

---

## 降壓轉換器架構之比較

### 摘要

此報告將比較三種直流降壓變換器之架構，包括電流模式、電流模式-恒定導通時間 (CMCOT) 和立錡專有之先進恒定導通時間 (ACOT) 架構。將詳細解說此三種架構之間的差異，並將列出每一種架構在實際應用中之優缺點。

### 目錄

1. 簡介 .....	2
2. 電流模式降壓轉換器 .....	2
3. 立錡之電流模式 - COT (CMCOT) 降壓轉換器 .....	4
4. 立錡之 ADVANCED-COT (ACOT™) 降壓轉換器 .....	5
5. 測量結果比較 .....	7
6. 總結 .....	10

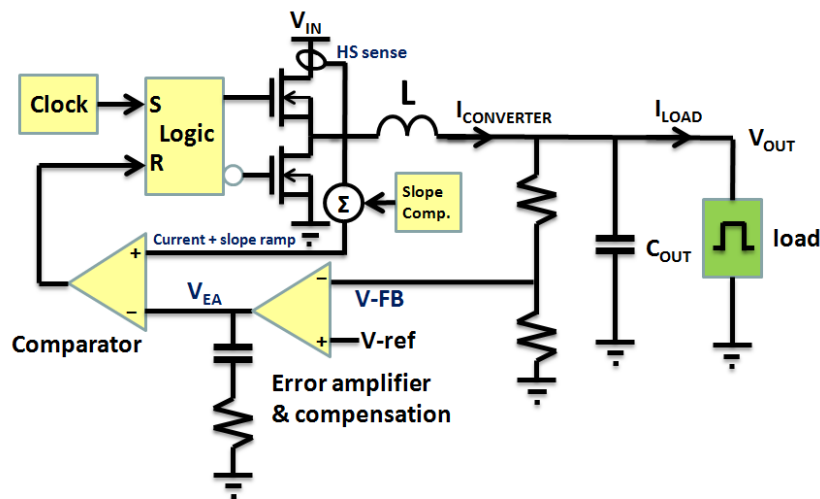
## 1. 簡介

降壓轉換器被廣泛應用於各種消費性和工業上的應用之中，其中常需轉換器將較高的輸入電壓轉換成一較低的輸出電壓。現有的降壓轉換器效率非常好，並能在變化範圍很大的輸入電壓和輸出負載的條件下，仍產生調節良好的輸出電壓。降壓轉換器有很多不同的回路控制方式：在過去，被廣泛使用的是電壓模式和電流模式，然而近來恒定導通時間（COT）架構也常被使用，而有些降壓轉換器則是同時由電流模式和恒定導通時間來控制的。

立錫的 DC-DC 產品組合包含了多種降壓轉換器，包括電流模式（CM），電流模式-恒定導通時間（CMCOT）和先進恒定導通時間（ACOT™）等架構。每種架構都有其優點和缺點，因此在實際應用中要選擇降壓轉換器時，最好能先瞭解每種架構的特點。

