

結合嵌入式系統之 PCB 設計

21613 徐義豐

1. 簡介

隨著電子元件的縮小化和 SMT (表面貼裝技術) 的發展，PCB (印刷電路板) 的需求暴增。一開始只是將 BJT (雙極性電晶體) 等較精密的元件集成化，但隨著半導體技術發展，透過高精密性的晶片之 GPIO (通用輸出輸入) 等，控制、結合日常生活中的各式機械或電氣系統已成常態。而此類嵌入機械或電氣系統，並既有及時運算能力之晶片系統，則稱「嵌入式系統」。本實作便是要以嵌入式系統為基底，設計一片具有完整功能的 PCB。

2. 動機

以前國中為了完成一些 side project 而開始接觸嵌入式，從以前的 Arduino 到 ESP32、STM32、AMB 等系列開始，深深感受到現今許多模組無法同時滿足模組調校，新手學習等需求，因此我想設計一款能方便於模組調校且對新手學習友善的開發版，並以量產為目標推進。

3. 設計導向

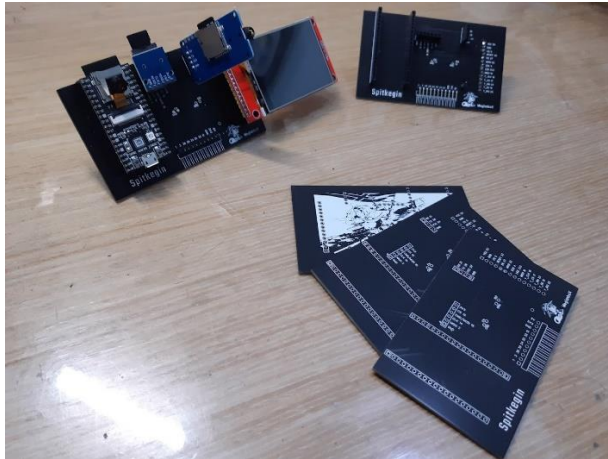
本次設計使用 ATmega328P-AU 晶片 (屬於 MCU) 為核心設計，也就是說他基本上會與 CH340G(某個 USB-TTL 晶片，透過 serial port 將程式碼燒錄進主 MCU)，完成此系統的所有運算，所以下功夫的重點會放在輔助電路的設計與改良(相對於 Arduino UNO)，如下(詳細說明見技術導向)：

- 防反接電路改良
- 增加慣用接腳
- 3.3v IDO 改型
- 手動切換供電(取消運算放大器)
 - DC 接口
 - Battery Charge 鋰電池 DC-DC 升壓
 - Type-c 供電(可用作 Serial)
 - Micro-USB 供電(可用作 Serial)

