

## 電荷幫浦轉換器與升壓轉換器應用於驅動手機白光 LED

### 摘要

隨著手持式產品的發展，白光 LED 的應用方式為近年來科技產業的熱門討論議題，而白光 LED 也逐漸成為這些電池驅動的攜帶式產品不可或缺的零件。由於單顆鋰離子電池的電壓 (3.0V~4.2V) 並無法供給需有 3.3V 順向電壓的白光 LED，因此我們需要一組可以將電池電壓升壓並使其順利推動白光 LED 的驅動器。本文將以市面上常見的驅動白光 LED 之架構為重點，並分析其內部的架構及運用的方式。

### 目錄

一、前言.....	2
二、定電流 (Constant Current) 驅動架構與特性.....	2
三、電荷幫浦轉換器 (Charge Pump) 驅動架構與特性.....	3
四、升壓轉換器 (Boost) 驅動架構與特性.....	7
五、驅動方法之優缺點分析.....	8
六、結論.....	10

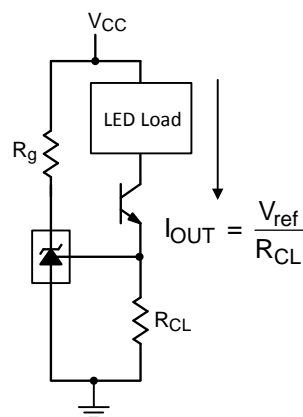
## 一、前言

近年來智慧型手機的蓬勃發展，顯示器要求細膩、穩定、高精度的顯示品質，使用 LED 取代傳統 CCFL 背光源的優點，除了提高色彩飽和度及真實度外，LED 更可讓用戶有身歷其境的感覺，因此白光 LED 提供了這類應用最佳的螢幕背光解決方案。但是這也引發了一個問題：由於單顆鋰離子電池的電壓通常為 3.0V~4.2V，而電池電壓在低電壓時無法滿足推動白光 LED 的要求，主要的原因是白光 LED 的順向電壓在 20mA 時大約為 3.3V，甚至可能達到 3.7V，這也就是為什麼大部份的智慧型手機廠商都想盡辦法要找到一個能夠驅動白光 LED 發光功能，且經濟又有效率的解決方案。然而背光源驅動器的電路架構眾多，究竟要採用何種架構，端視產品設計需求而定。

目前市面上主要有兩種方案可用來驅動白光 LED，一種是並聯式，使用電荷幫浦轉換器 (Charge Pump Converter)；另一種則是串聯式，使用升壓轉換器 (Boost Converter)。

## 二、定電流 (Constant Current) 驅動架構與特性

圖一為一個定電流源的電路定電流，顧名思義就是固定電流輸出，不會因輸入電壓，而改變輸出電流，這對於白光 LED 的運用，是最方便的了，只要設定好 LED 串並數，計算所需 LED 電流，即使輸入電壓產生變動，只要高於 LED 順向電壓即可維持恆流的狀態，如從 5V~30V 輸入都沒問題。電流輸出計算方式如下圖一  $V_{ref} / R_{CL}$ ，其中  $V_{ref}$  為 Zener diode 之參考電壓，假設  $V_{ref}$  為 2.5V，若以一般白光 LED 規格約需 20mA 電流，只接一顆 LED 的話，就是  $2.5V / R_{CL} = 20mA$ ， $R_{CL} = 2.5V / 20mA = 125\Omega$ ，以此類推，如果是 3 顆 LED 串聯，因電流仍只需 20mA，所以  $R_{CL}$  還是 125Ω，如是 3 顆 LED 並聯，則需 60mA 電流， $R_{CL} = 2.5 / 60mA = 41.6\Omega$ ，另一電阻  $R_g$  使用約 1k 即可。



