

60 伏與 100 伏低 IQ Boost/SEPIC/ 反相轉換器

# 打造精小、高效率、 低 EMI 的電源供應器

■作者：Joey Yurgelon / ADI by Linear 類比 IC 設計工程師  
Jesus Rosales / ADI 應用組應用工程師  
Mark Marosek / ADI by Linear 設計工程經理

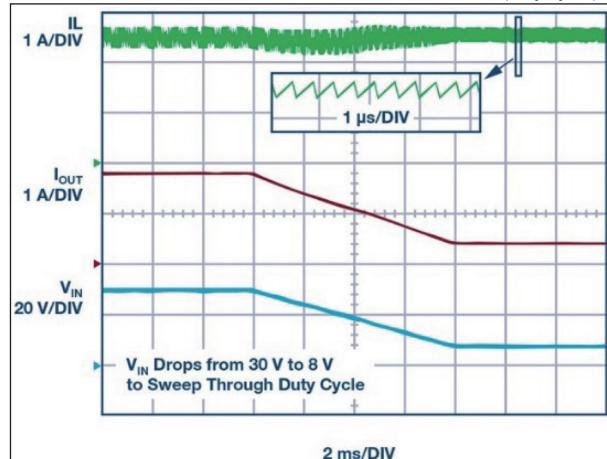
汽車與工業市場需要能塞入狹窄空間並符合各項低 EMI 標準的低發熱電源供應器。包括 LT8362、LT8364、以及 LT8361 在內的切換開關穩壓器均符合包括升壓、單端初級電感轉換器 (SEPIC)、或反相 (inverting topologies) 等方面的要求。每款元件並且都支援工業或汽車環境所需的 2.8 伏至 60 伏超寬廣輸入電壓、低靜態電流 (IQ) Burst Mode 模式，以及列為選項的展頻頻率調變 (SSFM) 模式，以用於降低 EMI。內建強固型電源切換開關支援 60 伏 /2 安培、60 伏 /4 安培、以及 100 伏 /2 安培等供電，高效率的運作模式支援 2MHz 的工作時脈。這些佔用空間極小的元件能符合散熱與電磁干擾方面的嚴苛要求。

## 汽車輸入瞬態與預升壓

現今汽車搭載的電子元件大幅增加，所需的電源供應器也呈現了倍數的成長，以用來將各種電池電壓直接轉換成可供電子元件使用的輸出供電。LT836x 系列元件最低支援 2.8 伏的電壓，能在低溫冷啟動或怠速熄火 (stop-start) 等情況下運作；元件的最高輸入電壓能支援到 60 伏，並能應付包括負載傾注 (load dump) 等高輸入電壓瞬變等情況。

如此寬廣的輸入電壓範圍讓 LT836x 系列元件適用於各種汽車預升壓應用。車用降壓穩壓器在許多應用中都需要預升壓階段，在這個階段中電池輸入電壓可能降到低於降壓穩壓器的輸出電壓。包括

圖 1:LT836x 系列轉換器提供全範圍的補償機制，在尖峰切換電流限制內妥善運行，不必降低尖峰切換電流限制與工作週期 (duty cycle)



LT8361、LT8362、以及 LT8364 都能在電池電力偏低的狀況可提供必要的升壓，以及在額定或負載傾注電池電壓下適時關斷，藉此盡量降低耗電。

## 強固的電源切換開關

任何切換開關式穩壓器的其中一項關鍵要求，就是為特定應用在整個電壓範圍內提供足夠的電力，並保證系統的可靠性。這些支援電壓 / 尖峰電流的強固電源切換開關包括 60 伏 /2 安培 (LT8362)、60 伏 /4 安培 (LT8364)、以及 100 伏 /2 安培 (LT8361) 等規格版本，支援範圍廣泛的應用。LT836x 系列元件的高功率轉換電壓能力，進一步延伸至 SEPIC 以及反相轉換器支援的輸入電壓範圍。

## 極致電力輸送：平坦電流界限 (Flat Current Limit) vs 工作週期

為了在整個輸入電壓範圍輸送最高的電力，LT836x 系列電源切換開關在整個工作週期範圍內維持尖峰值切換電流界限。切換開關元件支援電流能力和官方所述的數據完全一致。相較於轉換器而言，這確實是一大優勢，因為轉換器在高工作週期下尖峰切換電流的界限通常會下滑 30% 以上。

