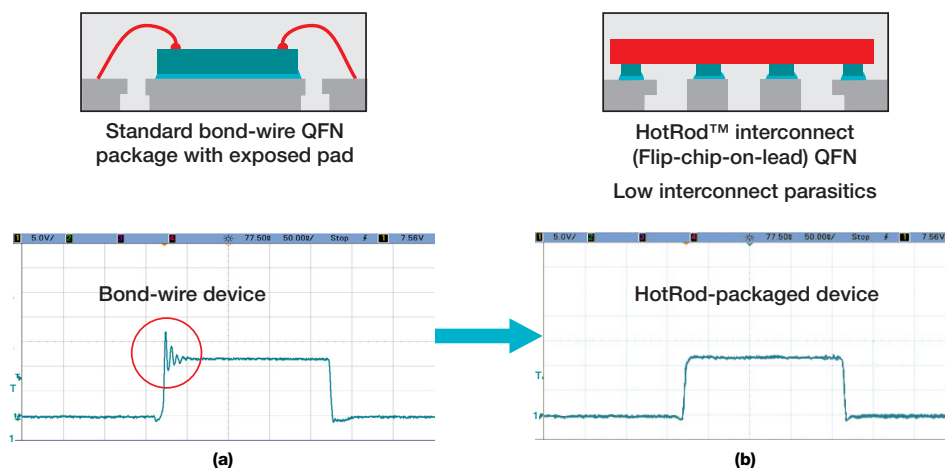


圖 16。使用焊線的標準 QFN 連接至晶粒 (a)；在導線與晶粒 (b) 間採用銅柱與覆晶互連的 HotRod 封裝。

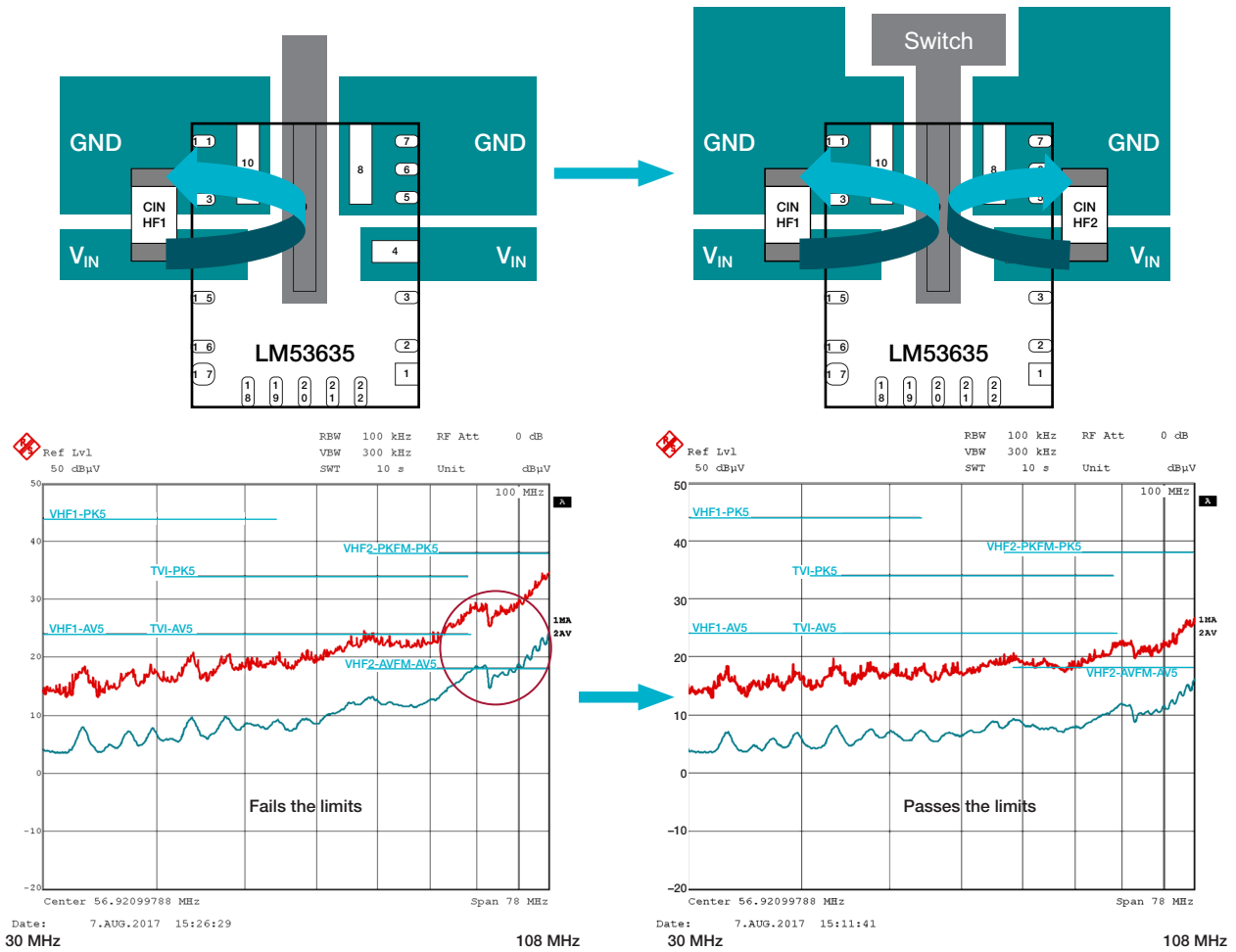


圖 17◦ 平行輸入路徑對 SMPS 中 EMI 的影響。

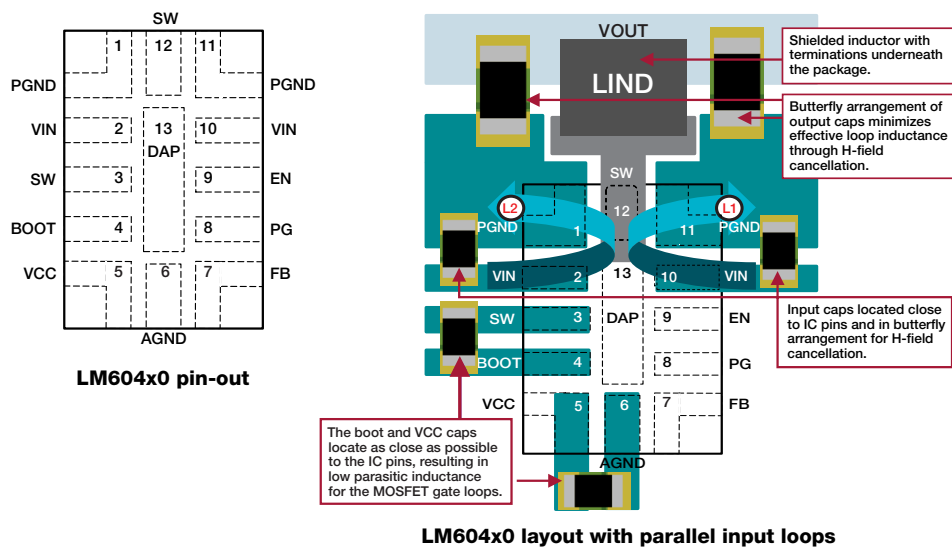


圖 18◦ 強化式 HotRod™ QFN 封裝裝置的接腳與 PCB 配置。

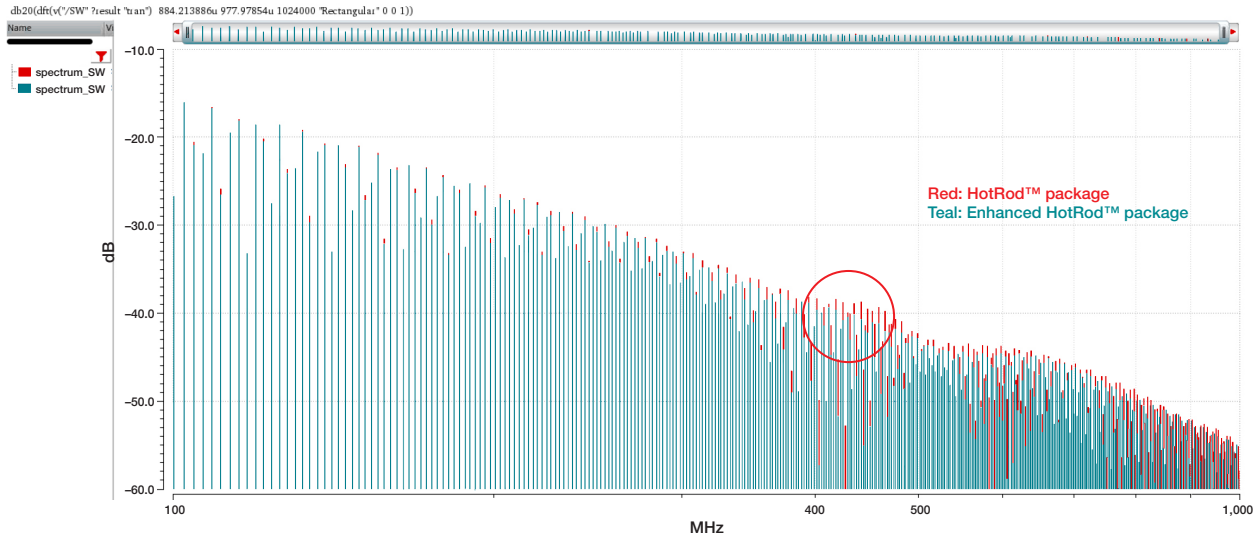