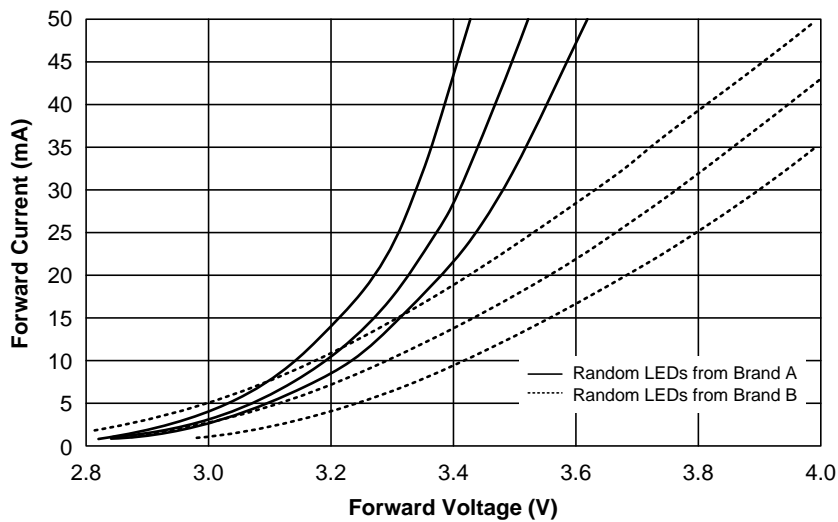
圖一、定電流驅動架構

當把白光 LED 應用在背光顯示或其它照明應用時，有兩個重要的理由來支持為什麼需要以定電流的方式來驅動它：

- (1) 避免違反最大電流規格而犧牲可靠度。
- (2) 取得可預測且匹配的亮度與色度。

白光 LED 的順向電壓在 20mA 的情況下通常介於 3.0V 到 4.0V 之間，假設僅簡單地加上固定的順向電壓，那麼順向電流的差異可能相當地大，依 LED 廠牌的不同，將會造成由 10mA 到 44mA 的順向電流差異。

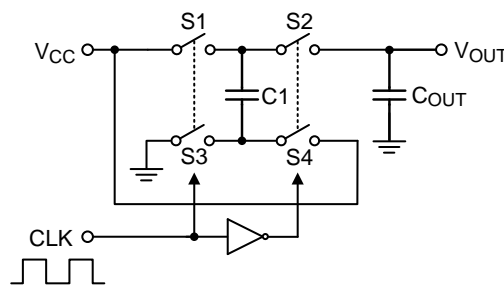
使用定電流架構其中的電阻雖可限制電流，但犧牲的是其效能。LED 的順向電壓有很大的差異，通常溫度升高 1 度而電壓則會有高達 1V 的變化量，因此 LED 電流就會降低為了處理來源的變化。若是 LED 電流的變化量大，則會使得發光強度不平均進而影響產品的品質水平。



圖二、順向電流與順向電壓相對關係圖

### 三、電荷幫浦轉換器 (Charge Pump) 驅動架構與特性

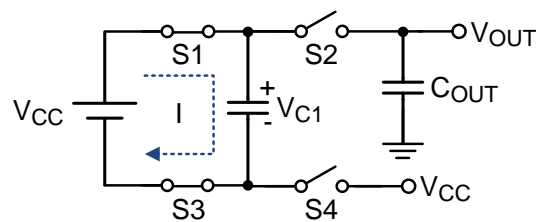
電荷幫浦轉換器通常又稱為切換式電容轉換器 (Switched capacitor converter) 其中包含了二極體或切換開關與電容的切換電路，其內部主要是由兩組共 4 個開關、一個用於儲存能量的外部電容以及一個輸出電容所構成，如圖三。



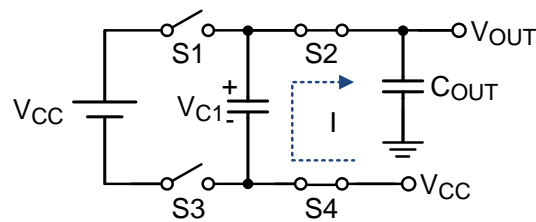
圖三、電荷幫浦轉換器架構圖

其動作原理如下：

- (1) 等效電路如圖四(a)所示，假設控制時脈為低態時，開關 S1 與 S3 會導通，開關 S2 與 S4 斷路，此為充電階段。電容 C1 會被充電到輸入電壓  $V_{CC}$ ，並儲存能量，而儲存的能量將在下一個放電階段被轉移。輸出電容  $C_{OUT}$ ，在上一個放電週期就已經被從 C1 轉移過來的能量充電到 2 倍  $V_{CC}$  電壓，並提供負載電流。
- (2) 等效電路如圖四(b)所示，假設控制時脈為高態時，開關 S2 與 S4 會導通，開關 S1 與 S3 會斷路，此為放電階段。電容 C1 的電會再衝至  $V_{CC}$ ，而  $C_{OUT}$  在上一充電階段已經充電至  $V_{CC}$ ，因此 C1 兩端的總電壓會成為  $2V_{CC}$ 。當 C1 放電將充電階段存儲的能量轉移到  $C_{OUT}$ ，並且提供負載電流。



