

開關電源迴路控制： 手動計算還是自動化計算？

關鍵字 開關電源、迴路控制、安森美、NCP1271 搜尋

作者 / Christophe Basso

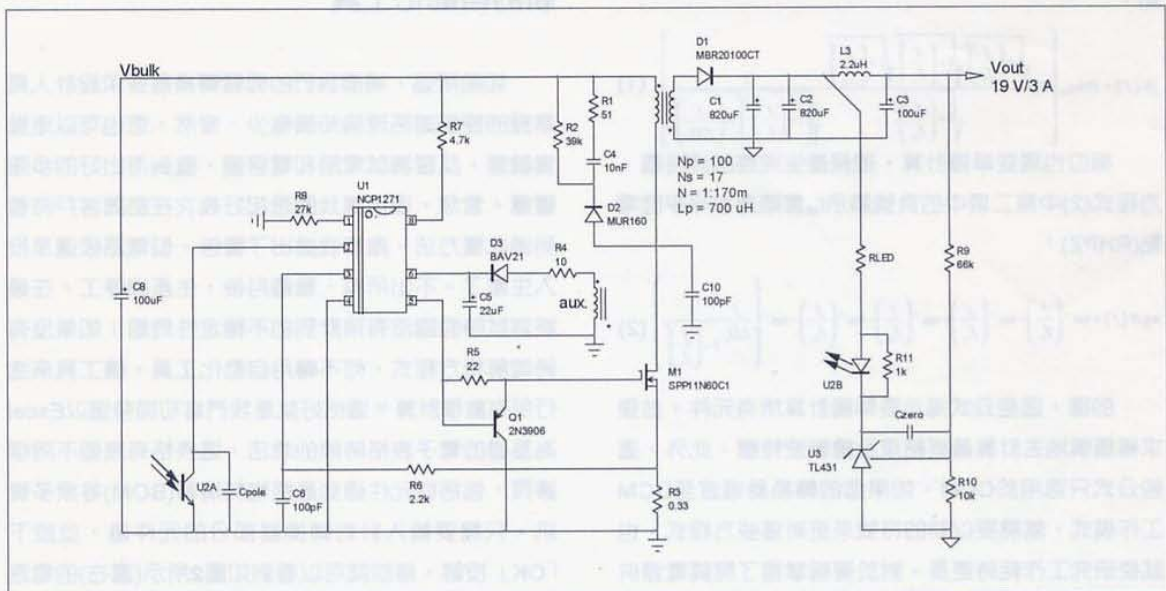
www.asia-info.net

迴路控制是開關電源供應器設計的重要一環。但基於各種原因，這個環節經常被忽視，要待至設計的最後階段，已經選好主要元件並開始組裝原型時，才想及迴路控制。如果反覆試驗讓人感覺在示波器上提供可接受的暫態響應的設計已經可以投入生產，這想法顯然不對。設計工作存在潛藏的雜散和寄生元件，在原型測試期間通常不會顯現出來。而工廠打來的電話會殘酷地將設計人員帶回現實，這些雜散的參數再結合不同批次矽晶片的差異問題，使轉換器在最終批

量測試時不能過關。要避免這種潛在的緊張狀況，最好就是花時間具體分析迴路。本文將為您展示自動化設計工具是可行的方法。

穩定CCM 65 W反激換器

採用電流模式控制工作的反激轉換器在筆記型電腦適配器市場很普及，此類轉換器極適合低成本的強固結構應用。圖1顯示的是此類轉換器的典型應用。



▲ 圖1 以整合頻率抖動振盪器的NCP1271為基礎的典型反激轉換器

採用的控制器是安森美半導體的NCP1271，此元件採用固定頻率電流模式控制工作，具多種有用特性，如以定時器為基礎的短路保護、用於提供低電磁干擾(EMI-friendly)訊號的頻率調變技術，以及在軟模式工作能符合新的待機能耗要求(無可聽噪聲)的跳週期功能。一般情況下，這些轉換器的設計採用低線路電壓供電，以連續導電模式(CCM)工作，從而降低導電損耗，但它們在高交流線路電壓工作時，會自然地轉換到不連續導電模式(DCM)工作。在我們的示例中，假定硬體設計已經完成，表示變壓器初級電感 L_p 、變壓器的匝數比 N 及其他剩餘元件已經選好：就剩下TL431，只待補償元件。

