

分流電阻的電感很重要！

作者：Jerry Steele，安森美半導體

在高頻率的開關系統中，透過分流測量電流時，可能會觀察到正弦波電流(sine wave current)波紋振幅過大、方波(square wave)波紋或快速轉換電流時過高的高頻雜訊等問題。這些問題是由電流分流電感所引起的，當分流電阻值較低時，尤其是在 $1\text{m}\Omega$ 以下時，分流電感就變得更加明顯。

故障排除(troubleshooting)需要一種工具，任何設計電

流感測系統的人都應該擁有：高品質的鉗式(clamp-on)電流探針，具有從直流到高頻率的頻寬，Tektronix電流探針是此種測量的理想選擇。高精確度不是他們的強項，此能透過高品質分流器及IC來獲得更好的精確度，但是為測量及解決動態訊號的問題，電流探針勢必不可少。若不修復動態問題可能會損害基本電流測量的精確度與損毀數據採集系統。

設計實例

可能遇到的問題還包含不正確的正弦波波紋訊號幅度和波形。在一個模組實例中，波紋訊號太大，使人懷疑整體測量的準確性。在下方提供的電路圖分流電阻附近(沒有說明)顯示一個神秘的三角波，直到模擬電路才引起注意。

正弦波波紋在分流有足夠的電感時，確實會變成三角形波形。放大器最初會有正弦波的輸出，因為設計人員明智地在放大器輸入處包含一個低通濾波器，但卻根本沒有被正確地「調諧(tuned)」。在這種情況下，調諧涉及調整電容值，直到波紋符合正確的計算值。現實世界分流的問題是由於電感規格的模糊性所以產生違反規則的分析方法。可能會在資料表前看到類似於「0.5到5nH」的標注，而在規格表上有沒有具體的值，就這端看是否幸運。所以使用電流探針(current probe)，透過反覆運算電容(capacitor)來確定正確的值(如果振幅太大，即會增加電容值，反之亦然)。

事實上，如果有一個真正的方波電流，可能會有幸有一個過衝(overshoot)，再以同樣的方式「調諧」。一旦找到正確的濾波值，它將用於生產，就算不得不更換並聯電阻供應商，它可能仍然正確。能夠建構低於1 mΩ分流系統的方法不多，由於分流電感的影響，這個暫態響應(transient response)的問題會隨著分流系統變小(通常是在小於1mΩ的情況下)而變得更糟。

在輸入前濾波的重要性

濾波應在電流感測IC輸入之前完成很重要。對沒有前端濾波的系统長期收集的資料顯示，在電流和功率值的數據圖中，不明原因偶然(但頻率足夠出問題)會出現大的尖峰。這些尖峰是由於電流感測前端混疊分流上升的高頻率回應所引起的，不管是截波穩定放大器(chopper stabilized amplifier)、三角積分(Σ, σ)轉換器(delta-sigma