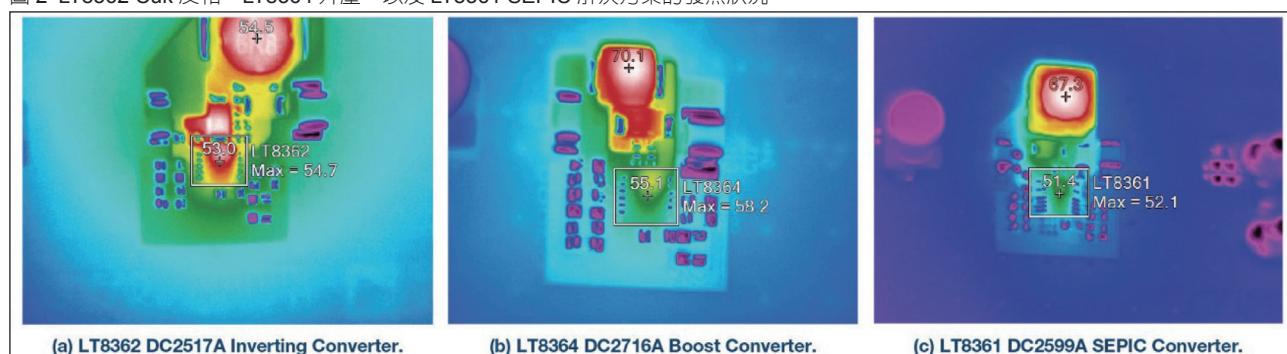
電流模式 dc-to-dc 轉換器通常會在其峰值轉換電流界限加入斜率補償，以防止達到峰值電流界限時出現次諧波震盪。缺點則是隨著工作週期提高（輸入電壓降低），峰值切換電流上限也會跟著降低。LT836x 系列提供全範圍的補償，可讓系統在峰值切換電流界限能維持正常運作，而不會出現峰值切換電流界限 vs 工作週期斜率降低狀況。

## 2 MHz 操作：採用高於 AM 調幅頻段操作頻率的精小電源供應器

為迎合精小電源供應器的需求，dc-to-dc 轉換器藉由採用高切換頻率來降低元件的尺寸及成本。此外，由於汽車應用必須在高於 AM 調幅頻段運作，也促使著頻率必須往 2MHz 移動。

就以往而言，高切換頻率往往導致切換損耗增加以及限縮操作週期的範圍。LT836x 系列採用高速電源切換驅動器將 ac 切換損耗減至最低，並具備極低的最小導通與關斷時間，在 2 MHz 頻率下也能支援甚寬的轉換範圍。舉例來說，LT836x 系列能達到更低的損耗是由更高的操作週期範圍，勝過許多藉

圖 2: LT8362 Cuk 反相、LT8364 升壓、以及 LT8361 SEPIC 解決方案的發熱狀況



由在 400 kHz 頻率工作以達到最高效率的應用。每個覆蓋拓撲的發熱表現 — 包括升壓、SEPIC、以及反相 — 如圖 2 所示。

## Burst Mode 作業：高負載下發揮高效率

對於許多汽車環境而言，在低負載下發揮高效率是一項關鍵特色，電池續航力對這些環境至關重要。LT836x 系列元件藉由選項之一的 Burst Mode 能在低負載下發揮高效率 – 利用 SYNC/MODE 針腳（參見表 2）即可啓用此選項。該模式採用平均分散在較低切換頻率的單切換開關脈衝間隔，除了藉以降低切換開關損耗，還能讓輸出電壓漣波降至最低。在預升壓應用中的深層睡眠模式或直通 (pass through) 模式，LT836x 系列最低只會從輸入針腳汲取 9 毫安培的電力。

## SSFM 模式：三種拓撲通過 CISPR 25 Class 5 標準

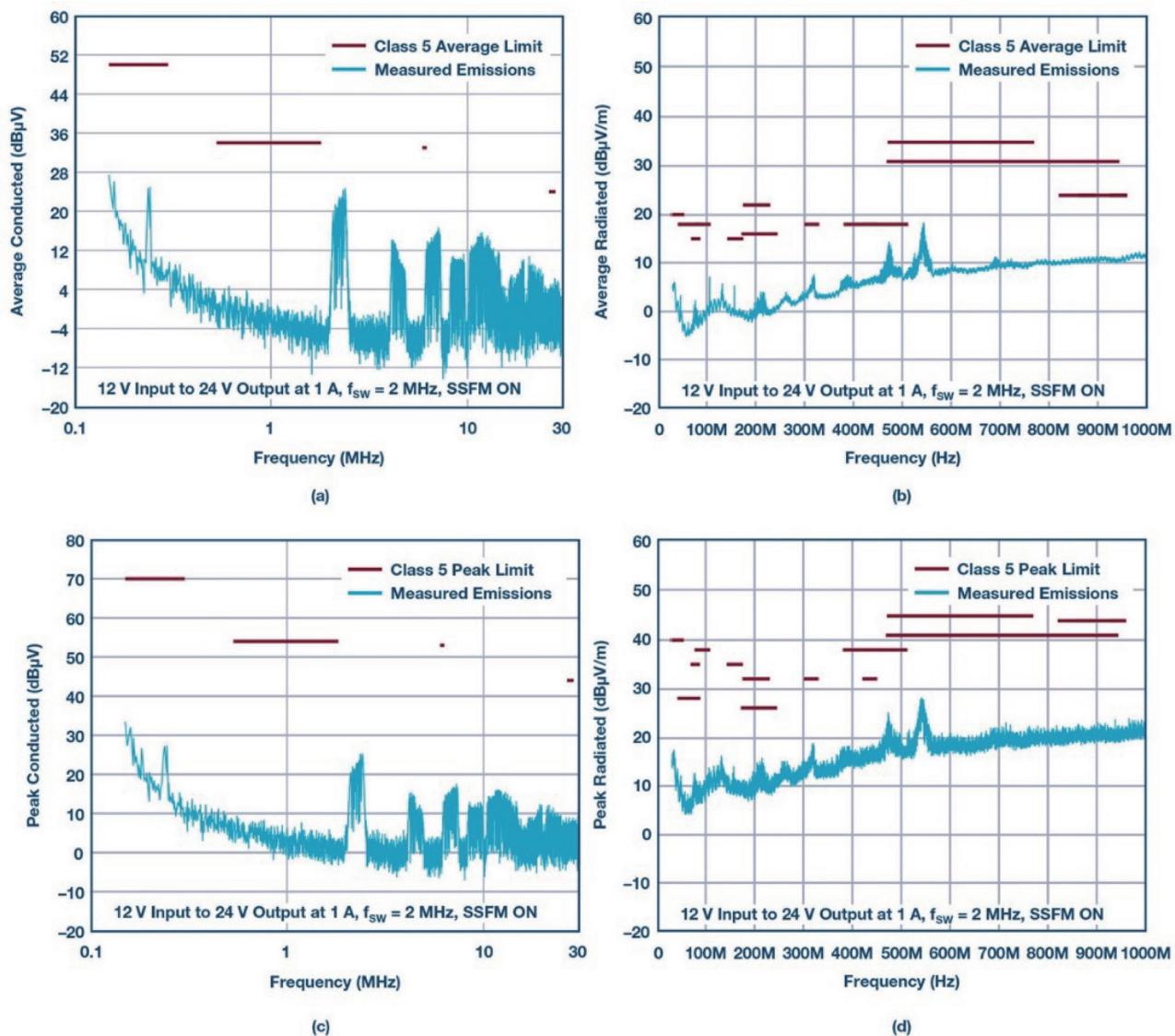
LT836x 系列元件本身採用展頻頻率調變 (SSFM) 模式，加上妥善的機板佈線配合一些濾波器機制，故能符合 CISPR 25 Class 5 標準的規範。

