

## 鋰電池保護線路設計基礎

目錄	頁次
1. 序論 .....	2
2. 工作原理解析.....	2
2.1 正常狀態.....	2
2.2 過充電保護.....	2
2.3 過放電保護.....	3
2.4 過電流和短路保護.....	3
3 FS326 保護線路板應用說明 .....	4
4 零件選擇 .....	5
4.1 保護 IC .....	5
4.2 POWER MOSFET.....	5
4.3 PTC & FUSE .....	6
5 PCB 佈局建議.....	7
6 結論 .....	8
7 參考資料 .....	8

## 1. 序論

在所有可攜式電源產品的發展上，產品研發趨勢是以消費者需求--重量輕、體積小和可長時間使用--為導向。由於小型鋰離子電池和聚合鋰電池的能量密度高、體積小、無記憶效應、充放電次數多、高工作電壓、自我放電率低、滿足環保要求等特性，已逐漸取代鎳鎘電池和鎳氫電池，並成為攜帶型設備充電電池之首選。這種發展是技術進步的必然結果，在過去幾年裏，技術進步已經使鋰離子電池和鋰聚合物電池的能量密度與容量增加了將近一倍。然而，鋰離子電池也因能量密度高，使得難以確保電池使用時的安全性，因此必須在電池包內部設置過充電、過放電和過電流保護功能。

本文將介紹鋰離子電池保護 IC 的工作原理，以及保護線路板設計時應注意的事項。

## 2. 工作原理解析

鋰離子電池在過度充電時，多餘的能量無法被鋰離子電池吸收，而轉換成熱能，造成電池溫度上升，電解液的分解產生氣體，而造成電池內部壓力上升，導致爆裂或燃燒的危險。而鋰離子電池在過度放電時，則因電解液過度分解，提供能量，造成電池特性劣化，而導致充電次數下降。

鋰離子電池保護線路在電池包內扮演著保護電池的角色，以避免電池過度充電而造成危險，和過度放電而造成電池壽命縮短。它的架構是由保護 IC 和兩顆 POWER MOSFET 所組成，保護 IC 負責監控電池電壓，和控制兩顆 POWER MOSFET 的閘極，兩顆 POWER MOSFET 則與內建的反向二極體組成，分別扮演過充電和過放電時的開關。

基於鋰離子電池的特性，保護 IC 需具備有以下的 3 種保護功能。

### 2.1 正常狀態

在正常狀態下，電池包可以自由的充放電，此時控制用的兩顆 POWER MOSFET 都處於導通狀態，為有效利用電池電源，因此控制用的兩顆 POWER MOSFET 必須使用低導通阻抗的 POWER MOSFET。

### 2.2 過充電保護

圖 1 是電池包內部的充電迴路，當外部充電器對電池充電時，保護 IC 會偵測電池電壓，當電壓到達過充電保護電壓時，保護 IC 會由 OC 腳將原先的高電位轉成低電位，送往 M2 閘極，以形成 Power MOSFET-M2 從導通變截止，進而截止充電。但是當過充電保護後，電池包必須能夠在負載上放電，因此放電時，放電電流會透過 M2 內建的反向二極體流出，當保護 IC 偵測電池電壓下降到過充電釋放電壓時，保護 IC 會將 OC 腳從截止的低電位再轉成高電位，此時 Power MOSFET-M2 將由截止再變成導通，進而可以大電流放電。

在電池包充電的過程中，為避免脈衝充電，或 NOISE 而造成誤動作，因此需要設定延遲感應時間，目前可以利用外接電容自行設定過充延遲時間的保護 IC 為 DW01 和 FS302。