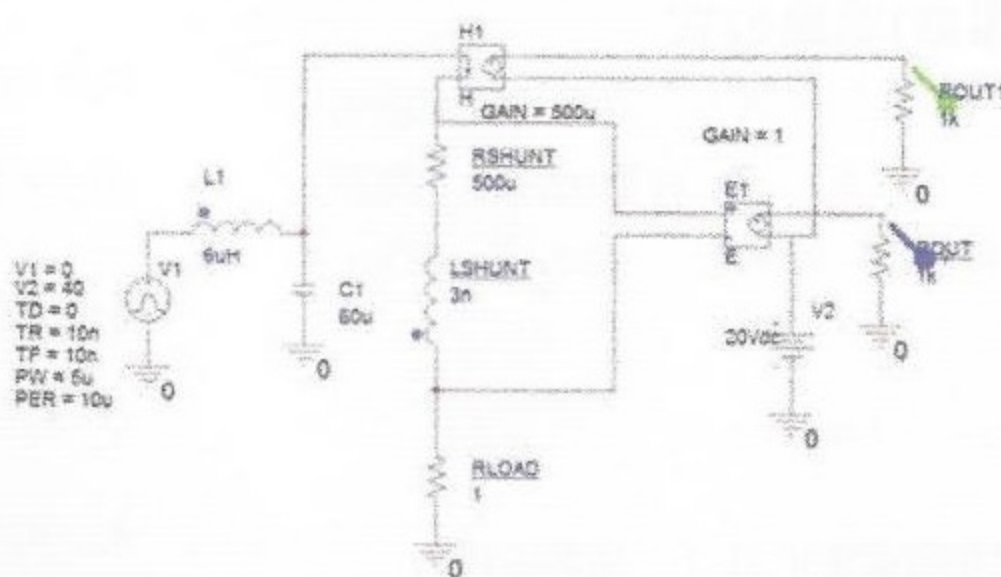


圖1：這是分流電感問題的等效電路圖。100kHz開關穩壓器的方波輸出被L1和C1濾波，使得電流波紋是正弦波。H1擷取實際電流波形(由ROUT 1探測)，E1擷取分流電阻的精確電壓及其電感(由ROUT探測)，就像電流感測放大器(20V電源有助於方便地移動及縮放以同時查看輸出波形)。

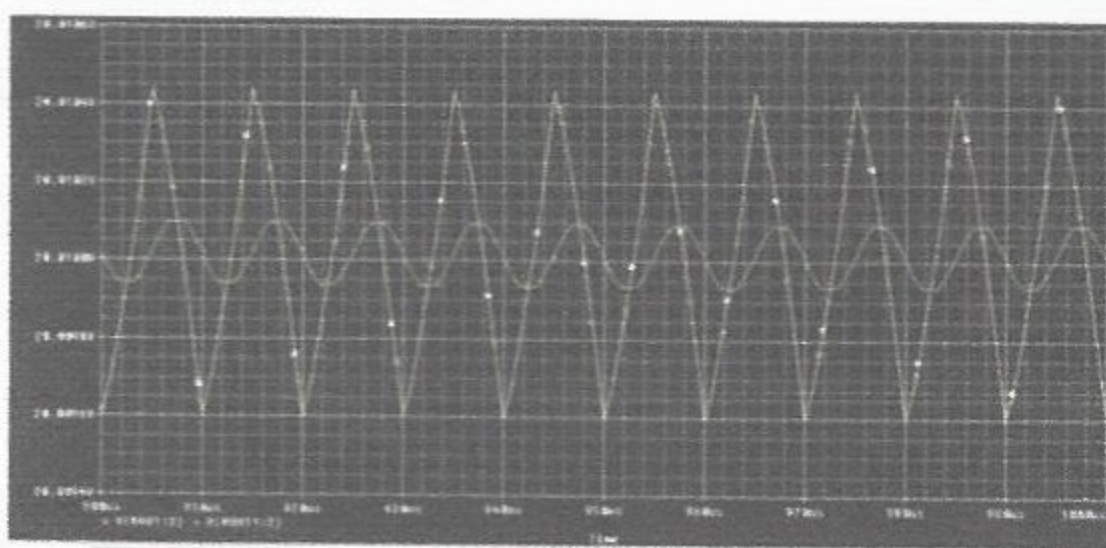


圖2：綠色的曲線代表實際的波紋電流(ripple current)，而黃色的曲線代表分流電阻的電壓下降，這是在沒有輸入濾波器下從電流感測放大器輸出的訊號。三角波的振幅遠比正弦波大(來源E和H被縮放，當一切正常時將會匹配)。