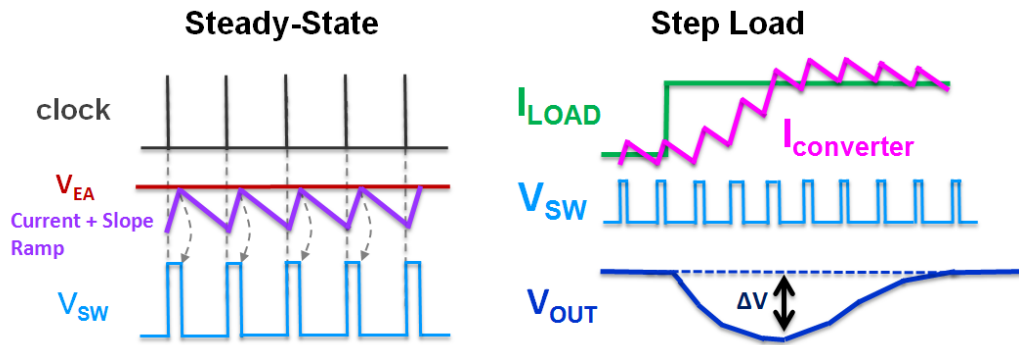
## 2. 電流模式降壓轉換器

電流模式降壓轉換器之內部功能框圖顯示於圖一。



圖一、電流模式轉換器之內部功能框圖

在典型的電流模式控制中，會有一個恒定頻率來啟動高側 MOSFET，並有一誤差放大器將反饋信號與參考電壓作比較。然後，電感電流的上升斜率再與誤差放大器的輸出作比較；當電感電流超過誤差放大器的輸出電壓時，高側 MOSFET 即被關斷 (OFF)，而電感電流則流經低側 MOSFET，直等到下一個時鐘來到。電流斜坡再加上斜率補償之斜坡是為要避免在高占空比時的次諧波振盪，並提高抗雜訊性能。電流模式轉換器之回路頻寬 ( $F_{BW}$ ) 是由誤差放大器輸出端的補償元件來設定，通常設在遠低於轉換器的開關頻率。電流模式轉換器之穩態和負載瞬態變化操作之波形顯示於圖二。



圖二、電流模式轉換器之穩態與負載瞬態的波形

恒定頻率使得電流模式控制的系統對於負載的突然變化，反應會相當地慢，尤其是在低占空比的應用之中。這是因為一旦高側 MOSFET 被關斷 (OFF)，它就會一直保持關斷，直等到下一個頻率來到。當轉換器試圖滿足新的負載需求時，頻寬的大小也限制了可達到的最大占空比。在負載呈現快速步階變化的應用中，電流模式轉換器則會產生較大的輸出電壓波動。在步階負載時，電壓驟降  $\Delta V$  是和負載步階的幅度和速率、輸出電容和轉換器的頻寬有關。為確保電流模式轉換器有良好的穩定性，回路頻寬通常設在開關頻率的 1/10 或甚至更低。

電流模式轉換器的另一個缺點是，控制高側 MOSFET 關斷的決定點是在高側 MOSFET 導通的時候 (ON)，即在電流與系統的雜訊都較高的時候。因此有必要要過濾雜訊，並且也對高側 MOSFET 的最小導通時間造成一些限制。如此反過來又限制了降壓轉換器的最小占空比範圍。恒定斜率補償通常也會在某些特定的輸入和輸出電壓條件下，限制電感值的大小。

電流模式轉換器尚具有的優點：內部頻率使開關頻率得以在各種輸入和輸出條件下，都保持非常穩定；這在某一些應用中是非常重要的。此內部頻率也可以與外部頻率信號同步，所以在相同的頻率下，可運作數個轉換器。

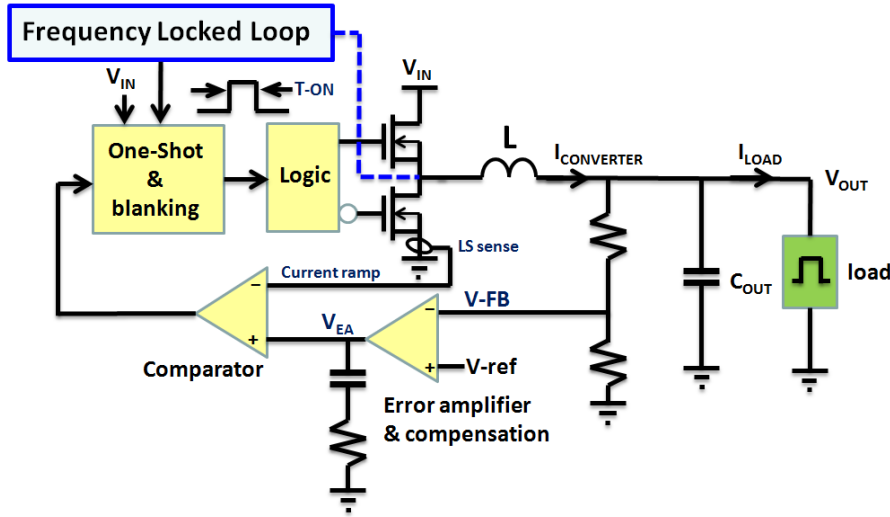
表一列出了電流模式降壓轉換器的優點和缺點。

表一

電流模式降壓轉換器	
優點	缺點
<ul style="list-style-type: none"> <li>穩定的恒定頻率</li> <li>可與外部頻率同步</li> <li>成熟的技術</li> <li>可使用 MLCC，並保持穩定</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>對快速負載步階的反應較慢</li> <li>需誤差放大器補償</li> <li>需斜率補償</li> </ul>

