

剖析可攜式電源管理電路的工作原理及 IC 介紹

宋自恆 品佳股份有限公司

第三代智慧型(3G)手機來勢洶洶，業者無不卯足全力開發新的功能結合到手機上，諸如音樂撥放機(MP3)、數位相機、全球定位系統(GPS)、電視系統、廣播系統、圖像簡訊、視訊電話、信用卡功能.....等，當功能愈多時，對電源需求的質與量就相對愈高。然而手機在市場上又逐漸發展成消耗性產品，取代性相當高，產品生命週期短。若不在最短的時間內開發最符合消費者需要的產品，則獲利必然被壓縮。因此工程師必須熟悉各種電源管理 IC 之優缺點與使用方式，才能在最短的時間內創造最大的利潤。本文將針對各種電源管理 IC 的動作原理作深入淺出的介紹，並說明各大廠商所主推之離散式及整合式電源系統。

發展背景

可攜式產品的電源一般是以鋰電池和鎳氫電池為主 其特性如表一

表一、鋰電池和鎳氫電池的特性比較表

	工作電壓	單位體積 蓄電量	單位重量 蓄電量	額定工作電壓
鋰電池	4.2V~2.7V	270~300 $\frac{Wh}{L}$	110~130 $\frac{Wh}{Kg}$	3.6V
鎳氫電池	1.25V~1.55V	220~300 $\frac{Wh}{L}$	75~100 $\frac{Wh}{Kg}$	1.5V

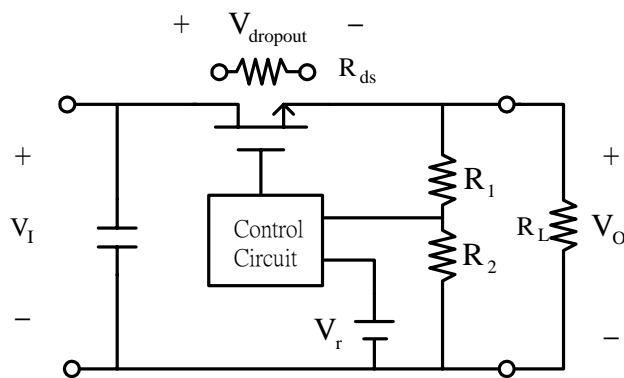
由表一可知，就單位體積或單位重量之蓄電量而言，鋰電池優於鎳氫電池，因此鋰電池便成為可攜式電源產品 IC 的最佳選擇。

而行動電話的功耗大部分來自輸出電壓為 1.1V~3.3V 之間的電壓，若由鎳氫電池的低電壓轉至高電壓，則效率較差。一般是以鋰電池的 3.3V 以上之電壓轉至 3.3V 以下之低電壓，效率較佳。因此當選擇鋰電池之後，欲設計的轉換器大宗仍以降壓式轉換器為主。而降壓式轉換器常用的電路架構有三種，各為低壓降壓轉換器(LDO)、電荷幫浦(Charge pump)、降壓轉換器(Buck converter)。此外欲圖設計上的方便，想在同一個電路上得到升壓或降壓的作用，可選擇單端初級

電感轉換器(Single-ended Primary Inductor Converter, SEPIC)，以下將針對對各種轉換器一一作介紹。

低壓降壓轉換器(Low-Dropout, LDO) 動作原理及特點

電路架構如圖一，其操作原理為，當輸入電壓 $V_I > V_O$ 時，藉由電晶體吸收 V_I 和 V_O 的電壓差 $V_{drop\ out} = V_I - V_O$ ，並由回授控制電路控制以提供平穩的輸出電壓 V_O 。由於電晶體操作於主動區，其作用如同一個可變電阻，即消耗功率為 $P = I \times V_{dropout}$ ，當電壓差 $V_{dropout}$ 和電流 I 愈大，則轉換效率愈低。



