

串列埠 I²C 介面控制實習

本章單元

- 串列埠 I²C 介面控制實習
- I²C 介面應用實習(LCD、OLED、EEPROM、電流檢測)

MG32x02z 系列內含有兩組積體電路介面電路(I²C : Inter-Integrated Circuit)匯流排(Wire)和外部通信。開發板 TH244A 有兩組 I²C 接腳 D20(SCL0)、D21(SDA0)及 D22(SCL1)、D23(SDA1)，如下圖(a)(b)所示：

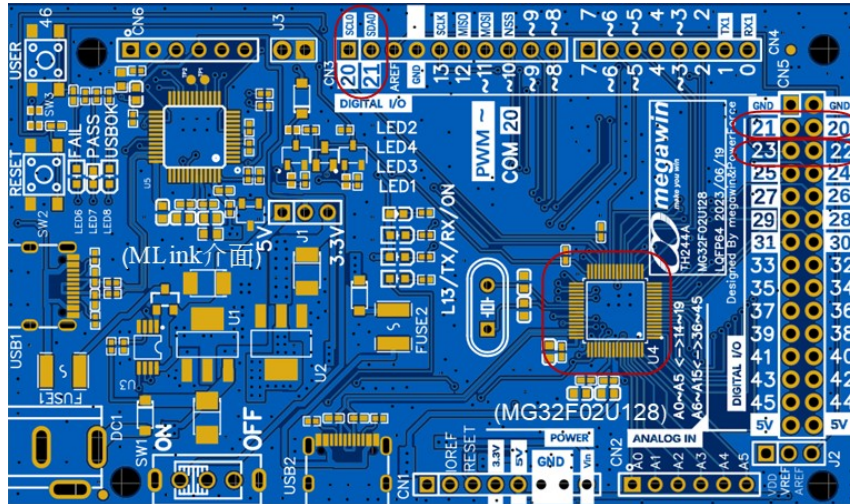
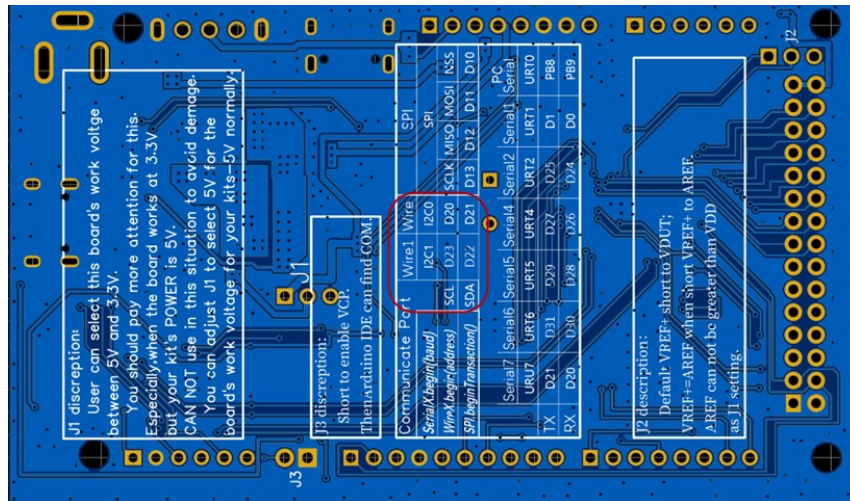


圖 9-1(a) 開發板 TH244A 正面 I²C 接腳位置



9-1 串列埠 I²C 介面控制實習

MG32x02z 內含串列埠積體電路匯流排(I²C: Inter-Integrated Circuit)介面兩組可連接 I²C 介面的晶片，如串列 RAM、串列 EEPROM、DIO、ADC、DAC、LCD、CCD、RTC 或其它 MCU 等。

I²C 使用二條線即可連接所有的 I²C 介面晶片，進行全雙工同步資料傳送工作，如下圖所示：

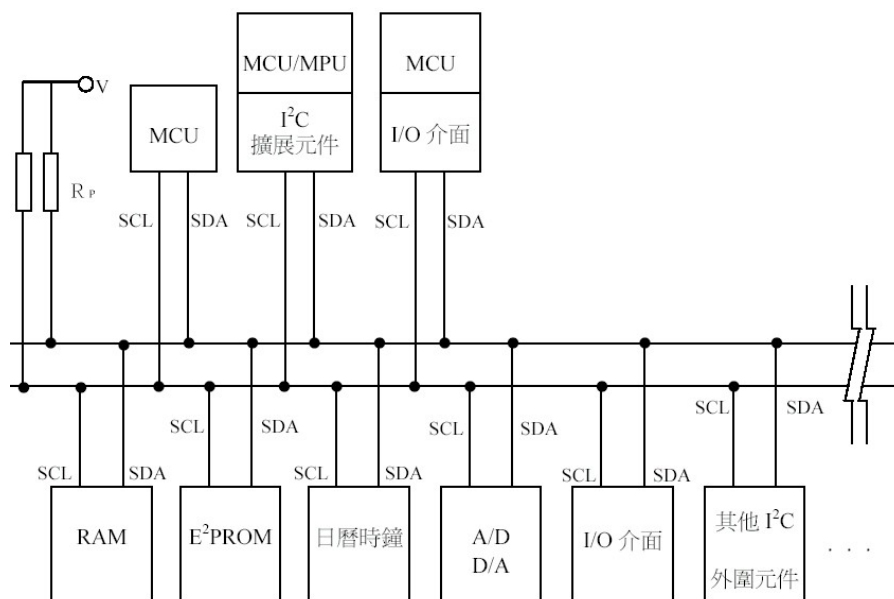


圖 9-2 I²C 工作圖

MG32x02z 的 I²C 模組特性如下：

- ◎ 標準 I²C BUS 接腳，僅以二條線即可進行全雙工同步資料傳送。
- ◎ 可程式化的傳輸速率，在同一條 BUS 上可進行不同速率的傳輸。
- ◎ 可設置為 Master(主)、Slave(從)或 Master/Slave 來進行雙向傳輸，同時 Master 可控制 Slave 的啟動及關閉，最多可外接 128(8-bit)或 1024(10-bit)個 Slave(從)

元件(device)。

- ◎ 允許多個 Master(主)同時傳輸，彼此之間可進行協調，避免衝突。
- ◎ 提供可規劃時脈速率控制。
- ◎ 應用於主(master)模式時，提供可規劃的時脈頻率控制。
- ◎ 應用於從(slave)模式時，提供從時模式的時脈延長(stretching)功能。
- ◎ 提供廣播(general call)功能及提供多主(master)機處理能力。
- ◎ 提供緩衝器(Buffer)模式，有 4-byte 資料緩衝器和 32-bit 資料暫存器，可用於高速傳輸。
- ◎ 可透過 DMA 功能進行接收和發送的資料緩衝。
- ◎ 提供 SMBus 超時(timeout)檢測。
- ◎ 提供 2 組完全相同的 I²C 模組(I2C0、I2C1)。如下表(a)(b)所示：