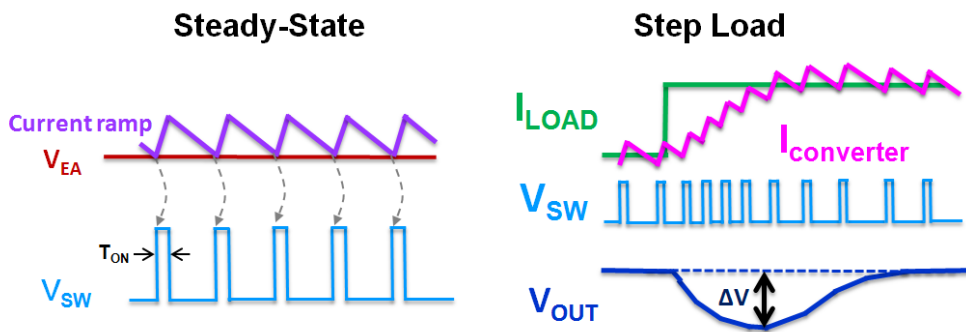
### 3. 立錫之電流模式 - COT (CMCOT) 降壓轉換器

立錫之電流模式-COT 降壓轉換器之內部功能框圖顯示於圖三。



圖三、電流模式-恒定導通時間轉換器之內部功能框圖

CMCOT 降壓轉換器並沒有內部頻率；高側 MOSFET 會恒定導通一段預定導通 (ON) 時間。占空比是借著改變高側 MOSFET 的關斷 (OFF) 時間而調整的。CMCOT 轉換器也包含了電流檢測及誤差放大器。然而現在則是用電流的下降斜率和誤差放大器的輸出作比較，所以電流檢測是藉由低側 MOSFET。這比較容易實現，而且也較不易受雜訊影響，特別是在低占空比的情況之下，因為系統不需要等待下一個頻率來到，所以能較快速地反應突然的步階 負載。一當輸出凹陷/下沉，誤差放大器之輸出電壓會上升，且上升至電流的下降斜率時，一個新的導通 (ON) 時間週期就會啟動，使轉換器之電流再次上升。CMCOT 轉換器之穩態和負載瞬態變化操作之波形顯示於圖四。



圖四、電流模式 – COT 轉換器之穩態與負載瞬態的波形

電流的數值是隨著誤差放大器的輸出而定的，因此誤差放大器的增益和速率會影響轉換器之反應速率。在 CMCOT 架構中，由補償元件所設定的最大頻寬 是和導通 (ON) 時間的倒數有關的，並不像電流模式是和開關頻率有關。因此 CMCOT 轉換器的頻寬會比電流模式轉換器的頻寬高，而且在快速的負載步階時，輸出電壓的波動也較小。CMCOT 在高占空比時，不會有次諧波振盪的問題，因此就不需要斜率補償，而這就使得可選擇的電感值範圍更大。

在僅有恒定導通時間控制之架構中，不同輸入和輸出電壓條件下，開關頻率的變化範圍可能會很大。然而，立錡 CMCOT 轉換器的導通 (ON) 時間是由一個特殊的電路來控制的，它會慢慢地調整導通時間，以調節平均的開關頻率，使其達到所預設的頻率。和電流模式類似的是，在有步階負載時，電壓驟降 值  $\Delta V$  是和負載步階的幅度和速率、輸出電容和轉換器的頻寬有關；而所不同的是地方則是，在 CMCOT 中，由補償元件所設定的最大頻寬可高於開關頻率的 1/10。

