

筆者有感於大學生或研究生在學習 STM32 韌體開發上的困擾，而網路上資源零零散散，鮮少有從無到有的完整介紹書籍，市面上看到的相關中國書籍動輒都上千頁，要看完絕非易事。加上在 IT 邦幫忙的鐵人賽第 13 屆 Arm Platforms 組別幸運地獲得優選，因此有了把在鐵人賽所發的韌體教學文章寫成書的想法（文章網址：<https://ithelp.ithome.com.tw/users/20141979/ironman/4820>），本書雖然沒有一一介紹 STM32 的所有功能，但相信對剛入門的學生、或轉行的工程師是一本非常好的自學書籍。

STM32 有出 STM32CubeMX 這個幫助學習者快速建立環境的軟體，雖然能快速開發簡單的範例，但對於較深的功能或底層目前在做什麼操作，新手碰到時難免會不知所措。此書標準庫開發是從零開始到創建一個完整專案的教學，以作者的經驗學完標準庫再去接觸 STM32CubeMX 的 HAL 庫很好銜接，也能看懂 STM32CubeMX 所產生的程式碼在做什麼事，本書會一步步圖文搭配來介紹該如何從無到有的建起環境，讀者手邊的 STM32 開發版跟筆者的型號不一樣也沒關係，可用相同的方式來自學，相信讀者自己完成書中的簡單範例一定會非常有成就感。

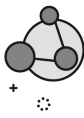
蘇昱霖

01

chapter

做一塊自己的開發板

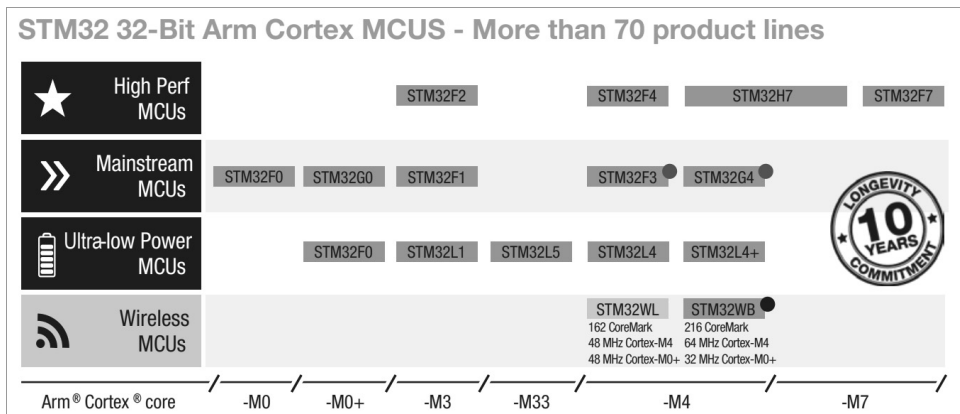




讀者在本章可以學會如何做一塊屬於自己的開發板。開發板的定義：一塊能進行嵌入式系統開發的電路板。通常開發板會將所有腳位引出來讓 MCU 能最大化的使用。搞懂開發板這是進入韌體領域的第一步，做一塊來練習是相當重要的一步。那一塊開發板需要具備哪些東西才能正常運作？以及需要了解些知識？

1.1 STM32 是什麼？

STM 是意法半導體公司的縮寫，如果把 STM32 的晶片看成一個機器人，機器人的心臟為 ARM 公司設計的，STM32 有了心臟後便可以做出完整的機器人，至於心臟要如何跟眼、手、腳做連結，可以把眼、手、腳看成是 STM32 的 GPIO、UART、ADC 等等的外部功能，32 指的是 32 位元的微控制器。STM 在學生的領域是性價比最高的 MCU，接續前一代嵌入式晶片 8051 的功能不足。下圖可以看到目前 STM 的 MCU 產品線，由左至右為 ARM Cortex 系列低到高。



(圖片來自：<https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32-32-bit-arm-cortex-mcus.html>)

這本書會講解 F0 的標準庫函式，先從最入門的 M0 架構的 MCU 開始吧。在第 2 章的暫存器開發會提到其他型號的 MCU，如電子零件行最常見 M3 架構的 stm32f103c8t6，這些和暫存器的位置查找只要讀懂一種，其他 MCU 原理都一樣。我們先來看上面提到的 MCU 型號命名的意義。



首先找一個 MCU 的 Datasheet，網址是 <https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32f030cc.html>

下載好 Datasheet 後，打開 PDF 的目錄點選 8 章節 Ordering information，會看到下圖：

STM32F030x4/x6/x8/xC
Ordering information

8 Ordering information

Example: STM32 F 030 C 6 T 6 x

Device family
STM32 = Arm-based 32-bit microcontroller

Product type
F = General-purpose

Sub-family
030 = STM32F030xx

Pin count
F = 20 pins
K = 32 pins
C = 48 pins
R = 64 pins

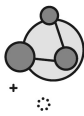
Code size
4 = 16 Kbyte of Flash memory
6 = 32 Kbyte of Flash memory
8 = 64 Kbyte of Flash memory
C = 256 Kbyte of Flash memory

Package
P = TSSOP
T = LQFP

Temperature range
6 = -40 to 85 °C

Option
xxx = programmed parts
TR = tape and reel

For a list of available options (memory, package, and so on) or for further information on any aspect of this device, please contact your nearest ST sales office.