表 9-1(a) MG32F02U128AD64 與 TH244A 開發板 I²C 接腳

MCU 接腳名稱	開發板接腳名稱	MCU 接腳名稱	開發板接腳名稱
PB3 /SCL0/RX7	D20	PC11/SDA1	D22
PB2 / SDA0/TX7	D21	PC10/SCL1	D23

表 9-1(b) 串列埠 I²C 接腳說明

信號腳	IO	說明	信號腳	IO	說明
SDA	IO	I ² C-bus 串列資料/位址	SCL	IO	I ² C-bus 同步時脈信號

9-1.1 串列埠 I²C 介面控制(初學者可省略)

MG32x02z 系列的 I²C 模組功能，如下表(a)(b)所示：

表 9-2(a) MG32x02z 系列 I²C 模組功能(1)

Module Functions	Chip	MG32F02A032	MG32F02A128 MG32F02U128 MG32F02A064 MG32F02U064	Comment
		I2C0	I2C0/1	
Master mode		yes	yes	
Slave mode		yes	yes	
Multi-Master		yes	yes	for Byte mode only
General call		yes	yes	command support - Reset , Write programmable slave address , Master address decode
Multi-Slave Address		2 sets	2 sets	
Data Byte mode		yes	yes	8bit shift buffer + 8bit data register; Software flow control mode
Data Buffer mode		yes	yes	8bit shift buffer + 32bit shadow buffer + 32bit data register
Shadow Buffer		4-byte	4-byte	internal data control buffer
Standard/Fast mode		yes	yes	
Fast mode plus (1M/s)		yes	yes	support for Buffer and DMA mode
Built-in pre-drive high		yes	yes	pre-drive both SCL and SDA by hardware
SCL stretching		optional	optional	ACK cycle SCL stretching; hardware high level checking
Address detect wake up		yes	yes	slave address detect and wake up on STOP mode
TX NACK ignore		yes	yes	master TX ignore receiving NACK for Buffer mode

表 9-2(b) MG32x02z 系列 I²C 模組功能(2)

Module Functions	Chip	MG32F02A032	MG32F02A128 MG32F02U128 MG32F02A064 MG32F02U064	Comment
		I2C0	I2C0/1	
Slave address mask		yes	yes	support slave address mask register
Programmable SCL High/Low time		yes	yes	
SCL/SDA input filter		by IO Control	by IO Control	
SCL/SDA input Schmitt trigger		by IO Control	by IO Control	
Time-out detect		yes	yes	SMBus timeout, Detect SCL low or SCL/SDA both high timeout
Arbitration lost detect		yes	yes	for Multi-Master mode
Bus error detect		yes	yes	Bit-count mismatch error before valid 'Start' or 'Stop'; Data change between SCL high
Invalid NACK detect		yes	yes	
Data overrun detect		yes	yes	for SCL clock stretching disabled
DMA request capability		yes	yes	
SCL stretching		optional	optional	ACK cycle SCL stretching; hardware high level checking
Address detect wake up		yes	yes	slave address detect and wake up on STOP mode
TX NACK ignore		yes	yes	master TX ignore receiving NACK for Buffer mode

1. I²C 模組一般特性如下：

- (1) 具有握手式(handshake)控制的功能。
- (2) 具有監測(Monitor)功能，可觀察 I²C 的通訊工作。
- (3) I²C 的傳送速率分為三種：標準(Standard)模式為 100K-bps(預定)、快速(Fast)模式為 400K-bps 及高速模式(Fast-mode Plus)為 1M-bps。
- (4) I²C Bus 的介面大部份為開集極(Open collector)輸出，故需在 SCL 及 SDA 線上外加 10K Ω 的提升電阻(R_p)提供電壓。
- (5) 每個 I²C 介面 IC 可以使用獨立電源，但須共地。
- (6) 在 SDA 腳每傳輸 1-bit 資料(data)或位址(address)，會由 SCL 腳輸出一個時脈(clock)信號，此兩腳都是雙向傳輸。
- (7) 平時沒有資料傳輸時，SDA 和 SCL 為高準位狀態。只有關閉 I²C Bus 後，才會使 SCL 為低準位。
- (8) 資料傳輸時，在 SCL=1 期間，SDA 腳的資料準位須保持穩定。只有在 SCL=0 時，SDA 腳的準位才允許變化，如下圖所示：

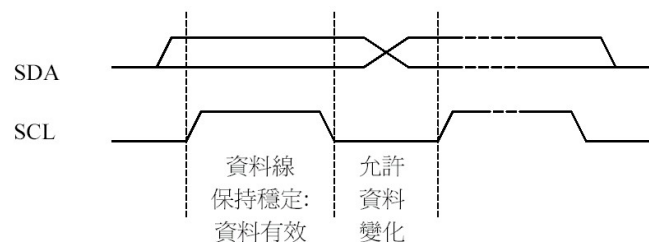
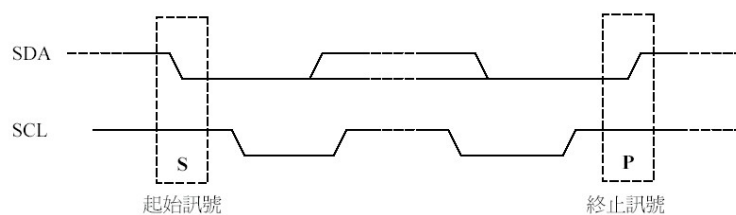
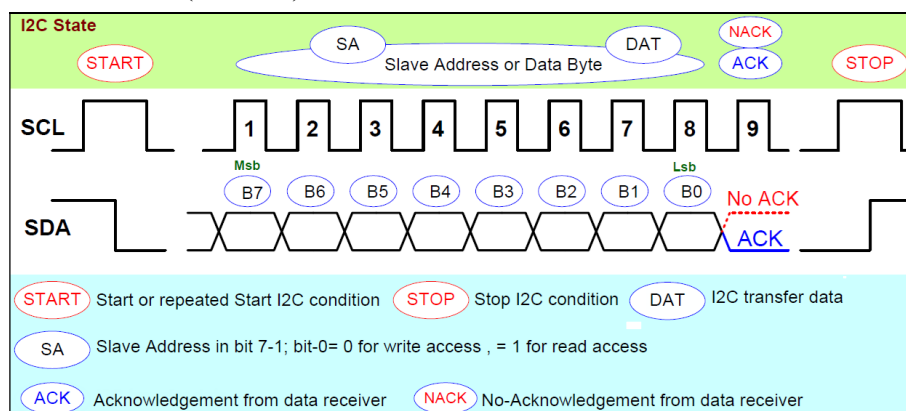


