

安靜且簡單的 Silent Switcher 元件

■作者：Tony Armstrong / ADI 產品行銷總監

簡介

不言而喻，PC 电路板的布局设计决定了每一种电源设计的成败。它决定了一个电源的功能、电磁干扰 (EMI) 和热行为。虽然切换电源布局不是黑魔法，但在设计过程中却会经常被忽视，最终发现其至关重要时，却为时已晚。因此需要一种行之有效的方法，从一开始就削弱这些潜在的 EMI 威胁，以确保电源安静而稳定。虽然许多切换模式电源设计人员都很清楚切换模式电源的设计复杂性和细微差别，但很多公司根本没有足够的设计人员以满足所有专案需求完成设计。随著不少设计人员即将退休并离开这个产业，那么，如何解决这个问题呢？

首先，就是因为类比电源设计人员不足，所以要求越来越多的数位设计人员进行切换模式电源设计！虽然大多数数位设计人员都知道如何使用简单的线性稳压器，但并非所有设计都要求降压（降压模式）。事实上，很多是升压模式（升压），甚至是升降压拓扑（降压和升压模式相互结合）。

显然，许多电子系统制造商都面临一个问题：如何实现系统所需的所有切换模式电源电路？

解决设计资源短缺问题

在本文中，我们将介绍降压稳压器工作的一些基本原理，包括切换稳压器热回路中的高 di/dt 和寄生电感如何导致电磁杂讯和切换振铃。然后我们将看看如何减少高频杂讯。我还将介绍 ADI 的 Power by Linear™ Silent Switcher 技术，包括它如何构成，并展示它如何协助解决 EMI 问题，且丝毫不会影响

性能。其中还包括 SilentSwitcher 元件如何工作。

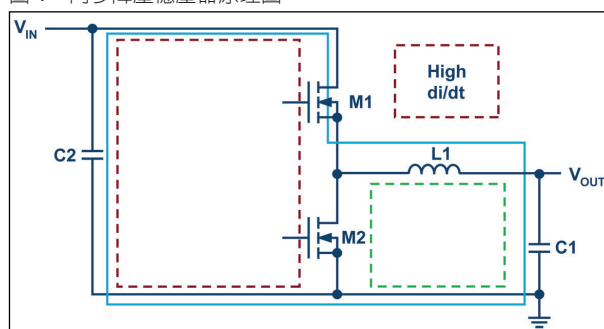
我也将概述 Silent Switcher 的封装和布局，讨论这些封装和布局如何提高降压转换器的整体性能。此外，我将示范如何将此技术融入我们的 μ Module 稳压器，从而提高 SilentSwitcher 元件的整合度。对于不熟悉切换模式电源设计技术的设计人员，这些简单易用的解决方案会很有帮助。

基本降压稳压器电路

最基本的电源拓扑之一是降压稳压器，如图 1 所示。EMI 从高 di/dt 回路开始。供电线和负载线不应具有高交流电流分量。因此，输入电容 $C2$ 应将所有相关电流的交流分量传输至输出电容 $C1$ ，所有电流交流分量在这里结束。

参考图 1，在 $M1$ 关闭而 $M2$ 打开的开启周期中，交流电流在实线蓝色回路中流动。在关闭周期中，当 $M1$ 打开而 $M2$ 关闭时，交流电流在绿色虚线回路中流动。大多数人难以理解，产生最高 EMI 的回路既不是实线蓝色回路，也不是虚线绿色回路。而是虚线红色回路中流动的全切换交流电流，从零

图 1：同步降压稳压器原理图。



切換至 I 峰值，再回到零。虛線紅色迴路通常是指熱迴路，因為它有最高交流電流和 EMI 能量。

導致電磁雜訊和切換振鈴的，是切換穩壓器熱迴路中的高 di/dt 和寄生電感。要減少 EMI 並改進功能，需要儘量減少虛線紅色迴路的輻射效應。如果我們能夠將虛線紅色迴路的 PC 電路板面積減少到零，並且能夠購買到具有零阻抗的理想電容，就能解決這個問題。然而，在現實世界中，設計工程師所能做的就是找到一個最佳的折衷方案！

