

# 第 1 章 9：繼電器與開關

繼電器和開關是「機械式」元件，雖然有半導體替代品，仍在許多場合不可或缺。

## 一、開關 (Switch) 的基本概念

### 觸點配置 (Contact Configuration)

開關依觸點數量與切換能力分類：

| 縮寫   | 全名                        | 描述               |
|------|---------------------------|------------------|
| SPST | Single Pole, Single Throw | 單刀單擲 (簡單 ON/OFF) |
| SPDT | Single Pole, Double Throw | 單刀雙擲 (A/B 切換)    |
| DPST | Double Pole, Single Throw | 雙刀單擲             |
| DPDT | Double Pole, Double Throw | 雙刀雙擲             |
| 4PDT | Four Pole, Double Throw   | 四刀雙擲             |

SPST:

o—/ o

SPDT:

o

/

o—

o

### 動作方式

- Toggle (切換式)：切過去就保持，再切回
- Push-button (按鈕式)：按壓動作，分常開 (NO) / 常閉 (NC)
- 即時型 (momentary)：放開回復
- 鎖定型 (latching)：按一下開、再按一下關
- Slide (滑動式)：左右滑動切換
- Rotary (旋轉式)：多檔位選擇
- Rocker (搖頭式)：常見於電源開關
- DIP Switch：印刷電路板上的微型撥碼開關
- Tact Switch：觸控按鍵 (最常用於 PCB)

## 開關的關鍵規格

### 1. 額定電壓 / 電流

標稱可承受的電氣量：DC 與 AC 通常規格不同。

### 2. 接觸電阻

理想為 0，實際  $m\Omega$ –數百  $m\Omega$ 。

### 3. 機械壽命

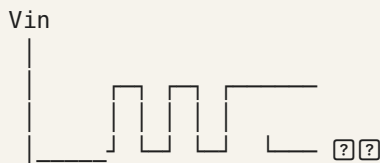
總操作次數，常見 1 萬–10 萬次。

### 4. 電氣壽命

帶負載操作次數，通常少於機械壽命。

### 5. 接觸彈跳 (Contact Bounce)

按下時觸點彈跳，造成多次連通-斷開 ( $< 10\text{ ms}$ )：



數位電路必須做「消抖」(debounce)，方法：- 軟體：延遲 10–20 ms 後再讀 - 硬體：RC 濾波、Schmitt trigger - 專用 IC：MAX6816、MC14490

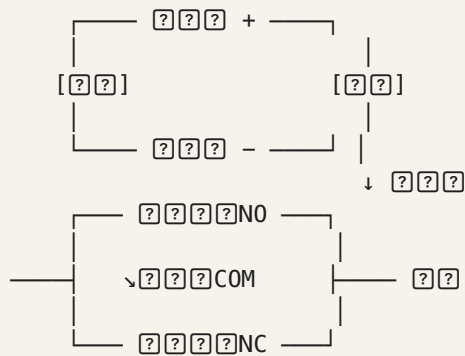
---

## 二、繼電器 (Relay)

### 什麼是繼電器？

「用小訊號控制大電力的電磁開關」

## 結構與原理



???

- ??? → ???? → COM ?NC????
- ??? → ???? → COM ?NO????

## 繼電器的特性

### 優點

- 完全電氣隔離：控制端與負載端隔離
- 大電流耐受：可達數十 A
- 低接觸電阻（mΩ 級）
- 零導通損耗（接通後）
- 直觀：機械可見開關狀態

### 缺點

- 慢：切換時間 ms 級
- 壽命有限：機械磨損
- 大、重：相比 MOSFET
- 線圈耗能（持續通電才保持）
- 產生 EMI（線圈感應、觸點電弧）
- 觸點氧化（時間久了接觸電阻增加）

## 主要種類

### 1. 電磁繼電器 (EMR, Electromechanical Relay)

最傳統，本章主要討論的。

### 2. 簧片繼電器 (Reed Relay)

玻璃管內密封簧片，速度較快、壽命長。用於：自動測試設備、儀器矩陣切換。

### 3. 鎖存繼電器 (Latching Relay)

切換後不需持續通電，靠永久磁鐵保持。用於：低功耗應用（電池供電）。

### 4. 固態繼電器 (SSR, Solid State Relay)

用半導體 (TRIAC、MOSFET、光耦) 代替機械接點。特點：-  無機械磨損、長壽命 -  切換快 ( $\mu\text{s}$  級) -  無噪音、抗振 -  較貴 -  漏電 (off 時有  $\mu\text{A}$  級漏電流) -  接通損耗較大 ( $V_{\text{DROP}} 1\text{--}2\text{V}$ )