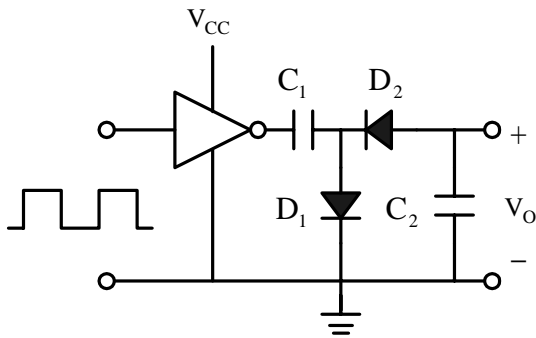
圖一、低壓降壓轉換器(LDO)的電路架構

其特點如下：

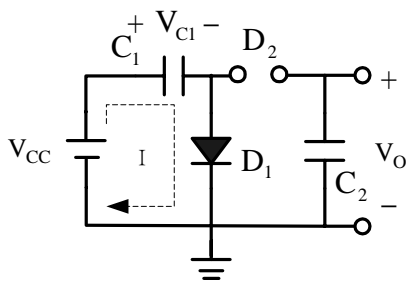
1. 容易使用：只須於輸入輸出端各加一個外部電容即可。
2. 效率低：通常 $V_I = V_{out}$ 時可達 85%，然而 $V_I > V_{out}$ 時，效率可滑落至 25% 以下。
3. 無 EMI 或輸出漣波，可配合音頻(Audio)電路或射頻(Radio)電路使用。
4. 容易發熱，溫度問題難解。
5. 價錢便宜。

常用的低壓降壓轉換器 IC 如 LM317、LM337、Texas Instrument 的 TPS6110x、TPS6112x、TPS6113x、Linear Technology 的 LT1963、LTC1705、LT1764、National Semiconductor 的 LP398X、或 MAXIM 的 MAX886X/887X/888X 等都是。(實際上，市場上所使用的零件編號遠大於以上所列，若欲知更多的零件種類，可連接至 Texas Instrument 的網站 www.ti.com、Linear Technology 的網站 www.linear.com、National Semiconductor 的網站 www.national.com 或 MAXIM 的網站 www.maxim-ic.com 查閱)

