

## 降壓轉換器的選擇標準

### 目錄

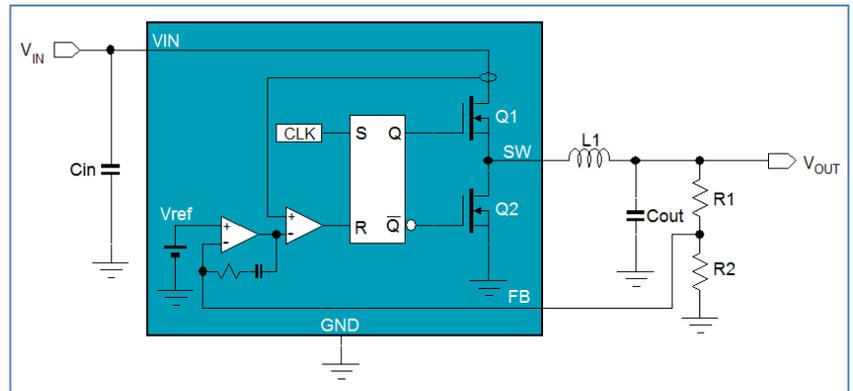
簡介.....	2
降壓轉換器的基礎知識.....	2
電壓和電流額定值的選擇.....	2
應用之輸入電壓.....	2
應用電流之消耗.....	3
輕載效率 (PSM 型或強制 PWM 型).....	4
開關頻率注意事項.....	5
降壓轉換器控制架構的選擇標準.....	6
電流模式-恆定導通時間 (CMCOT) 控制.....	7
其他降壓轉換器的選擇標準.....	9
外部軟啟動.....	9
外部補償.....	9
可設定頻率.....	9
外部同步輸入.....	9
低壓差模式或 100% 責任週期模式.....	9
電源良好 (Power Good) 之功能：.....	9
過電流保護：.....	9
選擇 IC 封裝的注意事項.....	10

## 簡介

立錡具有非常廣的降壓型 DC / DC (降壓) 轉換器產品的組合，但要為您的應用選擇合適的降壓轉換器，則非常具有挑戰性。本指南將幫助您區分不同類型的降壓轉換器，並將特別介紹在為應用選擇最佳的元件時，所需考慮的主要參數。

## 降壓轉換器的基礎知識

**降壓轉換器**是一種開關模式的降壓型轉換器，它能提供在高壓降比 ( $V_{IN}/V_{OUT}$ ) 和高負載電流下的高效率與高彈性。其基本電路如圖一所示。大多數降壓轉換器的內部包含一個高側 MOSFET 及由內部責任週期比之控制電路來切換的低側同步整流 MOSFET，用以調節平均輸出電壓。其開關節點之波形由外部 LC 濾波器過濾；透過回授迴路檢測輸出電壓，並控制高側 MOSFET 的責任週期，從而達到穩壓功能。非同部元件無內部低側 MOSFET，僅在外部開關節點到地之間連接一個肖特基二極體。



圖一、降壓轉換器之基本電路

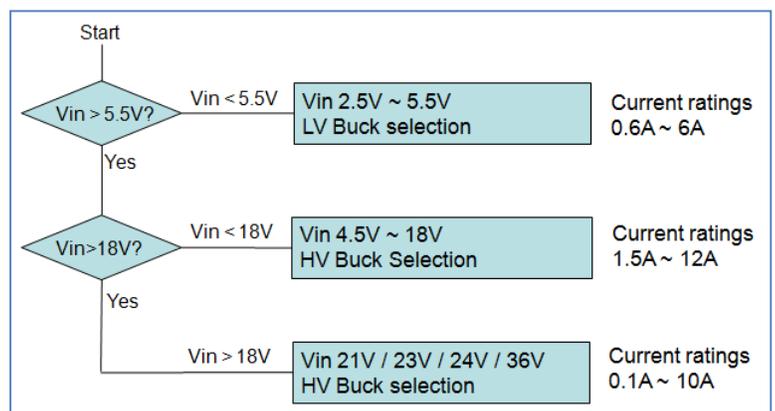
MOSFET 是在輪流切換的模式下，所以功耗很低；而藉由控制 MOSFET 的責任週期，可達到高壓降比 ( $V_{IN}/V_{OUT}$ )。內部 MOSFET 的導通電阻 ( $R_{DS(ON)}$ ) 會決定降壓轉換器的負載能力，而 MOSFET 的額定電壓則決定其最大輸入電壓。

## 電壓和電流額定值的選擇

### 應用之輸入電壓

在挑選合適的降壓轉換器時，首先要考慮的參數是輸入電壓範圍。立錡的降壓轉換器主要可分為三類：

- LV 降壓轉換器：輸入電壓 ( $V_{IN}$ ) 範圍為 2.5V 5.5V。
- 18V HV 降壓轉換器：輸入電壓 ( $V_{IN}$ ) 範圍為 4.5V ~ 18V。
- HV 降壓轉換器：輸入電壓 ( $V_{IN}$ ) 範圍為 4.5V 至 36V。

