

選擇最佳輸出級元件 同步降壓轉換器性能翻升

文 | Ann Starks

開關模式電源轉換器如今在業界應用非常廣泛，為多種終端應用提供高性能解決方案。此類元件常用於電腦、電動工具、電視、多媒體平板電腦、智慧型手機、汽車及其他無數電子裝置的電源及電池充電電路。

消費性電子業界最常見的轉換器之一是直流對直流(DC-DC)降壓(Step-down，亦稱Buck)轉換器。簡單來說，同步降壓轉換器用於將電壓從較高的位準降至較低的位準。隨著業界轉而追求性能更好的平台，電源轉換器的性能成為設計的一項關鍵考慮因素。因此，重要的是理解同步降壓轉換器的基礎知識，以及如何恰當地選擇電路元件。

同步降壓轉換器 運作原理解析

同步降壓轉換器的概念很簡單，它產生低於輸入電壓的調整電壓，可以在功率耗損降至最低時，提供高電流。

同步降壓轉換器包含兩顆功率金屬氧化物半導體場效電晶體(MOSFET)、一顆輸出電感及一顆輸出電容。此特定降壓拓撲結構的名稱來源於它的兩顆功率 MOSFET 的控制方法：同步控制導通/

關斷(On/Off)，以提供經過調整的輸出電壓，並防止兩顆 MOSFET 同時導通(圖1)。

高端 MOSFET(Q1)直接連接至電路的輸入電壓。當 Q1 導通時，電流透過它流至負載。此時，低端 MOSFET(Q2)關斷，流過電感的電流增加，為電感電容(LC)濾波器充電。當 Q1 關斷時，Q2 導通，此時電流透過它流至負載。此時，流過電感的電流降低，使 LC 濾波器放電。當兩顆 MOSFET 都關斷時，低端 MOSFET 提供額外功能，即透過本體二極體箝住開關節點電壓，以防止高端電晶體首先關斷時，開關電壓(VSW)升至太高的負電壓。

LC 輸出級能夠撫平開關節點電壓，從而在輸出端產生調整直流電壓。同步控制兩顆 MOSFET 以防止擊穿(Shoot-through)。而當高端及低端 MOSFET 同時處於導通狀態時，會產生直接對地短路，並發生擊穿現象。

高端 MOSFET 導通時間決定了電路的工作週期(Duty Cycle)。如果工作週期等於1，那麼高端 MOSFET 在全部工作週期均處於導通狀態，輸出電壓等於輸入電

壓；工作週期為0.1表示高端MOSFET僅有10%時間導通，產生的輸出電壓約為輸入電壓的10%。

降壓轉換器功率損耗

降壓轉換器功率損耗受多種因素影響，包括功率MOSFET、輸出級、控制器/驅動器、回饋迴路及轉換器本身的電路配置。大多數降壓轉換器設計的工作週期小於0.5，而電腦及伺服器市場的降壓轉換器標準工作週期是0.1至0.2。

設計平台正轉向更高開關頻率，能夠縮減轉換器尺寸及外觀尺寸。同時，轉換器必須提供更好的性能及更高的效率。輸出級性能大幅影響降壓轉換器整體性能。因此，重要的是優化特定應用裝置的電感及電容選擇。

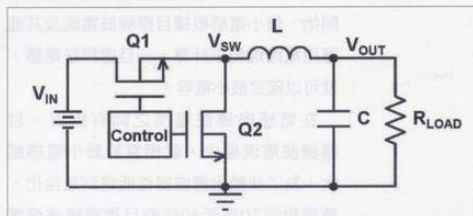
細心規畫LC輸出級

同步降壓轉換器的輸出級由電感及電容組成。它能儲存並同時為負載提供能量，使開關節點電壓變得平順以產生恆定輸出電壓。

電感的選擇直接影響電感電流中的漣波電流量，以及降壓轉換器本身的電流能力。不同製造商製造的電感在材料及電感值方面會有些差異，通常有±20%的公差。

電感包含固有的直流阻抗(DCR)，會影響輸出級的性能。將DCR降至最低，能提升轉換器的整體性能。對於需要高負載電流的應用裝置而言，建議選擇帶低DCR的電感。電感值較低的電感DCR也較低，但在電感與漣波電流之間有折衷：電感越低，流過電感的漣波電流越大。必須達到