那麼，這些高頻雜訊到底是從哪裡來的呢？在電子電路中，透過寄生電阻、電感和電容耦合，在切換轉換過程中，產生了高頻諧波。知道是哪裡產生雜訊，那麼如何減少高頻切換雜訊呢？減少雜訊的傳統方式是放慢 MOSFET 切換邊緣。透過放慢內部切換驅動器或從外部增加緩衝器，就可以實現。

但是，這會降低轉換器的效率，因為增加了切換損耗——特別是當切換穩壓器在高切換頻率（如 2MHz）下運行時。說到這裡，我們為何要在 2MHz 的頻率下運行呢？實際上有幾個原因：

- 它允許使用較小（尺寸）的外部元件，如電容和電感。例如，每次切換頻率加倍，會使得電感值和輸出電容值減半。
- 在汽車應用中，在 2 MHz 下切換可以避免在 AM 頻段產生雜訊。

減少輻射，也可使用濾波器和遮罩，但這需要更多的外部元件和電路板面積。還可採用展頻 (SSFM) 技術，但這樣在已知範圍內會使系統時脈抖動。SSFM 有助於滿足 EMI 標準要求。EMI 能

量被打散分佈在頻域上。雖然普通切換電源所選的切換頻率通常會在 AM 頻段之外 (530 kHz 至 1.8 MHz)，但在 AM 頻段內，未經調變的切換諧波仍可能不符合嚴格的汽車 EMI 要求。增加 SSFM 功能可明顯減少 AM 頻段內及其他區域中的 EMI。

或者就使用 ADI 的 Silent Switcher 技術，該技術能夠滿足上述所有要求：

- 高效率
- 高切換頻率
- 低電磁輻射 (EMI)

Silent Switcher 技術

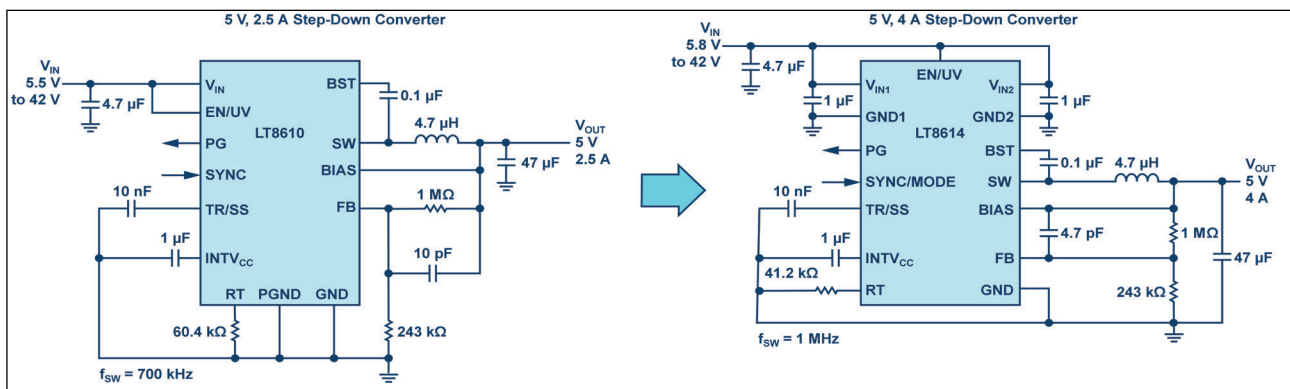
Silent Switcher 元件無需放慢切換邊緣速率，解決了 EMI 和效率之間的權衡問題。那麼如何才能實現呢？考慮使用 LT8610，a 如圖 2 左側所示。這是支援 42 V 輸入的單晶片（內部有 FET）同步降壓轉換器，可提供高達 2.5 A 的輸出電流。請注意，其左上角有一個輸入接腳 (V_{IN})。