圖 19◦ HotRod 與強化式 HotRod 封裝裝置的 SW 節點 FFT 比較。

整合式輸入旁路電容器

如先前所述，大型輸入電源迴路在高頻帶下會因切換節點振鈴增加而造成雜訊上升。在裝置封裝中整合高頻輸入去耦電容器，可幫助減少輸入迴路寄生，進而降低 EMI。此技術運用在降壓式轉換器 **LMQ62440-Q1** 中，如下頁圖 20 所示。除了減少輸入電源迴路電感外，封裝整合輸入高頻電容器也可幫助解決方案不受終端系統機板配置變更影響。

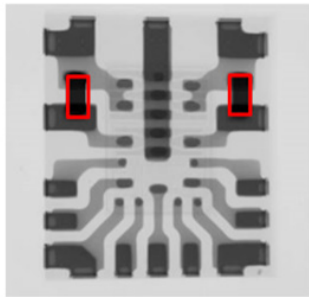


圖 20◦ 整合在 LMQ62440-Q1 裝置中的兩個高頻輸入旁通電容器。

圖 21 比較在有無整合旁路電容器的情況

下，LMQ62440-Q1 的輻射式 EMI (在相同機板上的相同條件下)。結果顯示在多數嚴格 TV 頻帶(200 至 230 MHz) 下雜訊可減少 9-dB，幫助系統維持在業界標準所設的 EMI 限制下，且無需增加機板元件。

真實電壓轉換率控制

除了前面提到的技術外，部分設計中高頻 EMI (60 至 250 MHz) 可能仍會落在指定標準限制以外。要緩解並提升裕度以通過業界標準的方法之一，是將電阻器與切換轉換器的開機電容串聯使用。使用電阻器可降低切換邊緣電壓轉換率，進而降低 EMI，但預期代價是效率也會下降。