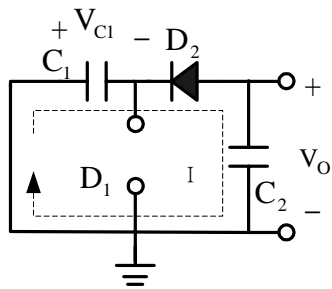
電荷幫浦(Charge pump)電路的動作原理及特點



圖三(a)、簡單的電荷幫浦(Charge pump)電路



圖三(b)、控制時脈(CLK)為低態時的等效電路



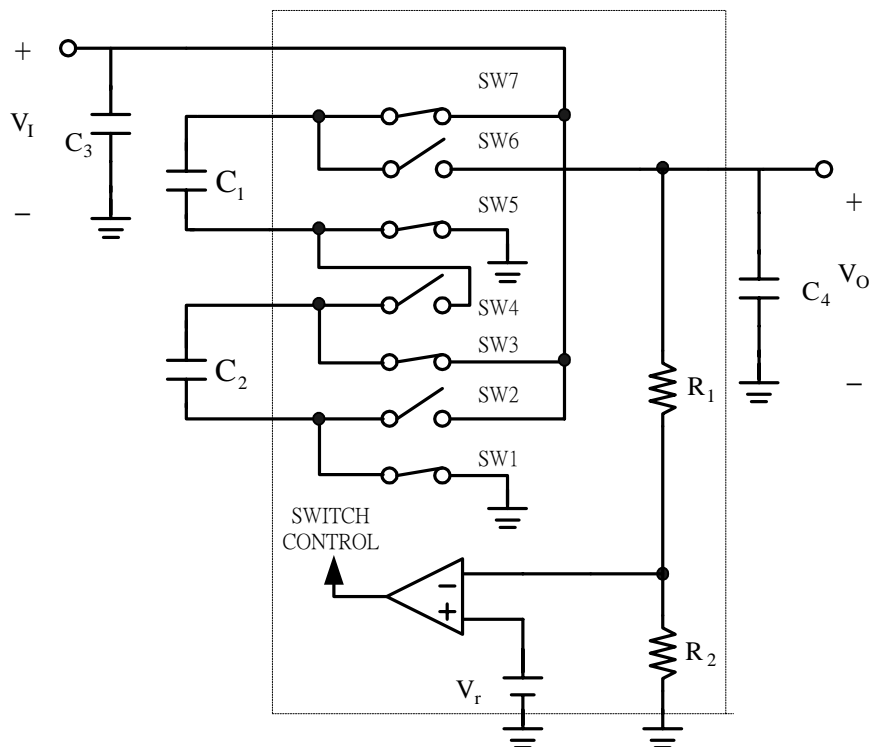
圖三(c)、控制時脈(CLK)為高態時的等效電路

然而電荷幫浦的電路除應用於降壓外，仍可應用於昇壓，以 MAXIM 公司出品的 IC 編號 MAX619 的電荷幫浦 IC 為例，如圖四所示。

其動作原理如下：

- (1)當開關SW1, SW3 與 SW7, SW5 導通(ON)而其它開關打開(OFF)時，其C1,C2 各充電至大小約為 V_i 的電壓。

(2)承上個狀態，當開關SW2, SW4, SW6 導通而其它開關打開(OFF)時，前狀態所充的約 V_1 大小的電壓和電容C1,C2 上的電壓串聯起來對C4 電容充電而得到輸出電壓 V_o 其最高可充至 V_1 的 3 倍電壓。



圖四、 MAXIM 公司的電荷幫浦 IC MAX619

MAX619 的使用規格為當輸入為 1.8V ~3.6V 時，輸出可為 5V，20mA，而輸入若大於 3V 時，輸出可為 5V, 50mA，其消耗功率如下式:

$$\text{Power loss} = I_{out} \times [(2 \text{ 或 } 3)V_1 - V_o]$$

其消耗功率端視放大後的電壓(2 或 3) V_1 和 V_o 的差壓及輸出電流 I_{out} 大小而定，由於電路都是電容元件，此電路的效率會比低壓降壓轉換器(LDO)高得多，而且電路架購不需要電感，且其使用電容可用陶磁電容即可。

因此電磁干擾小，體積及價格上亦較電感低，在可攜式電源的設計當中占有極重要的腳色。

電荷幫浦(Charge pump)電路的特點如下：

- 1.容易使用：除輸入輸出端各加一個電源外，再加一個幫浦電容(C pump)即可。
- 2.相較於 LDO，電路效率較高。
- 3.低 EMI 或輸出漣波。
- 4.輸出電源的瓦數和 V_I / V_{out} 電壓比值受限。
- 5.價錢中等。

常用的電荷幫浦(Charge pump)電路 IC 如 Texas Instrument 的 TPS601XX~TPS603XX、Linear Technology 的 LTC1682、LTC1516/17 或 MAXIM 的 MAX1570/1595/1912/1916 和 ON semiconductor 的 NCP5603 等都是。(若欲知更多的零件種類，可連接至 Texas Instrument、Linear Technology、或 MAXIM 的網站查閱)