但是，將 LT8610 與 LT8614（支援 42V 輸入的單晶片同步降壓轉換器，可提供高達 4 A 的輸出電流）相比，我們可以看到，LT8614 在封裝的另一側有兩個 V_{IN} 接腳和兩個接地接腳。這很重要，因為它是實現超低雜訊切換的一部分！

如何使切換穩壓器具有超低雜訊

如何實現這個目標？在晶片另一側的 V_{IN} 和接地接腳之間放置兩個輸入電容可消除磁場。投影片

圖 2：如何將 LT8610 轉換為 Silent Switcher 元件——LT8614。



中突出顯示了這一點，在原理圖和演示板上均用紅色箭頭指向電容的位置，如圖 3 所示。

圖 3：LT8614 圖，顯示濾波器電容安置在 IC 另一側的 V_{IN} 和接地接腳之間。

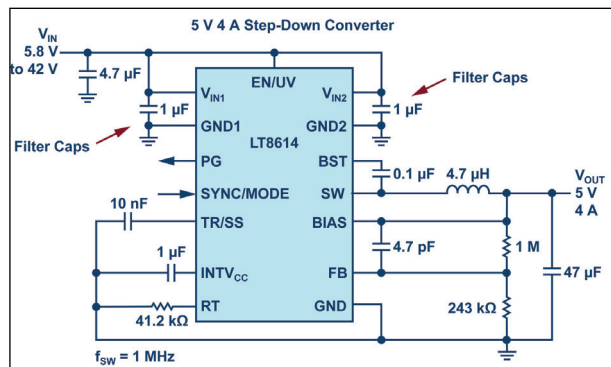
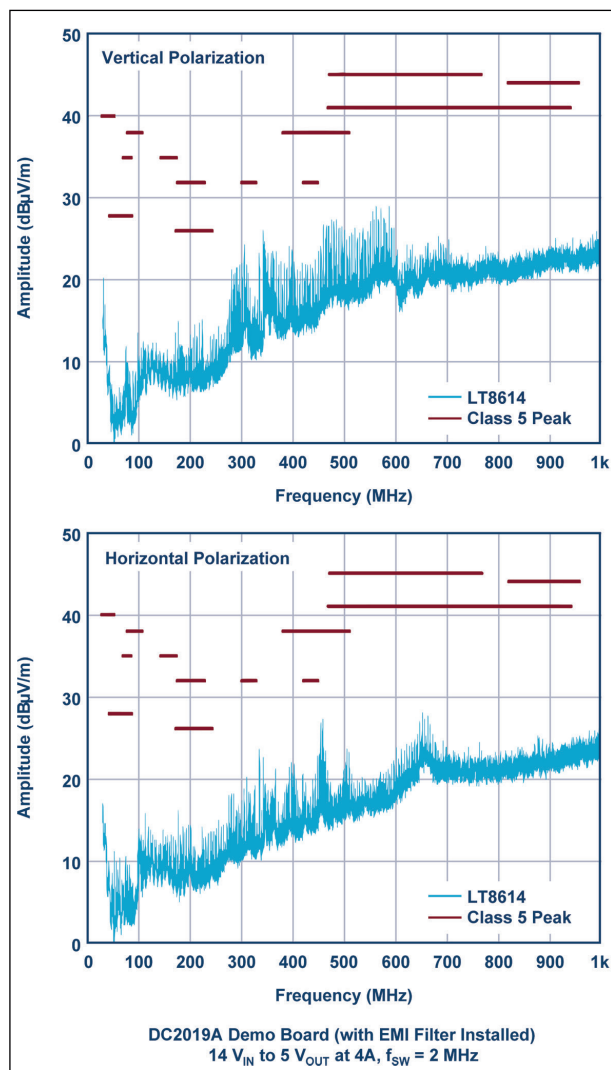