這是訂購訊息，也就是在描述關於這顆 MCU 的型號定義。我選擇的是 stm32f030cct6，由上往下看 STM32 的定義指的是 Arm 架構的 32 位元 MCU，F 指的是通用型，030 為型號，c 指的是 48 隻腳位，再來後面的 c 表示這顆 MCU 能燒錄的 Flash memory 大小為 256Kbyte，T 指的是封裝為 LQFP。

則溫度只有一個選項 -40 to 85°C，最後一個選項是指你要購買時的包裝形式，一般使用者在購買的時候不用去考慮，這裡只有大量購買的時候才需要看，至於其他 MCU 的手冊也都是這樣看，當然 stm 官方也有整理好它們的 MCU 選型手冊，如下圖。

STM32 & STM8 产品型号(仅适用于MCU)

| | | | | | | | | |
|--------------|----------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|
| STM32 | F | 051 | R | 8 | T | 6 | X | XX |
|--------------|----------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|

家族

STM32 32位MCU / MPU
STM8 8位MCU

**特定功能
(3位数字)**
(依据产品系列
非详细列表)

STM32x ...
051 入门级
103 STM32基础型
303 103升级版, 带DSP
和模拟外设
407 高性能, 带DSP和FPU
152 超低功耗

STM8x .../STM8Ax...
103 主流入门级
F52 汽车级CAN
L31 低端汽车级

闪存容量(Kbytes)

| | |
|---|------------|
| 0 | 1 |
| 1 | 2 |
| 2 | 4 |
| 3 | 8 |
| 4 | 16 |
| 5 | 24 |
| 6 | 32 |
| 7 | 48 |
| 8 | 64 |
| 9 | 72 |
| A | 96 or 128* |
| B | 128 |
| Z | 192 |
| C | 256 |
| D | 384 |
| E | 512 |
| F | 768 |
| G | 1024 |
| H | 1536 |
| I | 2048 |

Note:
* 仅针对STM8A

封装

B Plastic DIP*
D Ceramic DIP*
G Ceramic QFP
H LFBGA /TFBGA
I UFBGA Pitch 0.5**
J UFBGA Pitch 0.8**
K UFBGA Pitch 0.85**
M Plastic SO
P TSSOP
Q Plastic QFP
T QFP
U UFQFPN
V VFQFPN
Y WLCSP

* Dual-in-Line封装
** 仅针对全新产品系列
现有产品系列请使用H

固件版权

U Universal 不用于生产
(产品和工具)
V MP3解码器
W MP3编解码器
D IS2T JAVA

产品类别

A 汽车级
F 基础型
L 超低功耗
S 标准型
WB 蓝牙及802.15.4
WL 长距离无限产品
H 高性能
G 主流型

引脚数(适用于STM8和STM32)

| | | |
|---------------|-------------|------------------------|
| D 14引脚 | C 48 & 49引脚 | A 169引脚 |
| Y 20引脚(STM8) | U 63引脚 | I 176 & 201 (176+25)引脚 |
| F 20引脚(STM32) | R 64 & 65引脚 | B 208引脚 |
| E 24 & 25引脚 | J 72引脚 | N 216引脚 |
| G 28引脚 | M 80引脚 | X 256引脚 |
| K 32引脚 | Q 80引脚 | 汽车级 |
| T 36引脚 | V 100引脚 | 8 48 |
| H 40引脚 | Q 132引脚 | 9 64 |
| S 44引脚 | Z 144引脚 | A 80 |

温度范围(°C)

6RGA -40到+ 85
7RIB -40到+ 105
3RC -40到+ 125
D -40到+ 150

选项

xxx Fastrom code
or
xTR Tape and Reel
Dxx No RTC (STM8L)
Y WLCSP
Dxx BOR OFF with Special
bonding + Boot standard
Dxx BOR OFF with
Boot I2CS (Special)
Dxx BOR OFF
Jxx BOR ON
No Letter BOR ON + Boot standard
or
Yxx Die rev (Y)

(图片来源：https://www.stmcu.org.cn/document/download/index/id-216538)