CMCOT 也有一些缺點：由於轉換器是藉由改變頻率來調節輸出電壓，所以轉換器無法和外部頻率同步。頻率控制回路的波形也顯示開關頻率的改變是和負載的瞬態變化有關。

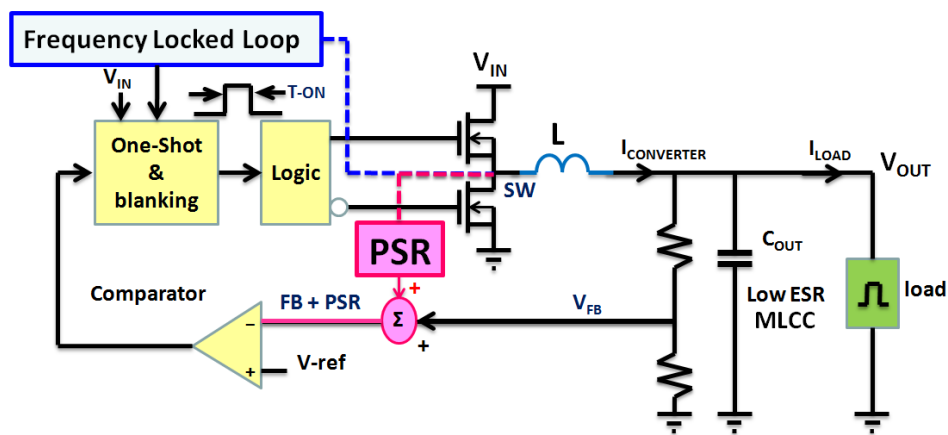
表二列出了 CMCOT 降壓轉換器的優點和缺點。

表二

立錡之電流模式-COT (CMCOT) 降壓轉換器	
優點	缺點
<ul style="list-style-type: none"> <li>快速反應負載步階的變化</li> <li>低側電流檢測</li> <li>最低導通時間小，占空比可較低</li> <li>恒定的平均開關頻率</li> <li>可使用 MLCC，並保持穩定</li> <li>無需斜率補償</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>需誤差放大器補償</li> <li>無法與外部頻率同步</li> <li>負載瞬態變化時，頻率變化範圍較大</li> </ul>

#### 4. 立錡之 ADVANCED-COT (ACOT™) 降壓轉換器

立錡之 Advanced-COT (ACOT™) 降壓轉換器之內部功能框圖顯示於圖五。



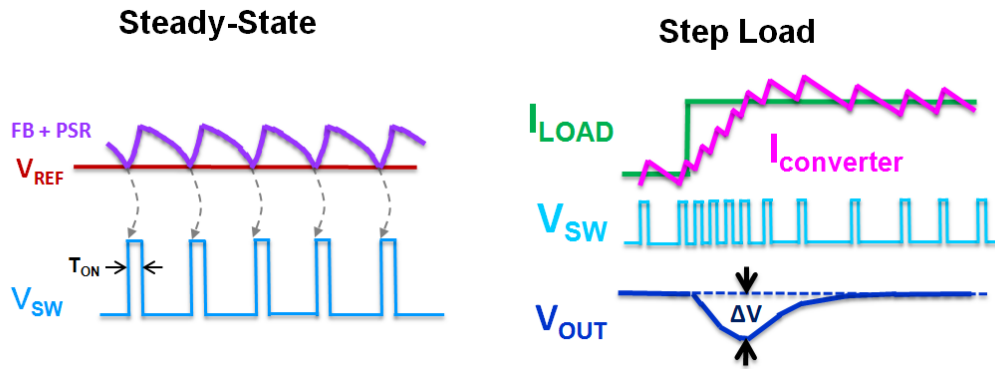
圖五、ACOT 降壓轉換器之內部功能框圖

ACOT™ 降壓轉換器不包含誤差放大器或電流檢測；而是直接將反饋信號（DC 電壓值 + 紋波電壓）與內部參考電壓作比較。當反饋信號低於參考電壓時，會啟動一個新的恒定導通 (ON) 時間週期，電感電流也因此而上升。若尚未達到額定之輸出電壓，在很短的一個遮沒週期 (blinking period) 之後，即會啟動另一導通 (ON) 時間週期，一直到電感電流達到所需之負載電流，且輸出電壓達到額定電壓值為止。傳統的 COT 轉換器需要和電感電流同相位的輸出電壓紋波，才能穩定地控制開關；如此就需要有高 ESR 的輸出電容。

為了能使用低 ESR 的陶瓷電容，立錡之 Advanced-COT 架構會在內部產生一個 PSR 脈動信號，並加到來自轉換器輸出端的紋波和 DC 電壓；相加之後，再與內部參考電壓作比較。當此相加電壓低於參考電壓時，比較器會啟動導通時間產生器 (ON Time Generator)。輸出電壓的突然下降隨即會產生一個新的導通時間週期，且只要尚未達到額定之輸出電壓，此轉換器可連續地產生新的導通時間週期；而這 也就是 ACOT 架構之所以能對負載的瞬態變化有極快的反應速度的原因。