4. 技術導向

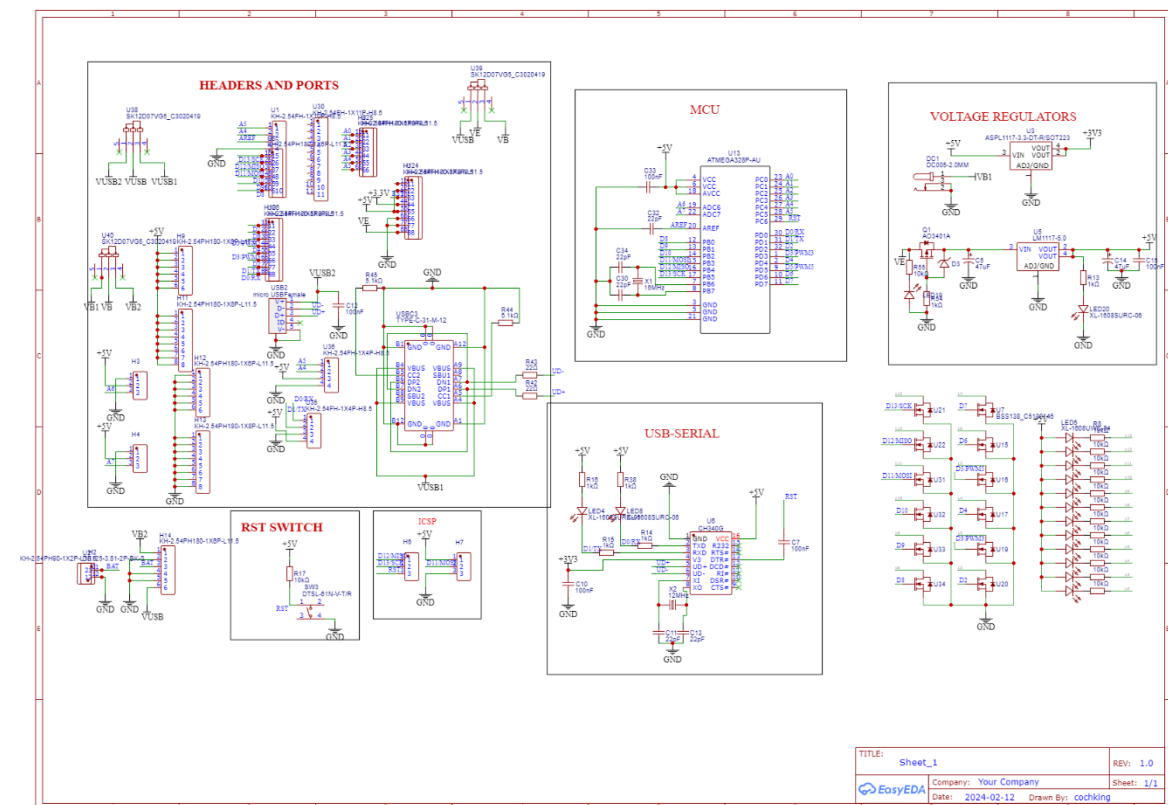
首先，PCB 設計通常會在 EDA(電子設計自動化)上操作，會分為原理(電路)圖和 PCB 圖，通常先建構電路圖然後轉 PCB 圖 (這時可以加一些絲印文字和圖片)，最後在透過 PCB 圖轉 Gerber 檔，就可以交件製作了!

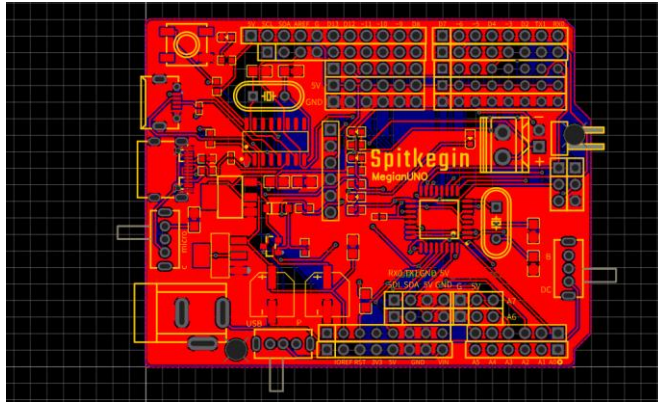
先放以前的成品圖



這是一個 ESP32 的擴展版(這次是要直接把晶片也整合進去)

再來是這次的原理圖和 PCB 圖



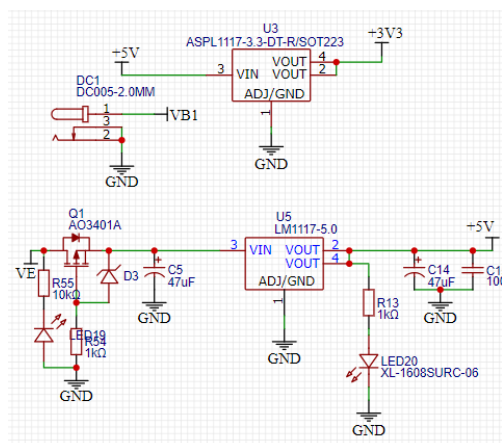


原理圖的線似乎沒有連在一起?沒錯，PCB 的線路複雜，通常會把每一種電路整理成一堆，之間再透過架設網路端口連接(常見的像 GND, VCC, 也可以自創)。轉成 PCB 圖後，需自行擺放零件、設計基板形狀、布線、鋪銅 (紅紅的那些就是，與 GND(地)連接，可降低走線干擾)，有趣的是，走線在拐彎的時候，不能程 90 度，因為其會產生大幅度的線寬變化($2^{(1/2)}$ 倍)，進而降低阻抗，而且其會在尖端產生寄生電容、寄生電感和 EMI(電磁干擾)，且不美觀。

