

第 1 章 1：電學基礎

本章奠定整套教材的基礎。即使您學過，請仔細複習。

一、電壓、電流、電阻

1. 電流 (Current, I)

定義：單位時間內通過某一導體斷面的電荷量。

$$I = \frac{dQ}{dt}$$

- 單位：安培 (A) = 庫侖/秒 (C/s)
- 1 A 表示每秒有 1 庫侖 ($\approx 6.24 \times 10^{18}$ 個電子) 通過

方向約定：傳統電流方向 = 正電荷流動方向 = 電子流動的反方向。

典型電流：

應用	電流
心臟感知	1 μ A
助聽器	10 μ A
MCU IO	1–20 mA
LED	5–20 mA
一般 IC 工作電流	10–500 mA
智慧型手機充電	1–5 A
家電 (冰箱、冷氣)	1–10 A
電動車快充	100–500 A

2. 電壓 (Voltage, V)

定義：單位電荷在電場中具有的能量差，又稱「電位差」。

$$V_{AB} = \frac{W_{AB}}{Q}$$

- 單位：伏特 (V) = 焦耳/庫侖 (J/C)

- A 點比 B 點高 V 伏特，表示每 1 庫侖正電荷從 A 移到 B 會釋放 V 焦耳能量

典型電壓：

應用	電壓
神經訊號	70 mV
鋰電池單顆	3.0–4.2 V
TTL/CMOS 邏輯	3.3 V / 5 V
USB	5 V
汽車電瓶	12–14 V
一般家用 AC	110/220 V
工業 AC 三相	380 V
高壓輸電	kV–MV 級

3. 電阻 (Resistance, R)

定義：物體對電流通過的「阻礙」程度。

- 單位：歐姆 (Ω) = V/A

物理本質：電子在導體中流動時與晶格碰撞造成的能量損耗。

電阻計算（對均勻導體）：

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

其中：- ρ ：電阻率 (resistivity, $\Omega \cdot \text{m}$) - L：長度 (m) - A：截面積 (m^2)

常見材料電阻率 (20° C)：

材料	電阻率 ($\Omega \cdot m$)
銀 Ag	1.59×10^{-8}
銅 Cu	1.68×10^{-8}
金 Au	2.44×10^{-8}
鋁 Al	2.65×10^{-8}
鎢 W	5.6×10^{-8}
鎳鉻合金	1.10×10^{-6}
矽 (純)	約 6.4×10^2
玻璃	10^{10} – 10^{14}
石英	$> 10^{16}$

觀察：銅是最常用的導線材料（成本/導電率最佳），銀導電性更好但太貴。

二、歐姆定律 (Ohm's Law)

電子學最重要的公式：

$$\boxed{V = I \times R}$$

或變形：

$$I = \frac{V}{R}, \quad R = \frac{V}{I}$$

實例計算

例 1：5 V 電源接 1 k Ω 電阻，電流多少？

$$I = \frac{5V}{1000\Omega} = 5mA$$

例 2：LED 順向壓降 2 V，要 10 mA 電流，由 5 V 電源驅動，需要多大電阻？

電阻兩端電壓 = 5 V – 2 V = 3 V

$$R = \frac{3V}{0.01A} = 300\Omega$$

例 3：發現電路中電阻兩端 1.2 V，標示為 4.7 k Ω ，電流多少？

$$I = \frac{1.2}{4700} \approx 0.255\text{mA} = 255\mu\text{A}$$

注意：歐姆定律的適用範圍

歐姆定律僅適用於：- 線性電阻元件（電阻不隨電壓電流改變）

不適用於：- 二極體、電晶體（非線性元件）- 高溫下的電阻（電阻會隨溫度變化）

三、功率 (Power, P)

公式

$$P = V \times I$$

代入歐姆定律可得三個變形：

$$P = VI = I^2R = \frac{V^2}{R}$$

- 單位：瓦特 (W) = 焦耳/秒
- 1 度電 = 1 kWh = 3.6×10^6 J

電阻消耗的功率

電流通過電阻時，能量轉換為熱能（焦耳熱）。

例：1 k Ω 電阻接 5 V，消耗多少功率？

$$P = \frac{V^2}{R} = \frac{25}{1000} = 25\text{mW}$$

設計時要選擇耐功率夠的電阻。常見封裝：- 0402 SMD : 1/16 W - 0603 SMD : 1/10 W - 0805 SMD : 1/8 W - 1206 SMD : 1/4 W - 通孔 1/4 W、1/2 W、1 W、2 W、5 W、10 W...