設計者以往面對各種對電磁干擾敏感的環境時都會避免採用切換開關穩壓器。切換開關內含的大型電容，加上充斥輻射源的迴路 (hot loop)，更加提高電路板佈線的重要性，必須達成良好 EMI 性能以及精小的目標，進而加重機板設計與製造方面的工作負擔。包括 LT8362、LT8364、以及 LT8361 等元

圖 3: 低電磁干擾的微型轉換器解決方案



圖 4: LT8364 升壓解決方案的 EMI 測試結果



件的工廠試產電路內含必要的輸入 / 輸出濾波器，其 PCB 佈線也相當合宜，在選用 SSFM 模式 (參見表 2) 時能符合 CISPR 25 Class 5 標準 (經過實際測試)。將轉換器從 EMI 公式中移除，應用的開發時間與成本就能顯著降低。圖 4 顯示一個升壓解決方案進行 EMI 測試的結果。

## 結合兩者的長處：Burst Mode 操作與 SSFM

直到最近，針對低 EMI 目標選用 SSFM 模式，意謂著在低負載狀況必須採用效率較低的脈衝跳略 (pulse-skipping) 模式，然而 LT836x 系列元件不需要這樣的權衡之計。只須在 SYNC/ MODE 針腳與

接地端之間加入一個  $100\text{k}\Omega$  電阻 (見表 2)，LT836x 系列元件在負載變小時能從 SSFM 模式無縫轉換至 Burst Mode。結果就是在所有負載條件下都能維持低 EMI 與高效率。

## 封裝、腳位相容性、以及溫度等級

針對偏愛含鉛封裝的客戶，我們每款元件都提供腳位相容的 16(12)-lead MSE TSSOP 封裝，並移除 4 根針腳以配合 HV 針腳間距的要求。在較小解決方案尺寸方面，LT8362 與 LT8364 亦提供多種 DFN 封裝版本。LT8362 (3 mm × 3 mm) 10-lead DFN 封裝版本其腳位相容於 LT8364，可置入 (4 mm × 3 mm) 到 LT8364 12-lead DFN 封裝的電路板

圖 5:LT8362 升壓解決方案的脈衝忽略 vs. Burst Mode 操作 (24 伏輸入至 48 伏輸出)