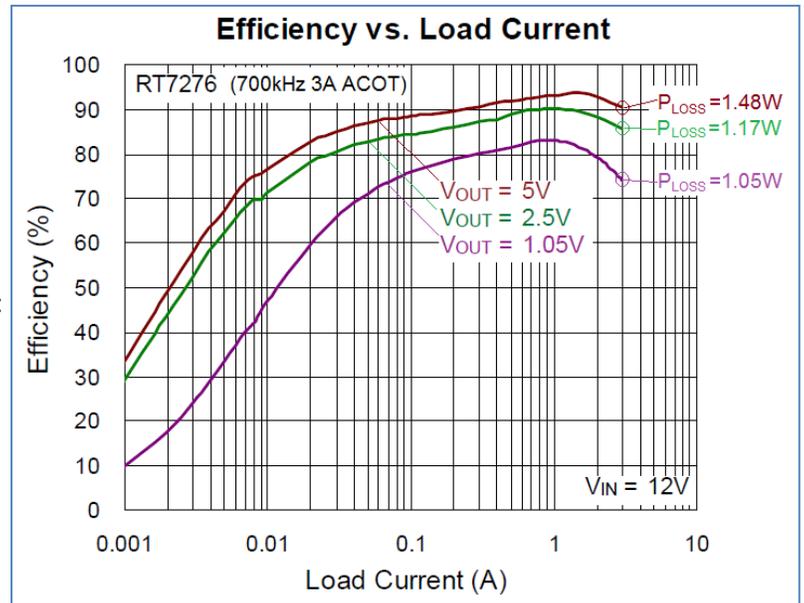


圖二、立錡降壓轉換器挑選流程

許多 LV 降壓轉換器是適用於單節鋰離子電池，但也可用於 5V 電源的應用中。18V HV 降壓轉換器常用於 12V 電源的應用中，但因其具有寬電壓範圍，所以也能用於 5V 電源的應用。21V / 23V / 24V 至 36V 的元件則有非常廣泛的應用範圍。若輸入電壓的容差範圍較大、或需降壓轉換器來處理輸入電壓的波動的應用，通常會選用這些元件。36V 元件通常用於如 24V 直流之工業供電的應用，或電源有高突波，如 13.5V 車用電池，之汽車應用。

### 應用電流之消耗

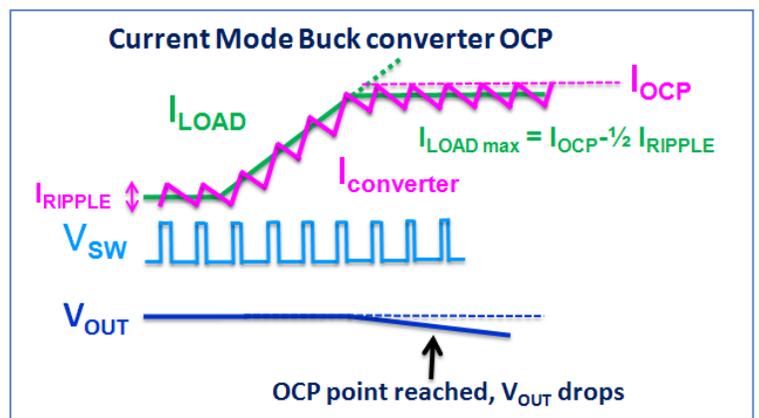
在考慮降壓轉換器的額定電流時，應用中所消耗的平均電流和最大電流都需要考慮。該應用的平均電流必須比轉換器的額定電流低，如規格書中所提；二者之間的差異和轉換器的功耗與該應用的散熱條件有關。此平均電流會決定開關 MOSFET 的平均熱能，其中包括了導通損耗與開關損耗。導通損耗也和內部 MOSFET 的導通電阻 ( $R_{DS(ON)}$ ) 有關：即  $I^2 * R_{DS(ON)}$ 。若高側和低側的  $R_{DS(ON)}$  不一樣，在考慮該應用的降壓比時，也須同時考慮高側和低側 MOSFET 的功耗。開關損耗則與電流、輸入電壓、和開關頻率有關。在一般標準應用中，開關損耗大約是總損耗的 30%；但在高輸入電壓或高頻率的應用中，開關損耗則會大幅增加。



圖三、不同輸出電壓下的效率曲線

該應用的總功率損耗可由規格書的效率曲線： $P_{Loss} = \frac{(1-\eta)}{\eta} (V_{out} \cdot I_{out})$  算出；然而要注意的是，此功率損耗還包括約占總損耗 10%~20% 的電感損耗。IC 所允許的最大功耗取決於 IC 的封裝、PCB 佈局和該應用的最高環境溫度。在佈局時，將連接到 IC 接腳和封裝的散熱焊盤的銅線加寬，可因此增加所耗散的功率。

該應用的最大電流通常是和轉換器的額定電流相同，如規格書所提，有時甚至略高一點。設計電路時，應確保最大負載電流不會觸發轉換器之過流保護 (OCP)。降壓轉換器會檢測電感峰值電流 (或在一些 ACOT 元件的谷值電流)，規格書的 OCP 電流值即是指此電感峰值或谷值電流。負載電流和電感峰值或谷值電流之差是電感紋波電流的一半，故此紋波電流值也會影響最大應用負載電流和 OCP 電流值的關係。



圖四、降壓轉換器的過流保護

### 輕載效率（PSM 型或強制 PWM 型）

對於用於低功率待機模式的電源，最好能盡量提高降壓轉換器在輕載時的效率。在全負載範圍內，強制 PWM 型的降壓轉換器之開關頻率均為固定；也就是，若在輕載時使用高開關頻率，則絕大部分的損耗都會是由開關損耗所引起。