圖四(a)、控制時脈 (CLK) 為低態時的等效電路



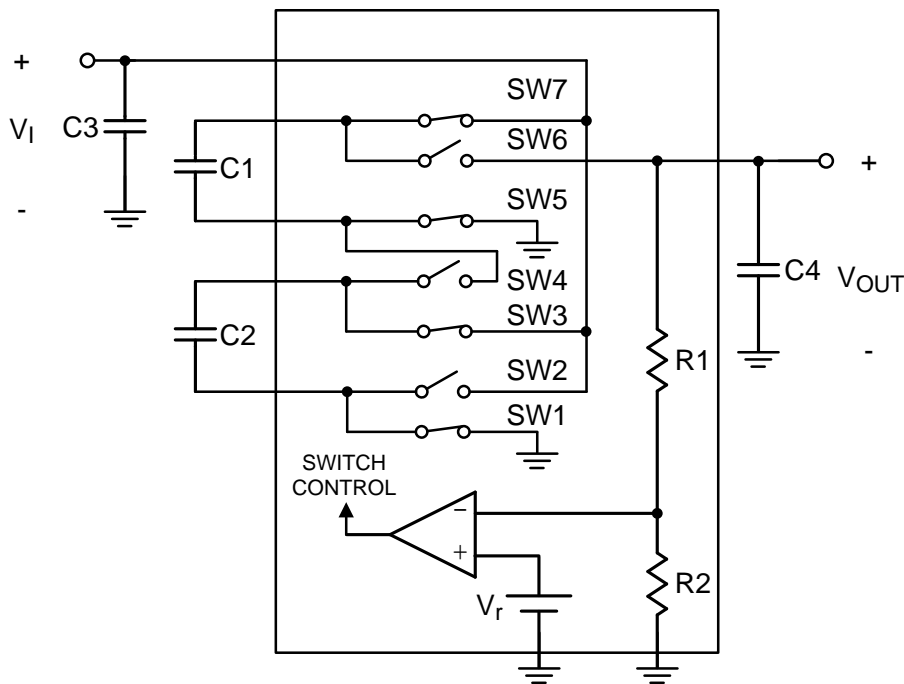
圖四(b)、控制時脈 (CLK) 為高態時的等效電路

充電/放電週期的頻率取決於 CLK 頻率。通常設計時會採用較快的頻率來降低對 C1 和 C<sub>OUT</sub> 電容容值的要求，從而減小體積與成本。

然而電荷幫浦轉換器的電路除應用於降壓外，大多數應用於升壓，其動作原理如圖五：

(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<sub>I</sub> 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<sub>I</sub> 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<sub>OUT</sub> 其最高可充至 V<sub>I</sub> 的 3 倍電壓。



圖五、電荷幫浦轉換器

電荷幫浦轉換器可以提供一定電壓給白光 LED 而不需考慮其順向電壓。這種方式有幾個特性：

首先，只需三個電容就可以從 2.7V~5.0V 的輸入電壓得到穩定的 5V 輸出電壓，由於不需電感，因此所佔的體積會較小，適合使用於面板尺寸較小 (WLED 數目較少) 的手機；另外，由於不需使用電感的關係，也就沒有一般轉換器最頭痛的線圈雜訊問題。對智慧型手機而言，最怕的電磁干擾 (EMI) 問題也較不易存在。

