

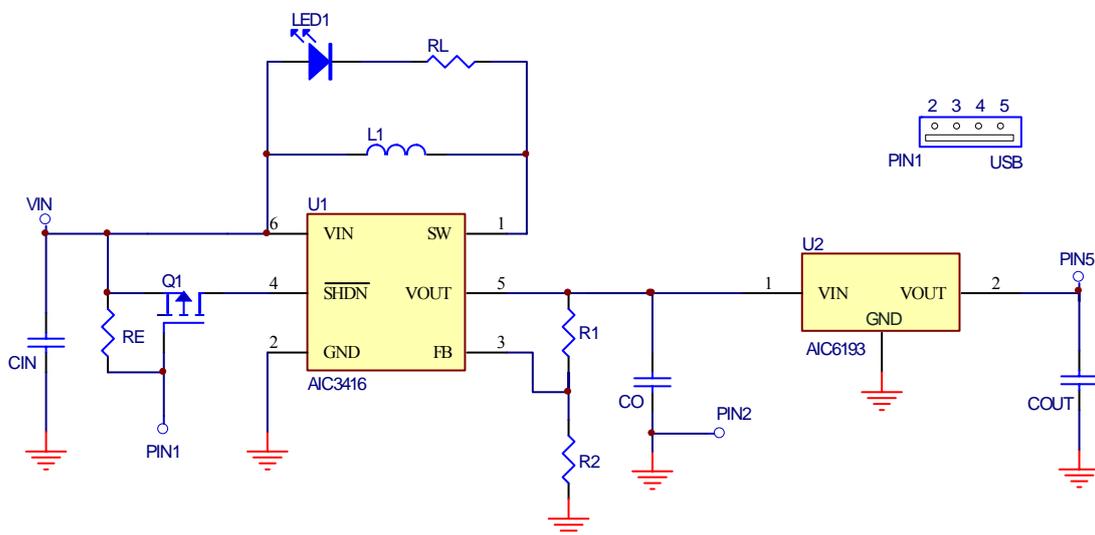
手機應急充的電路探討：

Sean Hung

(1)電路說明：

市面上的手機琳瑯滿目，使用不同的充電器、不同的連接器，如果外出工作、遊玩忽然沒電，要找到相同可以使用的充電器還真不容易。此時如果有一個小電路，可以將市面上常用的 0.9~1.5V 鎳氫(Ni-MH)、鎳鎘(Ni-Cd)充電電池和 3.0~4.2V 鋰(Li-ion) 充電電池轉為手機所需要電能，還真是滿方便的。

因此，筆者設計一個 Battery Charge 小電路，可做為手機應急充，其中連接器則採用目前市面上電子產品最常使用的 USB 連接頭。



圖一、手機應急充電路

如圖一所示，應急充電路包含了兩顆 IC，一顆為 AIC3416，主要功能在於 (Boost) 提昇電壓，以對手機內部電池提供一個標準的充電電壓；另一顆為 AIC6193，主要提供 USB 連接頭一個完整的電源保護與隔離。至於 Q1 MOS 與 RE 電阻做為一個開關使用，當 USB 連接頭插入手機連接器中，PIN 1 被拉到電源 Low 的位準，告訴 AIC3416 開始將電池電壓升壓成系統所需的電壓；同理當 USB 連接頭拔出手機連接器，Q1 MOS 與 RE 電阻的開關停止導通，AIC3416 內部 SHDN pin 會自動拉回電源 Low 的位準，停止供應輸出電源。電路在此採用一顆鋰(Li-ion)電池系統，輸入電壓即為 3.0~4.2V 以及兩顆鎳氫(Ni-MH)、鎳鎘(Ni-Cd)電池系統，輸入電壓即為 1.8~3.0V，而輸出電源在此採用 USB 連接頭最常使用的電源 5.0V，其輸出電壓的調整請參考以下公式：

$$V_{OUT} = 1.2V \times \left(1 + \frac{R1}{R2}\right) \quad (1)$$

其中 1.2V 為 IC 內部參考電壓(Reference Voltage)，利用 R1 與 R2 的分壓可以得到系統所需要的輸出電壓。至於系統電池所需的最大輸出電流請參考以下公式：

$$I_{OUT(MAX)} = \eta \times \left(I_p - \frac{V_{IN} D}{2 \times fL}\right) \times (1 - D) \dots\dots\dots(2)$$