四、直流 (DC) 與交流 (AC)

直流 (Direct Current, DC)

電壓電流不隨時間變化（或變化很慢）。

範例：電池、USB 5V、IC 內部供電。

交流 (Alternating Current, AC)

電壓電流隨時間（通常正弦地）變化方向。

範例：家用插座（60 Hz, 110V RMS in TW）、訊號波形。

正弦波參數

$$v(t) = V_m \sin(2\pi ft + \phi)$$

- 峰值 (Peak) V_m ：最大瞬時值
- 峰對峰值 (Peak-to-Peak) $V_{pp} := 2 V_m$
- 有效值 (RMS) $V_{rms} := V_m / \sqrt{2} \approx 0.707 V_m$
- 頻率 f ：每秒週期數 (Hz)
- 週期 T ： $T = 1/f$
- 相位 ϕ ：起始相位

110V AC 的「110V」是 RMS 值，峰值約 155.6 V，峰對峰約 311 V。

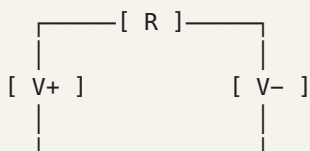
為什麼用 RMS？

RMS 值代表「等效熱效應」：1 V RMS 的 AC 在電阻上產生的熱，等於 1 V 的 DC。這對電源、加熱應用很重要。

五、電路與接地

電路 (Circuit)

電流必須有「完整迴路」才能流動。從電源正極出發，經過負載，回到電源負極。



接地 (Ground, GND)

「接地」在電子電路中的意義：

- 電位參考點 (reference)：所有電壓都相對 GND 量
- 訊號回流路徑 (return path)：電流的回路

- 真正的大地（earth ground）：建築物接地、安規接地

在 PCB 上，「GND」通常是參考地，不一定真的接到地球。

多種「地」的概念

種類	符號	用途
訊號地 SGND	⏏	一般訊號參考
電源地 PGND	⏏	大電流回流（如功率級）
機殼地 / 大地	⏏（三角形）	安規、屏蔽

PCB 設計時，類比地（AGND）與數位地（DGND）通常分開，最後在某點單點連接，避免數位雜訊污染類比訊號。

六、串聯與並聯

串聯 (Series)

元件首尾相接，電流相同。

電阻串聯：

$$R_{total} = R_1 + R_2 + \cdots + R_n$$

例：1k + 2k + 3k 串聯 = 6 k Ω

電壓在串聯電阻上的分配（分壓法則 Voltage Divider）：

$$V_x = V_{in} \times \frac{R_x}{R_{total}}$$

例：5 V 跨 1k + 4k 串聯，1k 兩端電壓？

$$V_{1k} = 5 \times \frac{1000}{5000} = 1V$$

並聯 (Parallel)

元件兩端各自相連，電壓相同。

電阻並聯：

$$\frac{1}{R_{total}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots$$

兩個並聯特例：

$$R_{total} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

例：1k 並 2k = 1000×2000/(1000+2000) = 666.67 Ω

並聯特性：- 並聯結果一定 < 最小的那個 - 兩個相同電阻並聯 = 一半

電流在並聯電阻上的分配（分流法則）：

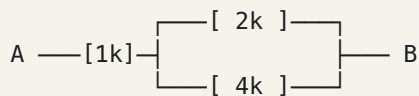
$$I_x = I_{total} \times \frac{R_{other}}{R_x + R_{other}}$$

提示：並聯時，電流走阻抗小的路徑較多。

串並聯混合

逐步化簡：先處理最內層，往外推。

例題：求下圖總電阻



並聯部分：2k || 4k = 8000/6000 = 1.333 kΩ

串聯：1k + 1.333k = 2.333 kΩ

七、克希荷夫定律 (Kirchhoff's Laws)

電路分析的基石。

KCL (電流定律)