降壓式轉換器 (Buck converter) 的動作原理及特點

降壓式轉換器 (Buck converter) 的電路架構如圖五(a)所示，其動作原理如下：

- (1) 當Q1 導通，Q2 截止時，輸出電壓 V_I 經Q1 對電感充電並供應電壓至 V_o ，電流方向如細虛線所示，此時電感電壓 $V_L = V_I - V_o$ ，電流線往上升，如圖五(b)波形圖DT的區間，其中 $0 < D < 1$ 為工作週期。
- (2) 當Q1 截止，Q2 導通時，電感的電壓反向，對電容C及負載 R_L 作放電，電流方向如粗虛線所示。此時電感的電壓為 $V_L = - V_o$ ，其電流線性往下降，如圖五(b)波形圖(1-D)T的區間。當完成一個週期時間後，再回到狀態(1)，週而復始的動作，由於電感電壓 伏特—秒 平衡的關係，圖五(b)波形所示之電感電壓波形上半部，面積相當於下半部的面積，故輸出與輸入之電壓關係推導如下：

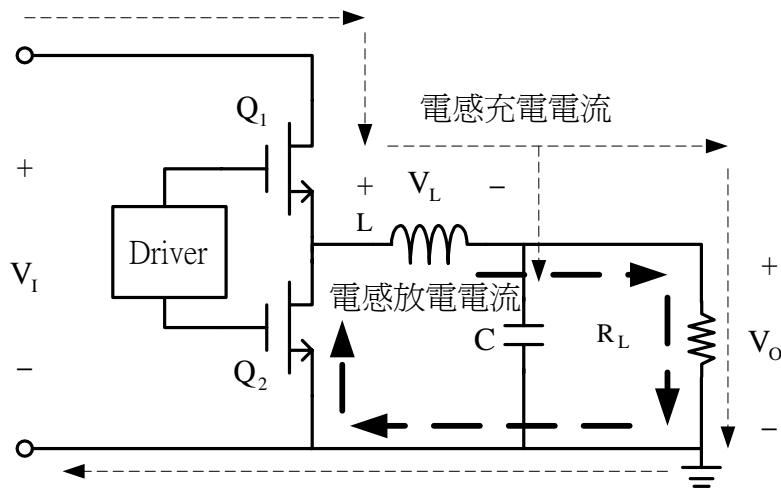
$$(V_I - V_o)DT = V_o(1-D)T$$

$$V_I DT - V_o DT = V_o T - V_o DT$$

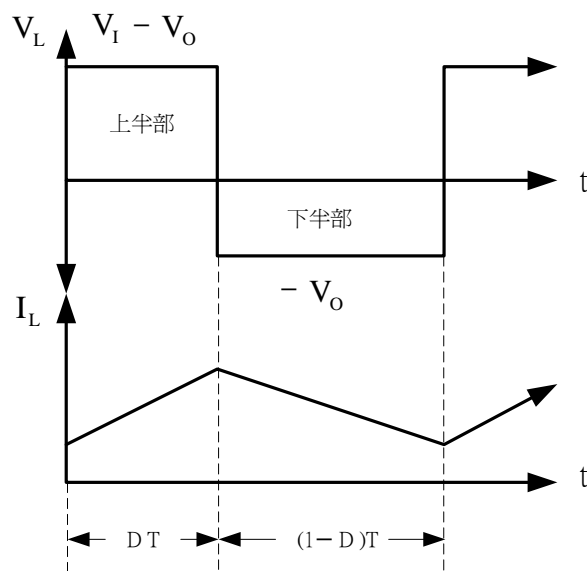
$$\frac{V_o}{V_I} = D$$

由於週期 $0 < D < 1$ ，故知此電路的 V_o 定當會較 V_I 來得小，故稱之為降壓式轉換器。由於理想上，此轉換器的組成元件只有電晶體Q1,Q2 和電感L及電容C，其中電晶體不是工作在截止區(Off)，就是作在飽和區(On)。而電感L和電容C 都只作充放電作用，理論上是不消耗能量的。因此理想上效率是百分之百，雖然實質上Q1,Q2 電晶體有導通損耗(On loss)與切換損耗(Switching loss)，而電感有磁損(Hysteresis loss)與銅損(Copper loss)，電容亦有漣波損失(Ripple loss)，但此電路