圖 9-3 I²C 資料位元

- (9) 在 SCL=1 期間，若是 SDA 準位有負緣變化，表示為起始訊號。若是 SDA 準位有正緣變化，表示為終止(停止)訊號，如下圖所示：

圖 9-4 I²C 的起始與終止位元

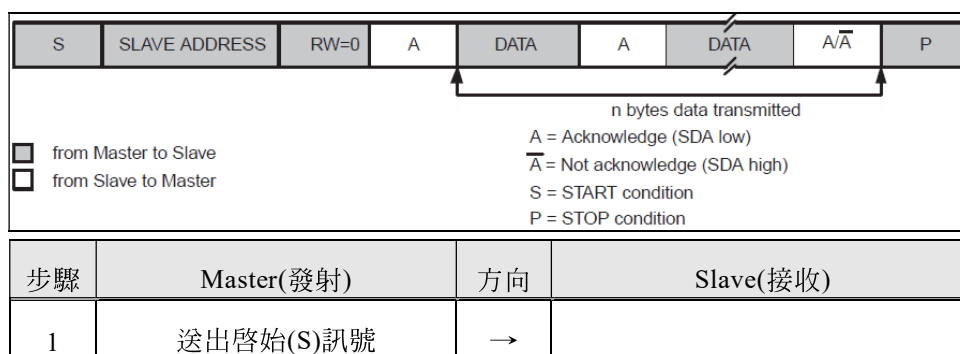
2. I²C 的通訊協定(Protocol)，如下圖所示：

圖 9-5 I²C 的基本通訊協定(Protocol)

3. I²C 介面資料傳輸：有 Master 發射、Master 接收、Slave 發射及 Slave 接收。

(1) Master 發射/Slave 接收模式：Master 發射資料到 Slave 的步驟，如下表所示：

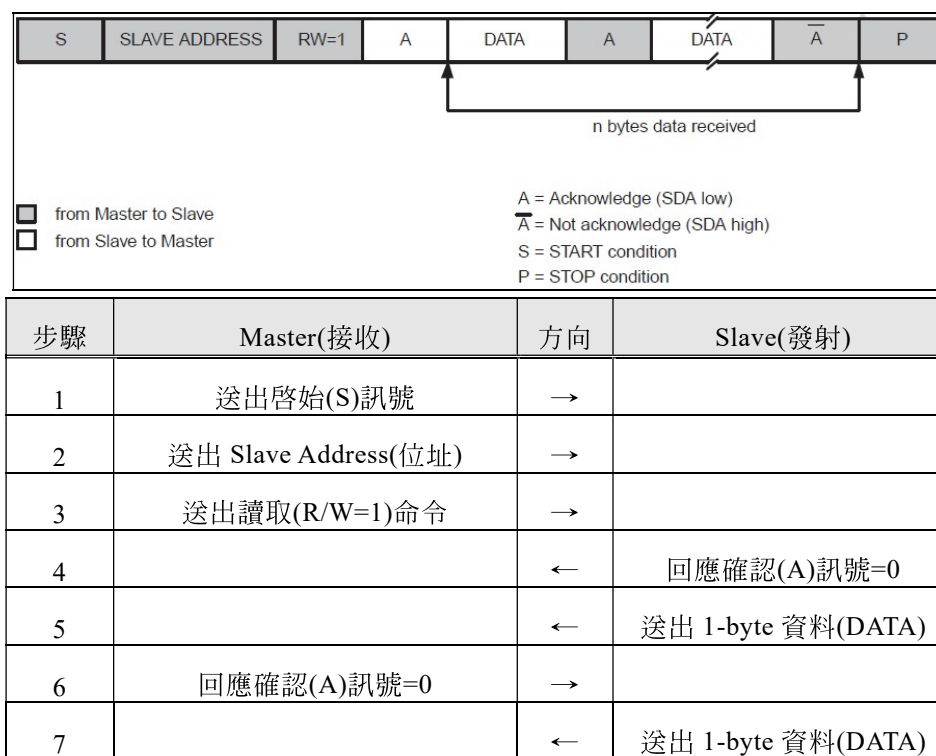
表 9-3 Master 發射/Slave 接收模式



2	送出 9-bit 的 Slave 位址	→	
3	送出寫入(R/W=0)命令	→	
4		←	回應確認(A)訊號=0
5	送出 1-byte 資料(DATA)	→	
6		←	回應確認(A)訊號=0
7	送出 1-byte 資料(DATA)	→	
8		←	回應非確認(/A)訊號=1(結束)
9	送出停止(P)訊號	→	