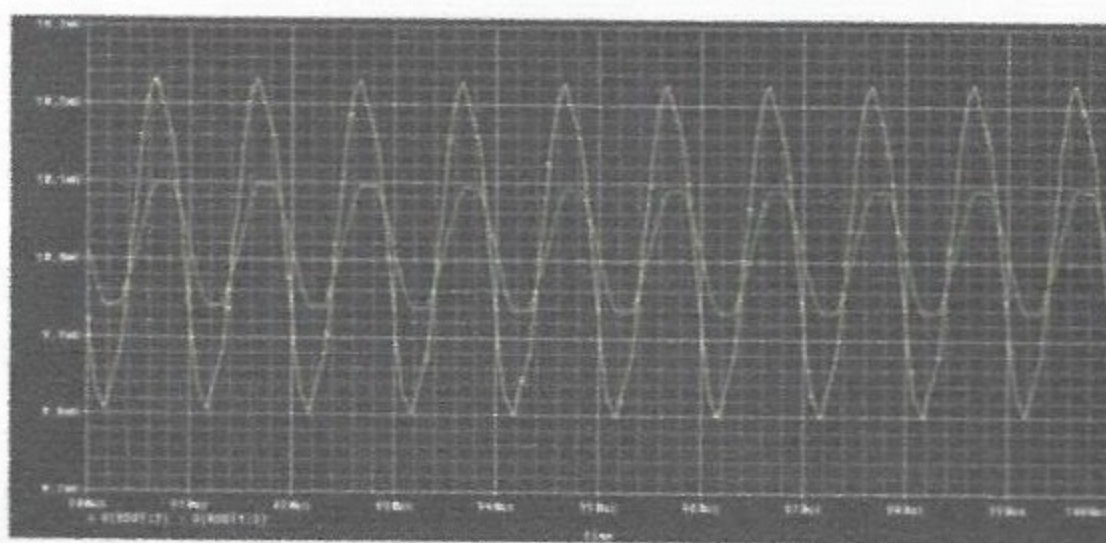


圖3：這裡描繪了在應用中看到的問題。由於應用有一個輸入濾波器，所以放大器輸出的波形是正弦的，但振幅過大。濾波電容(filter capacitor)太小是個問題。

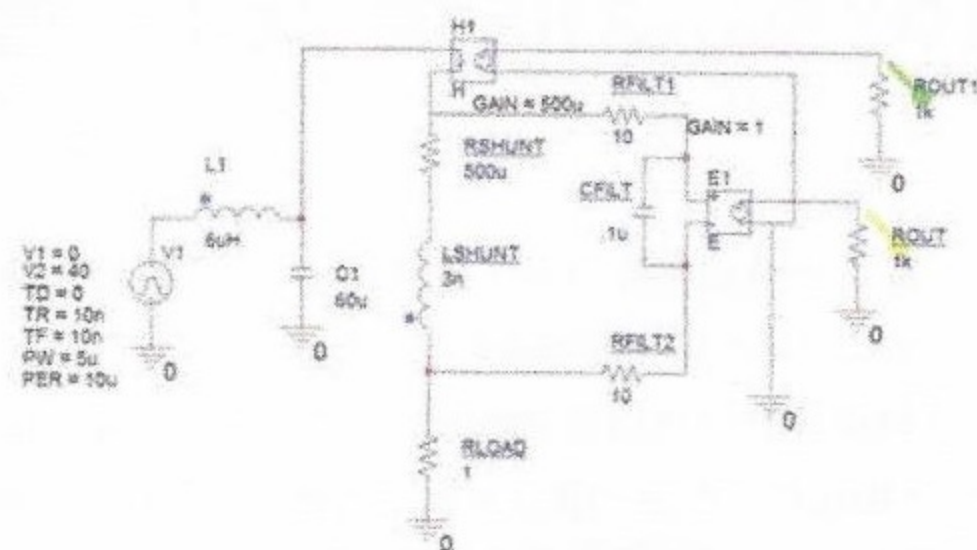


圖4：此應用電路圖顯示濾波器在 R_{FILT} 和 C_{FILT} 的初始值不正確，因此產生圖3的波形。下方將 C_{FILT} 修正為0.3 μ F並提供正確的波形及振幅，如圖5所示。