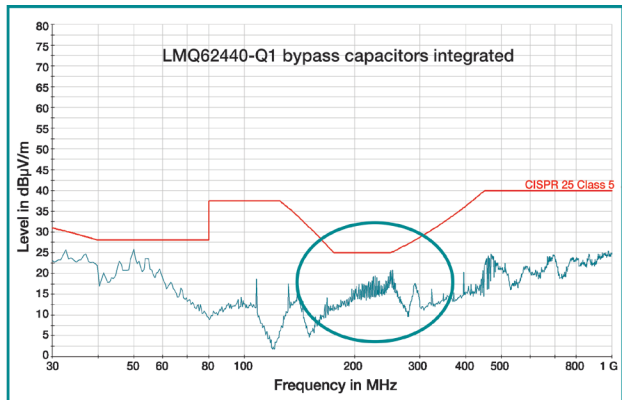
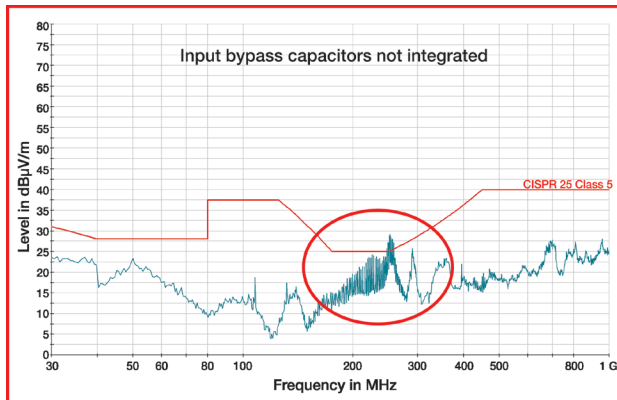


圖 21。LM62440-Q1 裝置在有無整合式旁路電容器情況下的輻射式 EMI 性能。

LM61440-Q1 和 LM62440-Q1 等切換轉換器經過設計，可在啟動時以電阻器選擇高側 FET 驅動器強度。如下頁圖 22 所示，透過 RBOOT 接腳（藍綠色點迴路）汲取的電流經過加乘，並從 CBOOT（紅色虛線）汲取以啟動高側功率 MOSFET。如此一來，電阻器便可控制電壓轉換率，但不會遇到串聯 BOOT 電阻器執行多數電流時發生的效率損失問題。在 RBOOT 對 CBOOT 短路的情況下，上升時間將會加快，切換節點諧波在超過 150 MHz 前都不會衰減。若 CBOOT 和 RBOOT 繼續透過 700 Ω 連接，從 13.5 V 轉換到 5 V 時轉換時間將會增加到 10 ns。這樣緩慢的上升時間讓切換節點諧波的能量在多數情況下都會在 50 MHz 左右衰減。

EMI 建模功能

對任何電路進行建模是在早期評估設計性能的重要方式，因此在縮短設計週期時間方面扮演很重要的角色。EMI 建模程序十分複雜，其中包含時域電路分析與 PCB 頻域電磁模擬。進行 EMI 雜訊建模可減少設計反覆作業次數，可更快速簡單地滿足 EMI 標準限制。

我們來看看幾項 EMI 建模的可用選項。

低頻率 EMI 設計採用 WEBENCH® 設計工具

WEBENCH 輸入濾波器設計工具可幫助您自動設計適當輸入濾波器，降低低頻率 (<30 MHz) 傳導式 EMI 雜訊，以符合 CISPR 32 與 CISPR 25 等標準。工具可使濾波器尺寸最佳化，同時確保設計符合特定標準。此外也能確保設計濾波器時的濾波器穩定性與轉換器迴路穩定性。此線上工具支援 100 種以上 TI 電源裝置。

讓輸入 EMI 濾波器電感器無阻尼是一種常見錯誤，如此將對整體設計穩定性造成負面影響。WEBENCH 設計工具會在輸入濾波器和 SMPS 中執行阻抗分析（如下頁圖 23 所示），並可建議適當阻尼元件以確保穩定性。