內建的特殊鎖頻回路系統會慢慢調整導通時間，以調節平均的開關頻率，使其達到所預設的頻率值。

ACOT 轉換器之穩態和負載瞬態變化操作之波形顯示於圖六。



圖六、ACOT 轉換器之穩態與負載瞬態的波形

在負載瞬態變化期間，ACOT 轉換器之電壓驟降值的近似公式如下：

$$\Delta V \approx \frac{(\Delta I_{LOAD})^2 \cdot L}{2 \cdot C_{OUT} \cdot (V_{IN} \cdot \delta_{max} - V_{OUT})}$$

其中， $\delta_{max}$  是轉換器在負載瞬態變化期間可達到的最大占空比，且是和導通時間與消隱時間有關的。

ACOT 轉換器在快速負載瞬態變化時，頻率變化很大。當某些應用是在一些特定的開關頻率波段較敏感時，就必須特別留意動態負載的情形，因為在此情況下的頻率變動是最為顯著的。

表三列出了 ACOT 降壓轉換器的優點和缺點。

表三

立錡之 Advanced-COT (ACOT™) 降壓轉換器	
優點	缺點
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 極快速反應負載步階的變化</li> <li>• 無需電流檢測</li> <li>• 最低導通時間小，占空比可較低</li> <li>• 恒定的平均開關頻率</li> <li>• 可使用 MLCC，並保持穩定</li> <li>• 無需斜率補償</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 無法與外部頻率同步</li> <li>• 動態負載時，開關頻率 (FSW) 變動也很大</li> </ul>

### 5. 測量結果比較

以下將用三個立錡的產品、分別代表三種架構之低電壓降壓轉換器，且都應用於 5V → 1.2V / 1A 的條件下，來作實際的比較：

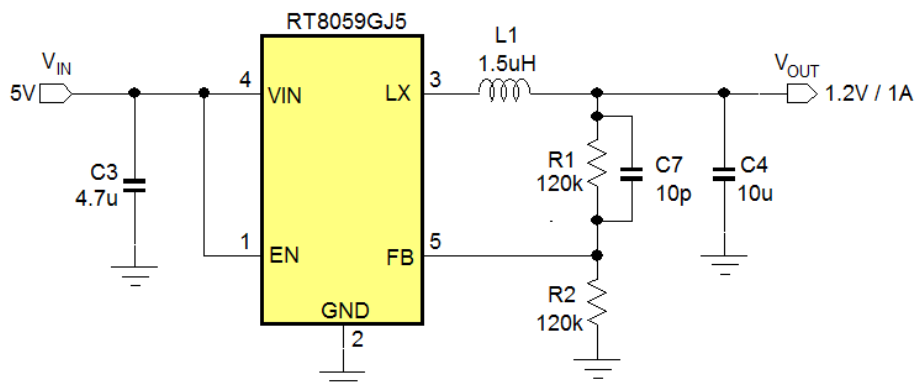
- [RT8059](#) (1.5MHz/1A 電流模式降壓轉換器)
- [RT8096A](#) (1.5MHz/1A CMCOT 降壓轉換器)
- [RT5784A](#) (1.5MHz/2A ACOT 降壓轉換器)

