

如何為隔離式 Buck DC-DC 轉換器選擇變壓器？

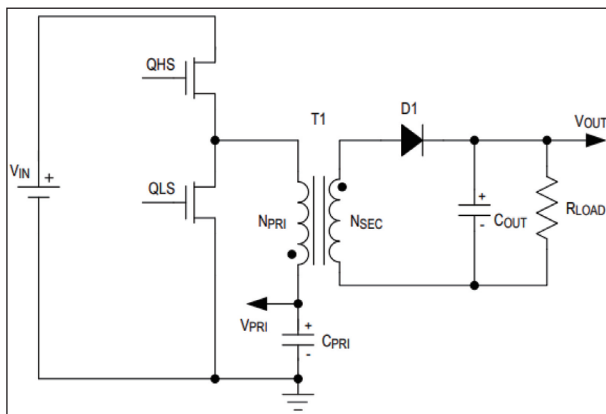
本文討論了如何為 iso buck 轉換器選擇變壓器，以及為什麼我們使用 MAX17682 和 MAX17681 的資料手冊中的簡化公式。它還介紹了隔離式 BUCK DC-DC 轉換器的基本工作原理。

■作者：Yaxian.li@maximintegrated.com

隔離式 BUCK DC-DC 轉換器如何工作？

就像 BUCK 轉換器一樣，下圖向我們展示了 ISO 降壓拓撲。顯然，通過用變壓器代替 BUCK 電路中的電感器，我們可以獲得一個隔離式 BUCK 轉換器。變壓器次級側具有獨立的接地端。

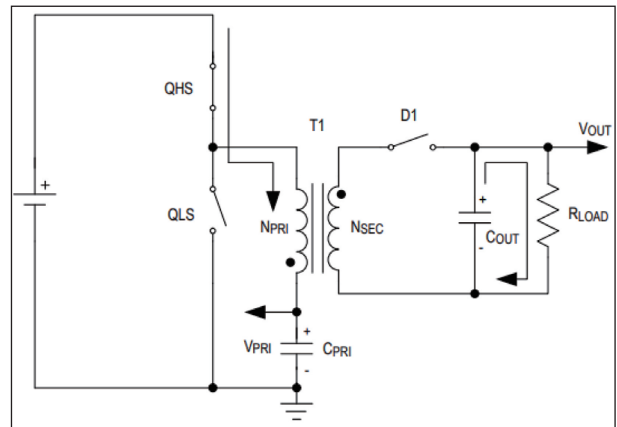
圖 1: Iso-Buck 拓撲



在導通時間 (T_{on}) 內，高側開關 (QHS) 接通，低側開關 (QLS) 斷開。變壓器勵磁電感 L_{PRI} 被充電。圖中的箭頭顯示了電流的流向。初級電流線性增加。電流隨時間變化的斜率取決於 $(V_{in}-V_{pri})$ 和 L_{pri} 。在此時間間隔內，次級側二極體 D1 被反向偏置，負載電流從 COUT 流向負載。

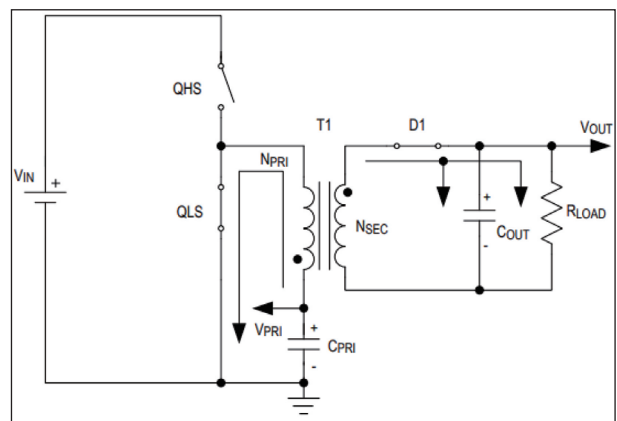
在關斷時間 (T_{off}) 內，QHS 關閉並且 QLS 打開。初級電感器放電。初級側電流從 QLS 流到到初級側地，D1 此時被正向偏置，次級側電流從次級側