首先要做的事包括找出這電流模式反激轉換器的控制到輸出轉移函數。這就是所謂的開迴路「控體」轉移函數。有幾種不同的選擇可用於實現這個目標。

1.分析被考慮的轉換器的小訊號模型，使用自動數學計算工具取得電源段響應的振幅和相位。參考資料[1]列出的CCM電流模式反激轉換器振幅的公式，這公式相當複雜，如下面的方程式(1)所示。公式中涉及不同的極點/零點，還有頻率為開關頻率 f_n 一半、受品質系數(Quality Coefficient: Q_p)影響的兩個次諧波極點：

$$|H(f)| = 20 \log_{10} \left[G_o \frac{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_{z1}}\right)^2} \sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_{z2}}\right)^2} \sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_{z3}}\right)^2}}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_p}\right)^2} \sqrt{\left(1 - \left(\frac{f}{f_n}\right)^2\right)^2 + \left(\frac{f}{f_n Q_p}\right)^2}} \right] \quad (1)$$

相位也需要單獨計算，確保產生完整的波特圖。方程式(2)中第二項中的負號顯示 f_{z2} 實際是右半平面零點(RHPZ)：

$$\arg H(f) = \tan^{-1} \left(\frac{f}{f_{z1}} \right) - \tan^{-1} \left(\frac{f}{f_{z2}} \right) + \tan^{-1} \left(\frac{f}{f_{z3}} \right) - \tan^{-1} \left(\frac{f}{f_p} \right) - \tan^{-1} \left(\frac{f}{f_n Q_p} \frac{1}{1 - \left(\frac{f}{f_n}\right)^2} \right) \quad (2)$$

的確，這些公式揭示要單獨計算所有元件，並要求極謹慎地去計算最終結果及繪製波特圖。此外，這些公式只適用於CCM。如果您的轉換器過渡至DCM工作模式，就需要以新的符號來更新這些方程式，也就使研究工作耗時更長。對於聲稱掌握了開關電源供應器迴路控制的人來說，理解導出這些結果背後的技术

至關重要，那就應該嚴格限制只有能夠輕易進行數學分析的人才能實際應用這些公式。

2.第二種選擇是使用SPICE大訊號或小訊號平均模型。這種方法並不會清楚地讓您知道模型背後潛藏的細節，但您也不再需要計算這些乏味的方程式。SPICE模型首先會自動計算工作點，並告知您轉換器是以CCM還是DCM工作。然後，SPICE模型會選擇恰當的方程式組合，您只需按啟動按鍵，您就可以立即獲得交流響應圖。

3.自動化軟體是另一種選擇。安森美半導體已經發布自動化電子表格，能處理所有具體計算：統計 L_p 、 N 和輸入電壓等、按下更新按鍵，求解工作就完成了！我們稍後會看到如何應用此自動化軟體。

4.最後一種選擇是建構原型，並藉使用網路分析儀解析出電源段的交流響應。當所測試電源的迴路已經穩定，而且希望以實際量測來確認計算，操作就相當簡單。但如果電源未穩定或基本不穩定，工作就變得複雜，同時也讓您懊惱。相反，如果結合第4種選擇和此前3種選擇建議中的一種，就確保能夠以最短時間建構強固穩定的原型。

新的自動化工具

如前所述，補償我們的開關轉換器要求設計人員掌握的控制迴路理論知識極少。當然，您也可以走進實驗室，反覆調試電阻和電容值，直到得出好的步階響應。當然，這也讓我回想起好幾次在訪問客戶時看到過此種方法。盡管我提出了警告，但電路板還是投入生產了。不出所料，幾個月後，生產線停工，在最終測試時面臨沒有預計到的不穩定性問題！如果沒有時間解析方程式，何不轉用自動化工具，讓工具來進行所有數學計算？這恰好就是我們當初開發這以Excel為基礎的電子表格時候的想法，這表格有幾個不同標籤頁，包括從元件值到最終物料清單(BOM)等眾多資訊。只需要輸入針對轉換器部分的元件值，並按下「OK」按鍵，應該就可以看到如圖2所示(圖右)的電源段響應，確認峰值及CCM工作。工作週期(duty cycle)