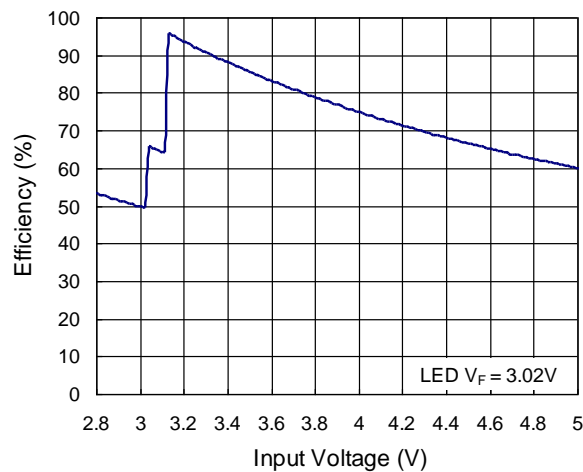
然而這種方式也有幾個缺點：

第一，雖然它可以提供一個比其順向電壓大的定電壓給白光 LED 以順利驅動，但對白光 LED 而言，其出廠時之順向電壓多少會有差異，而這些差異也造成了白光 LED 亮度不一的情形。第二，由於電荷幫浦轉換器的動作特性，其輸出電壓會是輸入電壓的兩倍；也就是說對單顆鋰離子電池而言，假設其最高電壓為 4.2V，若使用電荷幫浦轉換器且在沒有穩壓的情形下，其輸出電壓應為 8.4V，而為了要得到穩定的 5V 輸出電壓，需將這些多出來的電壓犧牲掉，這些被犧牲掉的電壓也就造成此種模式輸入電壓越高，效率越低的主要原因。

針對此缺點 Richtek 之電荷幫浦轉換器驅動 IC 會在輸入端加入一 LDO 做線性電壓調整，並在 LED 端加入定電流源以確保 LED 恆流操作。

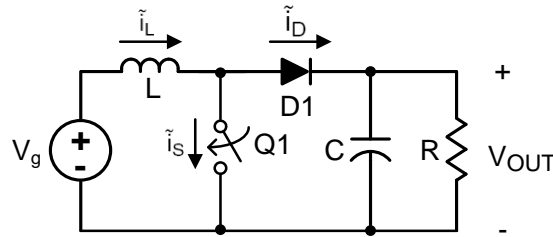
RT9376 為一可驅動 6 組 LED 之電荷幫浦轉換器，其在電池電壓供應範圍內效率可高於 85%，如圖六。

RT9376 調光機制為 16 階之 Pulse dimming，且其抗 VIN noise 及 EMI 表現皆優良，詳細內容可參考立錡科技網站。



圖六、Richtek RT9376 Input Voltage vs. Efficiency

四、升壓轉換器 (Boost) 驅動架構與特性



圖七、升壓轉換器(Boost)驅動架構

圖七所示乃為升壓型式之直流轉換器，在此假設電容器 C 已被充電，則當功率交換元件 Q1 在導通狀態時，則由  $V_g$  所得之能量會儲存在電感 L 上；此時由於二極體 D1 陽極之電位會小於輸出電壓  $V_{OUT}$ ，二極體就會成為逆向偏壓。因此就會由輸出電容器 C 的電荷來提供輸出電流至負載上。

而當交換元件 Q1 在截止狀態時，電流則會繼續流過 L，當二極體 D1 成為順向偏壓後，電感器會改變磁場，使其電壓極性會反轉過來，並且使得儲存在電感器之能量會產生輸出電流，此電流會流經二極體 D1，然後到負載上。

綜合以上討論可得知，在 Q1 導通時能量會儲存於電感器 L，而其上之 (電壓) 則為  $V_g$ ；至於 Q1 在截止時，會將此能量與輸入電源重疊，如此輸出所得之電壓會比輸入電壓高。此時加於電感器 L 之電壓則為  $(V_{OUT}-V_g)$ 。輸出電壓與開關導通時間 ( $T_{ON}$ ) 及截止時間 ( $T_{OFF}$ ) 有關，當切換週期  $T_s$  為固定時 ( $T_s = T_{ON} + T_{OFF}$ )，藉由調整  $T_{ON}$  之大小來改變輸出電壓之大小。開關之責任週期 D 則定義為  $D = T_{ON} / T_s$ 。

對升壓型式轉換器而言，其操作模式可區分為兩種：

(1)連續導通模式 (CCM) :  $V_g D T_s = [V_{OUT}-V_g][1-D] T_s$

(2)不連續導通模式 (DCM) :  $V_g D T_s < [V_{OUT}-V_g][1-D] T_s$

## 五、驅動方法之優缺點分析

如同我們之前提過的，如果電荷幫浦轉換器的輸出電壓沒有穩壓的話，其輸出電壓會是輸入電壓的兩倍，因此我們也可以假設其輸入電流是輸出電流的兩倍，如果這個關係式成立的話，電荷幫浦轉換器之 LED 效率可以定義成：

$$\eta_{LED,parallel} = \frac{P_{LED,parallel}}{P_{IN}} = \frac{V_{LED} \times I_{LED}}{V_{IN} \times I_{IN}} = \frac{V_{LED} \times I_{LED}}{2 \times V_{IN} \times I_{LED}} = \frac{V_{LED}}{2 \times V_{IN}}$$