此三個應用電路所使用之主要元件(如輸出電容和電感)都完全相同，所以測量的結果和差異即完全是因不同的控制架構所產生的，也因此可直接作為此三種架構之比較。

轉換器是以快速的負載步階作為測試條件；其中  $di/dt$  斜率值是模擬 MCU Core 及 DDR 為負載的情形。

#### [RT8059](#) 之應用與測試結果：

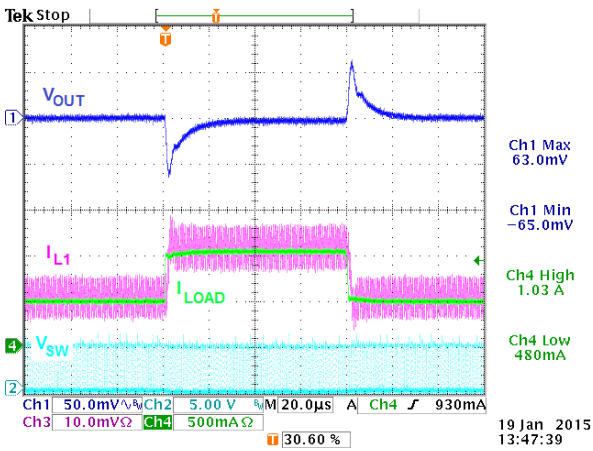
圖七顯示立錡之電流模式降壓轉換器 [RT8059](#) 的應用電路圖；RT8059 有內建的補償電路，且外加的前饋電容 C3 可改善反應的時間。



圖七、[RT8059](#) 於 5V → 1.2V / 1A 的應用

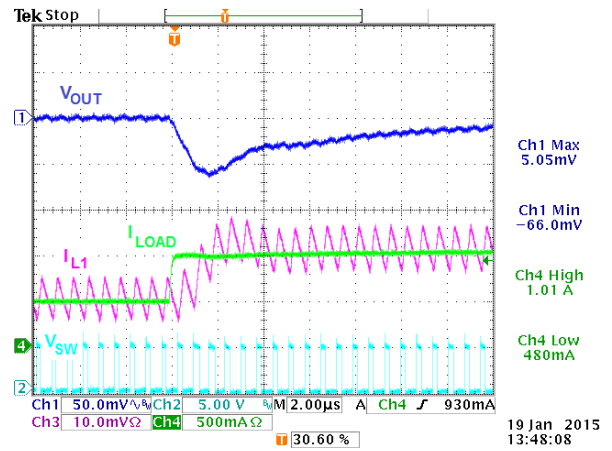
測量結果：(電流模式)

RT8059 于 550mA 的快速步階負載



輸出電壓驟降值為 65mV 或 5%

步階負載的輸出波形

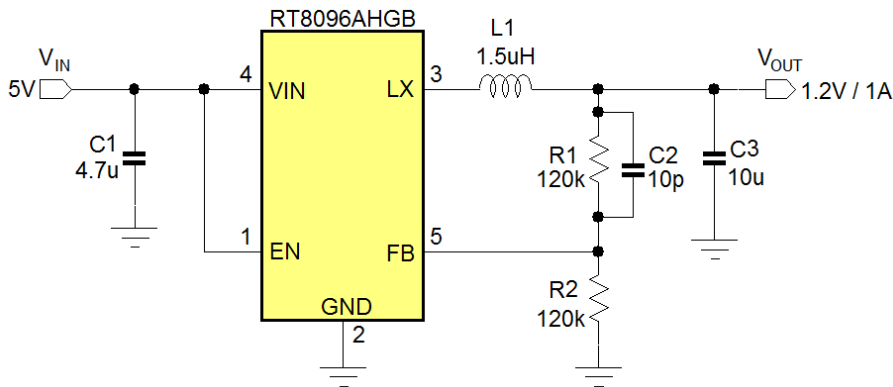


在瞬態變化期間，占空比慢慢地改變

圖八

RT8096A 之應用與測試結果：

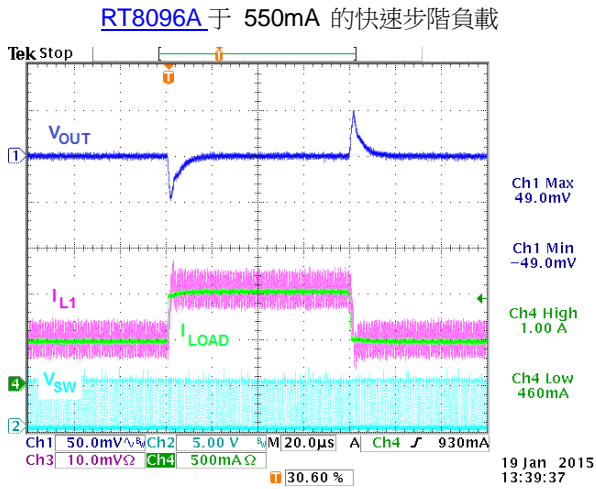
圖九顯示立錫之 CMCOT 降壓轉換器 RT8096A 的應用電路圖；RT8096A 也有內建的補償電路，且外加的前饋電容 C3 可改善反應的時間。