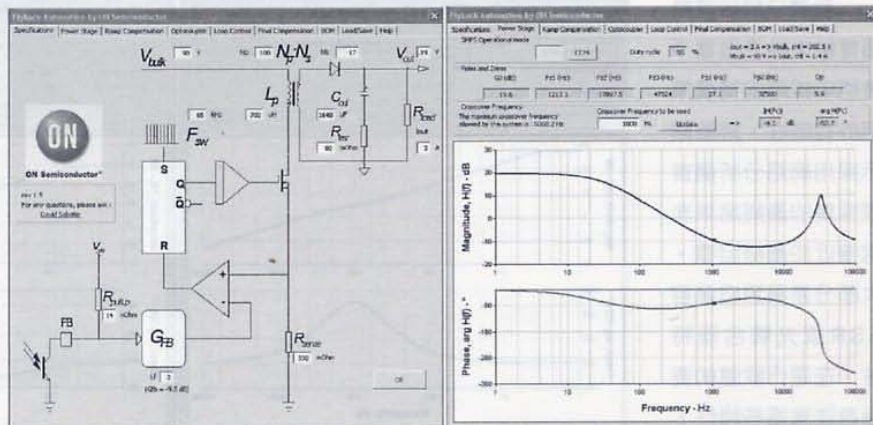
為55%，增益在直流時變平直至19.6 dB。

這軟體然後選擇恰當量的補償斜坡(圖3)，抑製次諧波極點。這電子表格計算出等效品質系數 Q_p ，並核對需要多少斜坡補償來將這品質系數降至低於1。理論上，它降低了僅僅依靠電感向下斜坡及考慮了高達100%的工作週期漂移的其它計算方法導致的過補償風險。然後，用戶需要輸入光耦合器特性參數，其中包含電流轉移比(CTR)和位置由上拉或下拉電阻決定的極點。在我們給出的示例中，CTR為30%，其中所見到的極點在4 kHz。安森美半導體提供這軟體的教程，其中詳細介紹了如何表征光耦合器，而在設計電源時必須深刻理解光耦合器所充當的作用。

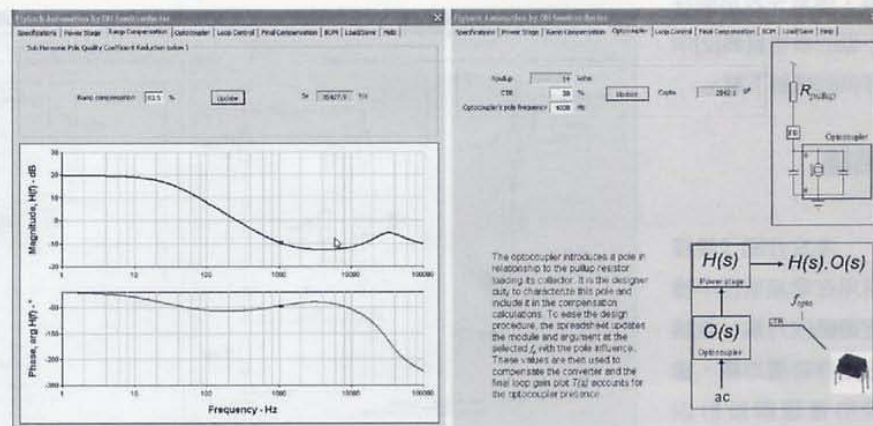
如圖4所述，2類補償器在635 Hz頻率放置零點，並在1.5 kHz頻率放置極點(圖左側)，提供所需的25°相位提升。這軟體應用k因數技術，此技術涉及在所選極點和零點頻率的幾何平均值設置交越頻率。最後，如圖4右側所確認的，迴路增益顯示出臨近1 kHz的交越點，並具有充足的相位裕量。右上角的按鍵讓您能夠改變工作點，特別是輸入電壓和輸出電流。按下「更新」(Update)按鍵，軟體重新計算電源特性，保持補償器參數的一致性。然後它顯示迴路增益，展現您

所要求的改變。然後您就能夠快速地檢查電源在從CCM轉換至DCM時是否保持穩定。輸出電容等效串聯電阻(ESR)和光耦合器CTR也是能夠掃描出來的其中一些參數。

最後，圖5提供了TL431的示圖及計算出來的相關補償元件值。圖的右側顯示了實際應用斜坡補償的方法。由於選擇了NCP1271，在感測元件到電流感測引腳間插入1顆簡單電阻在瞬間就完成了這項工作。如前面所強調的，最後連接這個電阻及1顆100 pF電容來接地，從而改善電流感測引腳的噪聲免疫力。這兩個元件都將位於緊鄰控制器引腳的地方。