公式中的 η 即為評估效率，詳細的計算方式之後會再說明，在此採用實際量測的效率約 90%； I_p 即為 IC 內部峰值電流限制值(Peak Current Limit)，其中以 AIC34XX 系列產品有三種可供選擇：分別為 AIC3413、AIC3415、AIC3416 升壓 IC，其內部峰值電流限制值分別為 900mA、1300mA 與 1600mA 可以供我們選擇； V_{IN} 即為輸入電壓，在此我們可以使用單一顆鋰(Li-ion)電池系統或採用兩顆鎳氫(Ni-MH)、鎳鎘(Ni-Cd)電池系統，其電壓分別為 3.0~4.2V 與 1.8~3.0V；D 即為開關的責任週期(Duty Ratio)，其值可利用 $(V_{OUT} - V_{IN})/V_{OUT}$ 求得；而 f 為切換穩壓器的工作頻率，在此 AIC34XX 系列產品全部採用 1.2MHz 去工作；最後 L 為應用電路上的電感值，在此我們採用 IC Datasheet 應用電路上的 4.7 μ H 的電感。

利用上式及其條件，可以求得以下列表，其中分別採用單一顆鋰(Li-ion)電池、兩顆鎳氫(Ni-MH)、鎳鎘(Ni-Cd)電池對 AIC34XX 系列產品計算，求得的輸出電流情形：

表一、採用單一顆鋰電池、兩顆鎳氫、鎳鎘電池的輸出電流

| 輸出電流 (I_{OUT}) | AIC3413 | AIC3415 | AIC3416 |
|---|-----------|-----------|------------|
| 單一顆鋰(Li-ion)電池 ($V_{IN}=3.0\sim4.2V$) | 429~635mA | 645~938mA | 807~1160mA |
| 兩顆鎳氫(Ni-MH)、鎳鎘 (Ni-Cd)電池($V_{IN}=1.8\sim3.0V$) | 259~429mA | 388~645mA | 485~807mA |

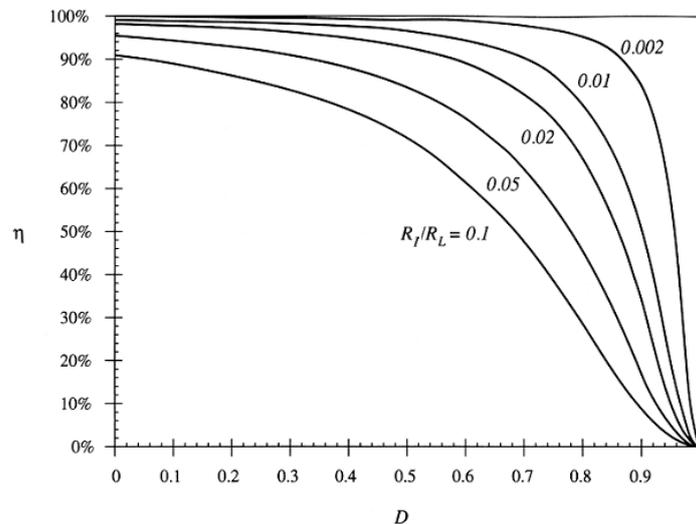
列表一可以快速幫助我們，選擇我們所需要的升壓穩壓器，至於上面提到的評估效率(Estimated Efficiency)需要考慮到整個升壓電路上各個元件的功率損耗(Power Loss)，將其等效後可以得到以下的公式：

$$\eta = \frac{P_o}{P_{in}} = D' \frac{V_o}{V_{in}} = \frac{1 - \frac{D' V_D}{V_{in}}}{1 + \frac{R_1 + DR_{DS(ON)} + D'R_D}{D'^2 R_L}} \quad (3)$$