一般狀態可達 90%效率，故需要高功率的狀況時，在電路的選用上，通常非其莫屬。



圖五(a)、降壓式轉換器的電路架構



圖五(b)、降壓式轉換器電感的波形圖

降壓式轉換器的特點如下：

- 1.使用上需加電感與外部的 MOS FET。
- 2.價錢較高。
- 3.效率最高，溫度問題容易解決。
- 4.高 EMI 或輸出漣波，在電路板佈局(Lay out)時要多注意。
- 5.適合操作於輸出入電壓差較大的情況(高 V_{out}/V_I)。
- 6.適用於高輸出電流的場合。

常用的降壓式轉換器(Buck converter)電路 IC 如 Texas Instrument 的 TPS43000、TPS40021、Linear Technology 的 LTC3404、LTC3713、LT1576 或 MAXIM 的 MAX1970、MAX5073 等都是。(若欲知更多的零件種類，可連接至 Texas Instrument、Linear Technology、或 MAXIM 的網站查閱)

單端初級電感轉換器 SEPIC (Single-ended Primary Industry Converter) 電路的動作原理及特點

其架構較為複雜，如圖六所示，在此假設電感在電晶體 Q 導通或截止時，都處於 伏特—秒 平衡的狀態，則電感的平均值電壓 $V_{L1,mean}$ 和 $V_{L2,mean}$ 為 0，可知搭配在電路中間的電容 C 左端經 L_1 接觸 V_I ，右端經 L_2 至接地，電容 C 的電壓平均值為 $V_{C,mean} = V_I - V_{L1,mean} - V_{L2,mean} = V_I$ 。

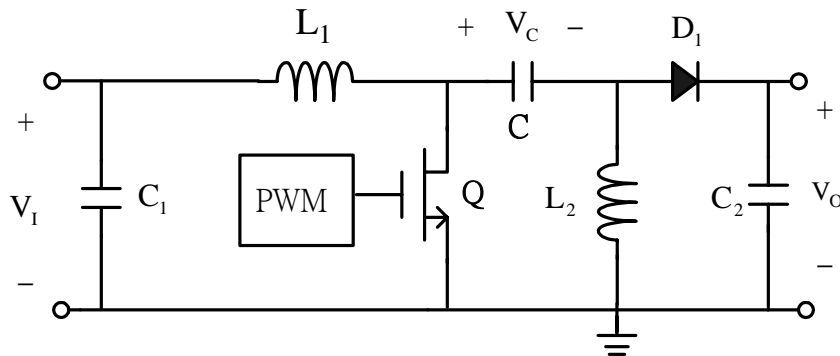
令 T 為電晶體 Q 之切換週期，D 為電晶體 Q 導通的責任週期，觀察電感 L_1 的 伏特—秒 平衡關係可得下式：

$$DTV_I = (1-D) T (V_{out} + V_d + V_{C,mean} - V_I) = (1-D) T (V_{out} + V_d)$$

$$\text{則 } \frac{V_{out} + V_d}{V_I} = \frac{D}{1-D}$$

當 $1 > D > 0.5$ 時 $\frac{V_{out} + V_d}{V_I} > 1$ ，而 $0.5 > D > 0$ 時， $\frac{V_{out} + V_d}{V_I} < 1$ ，可知 SEPIC 電路可以

作昇壓，亦可作降壓的作用，由於鋰電池的工作電壓範圍為 4.2V~2.7V，當電池輸出電壓低於 3.3V 時，欲繼續使用此殘存的 10% 電量，乃至 V_I 為 2.7V，則 SEPIC 轉換器可以藉由工作週期 D 的改變輸出穩定的 3.3V 的電壓，對可攜式電源而言是相當方便的電源使用方式。