(2) Master 接收/Slave 發射模式：Master 接收的 Slave 資料步驟，如下表所示：

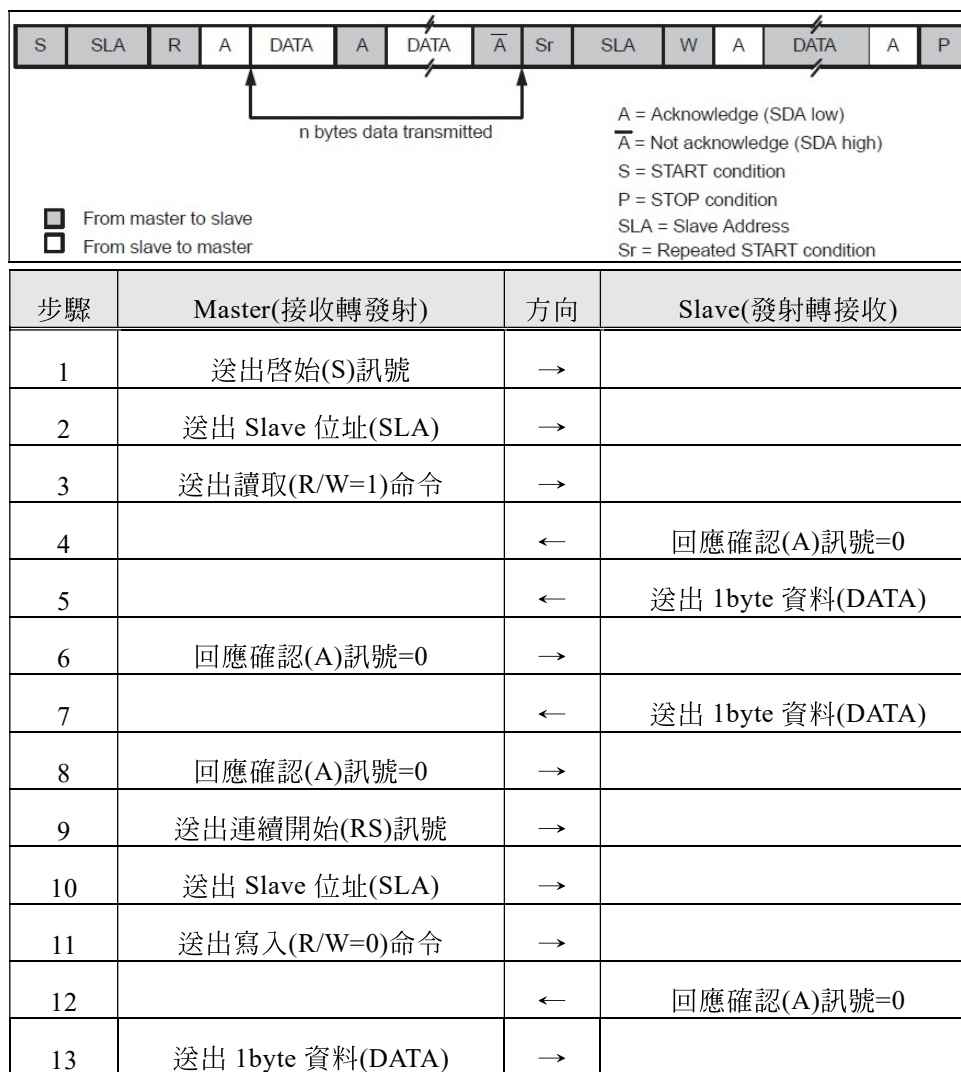
表 9-4 Master 接收/Slave 發射模式



8	回應非確認(/A)訊號=1(送完)	→	
9	送出停止(P)訊號	→	

(3) Master 由接收模式轉為發射模式：步驟由左至右，如下表所示：

表 9-5 Master 由接收模式轉為發射模式



14		←	回應確認(A)訊號=0
15	送出停止(P)訊號	→	

9-1.2 I²C 介面傳輸實習

Arduino 專用 I²C 於函數庫(Wire.h)如下表所示：

表 9-6 串列埠 I²C 函數庫

Wire 庫常用函數	基礎說明
Wire.begin() ； Wire.begin(address)	初始化匯流排
Wire.onReceive(receiveEvent)	註冊 I ² C 事件。從機回應主機發送資料請求 主機寫入和發送，從機接收和讀取
Wire.onRequest(requestEvent)	註冊 I ² C 事件。主機請求從機發送資料 主機接收和讀取，從機寫入和發送
Wire.requestFrom(address,quantity)	配合主機 Wire.onRequest(requestEvent)資料 請求使用。表示主機向特定位址從機請求特 定長度位元組的資料。
Wire.available()	主機通過 Wire.requestFrom()請求從機資料 後，主機可以使用 Wire.available () 接受當 前接收緩存中存在的資料的位元組數；使用 Wire.read () 逐個位元組讀取後，Wire.available () 返回值遞減； 從機通過 Wire.onReceive(receiveEvent)回應 主機發送資料，從機可以使用 Wire.available () 接受當前接收緩存中存在的資料的位元 組數；使用 Wire.read () 逐個位元組讀取後， Wire.available () 返回值遞減；
Wire.read()	主機或者從機接收到資料後，可以使用

	Wire.read()按位元組讀取緩存的資料；一般結合 Wire.available () 使用；
Wire.onRequest(requestEvent) , Wire.requestFrom(address,quantity) , Wire.available() , Wire.read() 一般主機請求從機資料，都會結合這幾個函數使用；	
Wire.beginTransmission(address)	往發送緩存傳輸一個開始字元，並指定接受資料的從機位址。一般結合 Wire.write()使用。
Wire.write(value) Wire.write(string) Wire.write(data, length)	向緩存發送資料，可以是字串、數位、或者指定資料指定長度部分。
Wire.endTransmission() Wire.endTransmission(stop)	完成主機到從機的傳輸過程。 結束由 Wire.beginTransmission()開始， 由 Wire.write()排列的從機傳輸過程。
主機發送一般按照如下幾個函數一次進行： Wire.beginTransmission(address) 、 Wire.write() 、 Wire.endTransmission()	

開發板 TH244A 預設 SCL 腳的工作頻率為 100KHz，且在 SDA 和 SCL 沒有設計提升(pull up)電阻，所以在使用 I²C 通信時必須加上提升(pull up)電阻 10K，才能保證穩定可靠的通信。I²C 介面串列傳輸實習電路如下圖所示：

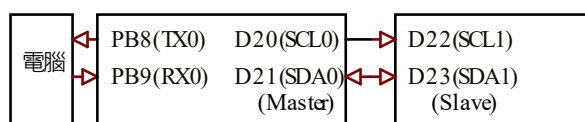


圖 9-6 I²C 介面串列傳輸實習電路

1. 範例 I2C1：I²C 自我傳輸控制，主機 I2C0 發射計數值給從機 SCL1，在序列監控窗顯示。

9-2 串列埠 I²C 介面應用實習

本章介紹 I²C 介面應用實習有 LCD、OLED、EEPROM 及電流檢測(INA322)，如下：

9-2.1 I²C 介面 LCD 應用實習

多功能實習板的 I²C 介面內含有提升電阻，只要將 I²C 介面的 LCD 顯示器連接 J37(GND、VCC、SDA、SCL)及開發板 TH244A 的 D20(SCL0)、D21(SDA0)連接 J45(SCL、SDA)即可，如下圖及下表所示。



圖 9-7 I²C 介面 LCD 顯示器外型及接腳圖

表 9-7 I²C 介面 LCD 顯示器接腳

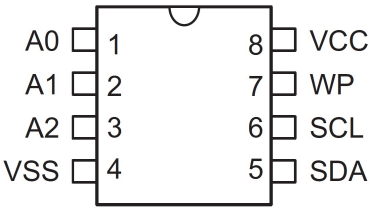
LCD 1602 I2C 模組	實習板(J37)	實習板(J45)	開發板 TH244A
GND	GND		
5V	VCC		
SDA	SDA	SDA	D21(SDA0)
SCL	SCL	SCL)	D20(SCL0)