具提升輕載效率的降壓轉換器會在輕載時降低開關頻率；通常被稱作脈衝省略模式（PSM\*\*）。其操作原理如下：當負載減少時，電感電流之谷值會在特定點降到零，若是強制 PWM 型元件，其低側 MOSFET 會持續導通，造成電感電流甚至變為負的。若是 PSM 型元件，其低側 MOSFET 會被關斷，使開關節點浮接，直等到下一次高側 MOSFET 導通。高側 MOSFET 的最小導通時間決定電感的峰值電流，而平均電流只能透過降低開關頻率而降低，也就是藉由抑制內部時脈，達到省略脈衝。PSM 模式的電壓調節主要是透過比較輸出電壓紋波的波谷與內部參考電壓來達成。PSM 模式可在輕載時，將轉換器的開關頻率降到非常低，如幾 kHz，因此可減少開關損耗，進而大為提高輕載效率。

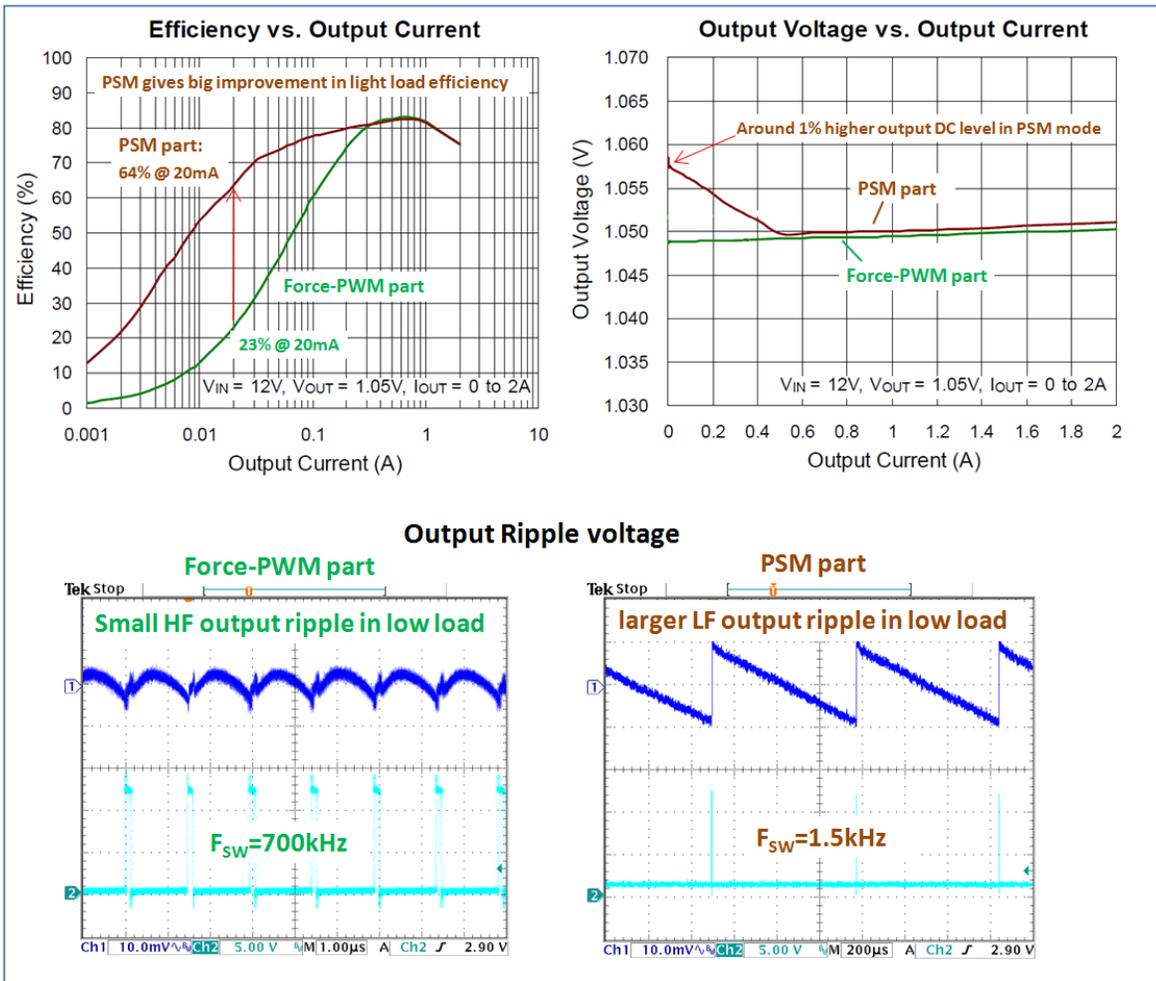
然而 PSM 模式也有一些缺點：

- 輸出紋波電壓是一低頻三角波，很難濾波。若根據 PSM 調節的模式和其元件值，其輸出紋波電壓之幅度可能會比在 PWM 模式下高；對某些負載而言，可能無法承受。
- 當 PSM 模式轉換器突然有一個步階負載，就會迅速從 PSM 切換到 PWM 模式；和強制 PWM 型的轉換器相比，這種切換會造成較大的輸出電壓下衝。
- PSM 模式的平均穩壓通常比 PWM 模式略高（~1%）。
  - 由於開關頻率可變，PSM 模式有時會造成是相鄰敏感電路的干擾。

