**一、上下層模組與原理流程**

**模組架構**

1. **上層（Testbench, FSM\_low\_power\_sensor\_tb）**
   * 主要功能是提供 **時脈（clk）** 與 **重置信號（rst\_n）**，並監控感測器輸出訊號 data\_current。
   * 相當於「實驗環境」，用來模擬感測器的啟閉行為。
2. **下層（FSM\_low\_power\_sensor 模組）**
   * 內部採用 **有限狀態機（FSM）** 控制邏輯。
   * 狀態分為 **IDLE 狀態（感測器關閉）** 與 **SENSE 狀態（感測器開啟）**。
   * FSM 負責在時脈推進下，依序切換狀態，並透過 data\_current 訊號控制感測器啟閉。

**原理流程**

* **clk 運行 → FSM 狀態推進 → 決定 data\_current 的高低**。
* data\_current = 1 → 感測器啟動。
* data\_current = 0 → 感測器關閉。
* 如此即可達到 **週期性開啟/關閉感測器** 的目的。

**二、週期的含意**

* 在此設計中，「週期」代表 **感測器啟動與休眠的時間比例**，又稱 **Duty Cycle**。
* 假設 FSM 設定為「2 個時脈啟動、8 個時脈休眠」：
  + 週期總長度：10 個時脈
  + 啟動比例：210=20%\frac{2}{10} = 20\%102​=20%
  + 功耗估算公式：

Pavg=Duty×PonP\_{avg} = Duty \times P\_{on}Pavg​=Duty×Pon​

其中

* PavgP\_{avg}Pavg​：平均功耗
* DutyDutyDuty：啟動比例（2/10 = 0.2）
* PonP\_{on}Pon​：感測器持續開啟功耗

例如感測器持續功耗為 10 mW，則：

Pavg=0.2×10mW=2mWP\_{avg} = 0.2 \times 10mW = 2mWPavg​=0.2×10mW=2mW

👉 省下 80% 電力

**三、應用場景**

這種 FSM 控制的 **Duty Cycling 機制**，特別適合應用於：

1. **智慧農業**：如土壤濕度、溫度感測器，避免持續耗電。
2. **居家自動化**：例如智慧燈光或安全感測器，僅在需要時啟動。
3. **醫療照護裝置**：如智慧尿布或穿戴式感測器，需要長時間運作，但又受限於電池。
4. **物聯網節點（Wireless Sensor Node）**：大多數時間處於休眠狀態，僅定時啟動以回報資料。

這些應用場景共通的需求是 **低功耗 + 長時間運行**，FSM Duty Cycling 正好符合這個設計目標。