1. 範例 I2C_LCD1：以串列 I²C 介面控制 LCD,在文字型 LCM 顯示文字。
2. 範例 I2C_LCD2：由序列監控窗輸入字串，在串列 I²C 介面 LCD 顯示。
3. 範例 I2C_LCD3：由序列監控窗輸入字串，在串列 I²C 介面 LCD 顯示。
4. 範例 I2C_LCD4：在串列 I²C 介面 LCD 顯示字串及造字圖形。
5. 範例 I2C_LCD5：I²C_LCD 顯示字串及設定 LCD 動作。

9-2.2 I²C 介面 EEPROM 應用實習

I²C 介面 EEPROM 24LC16，表示它的記憶容量為 16384-bit，以 byte 來計算 $16384/8=2048\text{-byte}$ ，包裝以 SOIC 為例其接腳，如下表所示：

表 9-8 24LC16 接腳

零件接腳	腳名	說明
	VCC	電源電壓 2.2V~5.5V
	WP	0=無寫入保護，1=寫入保護
	SDA	I ² C-bus 串列資料/位址
	SCL	I ² C-bus 同步時脈信號
	A0~A2	裝置(device)從(slave)位址
	VSS	電源地線

- ◎ 非揮發性(Non-volatile)記憶體：可永久保留記憶內容，總容量為 2048-byte。
- ◎ I²C 介面：由 SCL(串列時脈)及 SDA(串列資料)來存取其記憶體。
- ◎ 低功耗功率：正常操作=5mA，待機省電模式=2uA。
- ◎ 高速的寫入週期時間=5ms，在寫入之前會自動清除記憶體。
- ◎ 寫入操作分為：byte 寫入及 32-byte 頁寫入模式，可重覆寫入 1,000,000 次。
- ◎ 讀取操作分為：循序(Sequential)讀取及隨機(Random)讀取。
- ◎ 可用硬體接腳(WP)設定寫入無保護(WP=0)或有保護(WP=1)。
- ◎ 低功耗 CMOS 技術，工作電壓：2.2V~5.5V，內含開機重置功能。
- ◎ 工作時脈頻率範圍：0~400KHz。

1. I²C 介面串列 EEPROM 資料傳輸，24LC16 內部的結構，如下圖所示：

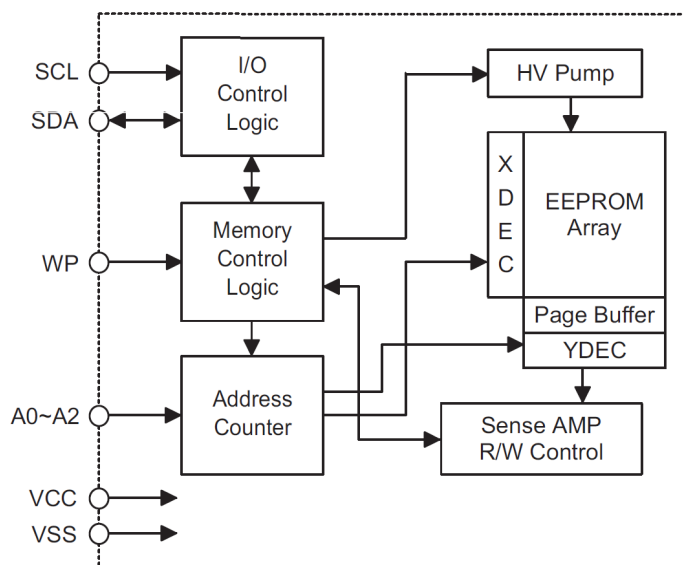


圖 9-8 24LC16 結構圖

24LC16 串列 EEPROM 資料傳輸方式，如下所示：

- (1) 元件(Device)位址設定，包括頁(Page)位址(P0~P2)在內，如下：



- (2) byte 寫入操作模式：，如下圖及下表所示：

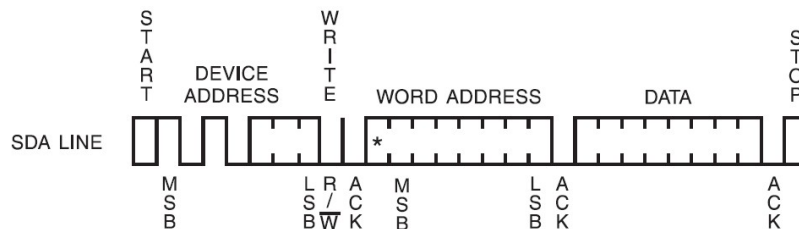


圖 9-9 byte 寫入操作模式

表 9-9 byte 寫入操作步驟

步驟	Master(MCU)	方向	Slave(EEPROM)
1	送出啓始(START)訊號	→	
2	送出元件(DEVICE)位址=1010xxx	→	
3	送出寫入(R/W=0)命令	→	
4		←	回應確認(ACK)=0
5	送記憶體位址	→	
6		←	回應確認(ACK)=0
7	寫入資料(Data)，位址自動遞加	→	
8		←	回應確認(ACK)=0
9	送出停止(STOP)訊號	→	

(3) 頁寫入操作模式：有位址自動遞加功能，如下圖所示：

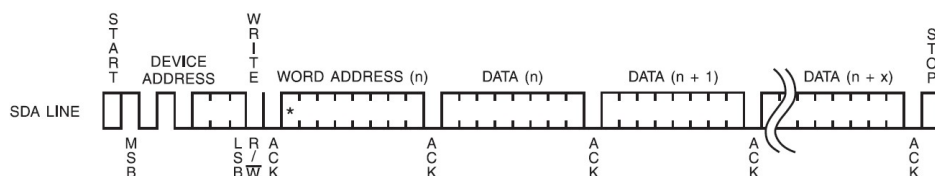


圖 9-10 頁寫入操作模式

(4) 循序(Sequential)讀取步驟，送出元件位址(Device Address)後，將 2-byte 記憶體位址(Word Address)由 0 開始讀取依序讀取資料，如下圖及下表：

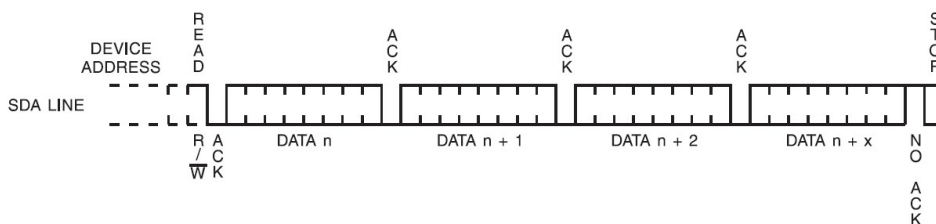


圖 9-11 循序讀取步驟

表 9-10 循序讀取步驟

步驟	Master(MCU)	方向	Slave(EEPROM)
1~7	寫入元件及區塊位址(同上)		
8	再送出啓始(START)訊號	→	
9	送出元件(DEVICE)位址	→	
10	送出讀取(R/W=1)命令	→	
11		←	回應確認(ACK)=0
12		←	讀取 1-byte 資料
13	回應確認(ACK)=0	→	
14		←	讀取最後 1-byte 資料
15	回應結束(NO ACK)=1	→	
16	送出停止(STOP)訊號	→	

