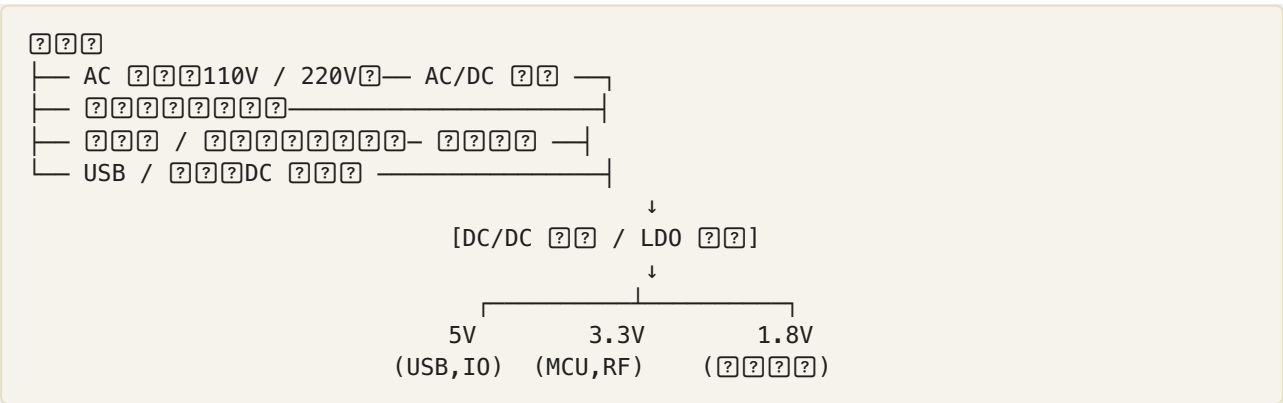


第 1 章 10：電池與電源

電源是所有電子設備的「心臟」。本章介紹各種供電方式與電源管理元件。

一、電源供應的種類

概念架構



二、電池基礎

電池參數

1. 電壓

- 標稱電壓 (Nominal voltage)：典型放電中段值
- 開路電壓 (OCV)：滿電時無負載電壓
- 截止電壓 (Cut-off)：放電結束電壓

2. 容量 (Capacity)

單位：mAh (毫安時) 或 Ah

1000 mAh 表示能以 1000 mA 放電 1 小時 (理論)

3. 能量

$$E = C \times V$$

單位：Wh（瓦時）

4. C-rate（充放電率）

- 1C = 1 倍容量電流（1000 mAh 電池 = 1A）
- 0.5C = 0.5 倍容量
- 2C = 2 倍容量（快充）

5. 循環壽命

充放電多少次後容量降到 80%。

6. 自放電率

無使用時每月失去多少容量。

7. 內阻

影響：可輸出電流、電壓塌陷、發熱。

三、各種電池類型

1. 一次電池（Primary, 不可充電）

A. 鹼性電池（Alkaline）

- 1.5V，常見 AA/AAA
- 自放電低（10年）
- 容量大（AA 約 2500 mAh）

B. 碳鋅電池（Carbon-Zinc）

- 1.5V，便宜、容量小
- 已被鹼性取代

C. 鋰錳電池（Li-MnO₂, CR2032 等）

- 3V，高能量密度
- 鈕扣電池常見
- 用於：RTC 備援、遙控器

D. 鋰亞硫醯氯 (Li-SOCl₂)

- 3.6V，超長壽命 (10–20 年)
- 用於：智慧電表、IoT 感測器

2. 二次電池 (Secondary, 可充電)

A. 鎳氫 (NiMH)

- 1.2V，容量大、安全
- 但自放電較高 (已改善版本如 Eneloop)
- 用於：相機、電動工具

B. 鋰離子 (Li-ion)

- 標稱 3.7V，滿電 4.2V，截止 3.0V
- 高能量密度，現代主流
- 易燃、需保護電路 (BMS)
- 子類：
 - LCO (鋰鈷氧)：消費電子
 - LMO (鋰錳氧)：耐熱
 - NMC (鎳鈷錳)：電動車
 - LFP (磷酸鋰鐵)：安全、長壽，3.2V
 - NCA (鎳鈷鋁)：特斯拉早期用

C. 鋰聚合物 (LiPo)

- 與 Li-ion 化學成分相同
- 電解液為聚合物 (更安全、可塑形)
- 用於：手機、無人機、薄型裝置

D. 鉛酸 (Lead-Acid)

- 2V/cell，6 cell 串聯 = 12V 汽車電瓶
- 便宜、大電流、笨重
- 用於：UPS、汽車啟動、太陽能儲能

E. 固態電池 (Solid State)

- 新興技術，固態電解質
- 更安全、能量密度更高
- 量產仍在進行中

比較表

類型	電壓	能量密度 (Wh/kg)	壽命 (次)	安全性
鉛酸	2.0	30–50	200–300	高
NiMH	1.2	60–120	500–1000	高
Li-ion (LCO)	3.7	150–200	500–1000	中
Li-ion (NMC)	3.7	200–250	1000–2000	中
LFP	3.2	90–160	2000–6000	高
LiPo	3.7	150–250	300–500	中-低