1.2 STM32 開發板製作

此處以 stm32f030cct6 的 48 pin LQFP 封裝的 MCU 來說明，在電子零件較常看到 stm32f103c8t6 這個型號的開發板原理圖也類似。首先，做一塊屬於自己的開發板要先來規劃自己需要哪些零件？最少要哪些東西才可以正常燒錄呢？可大致分為以下五個注意重點：



1. 電源
2. 重置電路
3. 震盪電路
4. BOOT 啟動模式
5. 燒入腳位

有了上述這些，基本上就能正常燒錄了，下面會針對上面這 5 點做細部介紹，也會講解我的開發板原理圖，針對 stm32f030cct6 這顆 MCU 跟 stm32f103c8t6 的開發板類似。在學嵌入式單晶片有兩樣東西一定要看懂，看不懂的去 google 翻譯或是搜尋那些單字，在這提供官方手冊的網址：
<https://www.st.com/zh/microcontrollers-microprocessors/stm32f030cc.html#>。

1. Datasheet (資料手冊) – 手冊號碼：DS9773
2. Reference manual (參考手冊) – 手冊號碼：RM0360

接下來會擷取手冊上的一些較重要的部分來說明，初學者建議先下載這兩個手冊，以下的解說要自己找過在哪才能加強印象，對於其他 MCU 也是一樣的道理，這個過程對新手來講很重要，不建議略過。

電源

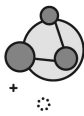
STM32 系列的 MCU 普遍工作電壓都是 3.3V 的工作電壓，每顆的 MCU 能工作電壓都不太相同，stm32f030cc 的工作電壓在 Datasheet 的 Electrical characteristics 這個章節有描述，如下圖：

6.3 Operating conditions

6.3.1 General operating conditions

Table 21. General operating conditions

| Symbol | Parameter | Conditions | Min | Max | Unit |
|-------------------|------------------------------|------------|-----|-----|------|
| f _{HCLK} | Internal AHB clock frequency | - | 0 | 48 | MHz |
| f _{PCLK} | Internal APB clock frequency | - | 0 | 48 | |
| V _{DD} | Standard operating voltage | - | 2.4 | 3.6 | V |



6.3 節的運行條件，可以看到 V_{DD} 的操作電壓可以 2.4 到 3.6 V 普遍都用 3.3 V，像 STM32L 系列的低功耗 MCU 工作條件可以到 1.8~3.6 V，但有些 I/O 口可以耐壓到 5V，有些只能耐壓到 3.3V 這在 Datasheet 裡面有表示，下圖是 stm32f030 的 Datasheet 裡 Pinouts and pin descriptions（引腳分配予說明）的截圖（Datasheet 裡的目錄：Pinouts and pin descriptions 裡的 Legend/abbreviations used in the pinout table）

| Name | Abbreviation | Definition |
|---------------|---|--|
| Pin name | Unless otherwise specified in brackets below the pin name, the pin function during and after reset is the same as the actual pin name | |
| Pin type | S | Supply pin |
| | I | Input only pin |
| | I/O | Input / output pin |
| I/O structure | FT | 5 V tolerant I/O |
| | FTf | 5 V tolerant I/O, FM+ capable |
| | TTa | 3.3 V tolerant I/O directly connected to ADC |
| | TC | Standard 3.3 V I/O |
| | B | Dedicated BOOT0 pin |
| | RST | Bidirectional reset pin with embedded weak pull-up resistor |
| Notes | Unless otherwise specified by a note, all I/Os are set as floating inputs during and after reset. | |
| Pin functions | Alternate functions | Functions selected through GPIOx_AFR registers |
| | Additional functions | Functions directly selected/enabled through peripheral registers |

可以看到上面有表示縮寫的意思，例如 FT 代表可以耐壓 5V，TC 只能耐壓到 3.3V 在 Datasheet 往下滑一頁就是引腳定義說明了。



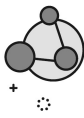
STM32F030x4/x6/x8/xC

Pinouts and pin descriptions

Table 11. STM32F030x4/6/8/C pin definitions (continued)