圖 2: 導通週期等效電路



線圈流到到輸出電容和負載。在這段時間內輸出電容被充電。(關閉 QHS 並打開 QLS 不能改變電流方向，它改變了電流斜率。正電流減小到 0A，然後負電流增大。)

圖 3: 關斷週期等效電路



哪些參數會影響變壓器的選擇？

當設計電源時，一些參數和規格應該被明確。這些參數將決定週邊元件（如輸入電容，取樣電阻等）的選型，尤其是變壓器。

■輸入電壓範圍 INPUT VOLTAGE RANGE

■輸出電壓 OUTPUT VOLTAGE

■最大工作週期 MAX DUTY CYCLE

■開關頻率 SWITCH FREQ

■輸出電壓紋波 OUTPUT VOLTAGE RIPPLE

■輸出電流 OUTPUT CURRENT

■輸出功率 OUTPUT POWER

我們通常將最大工作週期 (D) 分配為 0.4 到 0.6。最小輸入電壓 (VIN_MIN) 和最大工作週期將決定初級側輸出電壓 (VPRI)。初級輸出電壓和輸出電壓 (VOUT) 確定變壓器匝數比。

輸出電流 (IOUT) 和輸出功率 (POUT) 可能是影響變壓器選擇的最關鍵的參數。輸出電流將決定至少應使用多粗的銅線。輸出功率將決定應使用哪種變壓器骨架。骨架的磁導率表明了它可以儲存多少能量，從而可以輸出多少能量。通常，我們使用直流負載電流乘以一個係數來指定電感器（變壓器）的紋波電流。工作週期和開關頻率將告訴我們 TON 時間，借助 VIN 和 VPRI 以及紋波電流，我們可以確定初級側電感值。係數不應分配得太大或太小。較大的係數會導致較大的紋波電流。大的紋波電流可能會超出 H 橋電流限值，這可能會損壞 MOSFET，並且由於輸出電容的 ESR 和 ESL，大的紋波電流會在輸出電容器上導致較大的紋波電壓。相反，當我們想要極小的紋波電流時，我們的計算會得到一個大電感值的電感器（變壓器），它將是一個大骨架和內部具有大量繞組的線匝，並且大電感將限制環路頻寬並降低動態回應指數。

選擇變壓器

顯然，能量僅在關斷時間內傳輸到次級側。所以，匝數比可以通過以下公式確定：

$$\frac{V_{out} + V_D}{V_{pri}} = \frac{N_{sec}}{N_{pri}} \quad (1)$$

其中 VD 是次級二極體的正向偏置電壓。對於 Vpri，我們通常將最大工作週期分配在 0.4 到 0.6 的範圍內。Vpri 可以通過以下公式計算：

$$V_{pri} = D * V_{in_min} \quad (2)$$

其中 D 是最大工作週期，Vin_min 是最小輸入電壓。從上面的討論中，我們就可以計算匝數比了。作為非隔離 buck 轉換器，電感器兩邊的紋波電流相等。輕鬆地，我們可以按以下在 Ton 時間的電感特性公式計算所需的電感值：

$$L = \frac{(V_{in_min} - V_{out}) * D}{f * \Delta I} \quad (3)$$

其中，f 為開關頻率，ΔI 為紋波電流。正如我們所說，紋波電流是直流負載電流乘以一個係數：

$$\Delta I = I_{out} * K \quad (4)$$

K 是係數。但是在隔離 buck 轉換器拓撲中，這裡是一個變壓器，而不是電感器。我們該如何處理？我們知道變壓器兩側的電流和匝數成反比：

$$I_{pri_toff} = I_{sec} * \frac{N_{sec}}{N_{pri}} \quad (5)$$

其中 Ipri_toff 是次級側電流在 Toff 時間內轉換為初級側的等效電流，需要注意的是次級側線圈僅在 Toff 時間內輸出電流。也許我們可以將兩者電流相加作為等效的電感器（等效）電流。