$$DW01 \text{ 過充電延遲時間的計算方式} = (C3[F] / 0.01 \mu F \times 200ms) \quad (1)$$

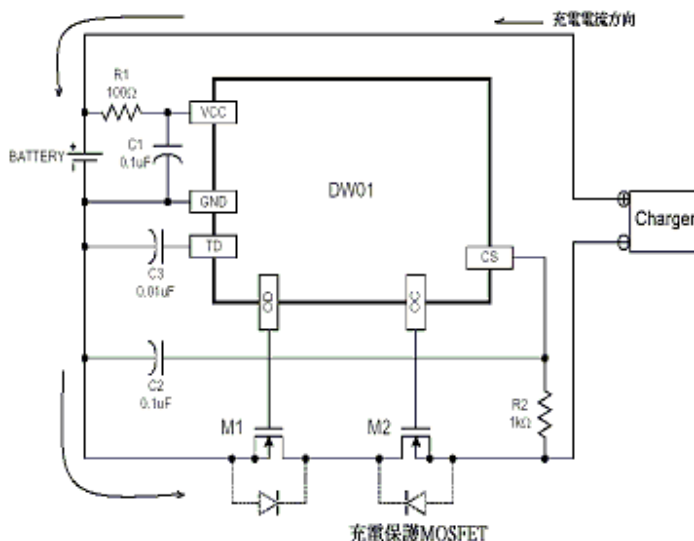


圖 1. 電池包內部的充電迴路

### 2.3 過放電保護

圖 2 是電池包內部的放電迴路，當外部負載對電池放電時，保護 IC 會偵測電池電壓，當電壓到達過放電保護電壓時，保護 IC 會由 OD 腳將原先的高電位轉成低電位送往 M1 閘極，以形成 Power MOSFET-M1 從導通變截止，進而截止放電。

當電池電壓在過放電壓以下時，電池已無容量，因此保護 IC 必須進入待機模式，此時的消耗電流只有  $0.1 \mu A$ ，以避免過度放電而造成電池特性劣化。

進入過放電保護狀態後，由於保護 IC 進入待機模式，因此必須使用充電器，將電池電壓充到過放電釋放電壓後，過放電保護功能才會解除。

在電池包放電的過程中，為避免脈衝放電而造成誤動作，因此需要設定延遲感應時間，

### 2.4 過電流和短路保護

當有電流流過兩顆 POWER MOSFET 時，保護 IC 可得知 CS 端和 VSS 端的電位差，在電位差電壓達到過電流保護電壓時，保護 IC 會由 OD 腳將原先的高電位轉成低電位，送往 M1 閘極，以形成 Power MOSFET-M1 從導通變截止，進而截止過電流放電。