四、電池保護與管理 (BMS)

Li-ion 電池的危險

- 過充：起火、爆炸
- 過放：永久損壞
- 短路：大電流、爆炸
- 高/低溫：性能下降、危險

保護電路必備功能

1. 過充保護 ($V > 4.25V$ 切斷充電)
2. 過放保護 ($V < 2.5V$ 切斷放電)
3. 過電流保護 (短路保護)
4. 溫度保護 (NTC 監測)
5. 電量計 (庫倫計，估算剩餘容量)
6. 平衡 (多 cell 串聯時)

經典保護 IC

- 單顆 Li-ion：DW01 (保護) + 雙 MOSFET (如 8205A)
- 多顆：BQ7693x 系列
- 電量計：MAX17048、BQ27441

充電 IC

- TP4056：低成本單顆 Li-ion 充電（1A）
- BQ24074：含 power path 管理
- MP2667：直接從 USB 充電

五、AC/DC 電源（電源適配器）

工作流程

```

AC 110/220V
↓
[?] [?] [?] [?] + EMI]
↓
[?] [?]
↓
[PFC ?] [?] [?] [?] [?] [?] [?] [?] [?] [?]
↓
[?] [?] [?] DC bus, ~ 400V]
↓
[?] [?] [?] [?] + [?] [?] [?] [?] [?] [?] [?] [?]
↓
[?] [?] [?] [?] + [?] [?]
↓
[?] [?] [?] [?]
↓
DC [?] [?] [?] 5V / 12V / 19V [?] [?]

```

一般 USB 充電器

5V/2A：典型 Flyback 拓撲，10W 級。

筆電變壓器

19V/3.42A = 65W：Flyback 或半橋 LLC。

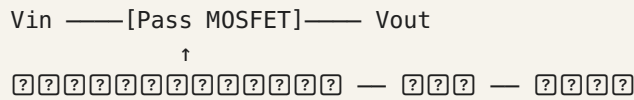
電視變壓器

12V/24V/5A：LLC 或 Flyback。

六、線性穩壓器 (LDO, Linear Regulator)

工作原理

「串聯一個可變電阻」維持輸出電壓穩定：



特性

- 優點：簡單、便宜、低雜訊、無 EMI
- 缺點：低效率 ($V_{in} - V_{out}$ 全變熱)

$$\text{效率} \approx V_{\text{out}} / V_{\text{in}}$$

LDO (Low Dropout)

特殊低壓差線性穩壓器，dropout 可小至 100 mV。適合：電池應用（ V_{in} 接近 V_{out} 時還能工作）。

經典 LDO

- LM7805 / 7812：經典 1A，dropout 較大 (2V)
- AMS1117：1A LDO，dropout 1.3V，便宜
- LM1117：1A LDO，多種固定電壓
- LP5907：低雜訊 LDO，250 mA
- TPS7A47：超低雜訊 LDO (射頻、ADC 用)

選 LDO 的關鍵

1. 輸出電壓與電流
2. Dropout voltage
3. 靜態電流 (I_{q})：影響待機功耗
4. PSRR (電源拒絕比)：濾除輸入雜訊能力
5. 雜訊：精密類比電路重要
6. 熱阻：能持續輸出多大電流

散熱計算

$$P_{LDO} = (V_{in} - V_{out}) \times I_{out}$$

範例：5V → 3.3V，1A：P = 1.7 W → 需散熱片或大封裝。

七、開關穩壓器 (DC/DC Converter)

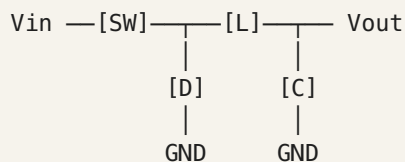
為什麼用開關電源

效率高（80–98%），不像 LDO 浪費能量為熱。

三大基本拓撲

1. Buck (降壓)

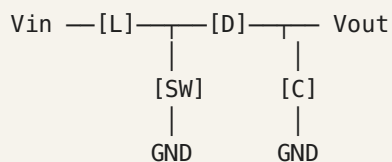
$V_{out} < V_{in}$ 。最常用的拓撲。



$$V_{out} = D \times V_{in} \quad D \text{ duty cycle}$$

2. Boost (升壓)

$V_{out} > V_{in}$ 。



$$V_{out} = V_{in} / (1 - D)$$

3. Buck-Boost (升降壓)

V_{out} 可大或小於 V_{in} 。變種：Cuk, SEPIC, Zeta 等。

隔離拓撲

- Flyback：< 100W，常見充電器
- Forward：100–500W
- Push-Pull, Half-Bridge, Full-Bridge, LLC：見變壓器章節