$$I_{Leq} = I_{pri} + I_{sec} * \frac{N_{sec}}{N_{pri}} \quad (6)$$

其中 ILeq 是等效電感電流。如果變壓器還有 3 個繞組，

$$I_{Leq} = I_{pri} + I_{sec} * \frac{N_{sec}}{N_{pri}} + I_{thi} * \frac{N_{thi}}{N_{pri}} + \dots \quad (7)$$

這正確嗎？我們來看看基於 MAX17682 的模擬結果。以下截圖是在 SIMPLIS 中繪製的 MAX17682 典型電路。電流探頭已放置在變壓器的兩側，分別稱為 IPRI 和 ISEC1。

下面的螢幕截圖是這兩個探頭的瞬態模擬結果。我根據上述方程式添加了這兩個電流波形的和。

顯然，電流相加的結果（青色）是三角波，就

圖 4: MAX17682 SIMPLIS 中的典型電路

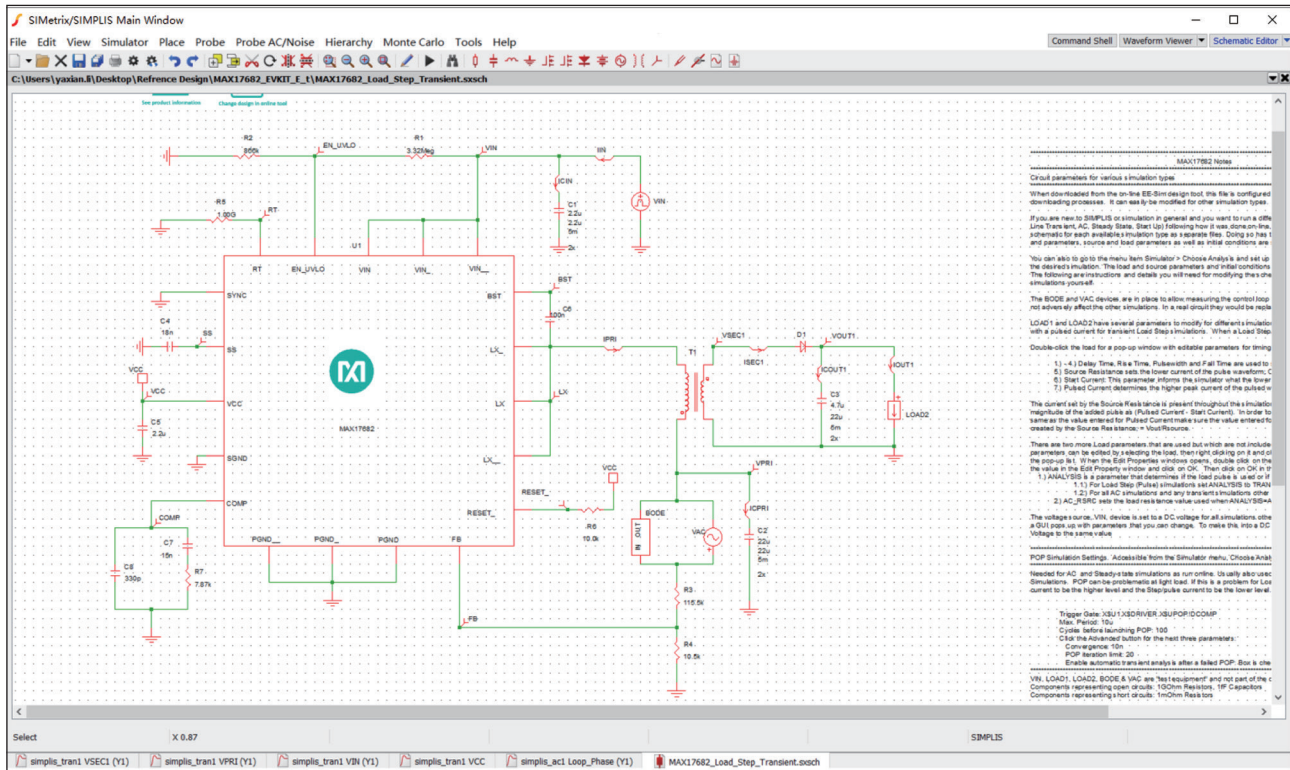
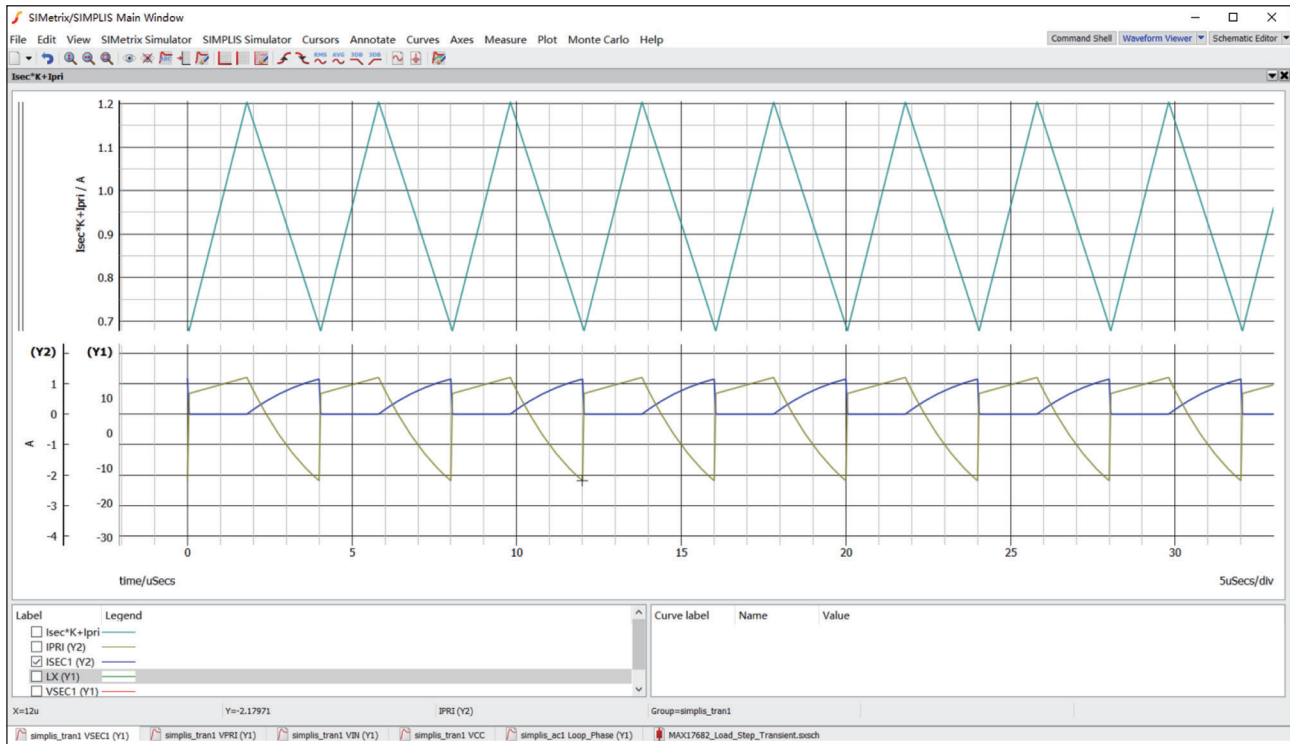