將重點放回輔助電路的設計與改良

防反接電路改良

Arduino 原本的防反接設計是在 DC 口供電後加一顆順向壓降 0.66V 的二極體，再透過 opamp(運算放大器)與 USB 供電做比較電壓，再透過一顆 PMOS (P 通道金屬氧化半導體場效應電晶體)在兩者供電之間切換，但在 opamp 另一端是 3.3V 的電壓，DC-opamp 端又有分壓電阻，也就是說，DC 供電至少要 $3.3 \times 2 + 0.66 = 7.26(V)$ 的電壓才能使 PMOS 正常發揮工作，否則可能造成設備燒毀(板子、編程的電腦都會!)。這樣的設計使初學者常常進行錯誤的供電而導致風險，所以我對其進行了改良如下：



如圖，DC 端口在通過供電選擇(請見手動切換供電)後，抵達 VE 端，開始進行防反接，正常情況下，g 極下拉， $V_{gs} = -V_{in}$ ，電流會直接通過 PMOS 的寄生二極體抵達 LDO，其 $R_{ds(D)}$ (D 極與 S 極之阻抗)極低，損耗極小；若接反， $V_{gs} = 0$ ，寄生二極體截止，達到防反接且不產生太多壓降的效果。

增加慣用接腳

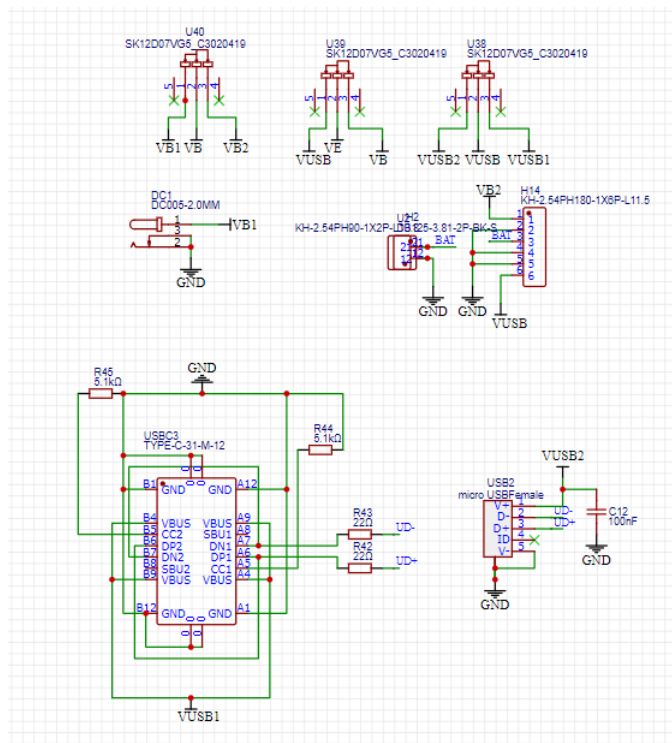
參照上面的 PCB 圖，會發現怎麼這麼多接腳啊!其實晶片上的 GPIO 跟 Arduino UNO 是一樣的，但我將一些常用訊號組引出來做額外引腳，比如 SPI、Serial、I²C 等，也另外增加每個引腳的公排針，增加使用者的彈性。

3.3v IDO 改型

Arduino 原廠使用的 3.3vLDO(線性穩壓器)的輸出電流過低，這導致許多模組(尤其是無線模組)運作不穩，我將其改成 ASPL-1117(請見防反接電路改良的圖)。