### 5. 高頻 / 射頻繼電器

用於微波頻率切換 (GHz 級)。

### 接點規格

| 形式          | 描述                          |
|-------------|-----------------------------|
| Form A (NO) | 常開觸點                        |
| Form B (NC) | 常閉觸點                        |
| Form C      | 切換式 (SPDT, 含 NO + NC + COM) |

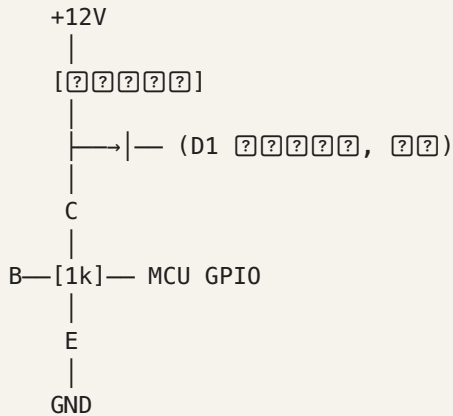
### 線圈規格

- 線圈電壓 ( $V_{\text{DC}}$ )：5V, 12V, 24V, 48V 為主流
- 線圈電流 / 阻抗
- 動作電壓 (pickup voltage)：開始吸合所需的最低電壓 (通常  $\approx 75\%$  額定)
- 釋放電壓 (dropout voltage)：完全釋放的最高電壓 (通常  $\approx 10\text{--}25\%$  額定)

## 三、繼電器驅動電路

繼電器線圈是「電感」，直接接 MCU 會：1. 電流不夠（線圈幾十 mA，超過 GPIO 限制）2. 斷電時感應反電動勢損壞 MCU

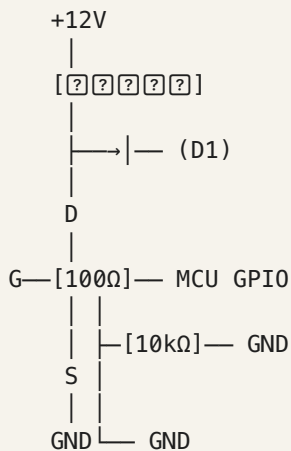
## 標準驅動電路（NPN BJT）



關鍵： 1. 飛輪二極體 D1：反向接於線圈兩端，吸收反電動勢 - 一般選 1N4148（小電流）或 1N4007（大電流） 2. 基極電阻：依 BJT  $\beta$  與線圈電流計算 3. 下拉電阻（10k $\Omega$ ）：可選，避免 MCU 重啟時誤動作

## MOSFET 驅動

更高效，無  $V_{BE}$  損耗：



Logic Level NMOS 2N7000/A03400

## 雙線圈鎖存繼電器驅動

需要兩組驅動電路（一組 set，一組 reset），脈衝控制：

set  $\rightarrow$   $\rightarrow$   $\rightarrow$   
reset  $\rightarrow$   $\rightarrow$   $\rightarrow$   $\rightarrow$

優點：靜態無電流（節能）。

## 四、繼電器選用考量

### 1. 負載類型

不同負載對繼電器要求不同：

| 負載            | 特性                 | 注意                |
|---------------|--------------------|-------------------|
| 電阻性           | 容易切換               | 一般                |
| 電感性（馬達、電磁閥）   | 啟動電流大 + 反電動勢       | 選大電流容量、加 snubber  |
| 電容性（LED 燈、電源） | 啟動衝擊大              | 注意 inrush current |
| 燈泡            | 冷時電阻低（10 倍 inrush） | 選 inrush 規格       |
| 直流負載          | 不過零，容易產生電弧         | 選 DC 額定的繼電器       |

### 2. 觸點材料

| 材料     | 特性    | 用途      |
|--------|-------|---------|
| 銀 (Ag) | 接觸電阻低 | 一般      |
| 金 (Au) | 抗氧化   | 小信號、低電流 |
| 銀合金    | 抗熔接   | 大電流     |
| 鎢 (W)  | 抗電弧   | 大電流     |