圖 5: MAX17682 典型電路模擬電流波形



像非隔離 BUCK 轉換器中的電感器一樣。因此，可以很容易地計算出變壓器的初級側 ΔI ：

$$\Delta I = \left(I_{pri} + I_{sec} * \frac{N_{sec}}{N_{pri}} \right) * K \quad (8)$$

通常，我們將負載電流紋波分配為直流輸出電流的 0.2 倍。因此，可以將 K 分配為匝數比乘以 0.2。同時，初級峰值電流應保證小於開關限制。峰值電流 I_{pk} 如下：

$$I_{pk} = I_{Leq_{dc}} + \frac{\Delta I}{2} \quad (9)$$

而後可以很容易地計算出所需變壓器的初級側電感值：

$$L_{pri} = \frac{(V_{in_min} - V_{pri}) * D}{f * \Delta I} \quad (10)$$

通過使用這些參數，如匝數比、初級電感、輸出功率、輸出電流、隔離電壓，我們可以決定選擇使用哪個電感器。

為什麼 Maxim 的簡化公式可以使用？

首次使用 MAX17682 資料手冊時，您可能會

圖 6: MAX17682 資料表截圖

Primary Inductance Selection

Primary inductance value determines ripple current in the transformer. Calculate required primary inductance using the equation:

$$L_{PRI} = \frac{V_{PRI}}{f_{SW}}$$

where V_{PRI} and f_{SW} are nominal values.

懷疑。手冊向我們展示了一個如下螢幕截圖的公式。在度量單位上似乎甚至是錯誤的。我們如何看待這個方程式？我們如何理解它？

根據以上討論，等式 (10) 可以在 TOFF 時間內重寫為以下等式。

$$L_{pri} = \frac{V_{pri} * (1 - D)}{f * \Delta I} \quad (11)$$

我們假設 D 為 0.6，當且僅當 ΔI 為 0.4A 多項式 (1-D) 和 ΔI 可以被約分，則等式 (11) 和資料表中的等式相同。顯然，資料手冊中的公式已經選擇了初級紋波電流。如果我們給 D 分配 0.6，則初級紋波電流為 0.4A。在數量上，TOFF 工作週期等於初級紋波電流。

$$\Delta I = 1 - D \quad (12)$$

參考資料：

MAX17682 資料表：<https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX17682.pdf>

MAX17682 SIMPLIS 原理圖：https://www.maximintegrated.com/content/dam/files/design/tools/modeling-simulation/simplis/MAX17682_SIMPLIS_Schematic_11_19_2018.zip 

思科助宏匯廣場躍身新北市首家數位娛樂購物中心

思科 (Cisco) 宣布，攜手合作夥伴擎昊科技，與新北市目前最大的購物中心宏匯廣場合作，打造其成為市內首家數位娛樂購物中心。透過思科網路解決方案，宏匯廣場從顧客無線網路服務，至店家金流資訊網路系統，部署全面性的網路架構；同時，運用思科網路數據收集和分析功能，便利廣場與店家洞悉場內顧客特徵和消費行為，制定相應市場推廣計畫，同時大幅提升顧客消費娛樂體驗，讓宏匯廣場一躍成為台灣新北市最大規模的數位娛樂購物中心。

宏匯廣場導入思科 Meraki 網路解決方案，使顧客在占地廣闊的商場環境中，於每一個角落都能享有順暢、高速、低延遲的網路體驗，更可以在登入帳號後，獲得專屬特有的購物資訊。

對於在廣場內營業店家的金流系統維護上，藉著思科 Catalyst 交換器，宏匯廣場也給予店家高規的網路支援及設計。思科 Catalyst 交換器確保網路的高速與暢通，同時具備資安防護功能，可有效抵擋外部網路惡意攻擊與資料竊取。若單一故障發生時，透過網路的高可靠性的設計，讓系統仍能正常運作，降低維運成本損失的風險，免除對現場營運的影響。