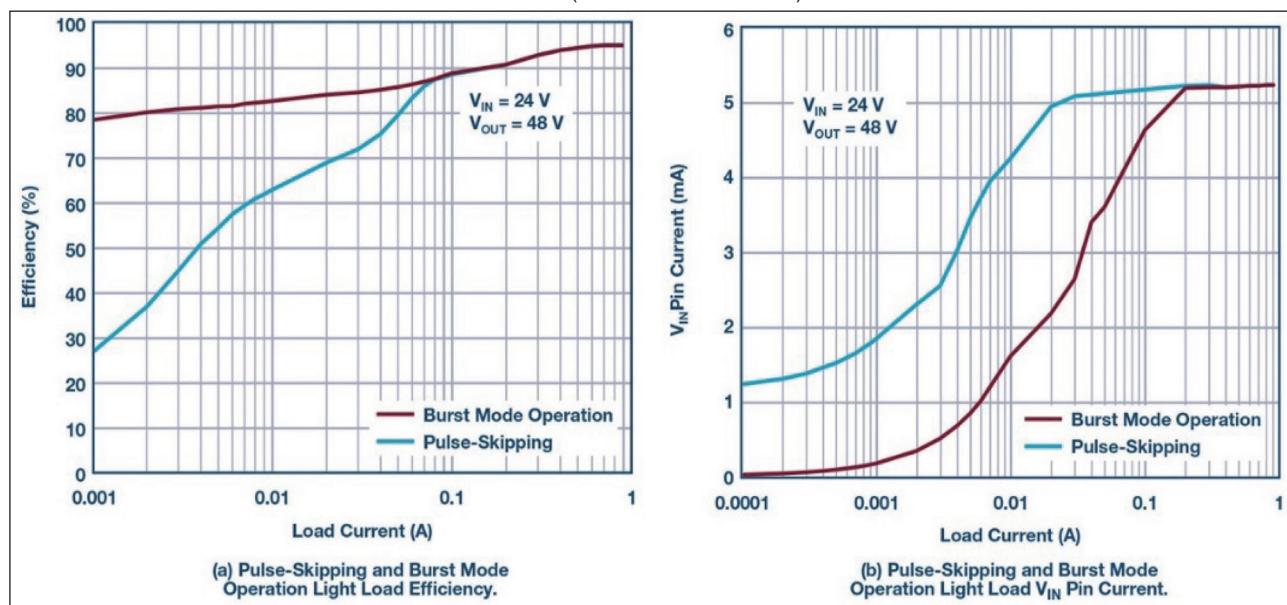
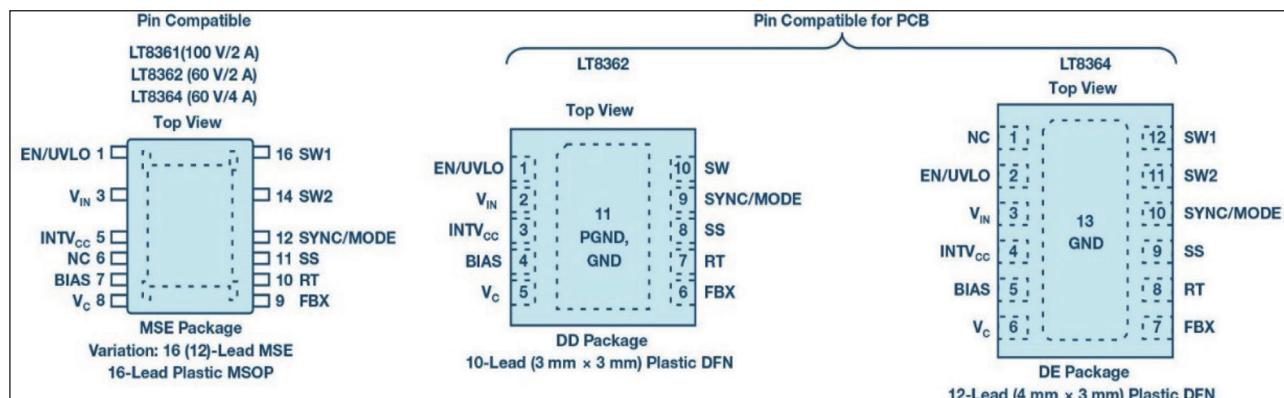


圖 6:LT8361、LT8362、以及 LT8364 封裝的腳位相容性



位置(參見圖6)。上述所有封裝都含有強化散熱效率的外露式接地墊(ground pad)，並提供E、I、H等溫度規範版本。

## 支援升壓/SEPIC/反相：FBX針腳 輸出正電壓與負電壓

藉由單一FBX針腳輸出正電壓與負電壓，即可支援所有拓撲模式。反相應用完全和升壓或SEPIC沒有差別，因此能縮減設計時間以及投入的心力。

## 升壓轉換器

對於需要輸出電壓高於輸入電壓的應用，LT836x系列因為支援2.8伏至60伏的輸入能力，以及電源切換開關額定規格的範圍，因此適合許多升壓轉換器應用。對於大轉換比設計，在不連續導通模式(DCM)下運作可能是最好的解決方案；而連續導通模式(CCM)

類似提供較高的輸出功率。

圖7的轉換器顯示一個LT8364低IQ、低EMI、2MHz時脈的24伏升壓轉換器，內含通過CISPR 25 Class 5輻射與導通EMI標準認證的SSFM(如圖4所示)。配合12伏特的輸入，這種