### 3. 切換方式

- 零過零切換（Zero-crossing）：減少電弧、EMI（多用於 SSR）
- 隨機切換：即時切換

### 4. 安規認證

- UL（美規）
- TUV（歐規）
- CCC（中國）
- 安全距離（爬電距離、空氣間隙）

## 五、其他機電元件

### 接觸器 (Contactor)

大型繼電器，工業用，可控制 kA 級電流。

### 微動開關 (Micro Switch)

小行程觸發開關，常用於限位、安全保護。

### 干簧管 (Reed Switch)

磁鐵接近時導通，無接觸式偵測（門磁感應）。

### 熱保護開關 (Thermal Switch)

溫度超過閾值自動切斷（保護電路）。

### 限位開關 (Limit Switch)

機械位置觸發。

## 六、機電 vs 半導體選擇

| 應用      | 機電（繼電器/接觸器） | 半導體（MOSFET/SSR） |
|---------|-------------|-----------------|
| 大電流 AC  | ✓ 經濟        | SSR 可，較貴        |
| 大電流 DC  | ✓ 但需注意電弧    | ✓ MOSFET        |
| 高頻切換    | ✗ 慢         | ✓               |
| 完全隔離    | ✓           | 需光耦             |
| 長壽命     | 機械限制        | ✓               |
| 低待機功耗   | 鎖存 OK       | ✓               |
| 抗振動     | 較弱          | ✓               |
| 故障安全    | 接點熔接也有可能    | 短路失效            |
| 成本（小批量） | ✓           | 較貴              |
| 體積      | 大           | 小               |

## 七、實務應用範例

### 例 1：智慧家電：MCU 控制 110V 燈泡

選 SRD-05VDC-SL-C (5V 線圈，10A AC 觸點)：

MCU → BJT [?] → 5V [?] → 110V AC [?]

注意：- 繼電器初次級之間一定要有 隔離距離 (PCB 布線) - 110V AC 接點區域 PCB 銅箔加厚 (爬電距離) - 安規認證版本

### 例 2：H 橋驅動小馬達

簡易 H 橋用 4 個繼電器 (1 個 SPDT × 2 + 控制邏輯)：

但通常不這樣做，現代多用 MOSFET H 橋 (如 L298、DRV8833 IC)。

### 例 3：緊急停止電路 (E-Stop)

工業安全設計：- 用機械式按鈕 (鎖定型) - 接點直接斷開主電源接觸器 - 不依賴半導體 (防止軟體 bug 或 SCR latch up)

安全相關電路必須用機械式繼電器或接觸器，半導體不被允許作為唯一保護。

## 八、本章總結

✓ 您應該掌握：

- [x] 開關的觸點配置 (SPST/DPDT 等) 與動作方式
- [x] 接觸彈跳與消抖
- [x] 繼電器的工作原理與種類
- [x] 機械繼電器 vs 固態繼電器 (SSR)
- [x] 繼電器的標準驅動電路 (飛輪二極體必加)
- [x] 不同負載對繼電器的要求
- [x] 機電 vs 半導體開關的選擇

### 自我檢測

1. SPDT 開關有幾個觸點？



2. 為什麼按鍵需要消抖 (debounce) ?
3. 為什麼繼電器線圈兩端要加飛輪二極體 ?
4. SSR 與機械繼電器的優缺點對比 ?
5. 鎖存繼電器 (Latching Relay) 的優勢是什麼 ?

## 解答

1. 3 個 (COM, NO, NC)
  2. 機械接觸時會彈跳 (10 ms 內可能多次連通-斷開) , 讓數位電路誤判為多次按鍵
  3. 線圈是電感, 斷電時會感應反電動勢 (可達 100V+) , 會擊穿驅動電晶體。飛輪二極體提供電流續流路徑
  4. SSR 優: 無磨損、長壽命、快速、安靜; 缺: 貴、漏電、接通損耗大
  5. 切換後不需持續通電 (永久磁鐵保持) , 低功耗, 適合電池應用
- 

## 下一章

10-[1](#)[2](#)[3](#)[4](#)[5](#)[6](#).md — 電池與各種供電方式。