$$\text{過電流計算方式} = \text{過電流保護電壓} / (\text{兩顆 POWER MOSFET 導通內阻和}) \quad (2)$$

為避免負載瞬間啓動造成的誤動作，因此過電流也設有延遲感應時間。

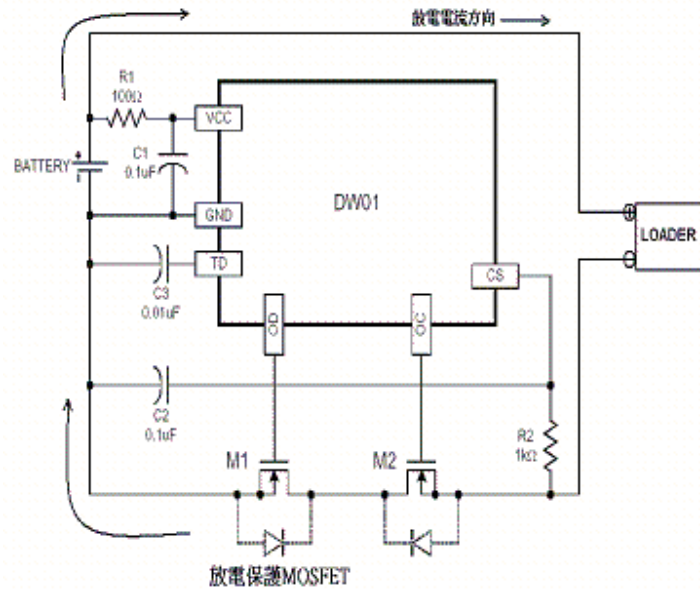


圖 2. 電池包內部的放電迴路

### 3 FS326 保護線路板應用說明

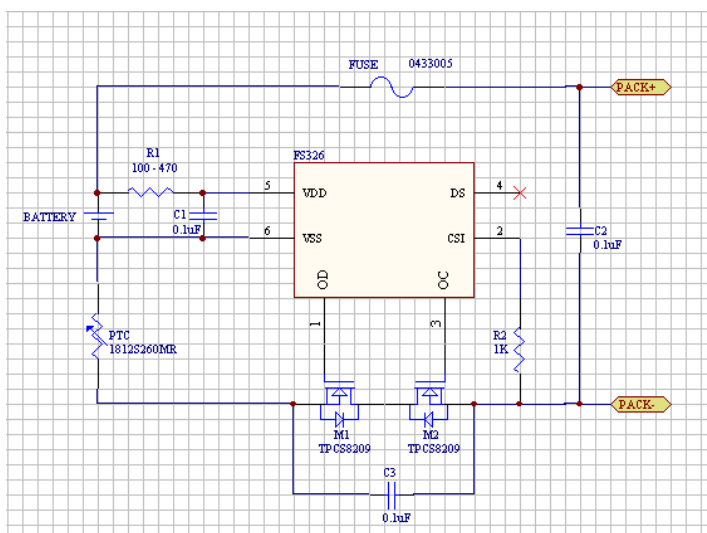


圖 3. FS326 應用線路

在圖 3 的應用線路中，R1、C1 為電源輸入濾波功能，避免因消耗電流之產生而引起過充電檢測電壓

精度下降，R1 僅可能選用低阻值，建議使用 100Ω。POWER MOSFET M1 為控制過放電、過電流的開關；POWER MOSFET M2 為控制過充電的開關。FUSE、PTC 為保護線路板的二次保護裝置，當保護 IC 工作失效時，保護線路板仍有保護功能。C2、C3 則保護 IC，避免遭受 ESD 的破壞。

表一 FS326 應用線路零件一覽表

零件位置	零件編號	包裝	數量	供應商
保護 IC	FS326C	SOT-23-6	1PCS	FORTUNE
M1 M2	TPCS8209	TSSOP-8	1PCS	TOSHIBA
M1 M2	uPA1870	TSSOP-8	1PCS	NEC
FUSE	0433005	1206	1PCS	LITTLEFUSE
PTC	1812S260MR	1812	1PCS	LITTLEFUSE
PTC	miniSMDM260	1812	1PCS	RAYCHEM
R1	100Ω	0603	1PCS	
R2	1K	0603	1PCS	
C1, C2, C3	0.1Uf	0603	3PCS	

## 4 零件選擇

### 4.1 保護IC

保護 IC 是保護線路中的核心，因此，配合電池特性選用適當的保護 IC，是設計者需要考慮的方向。表二是富晶 FS326 的產品電氣特性。

表二 FS326 電氣特性

Model	Package	VOCU(V)	VOCR(V)	VODL(V)	VODR(V)	VOI1(mV)
FS326 SOT-23-6	A	4.325±0.025	4.075±0.05	2.50±0.08	2.9±0.08	100±30
	B	4.350±0.025	4.150±0.05	2.30±0.08	3.0±0.08	100±30
	C	4.325±0.025	4.075±0.05	2.50±0.08	2.9±0.08	150±30
	D	4.300±0.025	4.080±0.05	2.50±0.08	2.9±0.08	150±30
	E	4.300±0.040	4.080±0.05	2.50±0.08	2.9±0.08	150±30

### 4.2 POWER MOSFET

POWER MOSFET 在選用時，必須考慮的特性如下，分別是：

(1) 導通內阻 (RDS(ON))

有效延長電池使用時間的最好方法，便是減少保護線路所造成的損耗，因此選用的 POWER MOSFET 導通內阻越低越好。

(2) 閘極控制電壓 (VGS)

保護 IC 的過放電檢測電壓通常都在 2.5V 左右，因此選用的 POWER MOSFET 必須確保 VGS

在 2.3V 時還能正常工作。

(3) 源-汲極最大工作電壓 (VDS)