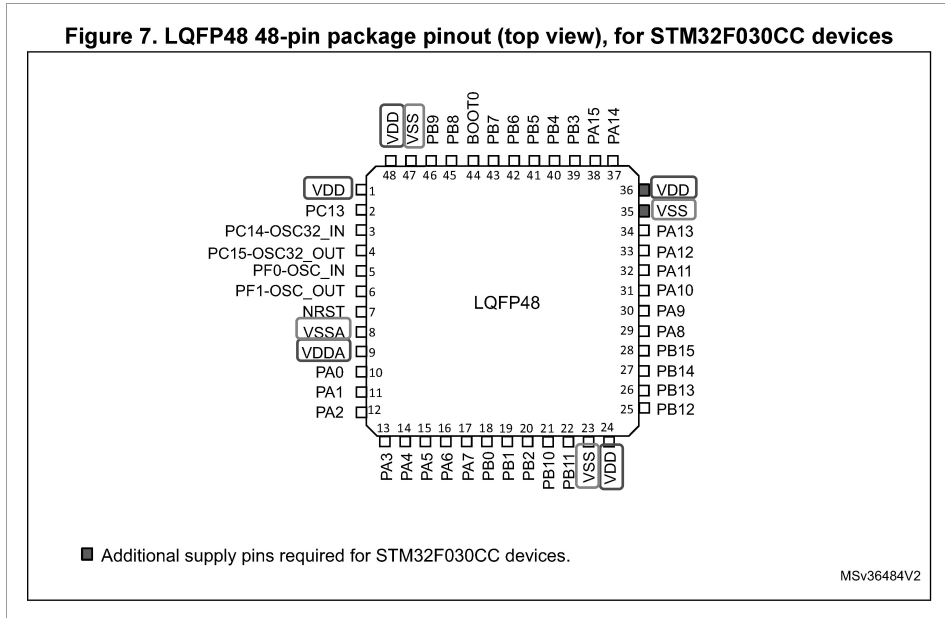
| Pin number | | | | Pin name (function after reset) | Pin type | I/O structure | Notes | Pin functions | |
|-------------------|--------|--------|---------|---------------------------------------|----------|---------------|-------|--|---------------------------------|
| LQFP64 | LQFP48 | LQFP32 | TSSOP20 | | | | | Alternate functions | Additional functions |
| 8 | - | - | - | PC0 | I/O | TTa | - | EVENTOUT, USART6_TX ⁽⁵⁾ | ADC_IN10 |
| 9 | - | - | - | PC1 | I/O | TTa | - | EVENTOUT, USART6_RX ⁽⁵⁾ | ADC_IN11 |
| 10 | - | - | - | PC2 | I/O | TTa | - | SPI2_MISO ⁽⁵⁾ , EVENTOUT | ADC_IN12 |
| 11 | - | - | - | PC3 | I/O | TTa | - | SPI2_MOSI ⁽⁵⁾ , EVENTOUT | ADC_IN13 |
| 12 | 8 | - | - | VSSA | S | - | - | Analog ground | |
| 13 | 9 | 5 | 5 | VDDA | S | - | - | Analog power supply | |
| 14 | 10 | 6 | 6 | PA0 | I/O | TTa | - | USART1_CTS ⁽²⁾ , USART2_CTS ⁽³⁾⁽⁵⁾ , USART4_TX ⁽⁵⁾ | ADC_IN0, RTC_TAMP2, WKUP1 |
| 15 | 11 | 7 | 7 | PA1 | I/O | TTa | - | USART1_RTS ⁽²⁾ , USART2_RTS ⁽³⁾⁽⁵⁾ , EVENTOUT, USART4_RX ⁽⁵⁾ | ADC_IN1 |
| 16 | 12 | 8 | 8 | PA2 | I/O | TTa | - | USART1_TX ⁽²⁾ , USART2_TX ⁽³⁾⁽⁵⁾ , TIM15_CH1 ⁽³⁾⁽⁵⁾ | ADC_IN2, WKUP4 ⁽⁵⁾ |
| 17 | 13 | 9 | 9 | PA3 | I/O | TTa | - | USART1_RX ⁽²⁾ , USART2_RX ⁽³⁾⁽⁵⁾ , TIM15_CH2 ⁽³⁾⁽⁵⁾ | ADC_IN3 |
| 18 ⁽⁴⁾ | - | - | - | PF4 | I/O | FT | (4) | EVENTOUT | - |
| 18 ⁽⁵⁾ | - | - | - | VSS | S | - | (5) | Ground | |
| 19 ⁽⁴⁾ | - | - | - | PF5 | I/O | FT | (4) | EVENTOUT | - |
| 19 ⁽⁵⁾ | - | - | - | VDD | - | - | (5) | Complementary power supply | |

看到直行的部分，目前使用的 `stm32f030cc` 是 48pin 的 MCU，所以引腳定義只需要看這欄對應往右的資訊（列），可以看到右半部有很多腳位的縮寫還有描述腳位擁有的功能，例如 LQFP48 的第 11 腳，腳位名稱為 PA1、I/O 的類型為 GPIO（通用的輸入輸出口）、引腳型態為 TTa。這裡拉回上一張圖，可以看到 TTa 的定義為 3.3 V 上限電壓 I/O 直接連接到