圖7:LT8364這款2MHz時脈24伏輸出升壓轉換器通過CISPR 25 Class 5標準的EMI規範(參見圖4)。

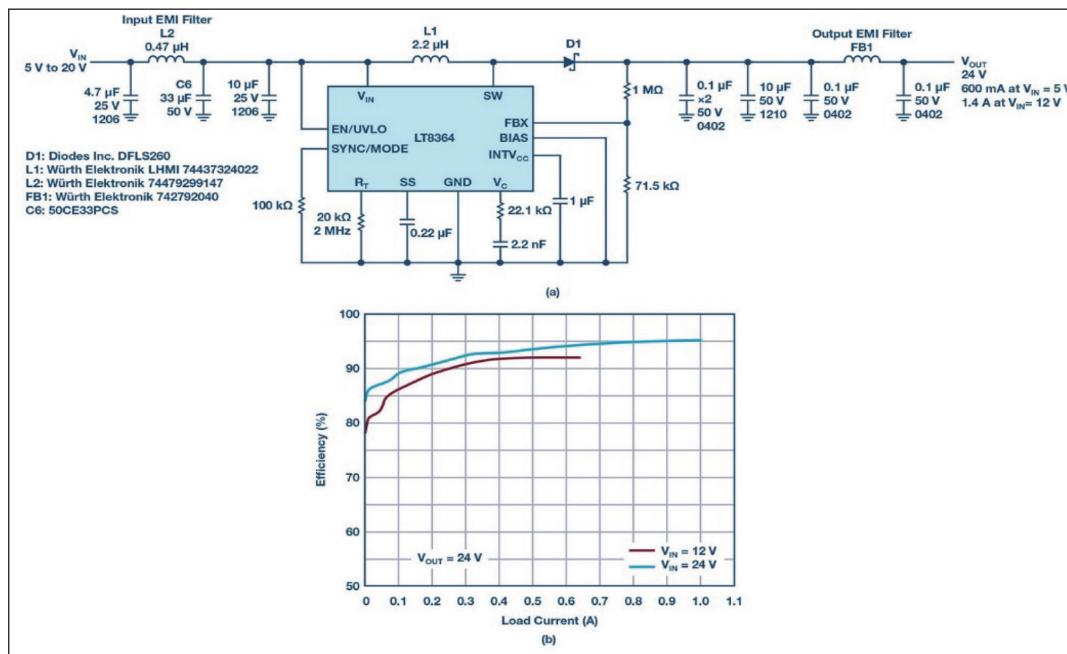
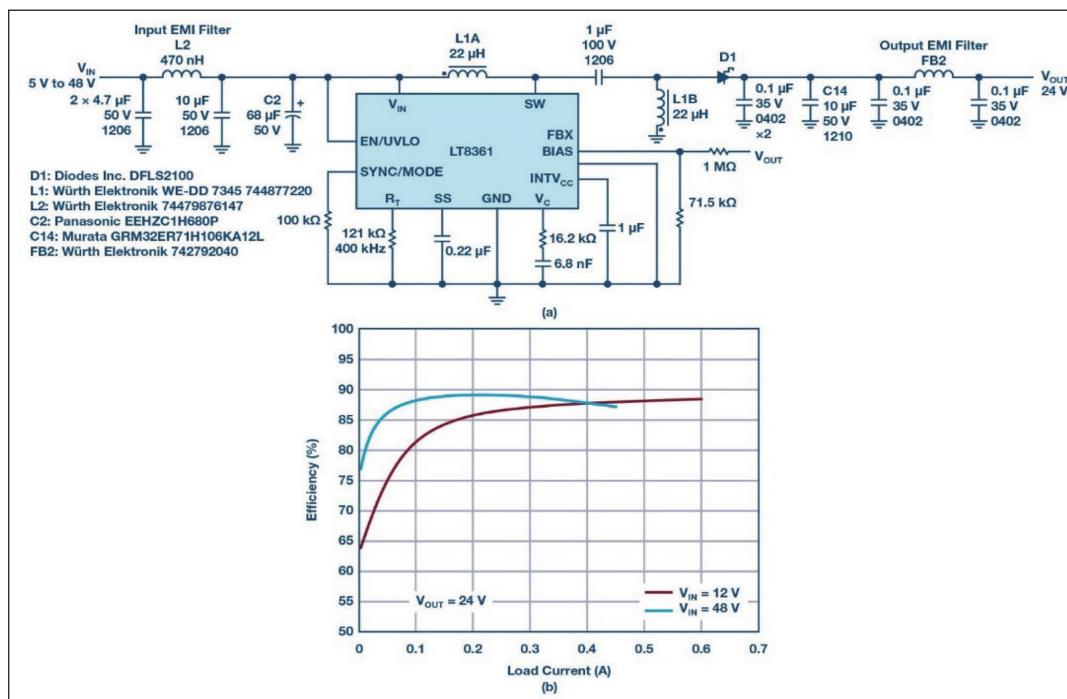


圖8:LT8361該款400kHz時脈24伏輸出SEPIC轉換器通過CISPR 25 Class 5標準的EMI規範



應用能輕易達到 94% 的峰值效率。

## SEPIC 轉換器

許多汽車與工業應用的輸入電壓經常會高於與低於要求的輸出電壓。對於這些應用，必須用 dc-to-dc 轉換器來調高與調低其輸入電壓，通常採用的解決方案是 SEPIC 拓撲。SEPIC 支援各種需要輸出關斷的應用，以確保在關機時不會輸出電壓，並能容許輸出短路故障，這是因為輸入到輸出端之間沒有直流通路的緣故。LT836x 系列元件的切換額定值為 60 伏 /100 伏，具備相當低的最低導通與關斷時間，以及支援極寬的輸入電壓範圍，這些元件提