如果應用中無需提升輕載效率，最好是選擇強制-PWM 型元件，因為它可在所有負載條件下提供較穩定的操作。

\*在一些立錡文件中，強制 PWM 型被稱作 PWM 模式、或連續操作模式等。

\*\*在一些立錡文件中，PSM 型被稱作 PWM / PSM、DEM、或非連續操作模式等。



圖五、PSM 型的優點與缺點

### 開關頻率注意事項

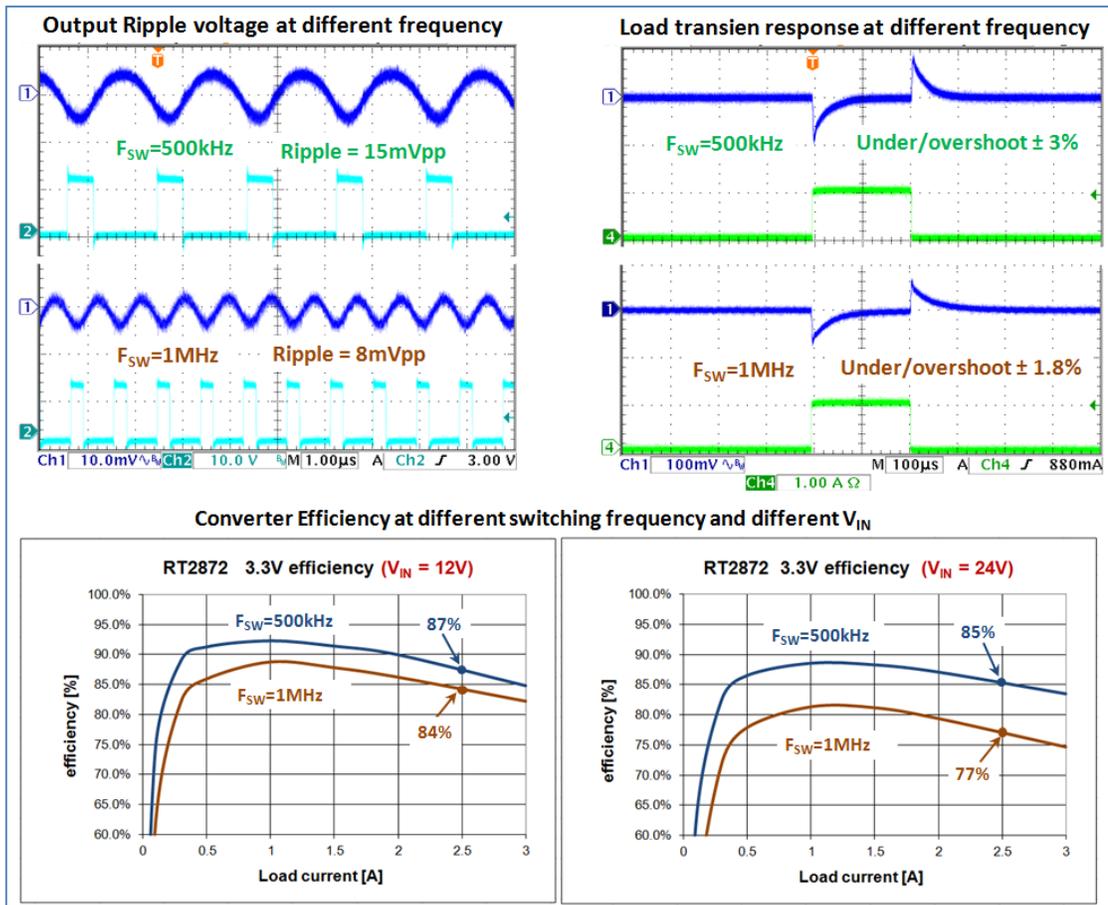
降壓轉換器的開關頻率是很重要的參數。開關頻率較高就能使用較小的電感和電容，且步階負載的響應較好；然而，會增加開關損耗，且使 EMI 輻射的頻率範圍變大。開關頻率較高也會限制可實現的最大降壓比：最小責任週期受限於轉換器的最小導通時間和開關頻率：
$$\delta_{min} = \frac{t_{ON}}{T_{PERIOD}} = t_{ON} \cdot F_{SW}$$
，所以  $\delta_{min} = t_{ON \ min} \cdot F_{SW}$

例如， $t_{ON \ min} = 100nsec$ ， $1.2MHz$  的轉換器，其最小責任週期比為 12%，即無法從 12V 降壓至 1.2V。一個 800kHz 的轉換器，其最小責任週期為 8%，則可從 12V 降壓至 1.2V。