▲ 圖2 可在左側的開放式螢幕中填入計算出的元件值。一旦按下「OK」按鍵，就會出現電源段標籤頁，顯示出電源段交流響應(圖右)。



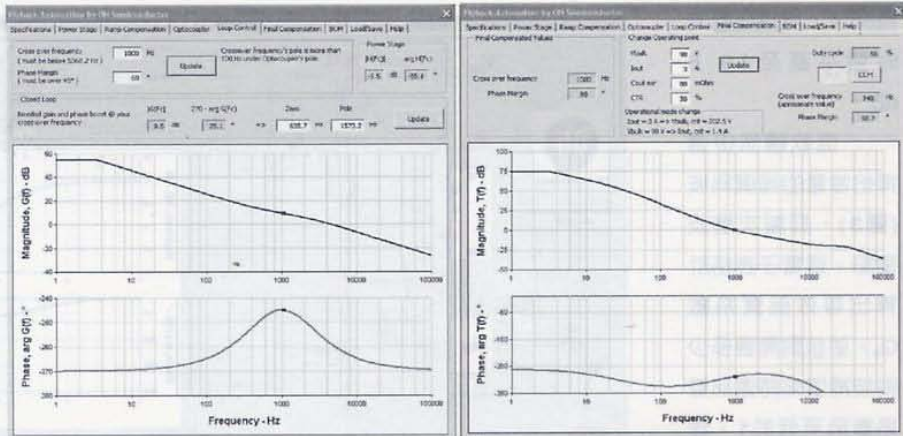
▲ 圖3 下一步是計算所需要的斜坡補償量及其對電源段響應的影響。然後光耦合器標籤頁就會出現，輸入所測得的極點。

我們已經做過幾個實驗來檢查這電子表格中採用的補償策略的有效性。經驗顯示採用網路分析儀實際採集的最終結果非常接近於最終目標。大部分差異源自電容ESR或光耦合器特性。在運行軟體前要極為注意這些特性，這樣一來，迴路控制將不再是一個頭疼問題。這電子表格能在下面的參考資料[2]中提供的鏈接下載。

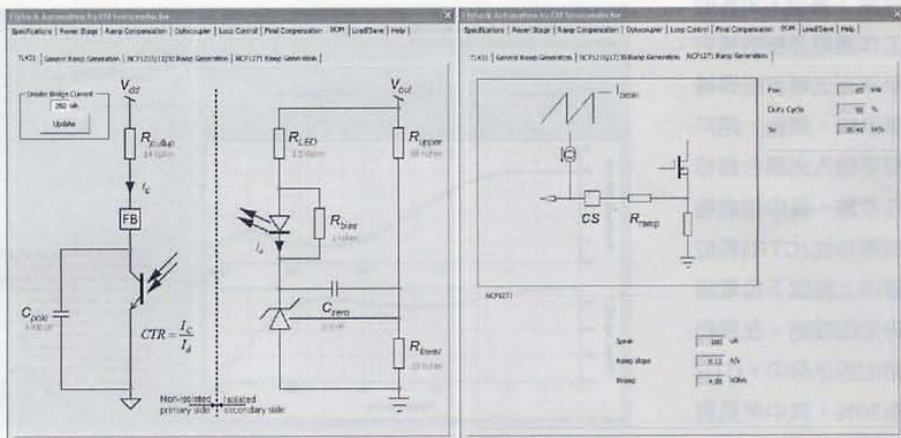
結論

本文介紹了幾種可用在電源項目中穩定迴路的方案。無論您選擇哪種方案，重要的是理解設計以TL431為基礎的補償器時涉及的參數。如果設計軟體或仿真工具能夠快速地為您揭示有效的電路，理解補償器計算背後的解析步驟就對您有利。這樣一來，不單能夠校驗所提供的結果及查找所用方法中的缺點，還能夠將重點放在對設計有更重要的指定參數，改善最終結果。

本文作者現任於安森美半導體。



▲ 圖4 左圖針對60°相位裕量建議的補償器顯示出25°的相位提升，非常接近於我們計算過的數值。一旦補償了迴路，最終的相位裕量就會符合我們的期望(圖右)。



▲ 圖5 此軟體最後顯示出TL431配置及其相關的元件(圖左)。還教您如何例外地使用NCP1271內部電路來應用斜坡補償(圖右)。

參考資料

- [1] C. Basso, "Switch Mode Power Supplies: SPICE Simulations and Practical Designs", McGraw-Hill, 2008.
- [2] <http://www.onsemi.com/pub/Collateral/FLYBACK%20AUTO.ZIP>.