資料表中公布的傳導式與輻射式 EMI 結果

SMPS 裝置評估模組經過多數嚴格工業與汽車 EMI 標準測試，結果會公布在資料表中，幫助您事先了解裝置的 EMI 性能。您可按下裝置資料表第一頁

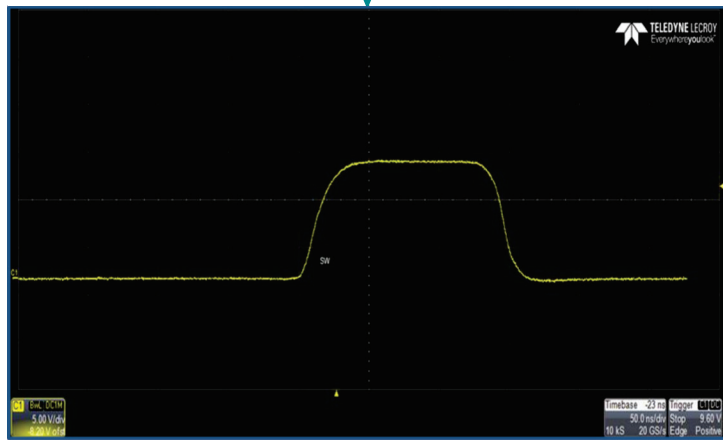
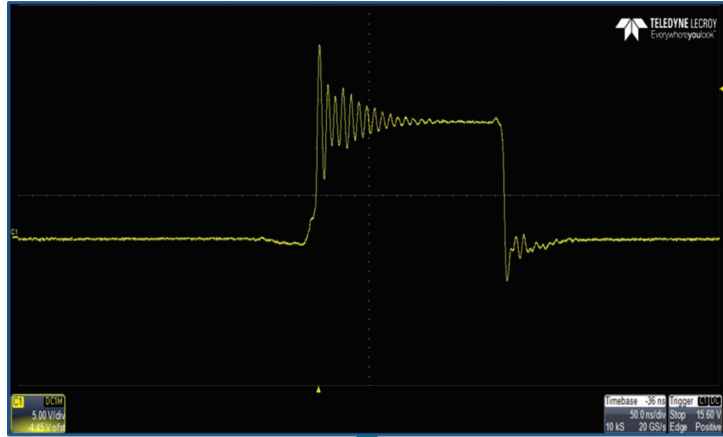
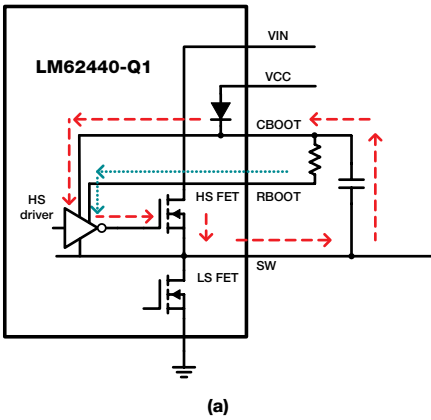


圖 22。LM62440 (a) 中的真實電壓轉換率控制執行；使用真實電壓轉換率控制 (b) 降低切換節點。

的「超低 EMI 要求最佳化」，即可存取詳細 EMI 報告。LM62440-Q1 資料表中的 EMI 報告包含 CISPR 25 Class 5 傳導式與輻射式設定的完整資料。

此外，TI 可執行內部系統級 EMI 建模與測量，幫助您驗證 EMI 性能並加快週期時間。

結論

電子系統快速成長對電源轉換器設計帶來龐大壓力，必須將複雜系統塞入非常小的空間內。敏感系統的近距離在抑制 EMI 方面帶來很大挑戰。設計電源轉換

器時必須非常小心符合標準化組織設下的限制，以確保重要系統能在有雜訊的環境中安全運作。

設計低 EMI 可顯著縮短開發週期時間，並可減少機板面積和解決方案成本。TI 提供多種緩解 EMI 的功能和技術，例如展頻、主動 EMI 濾波、抵銷線圈、封裝創新、整合式輸入旁路電容器及真實電壓轉換率控制方法。

以 TI 經過 EMI 最佳化的電源管理裝置來運用不同技術組合，可確保使用 TI 元件的設計通過業界標準而無需過多重做。TI 產品讓您能在不犧牲功率密度或效率的情況下，維持在終端設備 EMI 限制內。