經典 IC

- MP1584：3A buck，簡單可靠
- LM2596：3A buck，學習用很流行
- TPS54331：高效率 buck
- MT3608：boost
- LT8410：1.5A boost
- MP3429：升降壓
- TPS61021：超低輸入電壓 boost（電池用）

選擇要點

1. 輸入電壓範圍
2. 輸出電壓 / 電流
3. 效率
4. 開關頻率：高頻 → 小尺寸但 EMI 嚴重
5. 輸出紋波 / 雜訊
6. 同步整流 vs 非同步 - 同步：用 MOSFET 替代二極體，效率高，需更貴 IC - 非同步：用蕭基二極體，便宜，效率較低

八、PMIC（電源管理 IC）

複雜系統（手機、平板、SoC 板）使用整合 PMIC： - 多通道輸出（5V, 3.3V, 1.8V, 1.2V, 0.9V 等） - 充電管理 - 電量計 - 待機 / 省電模式 - I²C/SPI 控制

九、電源拓撲選擇指南

場景	推薦
5V → 3.3V，100 mA	LDO（簡單）
5V → 3.3V，1A	Buck（效率）
12V → 3.3V	Buck（壓差大）
1.5V → 5V（電池升壓）	Boost
電池 3.7V → 3.3V	LDO（壓差小）或 Buck
電池 3.7V → 5V	Boost
AC 110V → 5V	Flyback（隔離）
12V 汽車 → 12V 穩壓	Buck-Boost（電壓會變）
高雜訊敏感（ADC、RF）	LDO 或 buck + LDO 二級

十、能量採集（Energy Harvesting）

新興領域：從環境取能驅動 IoT 裝置。

來源

- 太陽能：cm² 級小面板，幾 μW –mW
- 熱電（TEG）：溫差發電
- 壓電：振動、按壓
- RF：環境射頻能量
- 微生物燃料電池

關鍵 IC

- BQ25570：超低功耗能量採集 PMIC
- LTC3588：壓電能量採集
- AEM10941：太陽能 + Boost

十一、待機與低功耗設計

功耗分類

- 作用模式 (Active)：mA 級
- 休眠 (Sleep)： μ A 級
- 深度休眠 (Deep Sleep)：nA 級
- 斷電 (Power-off)：理論 0，但有漏電

低功耗策略

1. 時鐘樹門控：暫停未用模組
 2. 電壓島：不同區域不同電壓
 3. 動態電壓頻率調整 (DVFS)
 4. 負載開關：關閉外部模組
 5. MCU 休眠模式：保留 RAM、定時喚醒
-

十二、常見錯誤

1. LDO 散熱不足

靜態壓差 $\times$ 電流大，快速燒毀。

2. Buck 電感選錯

飽和電流不夠 $\rightarrow$ 紋波激增 $\rightarrow$ 輸出失敗。

3. 輸出電容 ESR 不對

部分 LDO 要求 ESR 範圍，太低反而不穩定。

4. 輸入端沒有去耦

開關電源 di/dt 大，輸入端必須有大電容 + MLCC。

5. PCB layout 不當

- 開關迴路 (hot loop) 面積大 $\rightarrow$ EMI
- 反饋線靠近開關節點 $\rightarrow$ 雜訊耦合
- 散熱不足

6. 鋰電池沒保護電路

過放或短路會嚴重事故。

7. 多輸出之間沒順序

某些 SoC 要求 1.0V 核心電壓必須早於 1.8V IO，否則門鎖 (latch-up)。

十三、本章總結

✓ 您應該掌握：

- [x] 各種電池類型與選用
- [x] Li-ion 電池保護的重要性
- [x] LDO 的工作原理、優缺點、選用
- [x] 三大開關電源拓撲 (Buck/Boost/Buck-Boost)
- [x] 隔離拓撲 (Flyback/Forward 等)
- [x] LDO vs 開關電源的選擇
- [x] PMIC 的概念
- [x] 低功耗設計策略

自我檢測

1. 1000 mAh / 3.7V Li-ion 電池有多少 Wh 能量？
2. 為什麼 LDO 在 V_{in} 比 V_{out} 高很多時效率差？
3. $5V \rightarrow 1.8V$ ，需要 500 mA，用 LDO 會浪費多少功率？
4. Boost 升壓電源中，輸出電壓如何由 duty cycle 決定？
5. Li-ion 充電的 CC/CV 階段是什麼？

解答

1. $E = 1.0 \times 3.7 = 3.7 \text{ Wh}$
2. 效率 $\approx V_{out}/V_{in}$ 。如 $12V \rightarrow 3.3V$ ，效率僅 27.5%，差值都變熱
3. $P = (5-1.8) \times 0.5 = 1.6 \text{ W}$ 浪費為熱
4. $V_{out} = V_{in} / (1 - D)$ 。D=0.5 時 $V_{out} = 2 \times V_{in}$
5. CC (恆流充電) $\rightarrow$ 達 4.2V 後切換到 CV (恆壓)，電流逐漸下降到截止

下一章

11-???????.md 一系統化的電路分析方法。