(5) 讀取目前位址：驟如下圖及下表所示：

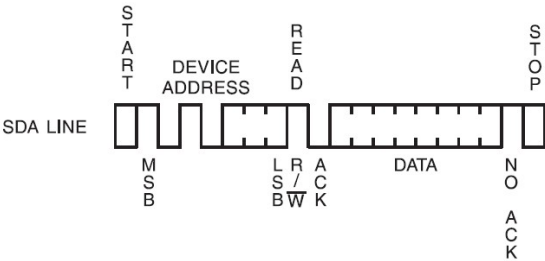


圖 9-12 讀取目前位址步驟

表 9-11 讀取目前位址步驟

步驟	Master(MCU)	方向	Slave(EEPROM)
1	送出啓始(START)訊號	→	
2	送出元件(DEVICE)位址	→	

3	送出讀取(R/W=1)命令	→	
4		←	回應確認(ACK)=0
5		←	讀取目前記憶體(DATA)位址
6	回應結束(NO ACK)=1	→	
7	送出停止(STOP)訊號	→	

(6) 隨機(Random)讀取步驟，先進行無效寫入，再進行讀取操作，如下圖及下表所示：

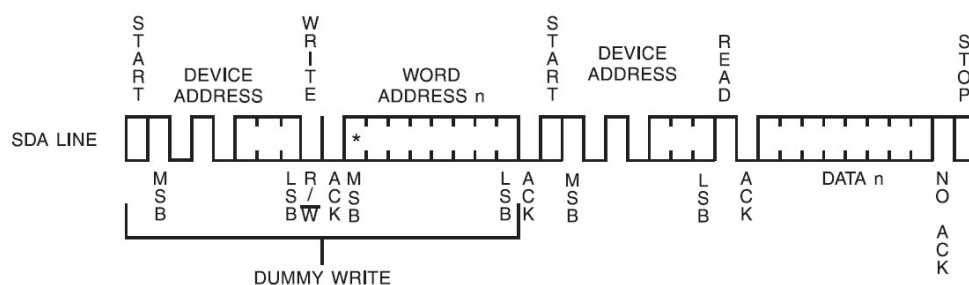


圖 9-13 隨機(Random)讀取步驟

表 9-12 隨機(Random)讀取步驟

步驟	Master(MCU)	方向	Slave(EEPROM)
1	送出啓始(START)訊號	→	
2	送出元件(DEVICE)位址	→	
3	送出寫入(R/W=0)命令	→	
4		←	回應確認(ACK)=0
5	送出記憶體(WORD)位址(n)	→	
6		←	回應確認(ACK)=0
7	送出啓始(START)訊號	→	
8	送出元件(DEVICE)位址	→	

9	送出讀取(R/W=1)命令	→	
10		←	回應確認(ACK)=0
11		←	讀取資料 DATA(n)
12	回應結束(NO ACK)=1	→	
13	送出停止(STOP)訊號	→	

2. 多功能實習板的 I²C 介面內含有 10K 提升電阻，I²C 介面串列 EEPROM 實習電路，如下圖所示：

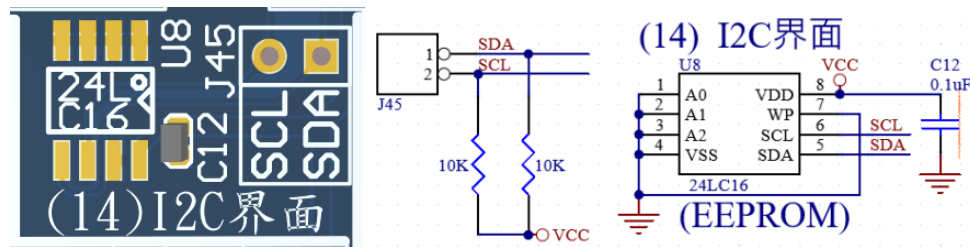


圖 9-14 EEPROM 實習電路

3. I²C 介面串列 EEPROM 實習範例：

(1) 範例 bootPrintCount：

(2) 範例 EEPROM1_write_read：存取 EEPROM 24C16 的資料。

9-2.3 I²C 介面 OLED 應用實習

將 I²C 介面 OLED 顯示器連接 J37(GND、VCC、SDA、SCL)及開發板 TH244A 的 D20(SCL0)、D21(SDA0)連接 J45(SCL、SDA)即可，如下圖及下表所示。

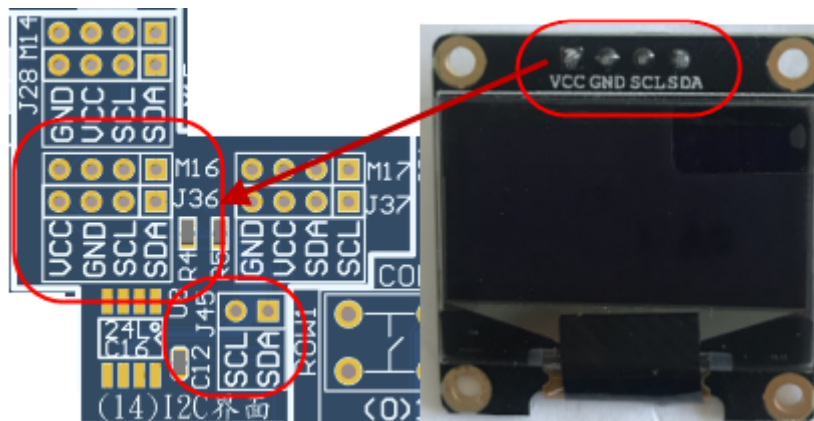


圖 9-15 I²C 介面 OLED 顯示器外型及接腳圖




表 9-13 I²C 介面 OLED 顯示器實習接線

OLED I ² C 模組	實習板(J36)	實習板(J45)	開發板 TH244A
VCC	VCC		
GND	GND		
SCL	SCL	SDA	D21(SDA0)
SDA	SDA	SCL)	D20(SCL0)