供自行設定的 BIAS 針腳，以作為第二輸入電源供 INTVCC 穩壓器使用，藉以提升效率。

圖 8 顯示的 SEPIC 轉換器採用 LT8361，展現 100 伏額定切換開關的多元功能。切換開關電壓的額定值必須高過額外增加的最大輸入與輸出電壓。從 48 伏輸入到 24 伏輸出，這款切換開關元件還能輕易應付 72 伏的轉換需求。支援的使用情境包括輸入高於輸出，在連到 VOUT 時，BIAS 針腳能提供提升效率的作用。在 SSFM 模式下運作，這種應用通過 CISPR 25 Class 5 幅射與導通 EMI 的規範（如圖 9 所示）。連接 12 伏輸入時，峰值效率為 88%。

圖 9:LT8361 SEPIC 解決方案的 EMI 測試結果

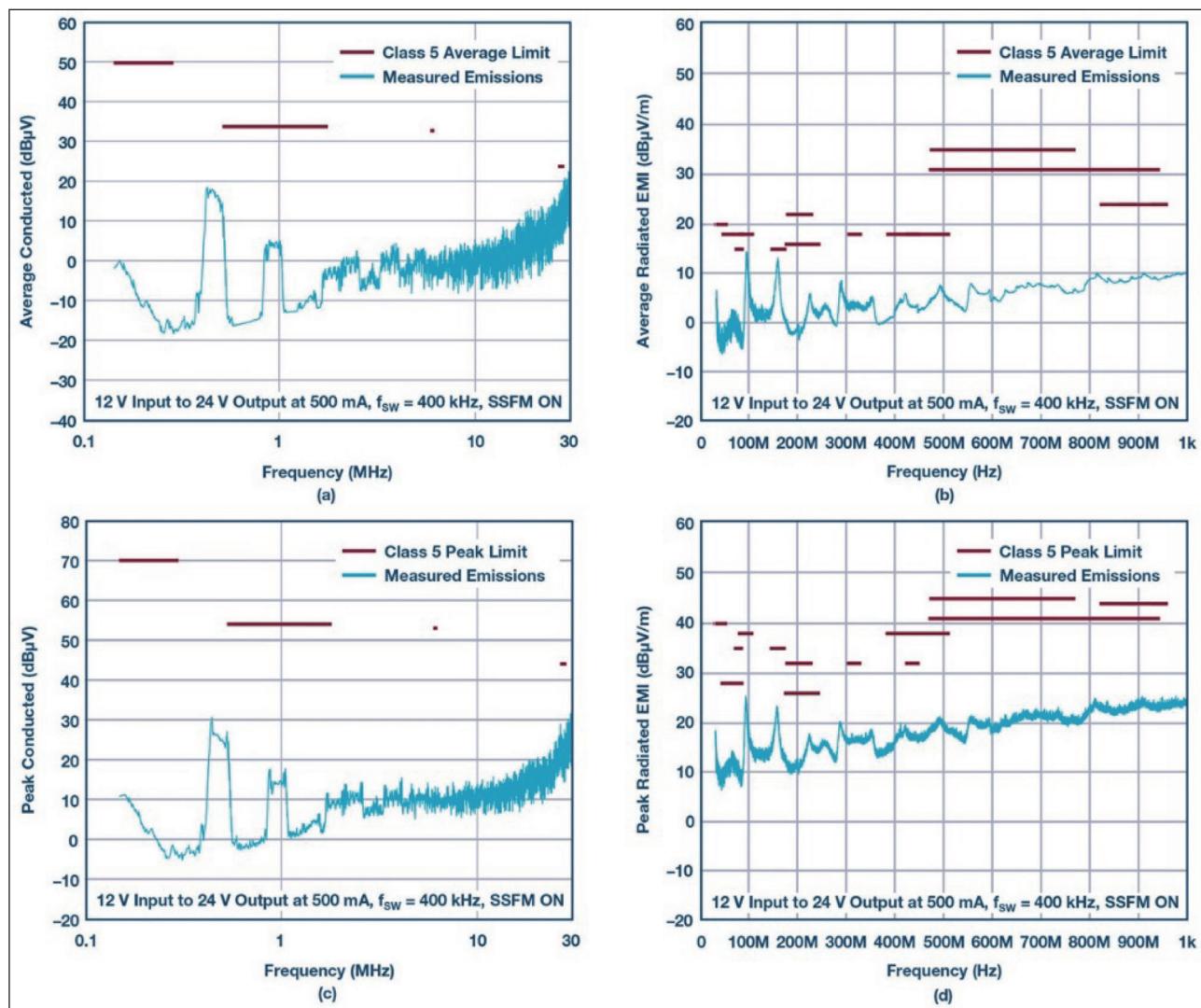


圖 10:LT8362 這款 2 MHz 時脈頻率 -12 伏輸出的反相轉換器通過 CISPR 25 Class 5 標準的 EMI 規範

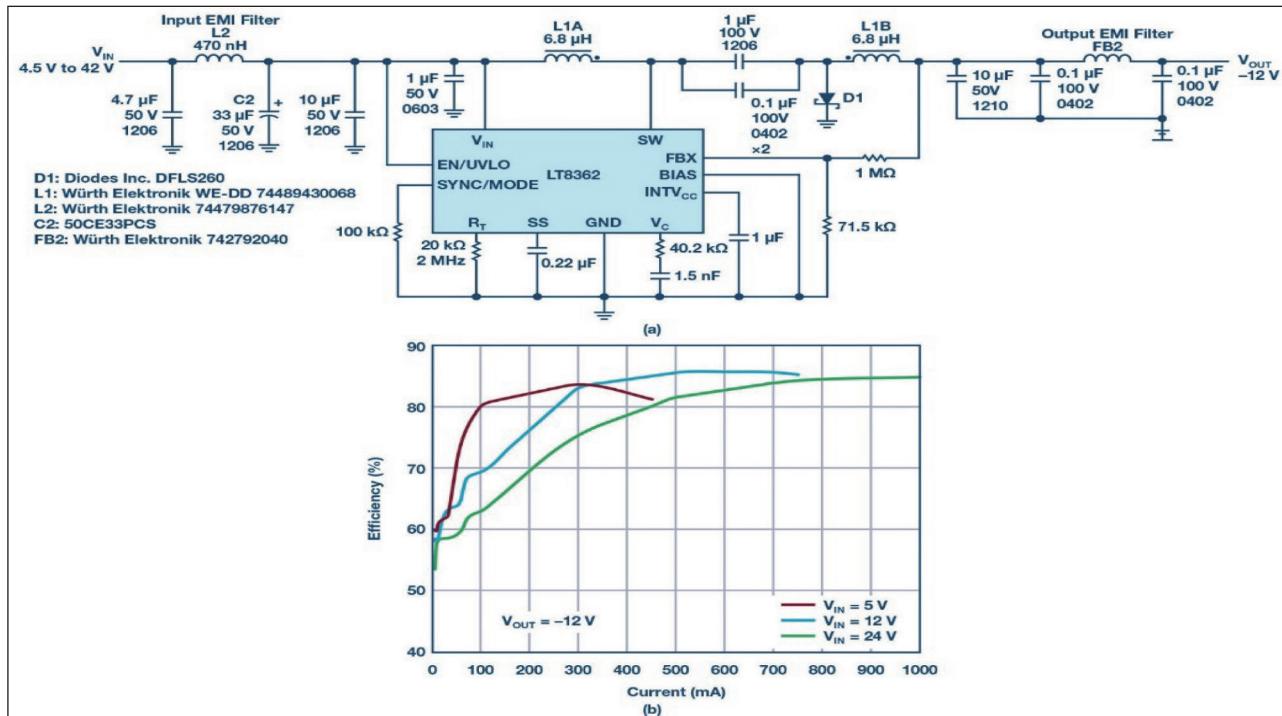


圖 11:LT8362 反相解決方案的 EMI 測試結果

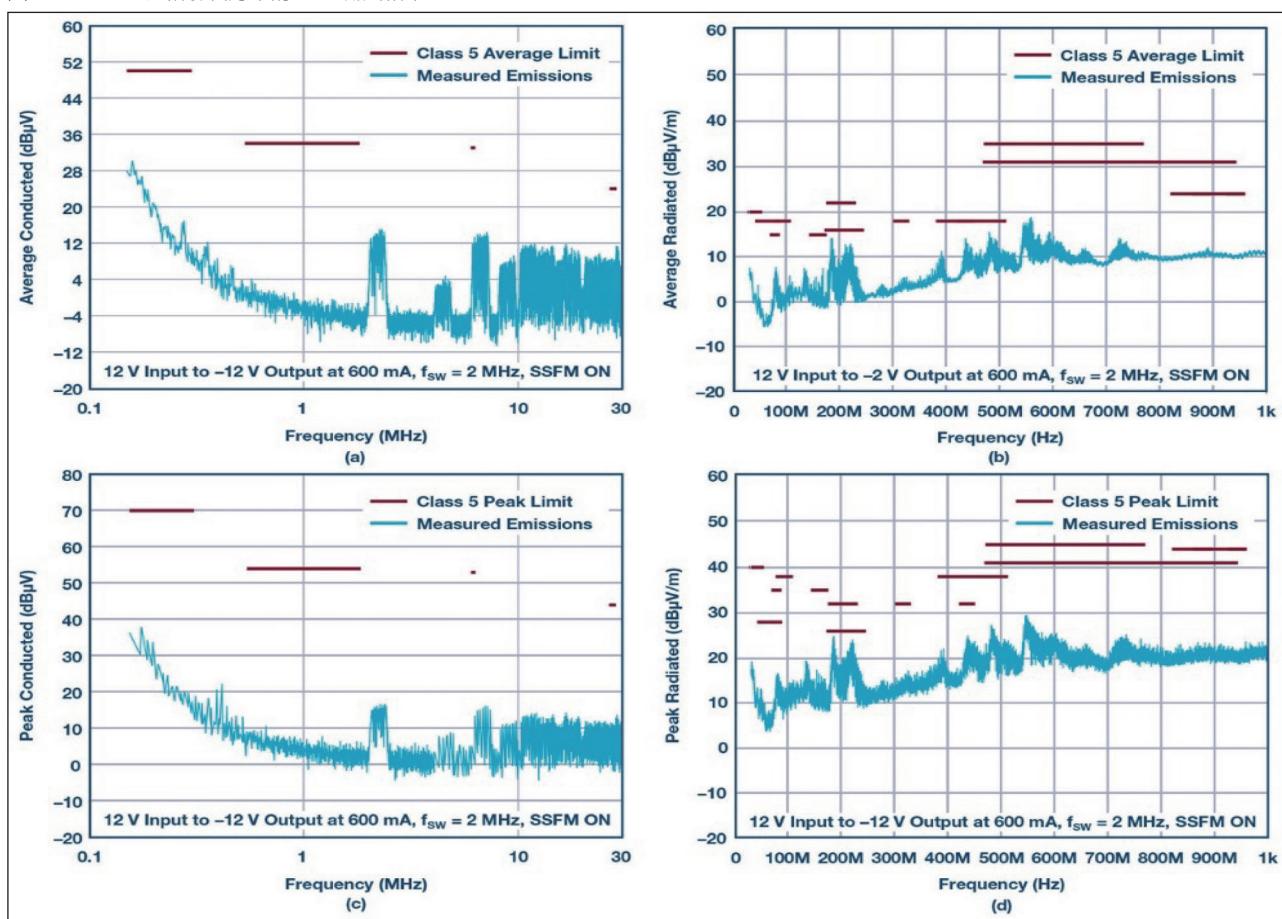


表 1: 低 IQ 升壓 /SEPIC/ 反相轉換器；本文中提及的各款元件

	LT8362	LT8364	LT8361	LT8330	LT8331	LT8335
Burst Mode IQ	9 毫安培	9 毫安培	9 毫安培	6 毫安培	6 毫安培	6 毫安培
輸入電壓範圍	2.8 伏至 60 伏	2.8 伏至 60 伏	2.8 伏至 60 伏	3 伏至 40 伏	2.8 伏至 60 伏	3 伏至 25 伏