其中  $\eta$  為電荷幫浦轉換器中 LED 的效率， $P_{LED,parallel}$  是其損耗功率， $V_{LED}$  為其順向壓降，而  $I_{LED}$  為流過 LED 的電流。同樣地，在升壓轉換器應用中，其 LED 的效率可以定義成：

$$\eta_{LED,parallel} = \frac{P_{LED,parallel}}{P_{IN}} = \frac{V_{LED} \times \sum I_{LED}}{V_{IN} \times I_{IN}}$$

則：

$$\eta_{LED,series} = \frac{\sum V_{LED} \times I_{LED}}{V_{IN} \times I_{IN}} = \frac{(V_{OUT} - V_{FB}) \times I_{LED}}{P_{IN}} = \frac{(V_{OUT} \times I_{LED}) - V_{FB} \times I_{LED}}{P_{IN}} = \eta - \frac{V_{FB} \times I_{LED}}{P_{IN}} = \eta \left( 1 - \frac{V_{FB}}{V_{OUT}} \right)$$

電荷幫浦轉換器的特點如下：

- (1) 所需被動元件少，成本高。
- (2) 低 EMI。
- (3) 輸出電源的瓦數和  $V_I/V_{OUT}$  電壓比值受限。

升壓轉換器電路的特點如下：

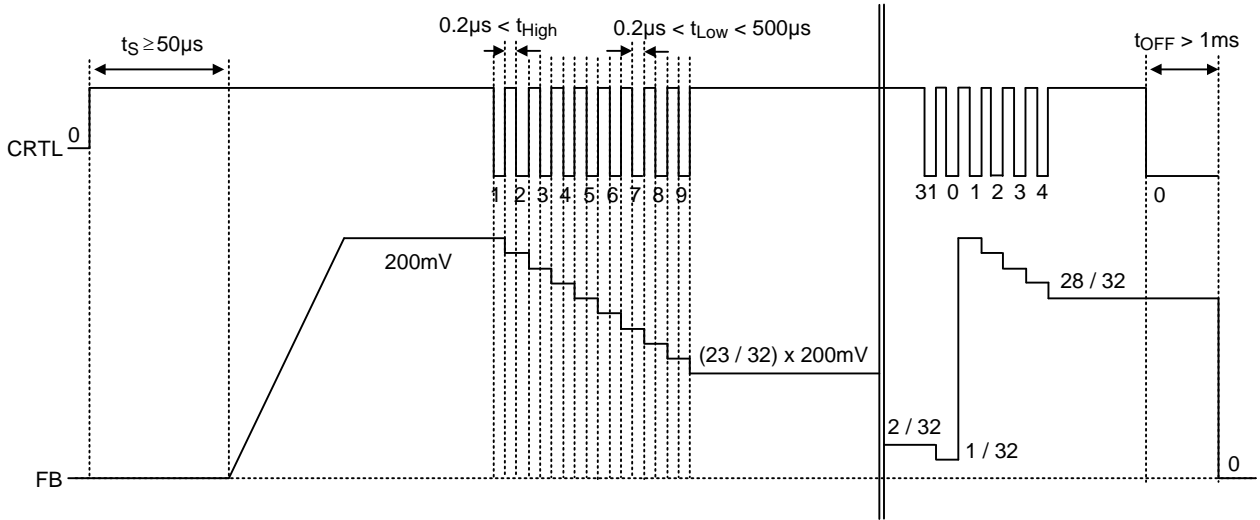
- (1) 所需被動元件多，成本高。
- (2) 效率較高。
- (4) 高 EMI 或輸出漣波，在電路板佈局時要多注意。
- (5) 適合操作於輸出入電壓差較大的情況(高  $V_{OUT}/V_I$ )。
- (6) 可設計高輸出電流之應用。