圖 4：LT8614 輻射 EMI 性能可滿足最嚴格的 CISPR 25 Class 5 限制要求。



LT8614 詳情

LT8614 包含 Silent Switcher 功能。利用該功能，我們透過使用銅柱倒裝晶片封裝能夠減少寄生電感。此外，還有反向 V_{IN} 、接地和輸入電容，可消除磁場（適用右手法則）以降低 EMI 輻射。

由於不需要使用焊線鍵合式裝配技術所要求的長鍵合線，不會產生大的寄生電阻和電感，從而可減小封裝寄生電感。兩個對稱分佈的輸入熱迴路產生的反向磁場相互抵消，並且電迴路沒有淨磁場。

我們將 LT8614 Silent Switcher 穩壓器與目前先進的切換穩壓器 LT8610 進行比較。在 GTEM 室中，對兩個元件的標準演示板使用相同負載、相同輸入電壓和相同電感進行了測試。我們發現，與使用 LT8610 具有很不錯的 EMI 性能相比，使用 LT8614 時還能提高 20dB，特別是在管理更高頻率更困難的區域。在整體設計中，與其他敏感系統相比，LT8614 切換電源需要的濾波更少、距離更短，從而可以實現更簡單精巧的設計。此外，在時域內，LT8614 在切換節點邊緣的性能良好。

Silent Switcher 元件的進一步增強

LT8640 降壓穩壓器採用 Silent Switcher 架構，目的在大幅減少 EMI/EMC 輻射，同時在高達 3 MHz 的頻率下提供高效率。它採用 3 mm × 4 mm QFN 封裝，採用整合電源單晶片式結構，同時提供所有必需的電路功能，共同構成 PCB 佔用空間最小的解決方案。瞬變響應性能仍然很傑出，任何負載（從零電流到滿電流）時的輸出電壓漣波低於 10 mV p-p。LT8640 允許在高頻率下進行高 V_{IN} 到低 V_{OUT} 轉換，最短切換導通時間為 30 ns。

為改進 EMI/EMC，LT8640 可工作在展頻模式。該功能以 20% 的三角調頻調整時脈。當 LT8640 處於展頻調變模式時，使用三角調頻功能在 RT 設定值與約高於該值 20% 之間調整切換頻率。調製頻率約為 3 kHz。例如，當 LT8640 設為 2 MHz 時，3kHz 速率下的頻率將從 2MHz 至 2.4MHz 不等。選擇展頻工作模式時，Burst Mode 操作將會禁用，元

件將在脈衝跳躍模式或強制連續模式下運行。

然而，儘管我們在 **Silent Switcher** 資料手冊中都有說明，如提供了原理圖和佈局建議，以及將輸入電容放在盡可能靠近 IC 兩側的位置，有一些客戶仍然會出錯。此外，我們的內部工程師也花了太多的時間來解決客戶的 PCB 佈局問題。因此，我們提出最佳解決方案——**Silent Switcher 2** 架構。