圖六、單端初級電感轉換器 SEPIC 電路的電路架構

此電路的特點如下：

1. 不易使用：需較電荷幫浦(Charge pump)電路多加兩個電感、一個電容和電晶體與二極體各一。
2. 效率高，但較降壓式轉換器低。
3. 高 EMI 及輸出漣波，在電路板佈局時要注意。
4. 可做昇壓與降壓使用。
5. 可應用於高輸出電流的場合。
6. 價錢最高，由於需要搭配的元件數較多所致。

常用的單端初級電感轉換器(SEPIC)電路 IC 如 Texas Instrument 的 TPS6113X、UCC39421、Linear Technology 的 LT1512、LT1513、LTC1871 或 MAXIM 的 MAX668、MAX669 等都是。(若欲知更多的零件種類，可連接至 Texas Instrument、Linear Technology、或 MAXIM 的網站查閱)。

表面上看來，此電路可使電池的供電時間增加，但事實並非如此。根據表二(摘自參考文獻 [6])，針對 600mAh 的電池所作的報告來看，雖然降壓式轉換電路無法引用到電池電壓為 3.3V~2.7V 的區間，然而由於降壓式轉換電路的效率較高的原因造成電池的壽命週期是幾乎相同的。因此市場上的整合性電源管理元件仍以降壓式轉換器和 LDO 為主流。