手動切換供電

上面有提到，原版使用 opamp 和 PMOS 做切換供電的方法存在隱患，所以我將整個供電系統徹底汰換，改成手動切換，並分為 DC 口、DC-DC 鋰電池、Type-C、MicroUSB 四種供電方法，並透過開關做切換

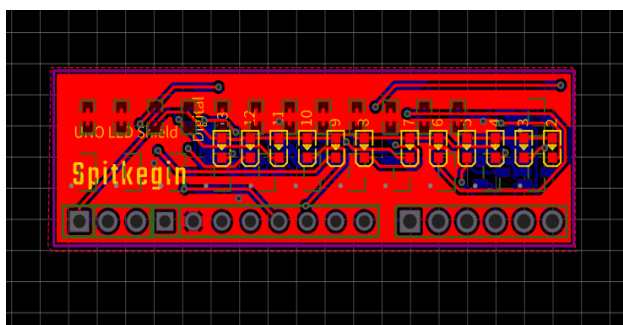
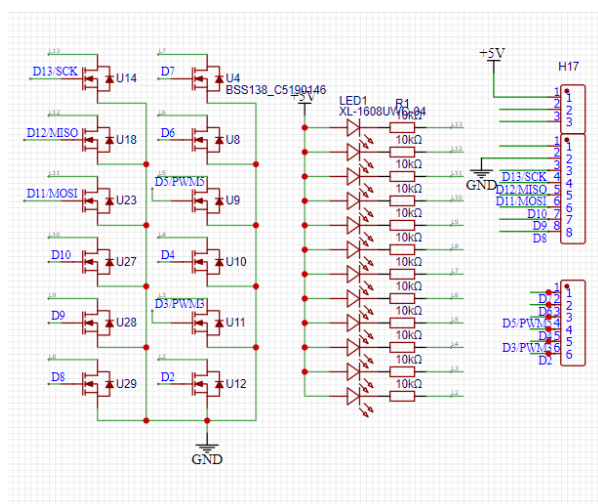


如圖，我將其切成了 VUSB 與 VB 兩種供電，而 VUSB 又分為 VUSB1(TYPE-C)與 VUSB2(Micro-USB)，而 VB 分為 VB1(DC 口，即防反接電路改良提到的)和 VB2(DC-DC 鋰電池)，USB 供電皆可做為 Serial 通訊使用，而 VB2 為鋰電池接口，通過 Boost 升壓電路模組(預留排針安裝)，且可以 USB 直接對鋰電池充電，對新手極為友善!

5. 困難與挑戰

經過一系列嚴密的設計....成品呢?事實上這個作品並沒有被實際打樣出來，原因是因為其需使用大量元件且皆為貼片元件，在設備不足(需有貼片用熱風槍或加熱台、錫膏，錫膏冰箱)的情況下，便需使用 SMT 代工服務，但這樣加總

起來的價格過於昂貴(5 片 100+USD)，導致其胎死腹中；另外，其實我額外設計了一個附加產品:GPIO 偵測模組，如圖：



當某 GPIO 有訊號時，便會開啟對應的 NMOS(N 通道金屬氧化半導體場效應電晶體)，點亮 LED，以此來檢測接觸不良、腳位異常等狀況，但為了減少模組面積，我將 12 顆 NMOS(對應 D2-D13)設計在背面，結果因其需使用雙面 SMT 技術，成本超支而胎死腹中。不過我認為，下次其實可以存錢買設備，並自行嘗試貼片焊接。

6. 心得與感悟

在這次的實作後，看到許多日常用品如手機、電腦等，深刻感受到研發人員的不易，要做出一個能完整運作且讓使用者滿意的產品，實屬艱辛。其實在這個過程中，有時我會透過實際操作來驗證我的電路架構與想法，有時會覺得，這些電子元件和電路系統也是很有個性，上一秒正常運作、下一秒罷工，這時，耐心便顯得極其重要，畢竟人類是如此之渺小，我們無法改變物理定律，只能順應著這個方向，盡力完成我們想要呈現的結果。但其實，對於一個電學愛好者而言，這也是一種磨練，一種精淬過後，閃亮而鋒利的鋒芒。