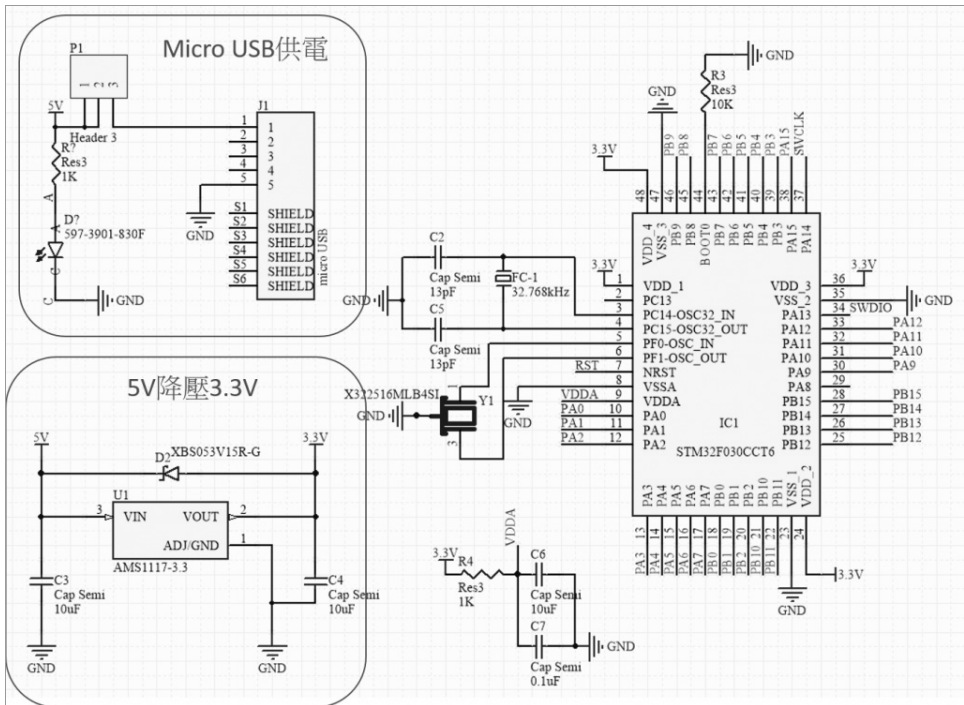


ADC，在後面就是那隻腳位可以開啟的功能有 USART1、2、4 的其中腳位，也可復用成 ADC 功能。

接者要來查詢 MCU 的電源和接地腳在哪，可以利用上圖來做查詢，但有更快的方法。一樣在 Datasheet 的第 4 章 Pinouts and pin descriptions 裡可以找到這一張圖，可以看出所有腳位的名稱。



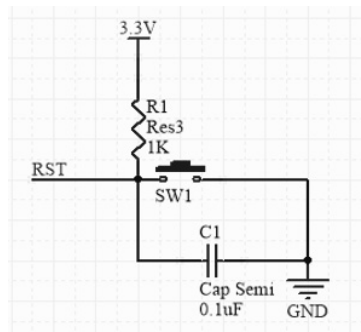
上圖已將所有的電源腳位和接地腳位框起來，VDDA 和 VSSA 這兩個代表是類比電壓跟類比接地，用途是供給內部 ADC 的參考電壓。筆者建議在 3.3V 電源供應進去前加上 LC 濾波電路後再接入 VDDA，以防雜訊干擾導致 ADC 測量失準，而電子零件行常看到的 stm32f103c8t6 開發板也是掛一個磁珠（電感），這主要是讓輸入的電流固定不隨意抖動，下圖原理圖 R4 電阻需當作電感，接者看筆者所做的開發版供電原理圖：

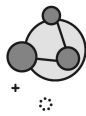


上圖為筆者所自己設計開發板，左半邊有兩個框起處為電源供應的部分，使用常見的 Micro USB 做為供電 5V 輸入，5V 輸入後在經過 AMS1117-3.3 這類穩壓器降至 3.3V，再供給 MCU。

重置電路

在 STM32F030CC 的 Datasheet 裡，6.3.15 有提到 MCU 的 NRST 的腳位內部為上拉 Vcc，可知重啟 MCU 需要將 NRST 拉 GND 後再回 VCC 就可重啟，利用個按鈕來完成此動作，原理圖如右：