可編程，固定切換頻率	300 kHz 至 2 MHz	300 kHz 至 2 MHz	300 kHz 至 2 MHz	2 MHz	100 kHz 至 500 kHz	2 MHz
展頻頻率調變 以達到低 EMI	支援	支援	支援			
電源切換開關電壓 / 電流	60 伏 /2 安培	60 伏 /4 安培	100 伏 /2 安培	60 伏 /1 安培	140 伏 /0.5 安培	28 伏 /2 安培
封裝	3mm × 3mm DFN, 16(12)-接腳 MSE	4mm × 3mm DFN, 16(12)-接腳 MSE	16(12) 接腳 MSE	3mm × 2mm DFN, TSOT- 23	16(12) 接腳 MSE	3mm × 2mm DFN
溫度等級	E、I、H	E、I、H	E、I、H	E、I、H	E、I、H	E、I、H

## 反相轉換器

現今電子產品經常會使用負電電源。然而許多應用只能得到正電輸入電壓來供運作之用。LT836x 系列元件在配置成反相拓撲時，能對高於或低於負電輸出電壓的正電輸入電壓進行調節。在配合 SEPIC 拓撲時，60 伏 /100 伏的高切換額定值以及極低的最低導通與關斷時間，則能支援極寬的輸入電壓範圍。

能在 2 MHz 頻率下運作的 LT8362 提供一個簡單的途徑，用來從正電輸入電源轉換成負電電壓，如圖 10 所示 — 一個低 IQ、低 EMI、2 MHz 頻率的 -12 V 反相轉換器配合 SSFM 模式。藉由強固的 60 伏切換開關，這個應用能支援到 42 伏的輸入電壓 ( $|V_{OUT}| + V_{IN} = 60$  V)。在 12 伏的  $V_{IN}$  輸入電壓下，可達到 85% 的峰值效率。在 SSFM 模式下運作時，這個應用能通過 CISPR 25 Class 5 標準的幅射與導通 EMI 規範（如圖 11 所示）。