事先必須在管理程式庫下載入三個程式庫檔，如下：

Adafruit_BusIO
Adafruit_GFX_Library
Adafruit_SSD1306

在範例程式的資料夾(libraries)內會新增三個資料夾。

 Adafruit_BusIO
 Adafruit_GFX_Library
 Adafruit_SSD1306

1. 範例 I2C_OLED1：令 I²C 介面的 OLED 顯示字串。
2. 範例 I2C_OLED2：按鍵控制令 I²C 介面的 OLED 顯示字串。

9-2.4 I²C 介面電流檢測 INA3221 應用實習

電流檢測 INA3221 為三通道的高精度電流和匯流排電壓監視器，具有 I²C 和 SMBUS 相容介面。其特性及方塊圖如下所示：

- ◎ 工作電源：2.7V~5.5V。
- ◎ 可檢測分電流(Shunt)與匯流排(Bus)電壓。
- ◎ 可量測 0V~26V 的匯流排(Bus)電壓。
- ◎ 高精度的抵補(Offset)電壓最大為 $\pm 80\mu\text{V}$ 及增益誤差最大為 0.25%。
- ◎ 可選擇將多次檢測的電流加以平均，以減少檢測值的浮動。
- ◎ 四個可規劃的裝置從(slave)位址。
- ◎ 可規劃預定值，若超過會產生警報(Alert)和警告(Warning)輸出。
- ◎ 應用範圍：電腦、電源管理、電信設備、電池充電器、電源供應器及測試設備。

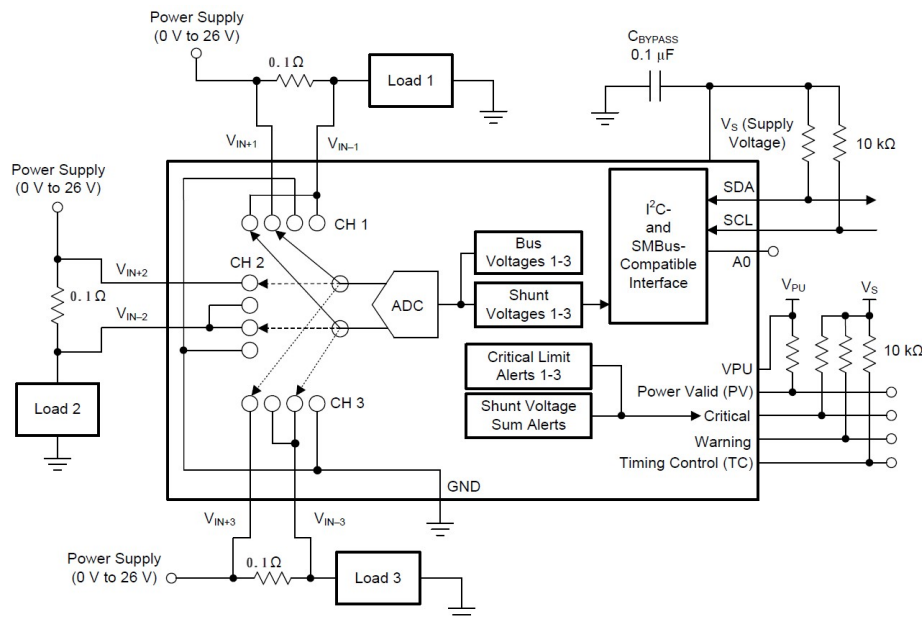


圖 9-16 電流檢測 INA3221 方塊圖

INA3221 的電流輸入檢測方式，如下圖所示：

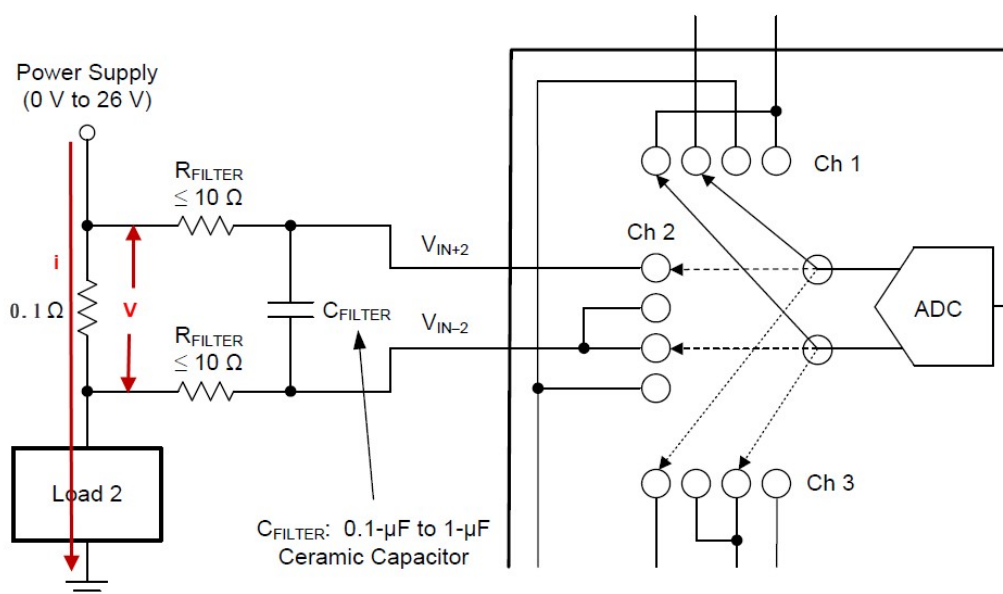


圖 9-17 電流檢測 INA3221 輸入檢測

由電源供給器(Power supply)提供電壓(0V~26V)給負載(Load)工作，經分壓電阻(0.1Ω)及負載(Load)時，其電流(i)會在電阻(0.1Ω)兩端產生電壓(V)，經濾波電路(Filter)送到 ADC 量測此電壓(V)，即可得知流經負載(Load)的電流。