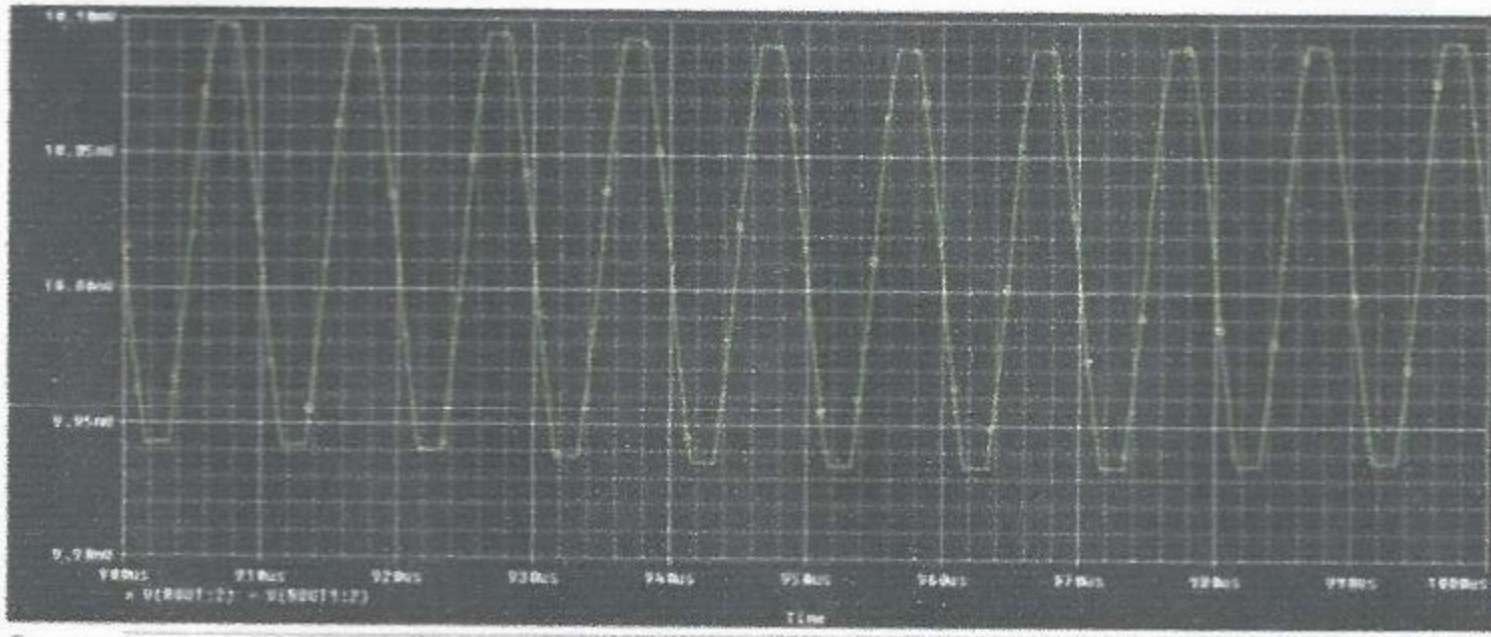


圖5：波紋以正確的濾波值回應。波形互相重疊。

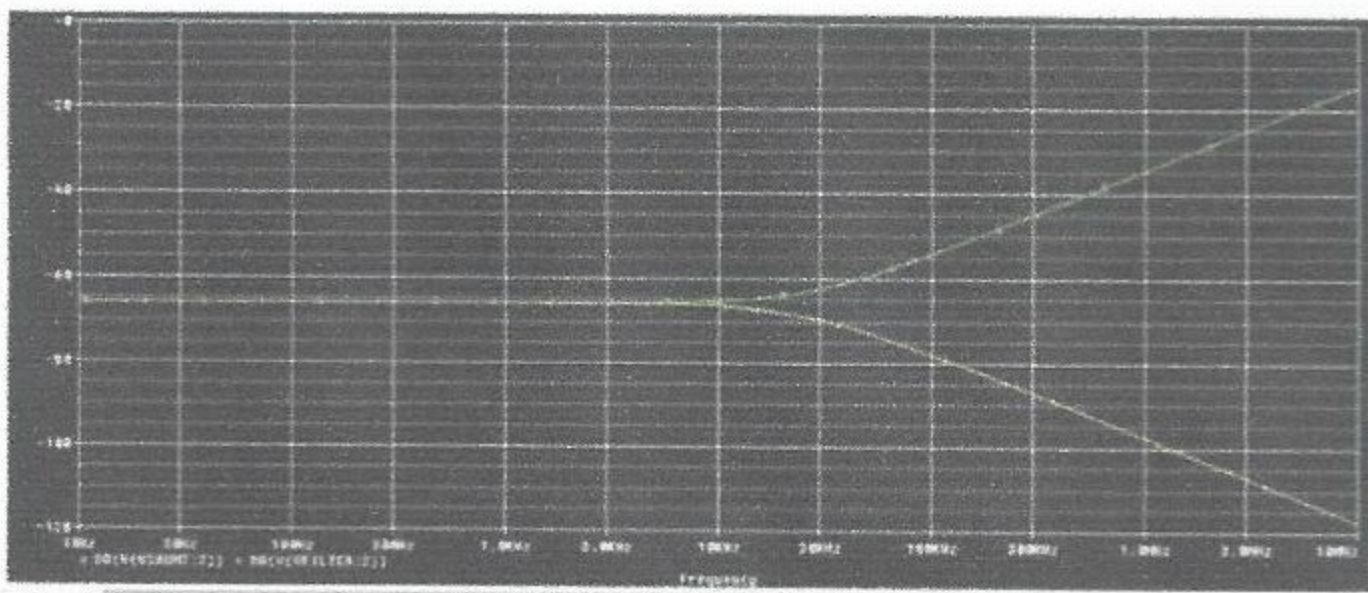


圖6：最後，頻率響應圖顯示500 μΩ分流有3nH電感，頻率響應不斷上升，用綠色表示，以及輸入濾波器與一對10 Ω電阻和0.3 μF電容的互補響應。請注意，這個分流顯示角頻率約30kHz。

converter)還是平均SAR，如果是採樣系統，這些系統皆是脆弱的。

與任何混疊(aliasing)問題一樣，正確的解決方案是在電流感測IC輸入前進行類比濾波(analog filtering)。不需理會表示不需要濾波器的供應商。如果是個採樣系統，且正在收集資料，那將需要一個乾淨的訊號進入電流感測IC。記住混疊不是唯一的潛在問題，未經濾波的輸入，將使高頻輸入造成前端超載的風險。

最後，如果想抑制更多的雜訊，可以調到更低的頻率。在輸入鏈中的第一個放大器之前先進行濾波總是有益。大多數電流感測IC限制在輸入處實際濾波至一個單極，但還是應持續使用，並視需求在放大器的輸出處應用更高階的濾波。

雖然本文探討這個問題存在於暫態領域(transient domain)，但任何精明的觀察者皆會意識到它能看作是個簡單的一階頻寬(first order bandwidth)問題。在極低歐姆值(ohm)的分流上分流電感產生數百kHz的角頻率(corner frequencies)，有時異常的低。無論如何處理，作為頻寬、時間常數或暫態反應問題，最佳濾波器的時間常數將等於分流及其電感的時間常數(或補償分流零頻率的極點頻率)：

$$\frac{L_{SHUNT}}{R_{SHUNT}} = R_{FILT} \times C_{FILT}$$

電流感測IC將持續使用差分濾波器，而 R_{FILT} 將是兩個電阻之和。從數學的角度，最難的部分是得到一個實際的 L_{SHUNT} 值。 EDN