## 總結

為滿足汽車與工業市場對於精小、高效率、低 EMI 電源供應器的需求，LT836x 系列提供強固型 LT8362 (60 伏 / 安培)、LT8364 (60 伏 /4 安培)、以及 LT8361 (100 伏 /2 安培) 切換開關式穩壓器，支援升壓、SEPIC、以及反相等拓撲。這些元件大

表 2: LT836x 系列元件支援的模式與作業

SYNC/MODE 針腳輸入	支援的操作模式
(1) GND 接地或 <0.14 伏	Burst Mode
(2) 外部時脈	脈衝忽略 / 同步
(3) 100 kΩ 暫存器連至 GND 接地端	Burst/SSFM
(4) 浮接 (Float)( 針腳開路 )	脈衝跳略
(5) INTVCC 或 > 1.7 伏	脈衝跳略 /SSFM
溫度等級	E、I、H

幅超越其他替代產品，因為支援低 IQ Burst Mode 操作、在操作週期範圍內維持平坦切換電流界限、2MHz 操作頻率下達到低切換損耗，以及 2.8 伏至 60 伏的寬廣輸入範圍。

低 EMI 性能可透過適當的機板佈線與濾波器設計，搭配 SSFM 模式，即可達到 CISPR 25 Class 5 EMI 標準的規範。

由於 LT8362(3 mm × 3 mm DFN(10)) 與 LT8364(4 mm × 3 mm DFN(12)) 所有元件具備 16(12) 針腳 MSE 腳位與接腳佔位相容性，故能簡化設計開發的流程。LT836x 系列的所有成員均支援 E、I、H 之操作溫度等級。CTA