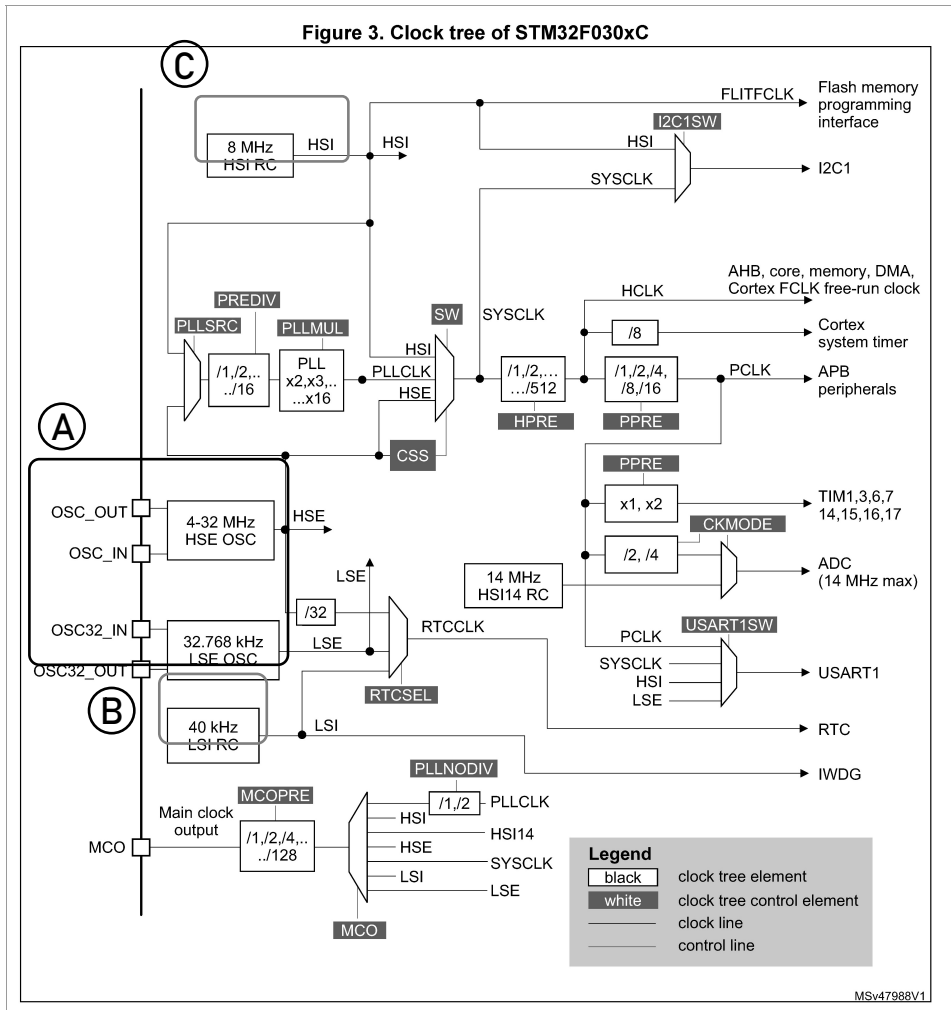
會有個按鈕並聯電容是為了要消除按鍵機械上的彈跳。簡單來說是做個小延時來度過前面的不穩定狀態，不加入電容的話按下去瞬間會多次 high、low，想深入了解的話可以去查看基本電學裡的 RC 充放電，電阻 R 就像水管，C 就像水桶，電流就像水，水桶越大就需要更多時間去放滿水，所以電容越大延時就越長，電阻越大則代表水管能通過的水量會減少就會加長裝滿水的時間。

震盪電路

MCU 可以接兩個外部時鐘可以掛載，一個低速時鐘另一個則是高速時鐘，都不使用也可以就是用 MCU 內部的震盪器，MCU 要有震盪才能工作，內部是由電阻和電容組成的震盪器，電阻電容會隨著溫度變化而產生變化，假設確定使用的環境溫度變化不大，可以考慮使用內部的震盪器，此優點可以減少外部的使用空間。因震盪腳位也可以當一般 GPIO 使用，相反地在溫度變化大的環境還是接外部震盪器會比較準確，各個製作 MCU 廠商大多都有出校準內部震盪器的應用手冊，所以溫度變化不大、要求不嚴格的話，不妨使用內部震盪器吧！省錢又省空間。

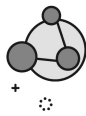
- ◆ 低速時鐘：最常見的功能是作為實時時鐘（RTC）來算精準的計時 1 秒鐘，最準的頻率是 32.768 KHz。
- ◆ 高速時鐘：給總線上控制所有功能通道用的，例如時鐘預設是接 8 MHz。

這兩個外部接石因震盪都有設一定範圍，不是想接多少就可以隨便接，這部分相關資料在 Datasheet 裡的時鐘樹有提到，在目錄的 Functional overview（功能概覽）裡的 Clocks and startup（時鐘樹）裡會看到下圖：



上圖 A 部分，是這 MCU 的高速和低速的外部時鐘接口，外接高速能配置到 4 到 32 MHz 這範圍外都會造成 MCU 工作不正常或不能燒入，但預設都是 8M，假如接 16M 就需要在程式上除頻來修改到符合低於或包含最高頻率。