可攜式產品的電池包常會使用汽車電源來充電，汽車電源提供的直流電壓約為 12V 或 24V，因此選用的 POWER MOSFET 必須考慮充電時電池包所會輸入的最大充電電壓。

(4) 閘極控制電壓變化和溫度變化時的導通內阻 ( $R_{DS(ON)}@V_{GS}$ 、 $R_{DS(ON)}@ \Delta T$ )

保護線路的過電流是由公式二計算而來，因此， $V_{GS}$  與  $R_{DS(ON)}$  的變化，和溫度與  $R_{DS(ON)}$  的變化，均會造成過電流保護點的改變，這也是設計者必須要考慮的地方。圖 4 是 TPCS8209 不同  $V_{GS}$  的溫度與  $R_{DS(ON)}$  的變化曲線。

(5) 最大消耗功率  $P_D$

當工作溫度上升時， $P_D$  值會跟著下降，因此也必須考慮當電池包面臨不同工作溫度時 POWER MOSFET 的最大消耗功率。一般可攜式產品的的工作環境溫度約為  $-40 \sim 85^\circ\text{C}$ 。圖 5 是 TPCS8209  $P_D$  與溫度的變化曲線。

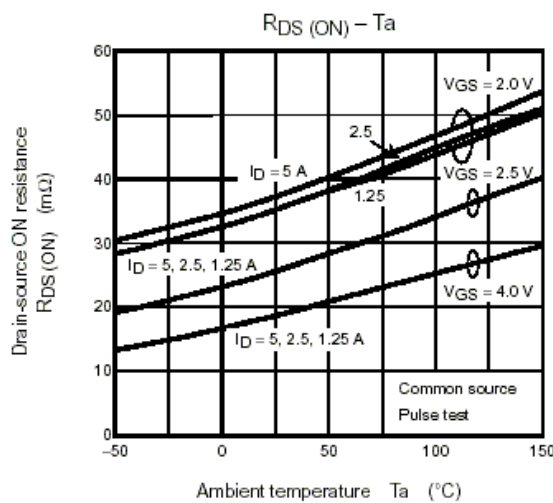


圖 4.不同  $V_{GS}$  的溫度與  $R_{DS(ON)}$  的變化曲線

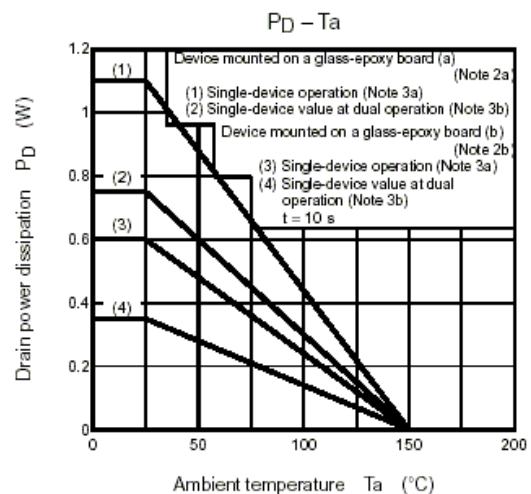


圖 5.  $P_D$  與溫度的變化曲線

**4.3 PTC & FUSE**

PTC 是可回復式的電阻式開關，其動作原理是當流經 PTC 的電流超過其額定值時，PTC 會開始發熱，進而導致開路；而當電流減少後，PTC 溫度也跟著下降，而使得 PTC 又再導通。但是 PTC 每一次動作後，都會導致其內阻增加，造成電池效能下降。而 FUSE 因鋰電池正常的工作區間不易發熱，所以通常選用 CURRENT FUSE，FUSE 一旦動作，保護迴路就會形成開路，再也無法回復。因這兩種元件都位於保護線路的電源迴路上，所以內阻必須儘可能的選用低阻值，又這兩種元件是屬於第二段保護的元件，因此反應時間必須比保護 IC 的過電流動作時間慢。