公式中的責任週期(Duty Ratio)為 D ，至於 D' 也可以寫為 $1-D$ 來表示；而 V_D 為二極體順向導通電壓(Forward Voltage)；至於 R_L 即為電感的 DCR 值；而 $R_{DS(ON)}$ 為 MOS 導通時，介於汲極與源極間的電阻； R_D 為二極體導通電阻，在此 AIC34XX 為同步升壓穩壓器，則 R_D 採用 High side MOS 的 $R_{DS(ON)}$ 取代。整個公式中，我們可以感覺到影響升壓穩壓器效率，最主要的因素為導通元件上的寄生電阻值，但因為 High side MOS 與 Low side MOS 已經包含在 AIC34XX 同步升壓 IC 中，無法從外部應用電路中設計，所以筆者在此先忽略了 IC 內部 MOS 的 $R_{DS(ON)}$ 以及二極體的 R_D 與 V_D 後，可得求得以下精簡效率公式：

$$\eta = \frac{P_o}{P_{in}} = \frac{1}{1 + \frac{R_L}{D^2 R_L}} \quad (4)$$

公式中的 R_L 即為我們應用電路上電感(Inductance)的 DCR 值；至於 R_L 即為應用電路上負載(Loading)電阻；而 D' 也可以寫為 $1-D$ 來表示。公式(4)是將二極體順向導通電壓 V_D ，MOS 導通電阻 $R_{DS(ON)}$ ，二極體上導通電阻 R_D 以及其他輸出入電容的寄生電感電阻忽略，所求的精簡公式，比實際效率的分析要來個簡單，也不需要考慮到多個元件的寄生效應。最後我們將這個精簡公式放入 MATLAB 軟體模擬，可以得到以下效率對開關的責任週期的關係曲線：



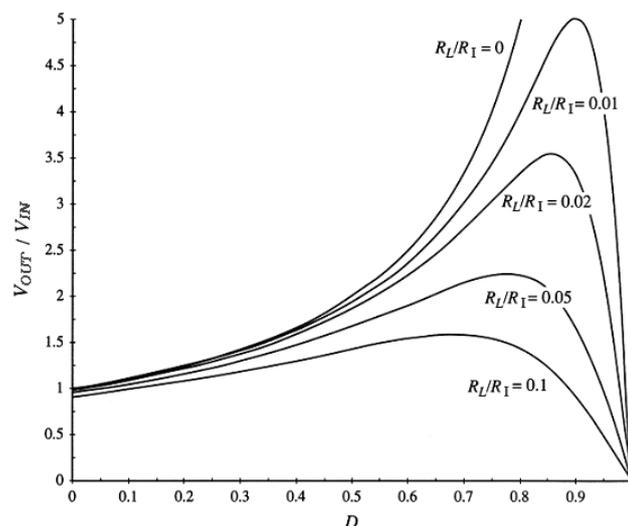
圖二、效率 VS.開關的責任週期

由這個特性曲線我們可以知道如果以輸入電源 3V 轉換至輸出電源 5V，開關的責任週期 $D=(V_{OUT}-V_{IN})/V_{OUT}=0.4$ ，此時如將電感的 DCR 值由 0.1Ω 降為 0.05Ω ，且負載電阻固定下，整體效率會由 80% 上升至 90%。由此可知電感的 DCR

值對升壓穩壓器於高責任週期下的重要性。另外我們同樣將升壓穩壓器等效電路化簡，忽略 IC 內部 MOS 的導通電阻 $R_{DS(ON)}$ ，二極體順向導通電壓 V_D ，二極體上導通電阻 R_D ，可以得到以下輸出與輸入電壓的關係式：

$$\frac{V_{OUT}}{V_{IN}} = \frac{1}{D'} \frac{1}{1 + \frac{R_L}{D^2 R_I}} \quad (5)$$

公式中 R_I 、 R_L 同樣分別為電感的 DCR 值與負載電阻值， D' 同樣也可以寫為 $1-D$ 來表示。當然公式(5)也是將二極體順向導通電壓 V_D ，MOS 導通電阻 $R_{DS(ON)}$ ，二極體上導通電阻 R_D 以及其他輸出入電容的寄生電感電阻忽略，所求的精簡公式。再一次將這個精簡公式放入 MATLAB 軟體模擬，可以得到下面輸出入電壓對責任週期的關係曲線：