非常高頻的降壓轉換器 (> 1MHz 的) 通常用於輸入電壓非常低的應用，如 5V 或更低，因為輸入電壓低，開關損耗較低，且這類應用的最大降壓比也較小。

對於大多數 12V 的應用，開關頻率在 500kHz~800kHz 較適合，可同時兼顧開關損耗和元件尺寸。

在高電流與高輸入電壓 (> 18V) 的應用，開關頻率最好低於 500kHz，以降低開關損耗，並仍有高降壓比。

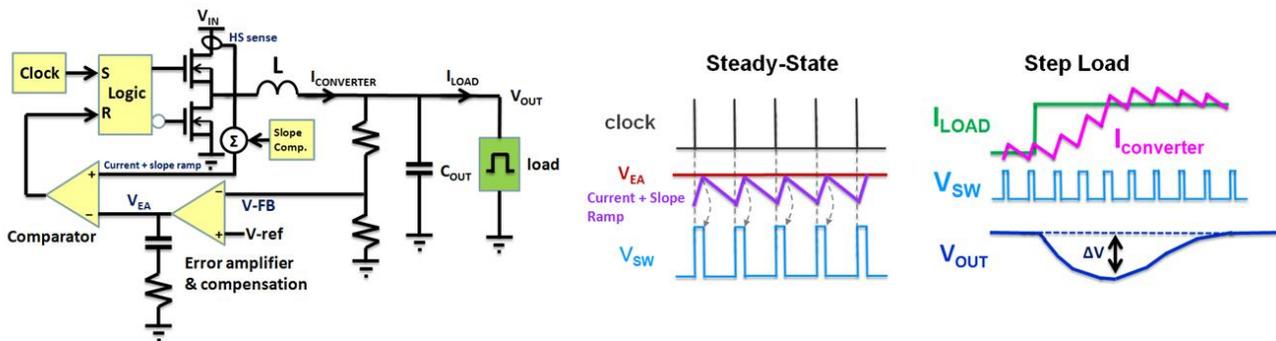


圖六、降壓轉換器之開關頻率對紋波、瞬態響應、與效率的影響

### 降壓轉換器控制架構的選擇標準

立錫的 DC / DC 產品組合包含了廣泛且不同控制架構的降壓轉換器，有電流模式 (CM)、電流模式-恆定導通時間 (CMCOT)、和立錫專有之先進恆定導通時間 (ACOT) 控制架構等。每種架構都有其優點和缺點，因此在為應用實際挑選降壓轉換器時，最好能先了解每種架構的特點。

### 電流模式控制



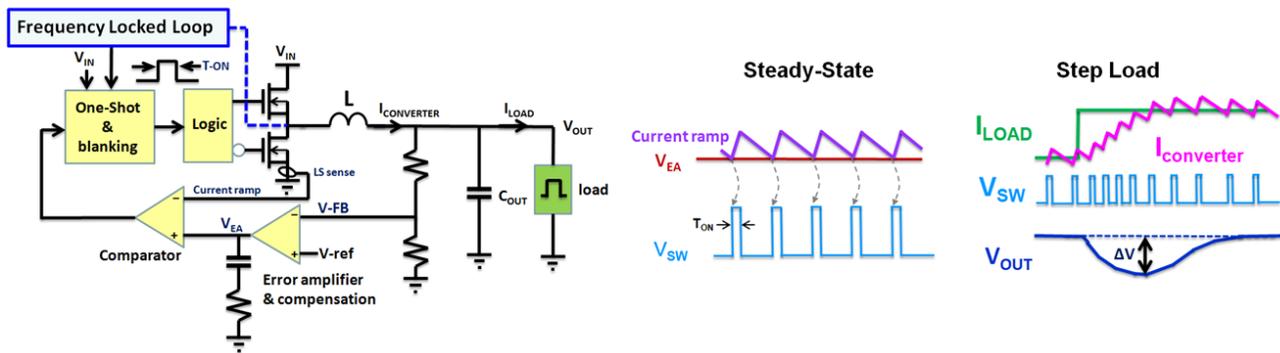
圖七

電流模式轉換器有內部時脈產生器、誤差放大器和電流檢測。誤差信號與檢測到的峰值電流作比較，以控制高側 MOSFET 的導通時間。一個新開關週期的開始是由時脈信號決定，所以該系統須在恆定的開關頻率下操作。控制迴路的頻寬通常約為開關頻率的 1/10。

電流模式降壓轉換器	
<b>優點：</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 穩定的固定頻率</li> <li>• 可與外部時脈同步</li> <li>• 技術成熟</li> <li>• 可與 MLCC 穩定搭配</li> </ul>	<b>缺點：</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 快速負載步階的響應較慢</li> <li>• 需誤差放大器補償</li> <li>• 需斜率補償</li> </ul>

如果應用中的負載電流相當穩定，就可使用電流模式降壓轉換器。如果系統在某些頻率易受雜訊影響，最好採用電流模式降壓轉換器，因能與外部時脈信號同步，精確設置開關頻率。在 LV 輸入範圍中，有許多電流模式降壓轉換器可支援 100% 責任週期的模式，使得 VIN 可以非常接近、或等於 VOUT。