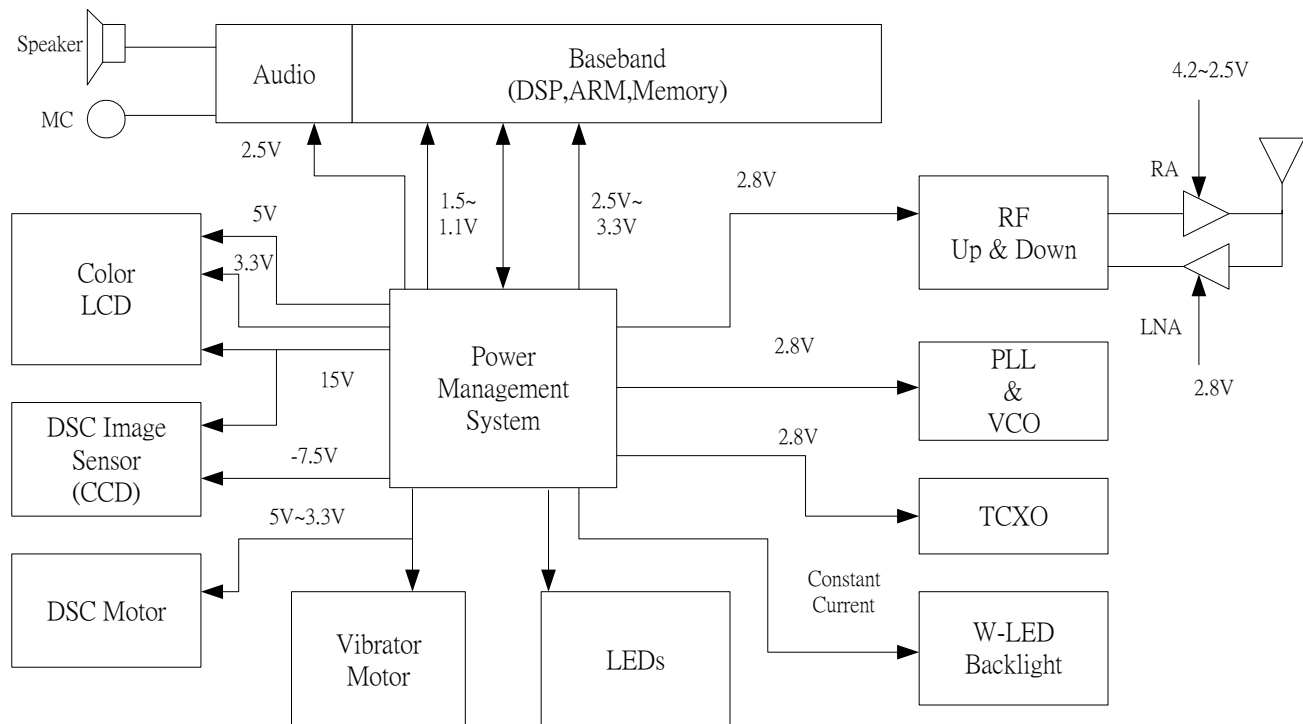
表二、轉換器的壽命週期百分比

	LDO	BUCK	SEPIC
V battery = 4.2 ~ 3.6V 時轉換器平均效率	78%	93%	86%
電池壽命的前 10%(600mAh × 10%)	60mAh	60mAh	60mAh

小計	46.8mAh	55.8mAh	51.6mAh
V battery =3.6 ~ 3.3V 時轉換器平均效率	91%	96%	86%
電池壽命的前 80%(600mAh × 80%)	480mAh	480mAh	480mAh
小計	436.8mAh	460.8mAh	412.8mAh
V battery =3.3 ~ 2.7V 時轉換器平均效率	0	0	86%
電池壽命的後 10%(600mAh × 10%)	60mAh	60mAh	60mAh
小計	0	0	51.6 mAh
總壽命週期	483.6mAh	516.6mAh	516mAh
壽命週期百分比	80.6%	86.1%	86%

整合電源管理元件

第三代智慧型手機方塊圖如圖七所示(摘自參考文獻 [6])，其中射頻單元的電壓控制振盪器(VCO)與鎖相迴路(PLL)需要低雜訊和高電源與雜訊的拒斥比，以確保傳輸效能，故必須用 LDO，而 DSP 和中央處理器之核心電壓，可以高效率之降壓式轉換器執行之，螢幕背光照明所用的白光二極體，可以電荷幫浦電路或降壓式轉換器得到，但使用切換式的降壓轉換器要注意到其切換頻率與二



次和三次諧波，都保持在接收機的中頻頻帶之外，否則易產生干擾。

圖七、第三代智慧型手機方塊圖

以此種多組而複雜的電源輸出爲了考慮到低成本、小體積與減少設計時間的考量，一般會將多組的電源整合在一起，如 Texas Instrument 的 TP65010, TPS5100, TPS61130 等 或 MAXIM 的 MAX1586A/B, MAX8621 等，這些零件具有非常大的方便性，因爲它考慮到一般智慧型手機所需要的各組與各種類的電源搭配，並組合成一個整合性的晶片，但其缺點是一旦使用後，則被取代性不高，當缺料時，會是一大問題。

本文將所有可攜式電源管理 IC 的電路工作方式及優缺點作深入淺出的探討，讓使用的工程師，在五花八門的 DC 對 DC 轉換器中，可以找到自己所需要的電路架構，而且看到任何 IC，都可以立即反應到其動作原理，並迅速的決

定零件的規格，對於想要了解電源轉換器的初學者與老手來說，都是很好的參考資料。

參考文獻：

- [1] www.maxim-ic.com/an669
- [2] www.maxim-ic.com/an737
- [3] www.maxim-ic.com/an1051
- [4] Ned Mohan, Tore M. Undeland, and William P. Robbins, “Power electronics :converters, applications, and design”, Wiley, New York, 667pp, 1989.
- [5] Pressman, Abraham I., “Switching power supply design”, McGraw-Hill, New York, 926pp, 1991
- [6] Jeff Falin, Texas Instrument, “智慧型手機電源管理系統的設計”，零組件雜誌 2004 年 · 6 月號。
- [7] Landa Pham, Texas Instrument, “如何選擇低壓降穩壓器”，電子技術雜誌 2004 年 · 6 月號。
- [8] 何中庸， “電源穩壓 IC 應用手冊”，全華圖書公司，台北市，2001
- [9] 梁適安， “交換式電源供給器之理論與實務設計”，全華圖書公司，台北市，1994。