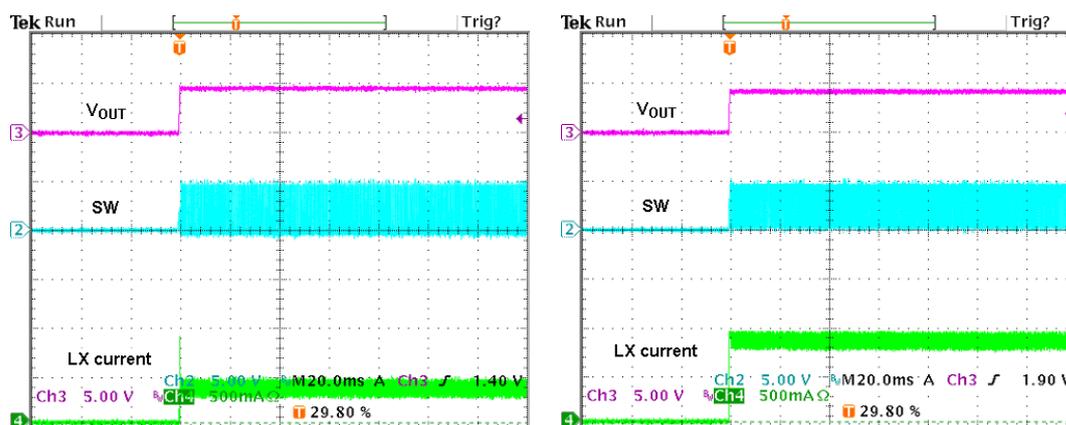


圖三、輸出入電壓 VS.開關的責任週期

由這個特性曲線我們可以知道同樣以輸入電源 3V 轉換至輸出電源 5V，開關的責任週期 $D=(V_{OUT}-V_{IN})/V_{OUT}=0.4$ 情形，此時如將電感的 DCR 值由 0.1Ω 降為 0.05Ω ，且負載電阻固定下，可以使輸出對輸入的轉壓由原先的 1.25 倍提升為 1.4 倍，責任週期越大其輸出對輸入的轉壓比提升越多，由此可知電感的 DCR 值對輸出與輸入的轉壓有很大的影響，所以在應用電路的設計上我們因該好好選擇一個較小 DCR 值的電感，以提高手機應急充的整體效率。

以幫助手機應急充效率提昇 1~2%；預留的電容 R_S 與 C_S 可以作為電路的緩衝器 (Snubber)，有效降低開關轉換時的突波(Spike)電壓。這幾個元件並非系統一定的需要，所以並沒有將此放置列表二中。

手機應急充系統架設完成後，開始測試，測試上我們主要測試 USB 瞬間拔插，以及系統整體的穩定性。以下為進行 USB 連接器插入瞬間的測試，採用常使用的單一顆鎳氫、鎳鎘電池(1.2V)輸入電壓與鋰電池(3.6V)輸入電壓，USB 連接器輸出電壓 5V 的情形：



圖五、不同輸出電流啟動瞬間

圖五為示波器上所顯示的波形，第一張圖為負載電流 75mA 以及一顆鎳氫、鎳鎘電池(1.2V)輸入的情形，對整個升壓穩壓電路為相對輕載，輸出波行與開關波形工作正常，而電感電流的瞬間(Inrush)電流也壓在 1A 以下；第二張圖為負載電流 600mA 以及一顆鋰電池(3.6V)輸入的情形，對整個升壓穩壓電路為相對重載情形，輸出波行與開關波形工作正常，而電感電流也非常漂亮。

至於測試為何選定輸出電壓 5V，原因在於 USB 連接器大多採用此種電源，而數位系統使用上也經常使用輸出電壓 5V 的情形。其他情況上，筆者也有對 3.6V，2.4V 與 1.2V 等不同的輸入電源以及其它數位電路常用的輸出電壓 3.3V 進行測試，測試結果也是滿令人滿意的。

第二項測試採用單一顆鎳氫、鎳鎘電池(1.2V)與兩顆鎳氫、鎳鎘電池(2.4V)輸入，以及 USB 連接器常使用的輸入電源電壓 5V 當輸出，進行穩定度(Stability)與漣波(Ripple)的測試：