流入節點的電流總和 = 流出節點的電流總和

$$\sum I_{in} = \sum I_{out}$$

或寫成：

$$\sum I = 0$$

物理本質：電荷守恆。

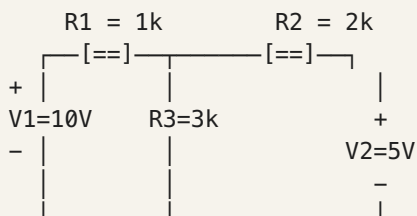
KVL（電壓定律）

沿任一封閉迴路，電壓代數和 = 0

$$\sum V = 0$$

物理本質：能量守恆。

KCL/KVL 解題範例



設左迴路電流為 I_1 ，右迴路電流為 I_2 ：

KCL on middle node (穿過 R_3 的電流) = $I_1 - I_2$

KVL 左迴路： $10 = 1k \cdot I_1 + 3k \cdot (I_1 - I_2)$ KVL 右迴路： $5 = 2k \cdot I_2 - 3k \cdot (I_1 - I_2)$ （注意符號）

解聯立方程式即可。詳細在 [11-?????.md](#) 展開。

八、電路常用測量量

1. 電壓量測

用三用電表「電壓檔」並聯接於待測元件兩端。

三用電表電壓檔輸入阻抗高（ $10\text{ M}\Omega$ 以上），不會干擾電路。

2. 電流量測

用三用電表「電流檔」串聯接入電路。

⚠ 危險：電流檔內阻很低，若誤接於電壓兩端會「短路」，可能燒掉表頭或保險絲。

3. 電阻量測

需斷電後測量，三用電表的電阻檔會輸出小電流量測。

在電路上的電阻量測會被其他並聯元件影響，常需取下單測。

4. 示波器量測

觀察「電壓隨時間變化」的波形，是電子工程師最重要的工具之一。

九、實務經驗法則

1. 「水流類比」鞏固直覺

電學	水流
電壓 V	水壓（高低差）
電流 I	水流速率
電阻 R	水管粗細（細管阻力大）
電容 C	水塔（儲水）
電感 L	水車慣性
電源	抽水馬達
開關	水閥

2. 「不要假設電流方向」

設計時無法立刻知道電流流向就先假設，計算結果若是負值表示實際方向相反。

3. 「先估算再精算」

設計前用粗略計算（一位有效數字）確認量級對，再用精確值計算。這能避免「單位錯一個數量級」的低級錯誤。

4. 「典型值優先 datasheet」

設計時用 datasheet 的「typical」值估算，但驗證時要用「max/min」確認最壞情況。

十、本章總結

✔ 您現在應該掌握：

- [x] 電流、電壓、電阻、功率的定義與單位
- [x] 歐姆定律 $V = IR$ 的應用
- [x] 三種功率公式 $P = VI = I^2R = V^2/R$
- [x] DC vs AC，正弦波的峰值、RMS、頻率
- [x] 串聯/並聯計算
- [x] 分壓、分流公式
- [x] KCL、KVL 的物理意義
- [x] 接地的多種意義
- [x] 量測時表頭的接法

自我檢測

1. 一顆 $10\text{ k}\Omega$ 電阻接 12 V ，電流多少？消耗功率多少？
2. 三個電阻 1 k 、 2 k 、 3 k 並聯，總電阻多少？
3. 為什麼台灣家用 110 V 是「 110 V RMS 」而不是峰值？
4. 1 k 與 2 k 電阻串聯接 9 V ， 2 k 兩端電壓多少？
5. 為什麼三用電表測電流要串聯，測電壓要並聯？

答案附在每章末。可參考下方解答區，或自行驗證。

解答

1. $I = 12/10000 = 1.2\text{ mA}$ ； $P = V^2/R = 144/10000 = 14.4\text{ mW}$
2. $1/(1/1\text{ k} + 1/2\text{ k} + 1/3\text{ k}) = 1/(6/6\text{ k} + 3/6\text{ k} + 2/6\text{ k}) = 6\text{ k}/11 \approx 545.5\ \Omega$
3. RMS 是「等效熱功率」值，更能反映 AC 對負載的實際工作能力
4. $V_{2\text{ k}} = 9 \times 2\text{ k}/(1\text{ k}+2\text{ k}) = 6\text{ V}$
5. 電流檔內阻極低（接近短路），並聯電源會燒；電壓檔內阻極高，串聯電路幾乎無電流通過

下一章

02-???.md 一 深入電阻的選用、規格、各種特性。