而目前 LED 的調光部分主要分為數位調光 (digital pulse dimming) 與 PWM 調光 (PWM dimming)。

我們拿 Richtek 之 RT4502 之數位調光為例：

IC 有提供一 CTRL 腳位，其主要是為了藉由外部數位控制訊號的變化來調整 LED 的亮度。藉由數位的調光訊號來控制就不需使用 PWM 調光。RT4502 內部有 5-bit 的 DAC 來做數位轉至類比訊號之分析，如圖八，其一共有 32 個階數可對作 LED 電壓之調整，假設其  $V_{FB}$  為 200mV，則一次  $V_{FB}$  的變化約為 6.25mV，藉由如此細小的電壓變化即可應用於不同消費性產品的需求。

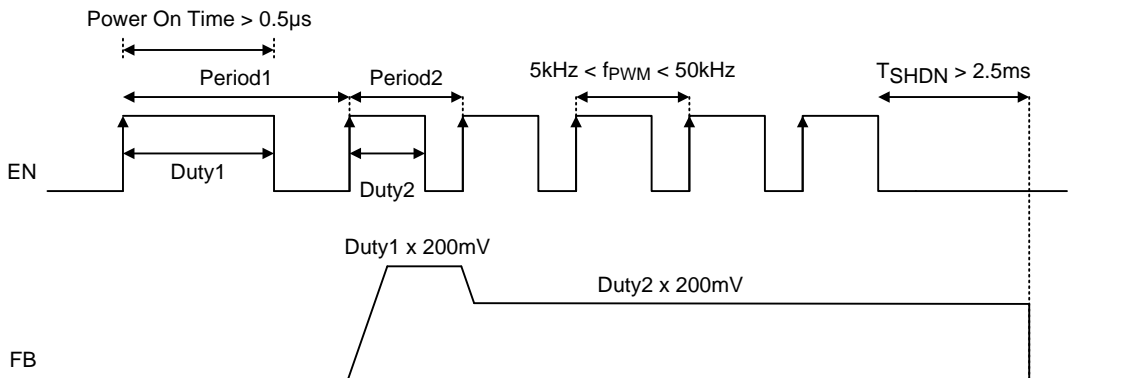




圖八、Richtek RT4502 之數位調光示意圖

另一種調光模式為 PWM 調光，我們以 RT4503 為例，當 EN 腳位之輸入全為高電壓時， $V_{FB}$  會達到最大值 200mV，接下來我們可以藉由工作週期 (duty cycle) 的變化來對  $V_{FB}$  作調整，此 PWM 頻率可操作於 5kHz 至 50kHz 之間，調光示意圖如圖九，其關係式為：

$$V_{FB} = \text{Duty} \times V_{REF}$$



圖九、Richtek RT4503 之 PWM 調光示意圖

## 六、結論

我們觀察到在電荷幫浦轉換器 LED 的應用中，輸入電壓越高則其效率越低。這佐證了我們之前所談到的關於電荷幫浦轉換器的特性。雖然從實驗結果中知道升壓轉換器的效率比電荷幫浦轉換器的高，可以大幅延長電池的使用壽命。但電荷幫浦轉換器也有升壓轉換器所沒有的優點。例如他的體積小適合用於輕薄短小的手機。使用的元件少等於成本少，這對系統業者而言這也是一個相當誘人的誘因。同時由於不需使用電感即可達到升壓的目的，對減少電磁干擾部份也有相當的貢獻。本文對應用於手機驅動白光 LED 之電源管理 IC 三種架構做出簡單的介紹，希望能提供系統業者一個適當的選擇。

Richtek 近年來持續對於手持產品之白光 LED 做深入的研究與發展，之後仍會持續布局相關產品以提供客戶最完善的應用，使得手持式產品能夠更進一步達到最大的效能。

### 相關資源

[立錡科技電子報](#)[訂閱立錡科技電子報](#)

### Richtek Technology Corporation

14F, No. 8, Tai Yuen 1st Street, Chupei City

Hsinchu, Taiwan, R.O.C.

Tel: 886-3-5526789

Richtek products are sold by description only. Richtek reserves the right to change the circuitry and/or specifications without notice at any time. Customers should obtain the latest relevant information and data sheets before placing orders and should verify that such information is current and complete. Richtek cannot assume responsibility for use of any circuitry other than circuitry entirely embodied in a Richtek product. Information furnished by Richtek is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Richtek or its subsidiaries for its use; nor for any infringements of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Richtek or its subsidiaries.