

# 第 8 章 5：簡易示波器

整合類比前端、ADC、MCU、顯示。屬於「進階」專案。

## 一、學習目標

- 高速 ADC 介面
- 類比前端設計（衰減、保護、補償）
- 觸發系統
- 即時顯示
- 完整訊號鏈

## 二、規格

| 項目    | 簡易版         | 進階版         |
|-------|-------------|-------------|
| 通道數   | 1           | 2           |
| 頻寬    | 1 MHz       | 50 MHz      |
| 取樣率   | 5 MSa/s     | 200 MSa/s   |
| 解析度   | 8-bit       | 12-bit      |
| 記憶體深度 | 4k 點        | 1M 點        |
| 觸發    | 邊緣          | 邊緣、脈衝寬度     |
| 顯示    | OLED 128x64 | TFT 320x240 |
| 介面    | –           | USB         |

## 三、簡易版架構（適合學習）

### 主控

STM32H7（高速 ADC、DMA、480 MHz Cortex-M7）。

## 訊號路徑

BNC — 10×(1×/10×) — TVS+ 10kΩ — OPAMP buffer —  
10kΩ — ADC(STM32 12-bit, 3.6 MSa/s)

## 衰減器

- 1×：直接
- 10×：1MΩ 分壓 + 補償電容
- 切換用繼電器或類比開關

## 偏壓加法

ADC 只能 0~3.3V，但訊號可能正負：

$$V_{\text{adc}} = V_{\text{signal}}/N + V_{\text{offset}}$$

$V_{\text{offset}}$  通常 1.65V（中點），用 OPAMP 加法器。

## 保護

- TVS：限制過壓
- 串聯電阻：限制電流
- ESD 二極體（Schottky）：限至 0~3.3V

## 四、ADC 與 DMA

STM32H7 ADC 範例（HAL）：

```
HAL_ADC_Start_DMA(&hadc1, (uint32_t*)adc_buffer, BUFFER_SIZE);
```

DMA 將取樣資料直接傳到 RAM，CPU 只在 buffer 滿時處理。

## 取樣率設定

$$f_s = \text{ADC\_clock} / (\text{cycles\_per\_sample})$$

H7 ADC 最高約 3.6 MSa/s（12-bit）。

## 五、觸發系統

### 邊緣觸發

每個取樣與閾值比較，找上升 / 下降緣：

```
for (i = 1; i < BUFFER_SIZE; i++) {
    if (adc_buf[i-1] < threshold && adc_buf[i] >= threshold) {
        trigger_index = i;
        break;
    }
}
```

### 預觸發

要顯示觸發前後的資料，環形緩衝區記錄：

Pre-trigger      Post-trigger  
 → T →

## 六、顯示

### 簡易版 (OLED 128×64)

```
for (x = 0; x < 128; x++) {
    uint16_t adc_val = waveform[x * (BUFFER_SIZE/128)];
    uint8_t y = 63 - (adc_val * 64 / 4096);
    display.drawPixel(x, y, WHITE);
}
display.display();
```

### 進階版 (TFT 320×240)

加格線、刻度、自動量測 (Vpp、頻率、平均、RMS) 。

### 自動量測：

#### 頻率

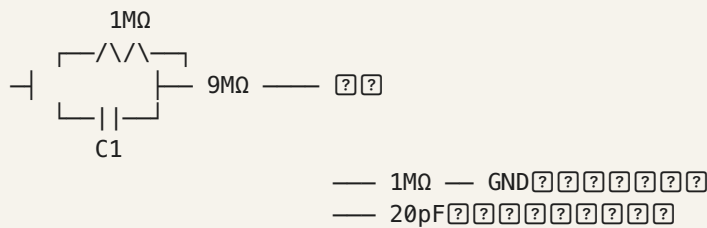
```
// 頻率計算
freq = 1.0 / (period_samples * sample_period);
```

## Vpp / RMS

```
vmax = max(buffer);
vmin = min(buffer);
vpp = vmax - vmin;

vrms = sqrt(sum(buf[i]^2) / N);
```

## 七、類比前端：補償電容（10× 探棒原理）



當  $R_1C_1 = R_2C_2$  時，所有頻率衰減比相同（10×）。

可變電容用於微調補償。

## 八、進階版：50 MHz 頻寬

需要：- 高頻寬 OPAMP（OPA847、AD8045 等 GBW > 500 MHz）- 外部高速 ADC（如 AD9226 65 MSa/s 12-bit）- FPGA 接 ADC + 觸發 + Buffer - USB 介面 PC 顯示 - 4 層 / 6 層 PCB，妥善阻抗控制

成本：\$200–500，但效能接近商用入門示波器。

## 九、開源專案參考

- Scopy：用 Pi Pico 做示波器（簡易）
- DSO138 / DSO150：低成本套件
- OpenScope MZ：開源儀器
- Sigrok / PulseView：跨平台儀器軟體
- ThunderScope：高頻寬開源示波器專案

## 十、量測自己的示波器

---

校驗：- 1 kHz 方波（探棒補償用）- 函數產生器標準訊號 - 與商用示波器比對

---

## 十一、本專案重點

---

✔ 您學到：

- [x] 類比前端設計
  - [x] 高速 ADC 操作
  - [x] DMA 高吞吐量
  - [x] 觸發演算法
  - [x] 即時繪圖
  - [x] 自動量測
- 

下一階段：第 9 章 [參考資料](#)

---