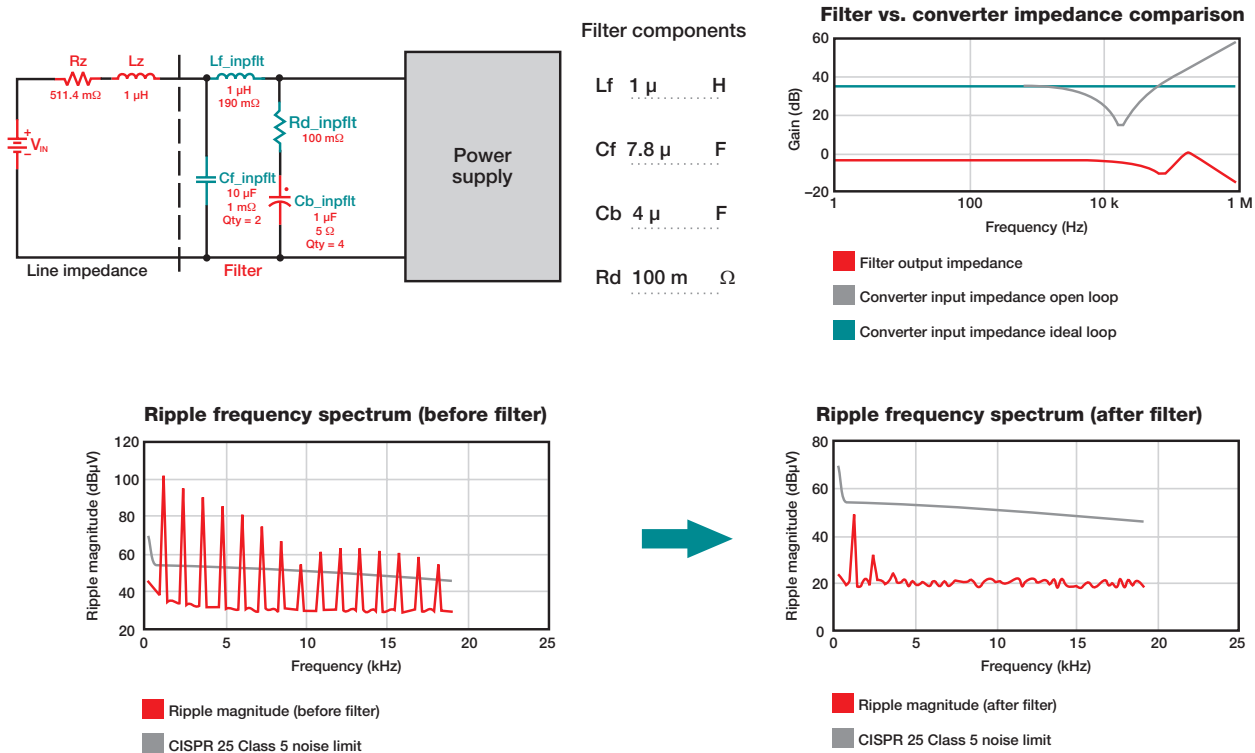


圖 23 在 WEBENCH® 設計工具中輸入 EMI 建議與阻抗分析。

請參閱 [ti.com/lowemi](https://www.ti.com/lowemi) 進一步了解使用這些技術的 TI 產品，包含降壓升壓與反相穩壓器、隔離式偏壓電源供應器、多通道積體電路 (PMIC)、降壓式 (降壓) 穩壓器與升壓式 (升壓) 穩壓器。

低 EMI: 的重要產品類別

[降壓升壓與反相穩壓器](#)

[隔離式偏壓電源供應器](#)

[多通道 IC \(PMIC\)](#)

[降壓式 \(降壓\) 穩壓器](#)

[升壓式 \(升壓\) 穩壓器](#)

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。

HotRod 及強化式 HotRod 為德州儀器的商標；WEBENCH 為德州儀器的註冊商標。所有其他商標皆屬於其各自所有人之財產。

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](#) 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 © 2022, Texas Instruments Incorporated