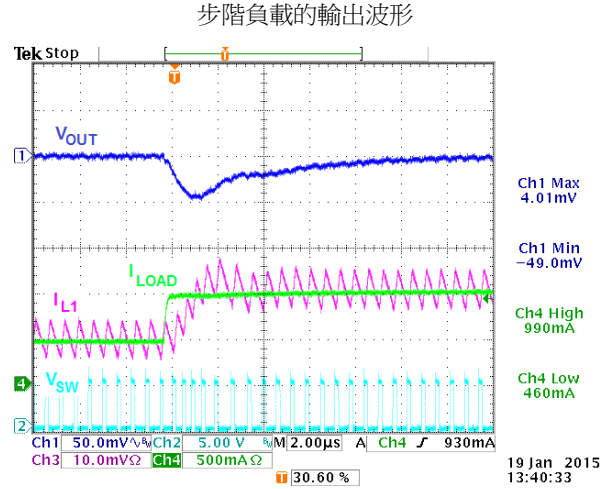
圖九、RT8096A 於 5V → 1.2V / 1A 的應用



測量結果：(CMCOT)



輸出電壓驟降值為 49mV 或 4%



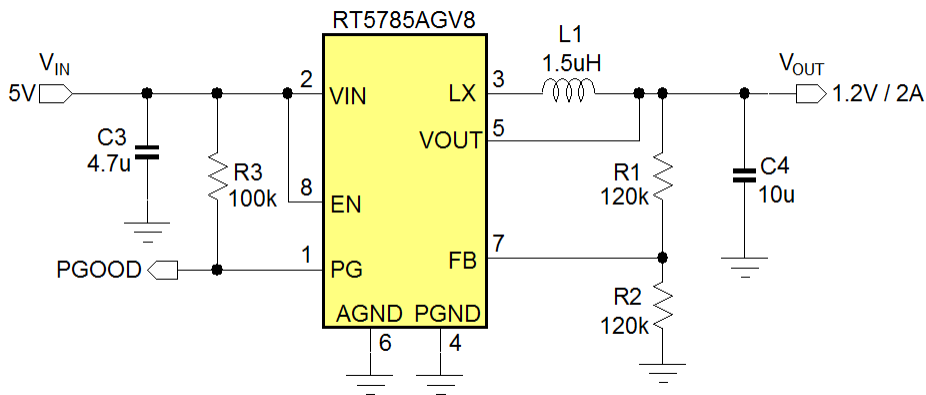
在瞬態變化期間，頻率會增加，因此占空比也會增加

圖十

測量結果顯示，在 5V → 1.2V 的應用中，CMCOT 降壓轉換器的負載階躍回應比電流模式降壓轉換器好，約 20%，所以在這方面，二者差異並不大。當 CMCOT 用在需更高降壓比的應用時，導通時間會更小，頻寬會更高，這時 CM 和 CMCOT 二者在負載階躍回應的差異將會更明顯。

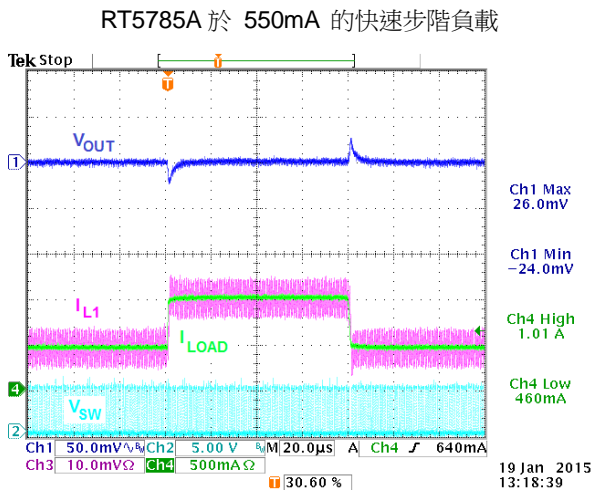
RT5785A 之應用與測試結果：

圖十一顯示立錫之 ACOT 降壓轉換器 RT5785A 的應用電路圖：RT5785A 可直接和輸出電壓 VOUT 連接，並用以決定導通 (ON) 時間。無需前饋或其他補償。