Silent Switcher 2

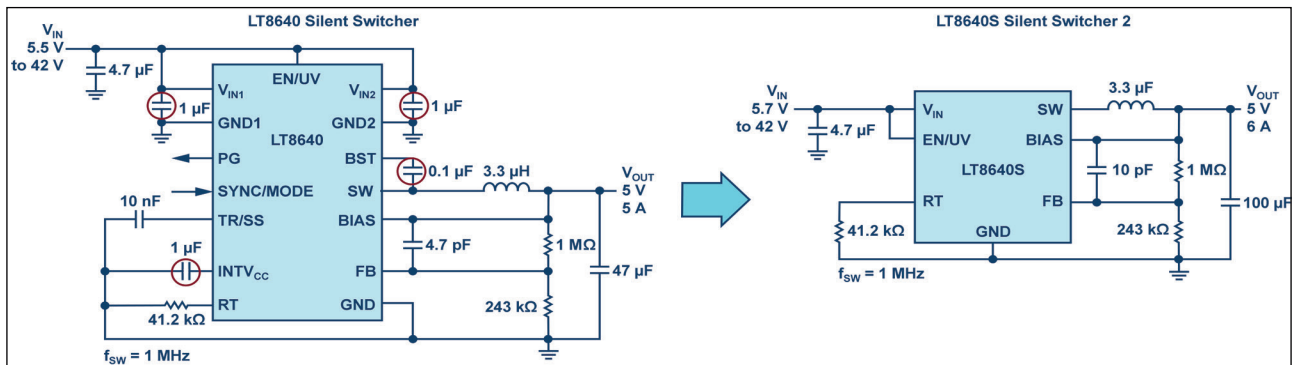
採用 **Silent Switcher 2** 技術，我們只需將電容整合在新 **LQFN** 封裝內： V_{IN} 電容、 $IntV_{CC}$ 和升壓電容——盡可能靠近接腳放置。優勢是將所有熱迴路和接地層都包括在內，從而降低了 EMI。外部元件越少，解決方案尺寸就越小。此外，我們還消除了 PCB 佈局敏感性。如圖 5 所示，可以看出 **LT8640** 和 **LT8640S** 的原理圖有何不同。而行銷突破點是為包含內部電容的整合度更高的新版本冠以「S」的型號尾碼，因為，它比第一代更「安靜」！

Silent Switcher 2 技術提高了散熱性能。**LQFN** 倒裝晶片封裝上的多個大尺寸接地裸露焊墊有助於封裝和 PCB 散熱。由於我們消除了高電阻縫合線，因此還提高了轉換效率。**LT8640S** 的 EMI 性能輕鬆滿足輻射 EMI 性能 **CISPR 25 Class 5** 峰值限制要求並且有較大的餘裕。

下一步：所有組件都與 Silent Switcher 2 μ Module 穩壓器整合

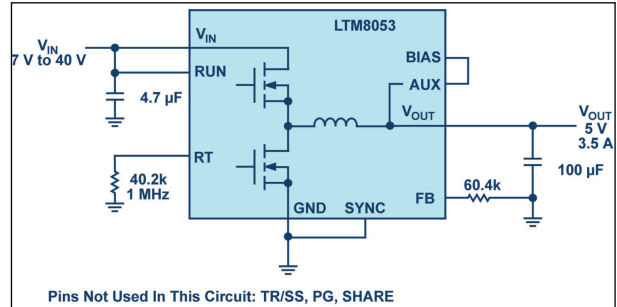
Silent Switcher 技術如此引人注目，我們選

圖 5: **LT8640S** 是一款具有更高的電容整合度的 **Silent Switcher 2** 元件。



擇將其融入我們的 μ Module 穩壓器產品線。所有元件都整合在一個小尺寸封裝中，為用戶提供了一個簡單可靠、高性能和高電源密度的解決方案。**LTM8053** 和 **LTM8073** 是幾乎整合了所有元件的微型模組穩壓器，只有少量電容和電阻接在外部。

圖 6: **LTM8053 Silent Switcher 2 μ Module**。



總結

綜上所述，**Silent Switcher** 功能和優勢將使您的切換模式電源設計更容易滿足 **CISPR 32** 和 **CISPR 25** 等各種抗噪標準要求。它們能夠輕鬆有效地做到這一點是由於以下特性：

- 能夠在大於 2 MHz 切換頻率下進行高效轉換，並且對轉換效率的影響最小。
- 內部旁路電容減少 EMI 輻射並提供更精巧的解決方案占板空間。
- 採用 **Silent Switcher 2** 技術基本上消除了 PCB 佈局的敏感性。
- 可選展頻調變有助於降低雜訊敏感度。
- 使用 **Silent Switcher** 元件既可節省 PCB 面積，又可減少所需的層數。CTA