圖1 同步降壓轉換器電路圖



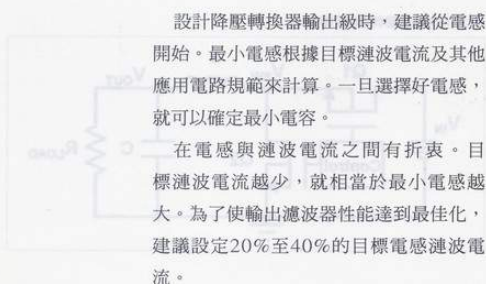
最低電感，以符合特定應用電路的漣波電流要求。

輸出電容直接影響轉換器輸出電壓、輸出回饋迴路的回應時間，以及負載電流變化時出現的輸出電壓過衝(Overshoot)的量。當流過電感及電容的電流上升及下降，直流輸出端存在漣波電壓。增加電容會降低存在的漣波電壓量。

然而，在電容與輸出回應之間存在折衷。增加電容會降低輸出電壓漣波及輸出電壓過衝，但這會延長輸出電壓回饋迴路回應負載變化所需時間。因此必須考慮最小電容，以符合轉換器的漣波電壓與電壓過衝要求，同時維持足以快速回應負載變化的回饋迴路。

做好基本LC設計

電容也包含寄生串聯電阻(Parasitic Series Resistance)，也就是等效串列電阻(ESR)。ESR影響輸出電壓漣波及轉換器整體性能。因此，設計人員轉而設計低ESR。表面封裝陶瓷的電容，因此廣泛應用於需要高性能、外觀尺寸小的系統中。使用多顆並聯電容使設計人員能夠在達到大幅降低等效ESR的同時，提供系統要求的電容。



設計降壓轉換器輸出級時，建議從電感開始。最小電感根據目標漣波電流及其他應用電路規範來計算。一旦選擇好電感，就可以確定最小電容。

在電感與漣波電流之間有折衷。目標漣波電流越少，就相當於最小電感越大。為了使輸出濾波器性能達到最佳化，建議設定20%至40%的目標電感漣波電流。

此外，工程師須要計算最大ESR及最小電容，從而在高端MOSFET關斷時維持調整輸出電壓，以及將輸出電壓上存在的漣波數量降至最低。輸出電壓漣波可以表達為峰值至峰值間的電壓，或者以電容電壓比(CVR)的形式描述。

輸出電容值及ESR越大，輸出回應負載變化所需時間就越長。ESR也影響輸出電壓漣波。

當高端MOSFET導通時，流過電感和電容的電流增加，輸出電壓也增加。當高端MOSFET關斷時，流過電感及電容的電流下降，輸出電壓也下降。為了提供恆定輸出電壓，輸出電流增加量必須等於電容電流降低量。因此，流過電容的穩態電流為0安培(A)。

除了顧及輸出漣波電壓和電感漣波電壓對輸出電容的影響外，也必須顧及輸出級的暫態負載回應能力。同步降壓轉換器必須能夠回應負載電流變化，同時維持調節輸出電壓。當負載電流從較高值變為較低值時，輸出電壓將暫時增加，直到轉換器能夠調節工作週期，使輸出電壓返回至調整值。此暫時輸出電壓增加稱作輸出電壓過衝。當負載從最大負載過渡到空載時，就出現最壞情況過衝。

輸出電容必須能夠處理此暫態情況。輸出電壓暫態回應與輸出電壓漣波之間存在折衷。此兩項因素必須平衡取捨以滿足特定應用需求。

選擇電容時，一個好的經驗法則是選擇至少比計算出的最小電容值高20%的輸出電容，從而顧及到電壓公差。

降壓轉換器輸出濾波器設計影響輸出漣波電流、輸出電壓漣波、輸出電壓過衝以及回饋迴路的暫態回應。元件選擇也影響轉換器的性能。影響同步降壓轉換器性能的最大因素是輸出電感選擇。電感值及DCR都會大幅影響性能。

權衡設計利弊 求取最高效能

同步降壓轉換器的輸出級在轉換器性能發揮重要作用。為了達到目標漣波電流、輸出漣波電壓及輸出過衝，必須選擇超過最小電感值和最小電容值的電感和電容。當針對特定應用選擇電感及電容時，還必須顧及其他因素。輸出級可以藉由將置入的特定應用標準設計與改良。

電感值在輸出漣波電流及轉換器性能發揮重要作用。此外，輸出電容較高時，輸出電壓漣波也會改善。受使用的電感DCR大幅影響轉換器的性能。

電感與電感飽和電流之間存在折衷。因此為了符合或超越漣波電流要求，電感必須大於最小電感計算值，而電感飽和電流必須大於最大負載時轉換器的峰值電流。

電容也在同步降壓轉換器性能扮演重要角色。輸出電容直接影響電壓漣波數量及輸出級的電壓過衝。然而，電容對轉換器的性能影響極小。

(本文作者任職於安森美)