再看 B 部分，內部也有低速 (B) 跟高速 (C) 時鐘，所以不接外部震盪器也可以使用，但內部的低速是 40 KHz，假如要精準地跑 1 秒的延時，32.768k 是最精準的，可以看到內部時鐘樹裡低速震盪電路主要是用在 2 個進階功能—①watchdog (看門狗)、②Real-time clock (實時時鐘)。看門口



主要功能是檢測程式運行時有沒有異常的執行時間，有的話可以讓 MCU 重啟；實時時鐘則是計數秒分時的時間。

BOOT 啟動模式

BOOT 腳位在對應的 Datasheet 裡的引腳定義表格中，可以查詢到截圖如下：

Table 11. STM32F030x4/6/8/C pin definitions (continued)

| D | Pin number | | | | Pin name (function after reset) | Pin type | I/O structure | Notes | Pin functions | |
|---|------------|--------|--------|---------|---------------------------------------|----------|---------------|----------------|---|----------------------|
| | LQFP64 | LQFP48 | LQFP32 | TSSOP20 | | | | | Alternate functions | Additional functions |
| | 58 | 42 | 29 | - | PB6 | I/O | FTf | - | I2C1_SCL, USART1_TX, TIM16_CH1N | - |
| | 59 | 43 | 30 | - | PB7 | I/O | FTf | - | I2C1_SDA, USART1_RX, TIM17_CH1N, USART4_CTS ⁽⁵⁾ | - |
| E | 60 | 44 | 31 | 1 | BOOT0 | I | B | - | Boot memory selection | |
| | 61 | 45 | - | - | PB8 | I/O | FTf | ⁽⁶⁾ | I2C1_SCL, TIM16_CH1 | - |
| | 62 | 46 | - | - | PB9 | I/O | FTf | - | I2C1_SDA, IR_OUT, SPI2_NSS ⁽⁵⁾ , TIM17_CH1, EVENTOUT | - |
| | 63 | 47 | 32 | 15 | VSS | S | - | - | Ground | |
| | 64 | 48 | 1 | 16 | VDD | S | - | - | Digital power supply | |

看到上圖的 D 處為筆者對應的 MCU 腳位數目，以這個沿著看到第 44 腳 E 處為 BOOT 腳，這是指燒錄好程式後，重新啟動晶片時 SYSCLK 的第 4 個上升沿，BOOT 引腳的值將被鎖存。使用者可以透過設定 BOOT1 和 BOOT0 引腳的狀態來選擇在復位後的啟動模式，此處以 stm32f030cc 為例只有 BOOT0，至於要設為何種啟動模式，打開 Reference manual（參考手冊），目錄的第二章 System and memory overview（系統和記憶體概述）裡的第 5 節 Boot configuration（開機配置），可以看到以下說明開機模式的圖表：



2.5 Boot configuration

In the STM32F0x0, three different boot modes can be selected through the BOOT0 pin and boot configuration bits nBOOT1 in the User option byte, as shown in the following table.

Table 3. Boot modes

| Boot mode configuration | | Mode |
|-------------------------|-----------|---|
| nBOOT1 bit | BOOT0 pin | |
| x | 0 | Main Flash memory is selected as boot area ⁽¹⁾ |
| 1 | 1 | System memory is selected as boot area |
| 0 | 1 | Embedded SRAM is selected as boot area |

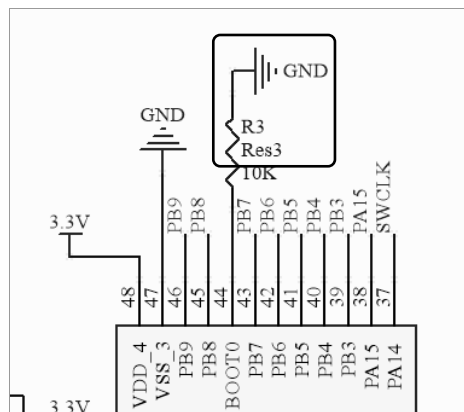
1. For STM32F070x6 and STM32F030xC devices, see also Empty check description.

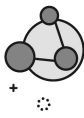
The boot mode configuration is latched on the 4th rising edge of SYSCLK after a reset. It is up to the user to set boot mode configuration related to the required boot mode.

The boot mode configuration is also re-sampled when exiting from Standby mode. Consequently they must be kept in the required Boot mode configuration in Standby mode. After this startup delay has elapsed, the CPU fetches the top-of-stack value from address 0x0000 0000, then starts code execution from the boot memory at 0x0000 0004.