電流模式-恆定導通時間 (CMCOT) 控制



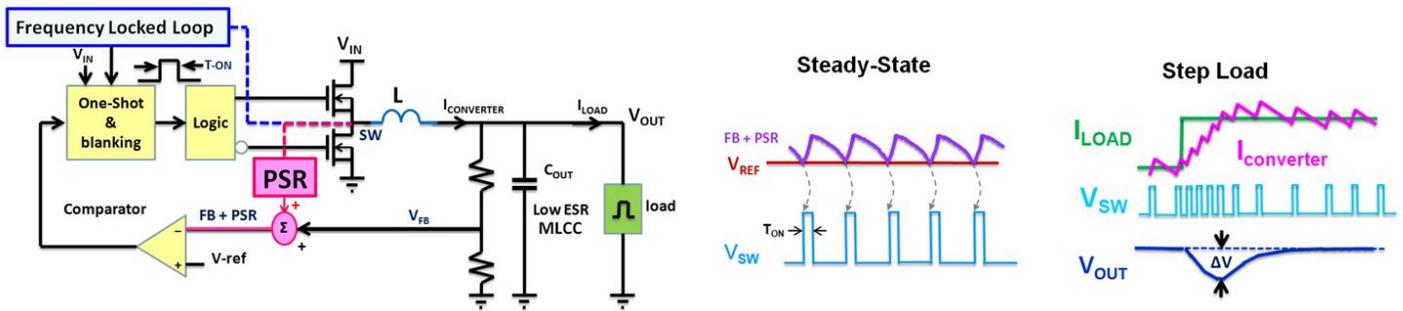
圖八

CMCOT 降壓轉換器沒有內部時脈，高側 MOSFET 總是導通一預定的固定導通 (ON) 時間，而調節責任週期則是藉由改變高側 MOSFET 的關斷 (OFF) 時間。CMCOT 轉換器也有電流檢測及誤差放大器，只是現在是比較電流的下降斜率和誤差放大器的輸出。由於系統不需要等待下一個時脈來到，所以能迅速地反應步階負載。一當輸出電壓下降時，誤差放大器之輸出電壓就上升，直到電流的下降斜率，然後啟動新的導通 (ON) 時間，使轉換器之電流再次上升。

立錡之電流模式-恆定導通時間 (CMCOT) 降壓轉換器	
<b>優點：</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 快速響應負載步階</li> <li>• 低側電流檢測</li> <li>• 最低導通時間小，責任週期可較低。</li> <li>• 恆定平均開關頻率</li> <li>• 可與 MLCC 穩定搭配</li> <li>• 無需斜率補償</li> </ul>	<b>缺點：</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 需誤差放大器補償</li> <li>• 無法與外部時脈同步</li> <li>• 負載瞬態變化時，開關頻率會偏移。</li> </ul>

如果應用中之負載具有適中的瞬態變化，就可以選擇 CMCOT 架構的降壓轉換器，減少負載瞬變期間的輸出電壓波動。和電流模式降壓轉換器相比，CMCOT 轉換器可改善 20~30% 負載瞬態的表現，且在低責任週期之應用中，對雜訊也較不敏感。由於最低導通時間小，CMCOT 降壓器可用於較大降壓比的應用中，而其開關頻率在負載瞬變時會發生偏移。

### 先進恆定導通時間控制 (ACOT™)



圖九

ACOT™ 降壓轉換器沒有誤差放大器及電流檢測，而是直接將回授信號（DC 電壓值 + 紋波電壓）與內部參考電壓作比較。當回授信號低於參考電壓時，會啟動一個新的固定導通 (ON) 時間，電感電流也因此而上升。若輸出電壓尚未恢復，在一個很短的遮沒週期 (blinking period) 之後，即會啟動另一導通 (ON) 時間，直到電感電流上升至負載電流，且輸出電壓也恢復至預定值。為了使轉換器能穩定搭配低 ESR 的陶瓷輸出電容，內部脈衝整型調節器 (PSR) 會產生一斜坡信號，並加到轉換器的輸出紋波和 DC 電壓；相加後，再與內部參考電壓進行比較。當此相加電壓低於參考電壓時，比較器則會啟動導通時間產生器 (ON Time Generator)。

輸出電壓突然下降會立即啟動新的導通 (ON) 時間，且只要輸出電壓尚未恢復，此轉換器可連續地啟動導通 (ON) 時間，因此 ACOT 架構能極快速地反應負載的瞬態變化。內建特殊的鎖頻迴路系統會慢慢調整導通時間，以調節平均開關頻率至預定頻率。

#### 立錡之先進恆定導通時間 (ACOT™) 降壓轉換器

##### 優點：

- 極快速反應負載步階的變化
- 無需電流檢測
- 最低導通時間小，責任週期可較低。
- 恆定的平均開關頻率
- 可與 MLCC 穩定搭配
- 無需斜率補償

##### 缺點：

- 無法與外部時脈同步
- 動態負載造成很大的開關頻率 ( $F_{sw}$ ) 偏移

如果應用中之負載具有極快速的瞬態變化（如負載為 CORE 和 DDR 所看到的情形），最好是選擇 ACOT 降壓轉換器，其負載瞬變的響應可改善 2 至 4 倍，且可使用小輸出電容。ACOT 轉換器特別適用於低責任週期的應用。由於它最小導通時間非常小，有高開關頻率之 ACOT 降壓轉換器仍可適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產生很大的偏移。ACOT 本身無迴路補償和斜率補償，加上極快速的迴路響應，使得 ACOT 的電路設計簡單、有彈性、且非常具成本效益。

## 其他降壓轉換器的選擇標準

### 外部軟啟動

立錡所有的降壓轉換器都具有軟啟動功能。在轉換器啟用後，責任週期會逐漸增加，使輸出電壓平穩上升，這樣可避免因突然對輸出電容充電而產生的浪湧電流。有內部軟啟動的轉換器會有一固定的軟啟動時間。如果應用中需使用非常大的輸出電容或需要特定的軟啟動時間，則最好選擇由外部控制軟啟動的轉換器，其軟啟動時間可由外部電容來設定。