## 5 PCB 佈局建議

圖 6 ~ 圖 9 是單節保護 IC 應用線路板的佈局圖，電池保護線路板最重要的考量在於其內阻越低越好，

所以 POWER MOSFET 的位置儘可能的接近 B- 和 P-。ESD 防護電容儘可能的接近外露端子 P+ 和 P-，讓 ESD 產生時，先由防護電容吸收一部份能量後，再行進入保護 IC。

相鄰兩導體之間間距，則由它們之間的電位差決定，一般電子線路間距應不得少於 0.25mm，走線寬度則由該導線的工作電流決定。一般以流過 1A 電流時，給予 1mm 寬度的走線設計。同時亦應考慮其溫度、電阻特性，電源線和地線，在版面允許的情況下可盡量放寬，特別是地線應在允許的地方加寬，以降低整個地線系統的電阻。

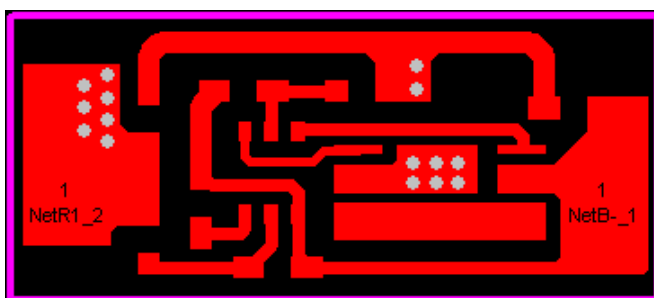


圖 6. 單節保護 IC demo board 的 top layer

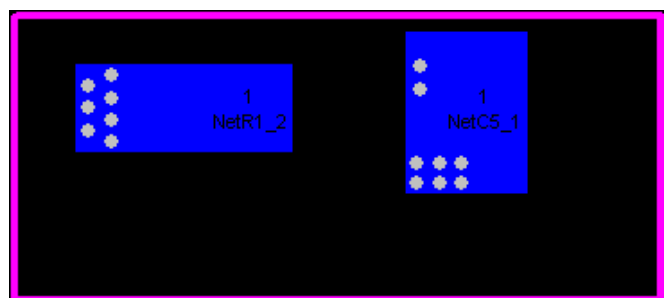


圖 7. 單節保護 IC demo board 的 bottom layer

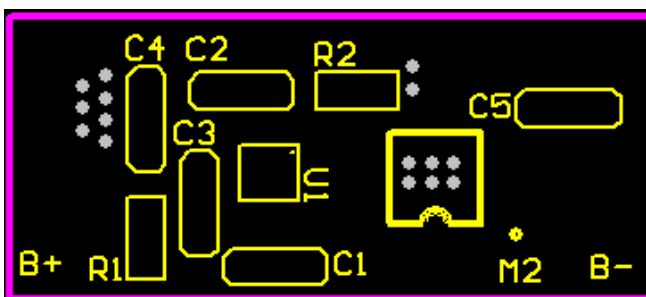


圖 8. 單節保護 IC demo board 的 top Silkscreen layer



圖 9. 單節保護 IC demo board 的 bottom Silkscreen layer



## 6 結論

鋰離子電池因能量密度高、體積小、無記憶效應、充放電次數多、高工作電壓、自我放電率低等特性，已成為攜帶型設備充電電池之首選。然而鋰離子電池在非工作區間有容易產生漏液、爆裂、發火等危險現象。在國際安全規範中，如 UN3090、UL1624、UL2054 等，都針對鋰離子電池的安全性作了很明確的規範。因此在設計保護線路板時，應特別注重給予安全性的考量。

## 7 參考資料

- [1] FS326 Series datasheet V1.2
- [2] DW\_LP1 datasheet V1.3
- [3] Toshiba TPCS8209 datasheet
- [4] NEC uPA1870 datasheet
- [5] Littlefuse 043305 & 1812S260MR data sheet
- [6] Raychem miniSMDM260
- [7] United Nations UN3090 鋰電池輸送安全規範
- [8] Underwriters Laboratories Inc. UL1624 二次鋰電池安全規範
- [9] Underwriters Laboratories Inc. UL2054 二次鋰電池組安全規範