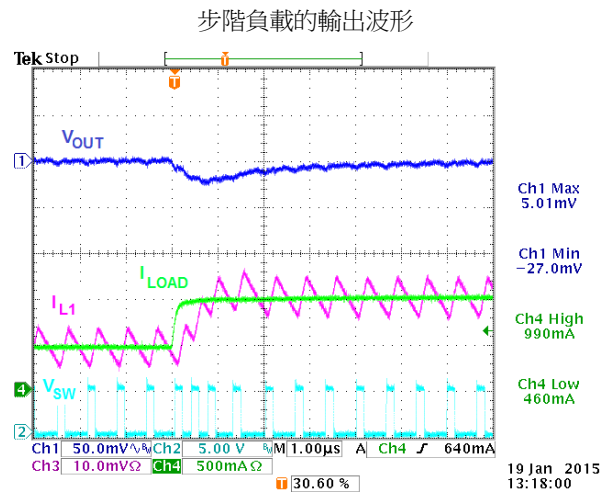


圖十一、RT5785A 於 5V → 1.2V / 1A 的應用

測量結果：(ACOT)



輸出電壓驟降值為 24mV 或 2%



瞬態變化期間，頻率會立即增加，以達到最大占空比

圖十二

所以在此三種架構中，ACOT 降壓轉換器的負載階躍回應最為優異。



## 6. 總結

當要選擇降壓轉換器來配合實際的應用時，需要考慮對於該應用較為重要的參數。例如，在應用的負載電流相對穩定的情況下，你可以採用電流模式 (Current Mode) 的降壓轉換器。如果在某些頻率之下系統很容易受雜訊影響時，可能需要採用電流模式降壓轉換器，且和外部頻率信號同步，以精確設定開關頻率。電流模式轉換器的最小導通時間卻受到一些限制；因此有高開關頻率的電流模式降壓轉換器不適用在高降壓比的應用之中。

如果在應用中，負載的瞬態變化較為適中，可選擇 CMCOT 架構的降壓轉換器，使得在負載瞬態變化期間，輸出電壓的波動可以降低。CMCOT 轉換器在負載瞬態變化的表現比標準電流模式降壓轉換器好，約 20~30%。CMCOT 轉換器在低占空比的應用中，也不易受雜訊影響。由於它的最小導通時間非常小，CMCOT 降壓轉換器可用於需較高降壓比的應用之中。負載瞬態變化時，可看見 CMCOT 轉換器開關頻率的變化。

如果在應用中，負載的瞬態變化極為快速 (如看到負載為 CORE 和 DDR 的情形)，最好是選擇 ACOT 降壓轉換器，其負載瞬變的回應可改善 2 到 4 倍，且 ACOT 轉換器特別適用於低占空比的應用。由於它的最小導通時間非常小，有高開關頻率之 ACOT 降壓轉換器可用於需較高降壓比的應用之中。在負載瞬態變化時，ACOT 轉換器的開關頻率也會有很大的變動。由於無需回路補償和斜率補償，所以 ACOT 的電路設計是非常簡單、有彈性、且非常具成本效益的。

## Related Parts

<a href="#">RT8059</a>	1.5MHz, 1A, High Efficiency PWM Step-Down DC/DC Converter	 <a href="#">Datashet</a>
<a href="#">RT8096A</a>	1A, 1.5MHz, 5.5V CMCOT Synchronous Step-Down Converter	 <a href="#">Datashet</a>

## Next Steps

立錡科技電子報	<a href="#">訂閱立錡電子報</a>
檔案下載	<a href="#">PDF 下載</a>
相關應用	<a href="#">ACOT™ 專題頁面</a>

### Richtek Technology Corporation

14F, No. 8, Tai Yuen 1<sup>st</sup> Street, Chupei City

Hsinchu, Taiwan, R.O.C.

Tel: 886-3-5526789

Richtek products are sold by description only. Richtek reserves the right to change the circuitry and/or specifications without notice at any time. Customers should obtain the latest relevant information and data sheets before placing orders and should verify that such information is current and complete. Richtek cannot assume responsibility for use of any circuitry other than circuitry entirely embodied in a Richtek product. Information furnished by Richtek is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Richtek or its subsidiaries for its use; nor for any infringements of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Richtek or its subsidiaries.