Depending on the selected boot mode, main Flash memory, system memory or SRAM is accessible as follows:

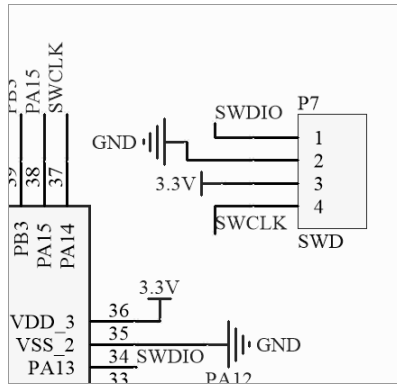
其實這些手冊裡都有非常詳細的英文說明，有些型號官方有翻譯成簡體，例如 stm32f4 系列的 MCU 會有翻譯版本，但中譯版存在些許的錯誤，因此還是建議讀者以英文版本為主。因 stm32f030cc 這顆 MCU 只有 BOOT0 的腳位，比較常使用的是 Main Flash memory，我們將撰寫好的程式燒入置 MCU 內部的 Flash 記憶體，重啟也是從這裡讀取程式，斷電也不會丟失程式碼。原理圖如下：





燒入腳位

主要燒錄腳兩隻 SWCLK(Pin37)跟 SWDIO(Pin34)，有這兩隻還有燒錄器的 GND 要跟 MCU 共地就可燒錄了，原理圖如下：



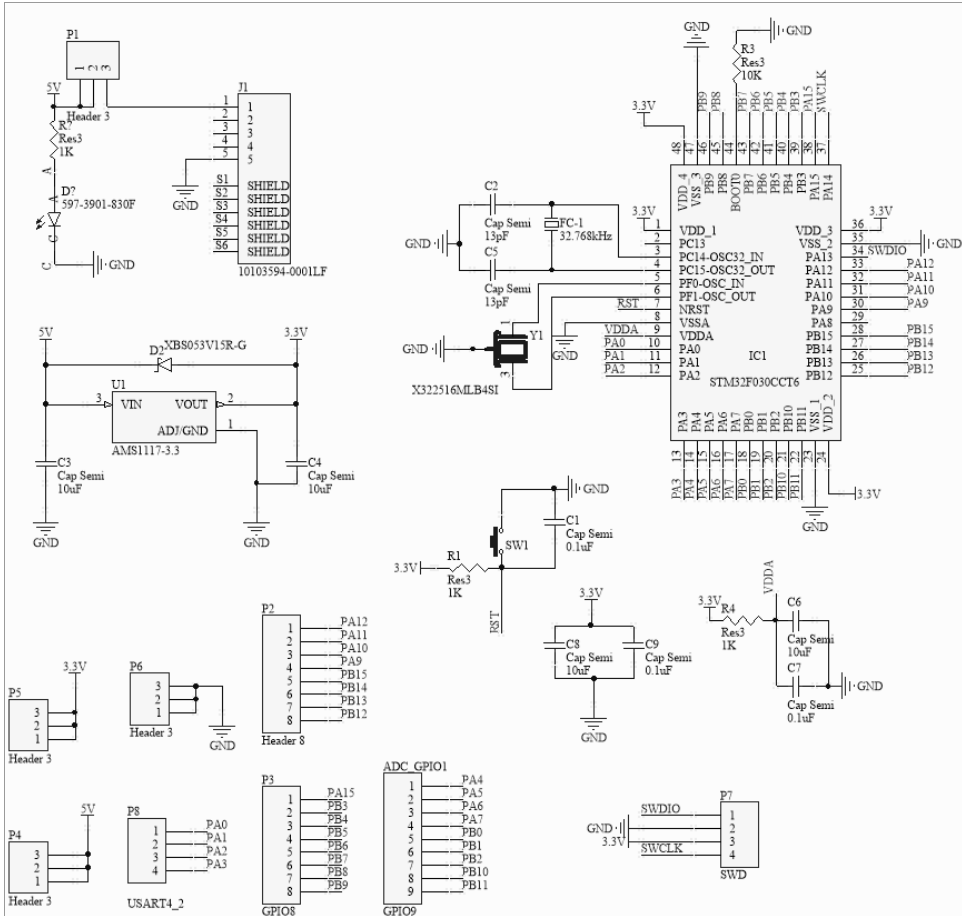
看到上圖把燒錄腳（SWDIO、SWCLK）、GND、3.3V 引出來用，就可以用燒入器來做燒入了。燒錄器一般電子零件行大多有賣，電子零件行找 ST-Link V2 燒錄器，價位大約是一百多元。



上圖這個燒錄算是仿製品，以穩定度來說絕對不如 STM32 原廠所製作燒錄器，如果讀者條件允許的話，還是建議購買原廠的燒錄器，有二代的 ST link V2、三代的 ST link V3，價格約為 600、1,100 元左右。



有了這些基本上就能動作了，最後附上筆者完整的原理圖、PCB 圖、實體圖。



完整開發版原理圖