### 外部補償

電流模式轉換器的誤差放大器需要補償，以確保電路的穩定。II 型補償元件決定轉換器的頻寬及相位。可外部補償的轉換器，即使在不同類型的輸出電容、較寬的輸入和輸出電壓範圍的條件下，在要設定所需的頻寬和相位邊限時，都較有彈性。

### 可設定頻率

有些轉換器有設定頻率的功能：即開關頻率可藉由外部電阻來設定，提供選擇最佳開關頻率的彈性。選擇高頻率可降低紋波、元件尺寸，也有較好的瞬態表現。選擇低頻率則可提高效率，或降低高階的諧波。

### 外部同步輸入

有些電流模式轉換器具有外部同步輸入，使內部時脈可與外部時脈信號同步，如此可精確設定開關頻率（在較敏感頻段，可避免雜訊），也可同時使多個轉換器操作於相同頻率。

### 低壓差模式或 100% 責任週期模式

許多 LV 系列之電流模式降壓轉換器具有低壓差模式之功能：當輸入電壓下降時，這些降壓轉換器會慢慢增加責任週期，而當輸入電壓低於調節的輸出電壓時，也會繼續導通高側 MOSFET。這種功能特別適合於電池供電的應用；當電池電力幾乎耗盡時，能延長電池使用時間。

### 電源良好 (Power Good) 之功能：

電源良好 (Power Good) 之功能是監控降壓轉換器的輸出信號，並告知系統輸出電壓在特定的工作範圍。電源良好 (Power Good)，可用於系統初始化、故障保護、或啟動程序。

### 過電流保護：

立錡所有的降壓轉換器都有過電流保護 (OCP)。當電感電流超過 OCP 值時，轉換器的責任週期會被限制住。若負載繼續增加，將導致輸出電壓下降。然而，在過載發生時，系統會有幾種不同的處理方式：

- **閉鎖模式 OCP**：當過載發生、輸出電壓低於欠壓保護 (UVP) 值時，系統會關閉並鎖住。該轉換器需要被重新啟用或輸入新電壓以重新啟動。這種方式可確保過載之後零功耗，但無法自動重啟。
- **打嗝模式 OCP**：當過載發生、輸出電壓低於欠壓保護 (UVP) 值時，系統會關閉，並以軟啟動重新啟動。過載持續發生就會看見關閉 / 重啟的週期持續發生，也稱為打嗝模式。打嗝模式的優點是低平均過載電流，且過載情況消失後，可自動重啟。
- **無欠壓保護 (UVP)**：當過載發生時，輸出電壓降低，但沒有欠壓保護 (UVP)。在過載期間，系統持續以 OCP 電流操作。當過載情況消失後，輸出電壓即立即恢復。但持續以 OCP 電流操作，在長期過載的情況下，會造成溫度增加。

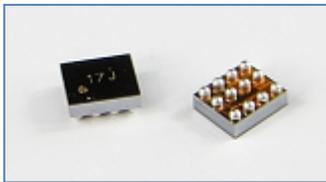
## 選擇 IC 封裝的注意事項

立錫的降壓轉換器採用許多類型的封裝：從微小型的 CSP1.3x2.1mm、具成本效益的 TSOT23-6、到較大尺寸的散熱增強型，TSSOP-14。



圖十：立錫的降壓轉換器所用的各種 IC 封裝

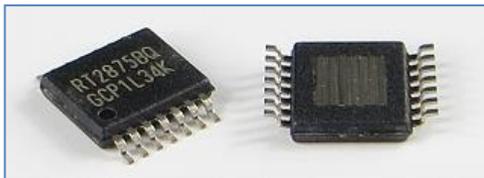
有多種因素會決定何種 IC 封裝最適合您的應用：



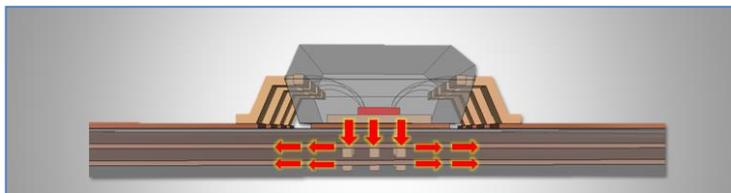
在某些應用中，IC 之高度和 PCB 空間都有嚴格限制（如手機和平板電腦，或其他小型可攜式裝置），所以最好的就是 CSP 封裝。這種封裝必須配合使用多層 PCB 佈局，且它們需要較精確的放置與焊接。



SOP-8（散熱焊盤），DFN2x2 和 DFN3x3 封裝常用於降壓轉換器：其接腳數有 6 ~ 12 支接腳，方便增加額外功能，而也因有裸露的散熱焊盤，他們能提供良好的散熱性能，且成本較低，所以常被各種應用所採用。可用單層 PCB 佈局；但若要有較好的散熱性能和電氣性能，則建議使用多層 PCB 佈局。



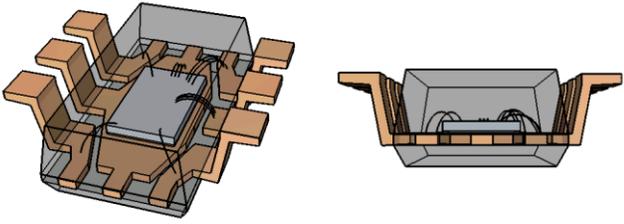
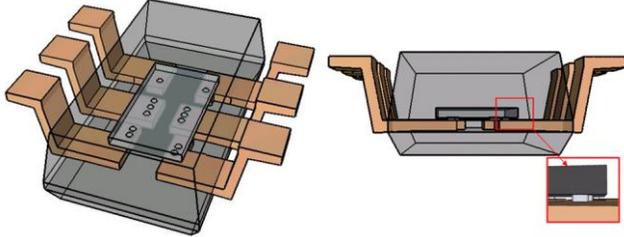
像 TSSOP-14 或 WDFN-14L4x3 等大型封裝會有較大的散熱焊盤，所以可以耗散較多的功率。在 PCB 上，需要將散熱焊盤連接到較寬的銅線，並使用通孔連於內層，以提高 PCB 的降溫性能。

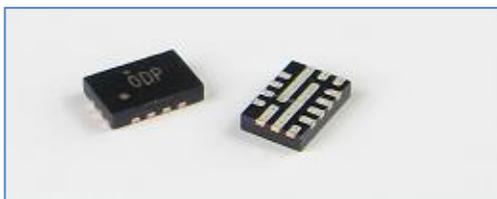


成本最低的封裝中，TSOT23-6 和 SOT23-8 都是很好的選擇。6 腳的封裝對基本降壓轉換器而言是夠用的，而 8 腳的封裝則可提供如軟啟動或 PGOOD 等額外的功能。這些封裝沒有散熱焊盤，所以大部分 IC 的散熱就是透過封裝接腳而到 PCB 的銅線。

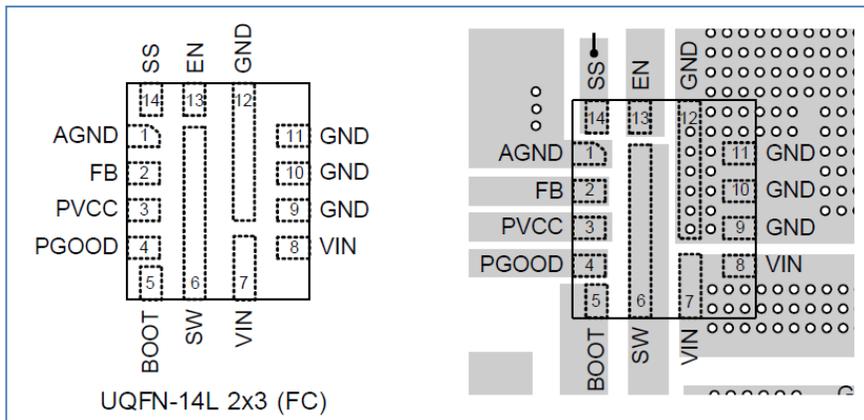
矽晶粒有兩種不同組裝的方式：傳統的鍍線式 (wire-bonding) 和覆晶式 (flip-chip)。和傳統的鍍線式封裝相比，覆晶式 SOT-23-6 封裝的主要優點是它的電氣性能和散熱性能都較好。

綜覽 TSOT-23-6 封裝採用傳統鍍線式與覆晶式組裝之比較：

鍍線式	覆晶式
	
<p>矽晶粒粘合到中間的接地引線；晶粒的其他電氣連接是經由鍍線連至導線架的接腳，其中鍍線 (bonding wire) 通常是 25-38um 金或銅導線。</p>	<p>矽晶粒的正面透過鍍柱直接貼著於導線架，因此直接由矽晶粒傳導熱能與電至導線架。</p>
<p><b>電氣性能差異：</b></p>	
<p>這些細鍍線會在重要的電路節點上增加電阻、電感和雜散電容，因而降低高頻開關轉換器的性能。</p>	<p>鍍柱的連線長度非常短，電阻、電感和雜散電容都顯著地降低，所以 <math>I^2R</math> 和開關造成的損耗都因此而降低，同時也減少廢熱。</p>
<p><b>散熱性能差異：</b></p>	
<p>這些細鍍線是很差的熱導體，所以無法將大多數產生的熱能從接腳傳遞出去。主要的熱傳導是從晶粒的背面通過粘合劑到中間的接地接腳，因此在中間接腳上會產生熱點。</p>	<p>所有的接腳都如同小散熱片，可有效降溫，因此有更多的熱能從封裝傳遞到 PCB，使晶粒溫度降低。</p>



為避免鍍線的額外電阻，高輸出電流 ( $\geq 6A$ ) 的降壓轉換器也常使用覆晶式技術。這些元件會使用有特殊導線架的 UQFN 封裝，達到與矽晶粒最佳化的連接，因而降低總導通電阻 ( $R_{DS(ON)}$ )。要使封裝降溫達到最佳化，在 PCB 佈局上要加寬連接到 IC 接腳的銅線，並且用散熱通孔連於內層板，以增加 PCB 的散熱效果。



立錡規格書中，元件號碼的最末端標示為“F”的，即為覆晶式封裝。

**相關資源**

[立錡科技電子報](#)

[訂閱立錡科技電子報](#)

**Richtek Technology Corporation**

14F, No. 8, Tai Yuen 1st 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.