1. 電流檢測 INA3221 由接腳(A0)可規劃四個從(slave)位址，如下表所示：

表 9-14 位址接腳及從位址設定

位址接腳(A0)	從位址(slave address)
GND	1000000
VS	1000001
SDA	1000010
SCL	1000011

2. 藉由 I²C 介面在 INA3221 工作時序如，如下圖(a)~(c)所示：

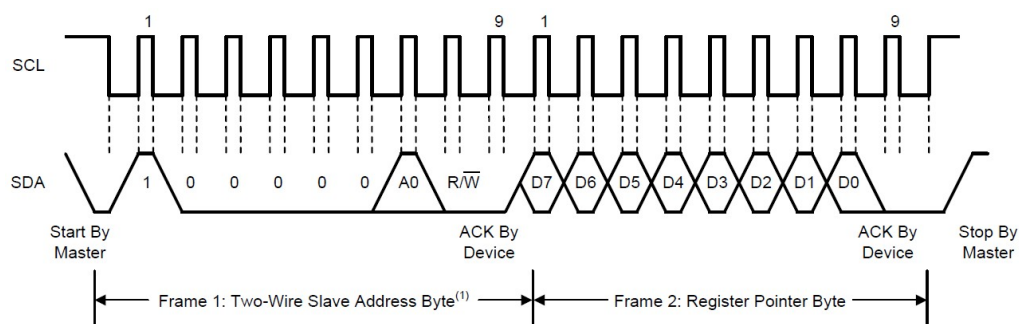


圖 9-18(a) 設定暫存器位址時序圖

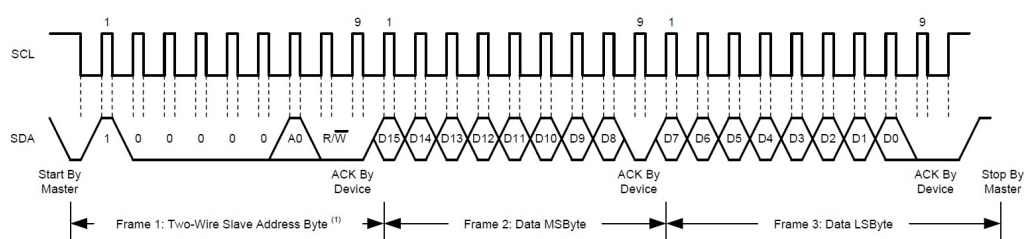


圖 9-18(b) 寫入暫存器資料時序圖

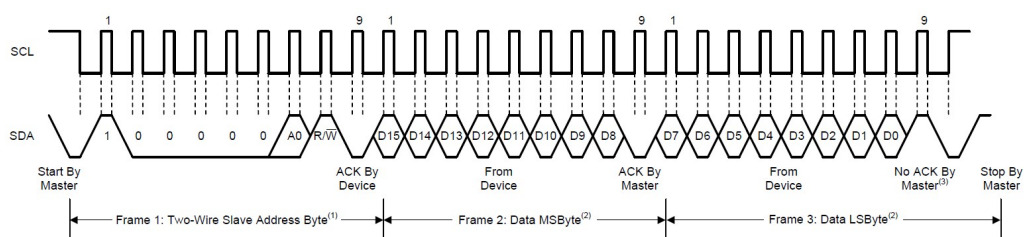


圖 9-18(c) 讀取暫存器資料時序圖

3. 藉由 I²C 介面規劃 INA3221 內部的暫存器，如下表(a)(b)所示，詳細暫存器的設定請看原廠資料手冊。

表 9-15(a) 暫存器設定表

POINTER ADDRESS (Hex)	REGISTER NAME	DESCRIPTION	POWER-ON RESET		TYPE ⁽¹⁾
			BINARY	HEX	
0	Configuration	All-register reset, shunt and bus voltage ADC conversion times and averaging, operating mode.	01110001 00100111	7127	R/W
1	Channel-1 Shunt Voltage	Averaged shunt voltage value.	00000000 00000000	0000	R
2	Channel-1 Bus Voltage	Averaged bus voltage value.	00000000 00000000	0000	R
3	Channel-2 Shunt Voltage	Averaged shunt voltage value.	00000000 00000000	0000	R
4	Channel-2 Bus Voltage	Averaged bus voltage value.	00000000 00000000	0000	R
5	Channel-3 Shunt Voltage	Averaged shunt voltage value.	00000000 00000000	0000	R
6	Channel-3 Bus Voltage	Averaged bus voltage value.	00000000 00000000	0000	R
7	Channel-1 Critical Alert Limit	Contains limit value to compare each conversion value to determine if the corresponding limit has been exceeded.	01111111 11111000	7FF8	R/W
8	Channel-1 Warning Alert Limit	Contains limit value to compare to averaged measurement to determine if the corresponding limit has been exceeded.	01111111 11111000	7FF8	R/W
9	Channel-2 Critical Alert Limit	Contains limit value to compare each conversion value to determine if the corresponding limit has been exceeded.	01111111 11111000	7FF8	R/W
A	Channel-2 Warning Alert Limit	Contains limit value to compare to averaged measurement to determine if the corresponding limit has been exceeded.	01111111 11111000	7FF8	R/W
B	Channel-3 Critical Alert Limit	Contains limit value to compare each conversion value to determine if the corresponding limit has been exceeded.	01111111 11111000	7FF8	R/W
C	Channel-3 Warning Alert Limit	Contains limit value to compare to averaged measurement to determine if the corresponding limit has been exceeded.	01111111 11111000	7FF8	R/W
D	Shunt-Voltage Sum	Contains the summed value of the each of the selected shunt voltage conversions.	00000000 00000000	0000	R
E	Shunt-Voltage Sum Limit	Contains limit value to compare to the Shunt Voltage Sum register to determine if the corresponding limit has been exceeded.	01111111 11111110	7FFE	R/W
F	Mask/Enable	Alert configuration, alert status indication, summation control and status.	00000000 00000010	0002	R/W
10	Power-Valid Upper Limit	Contains limit value to compare all bus voltage conversions to determine if the Power Valid level has been reached.	00100111 00010000	2710	R/W
11	Power-Valid Lower Limit	Contains limit value to compare all bus voltage conversions to determine if the any voltage rail has dropped below the Power Valid range.	00100011 00101000	2328	R/W
FE	Manufacturer ID	Contains unique manufacturer identification number.	01010100 01001001	5449	R
FF	Die ID	Contains unique die identification number.	00110010 00100000	3220	R

表 9-15(b) 暫存器內容分佈

REGISTER	ADDRESS (Hex)	D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
Configuration	00	RST	CH1 _{en}	CH2 _{en}	CH3 _{en}	AVG2	AVG1	AVG0	V _{BUS} CT2	V _{BUS} CT1	V _{BUS} CT0	V _{SH} CT2	V _{SH} CT1	V _{SH} CT0	MODE3	MODE2	MODE1
Channel-1 Shunt Voltage	01	SIGN	SD11	SD10	SD9	SD8	SD7	SD6	SD5	SD4	SD3	SD2	SD1	SD0	—	—	—
Channel-1 Bus Voltage	02	SIGN	BD11	BD10	BD9	BD8	BD7	BD6	BD5	BD4	BD3	BD2	BD1	BD0	—	—	—
Channel-2 Shunt Voltage	03	SIGN	SD11	SD10	SD9	SD8	SD7	SD6	SD5	SD4	SD3	SD2	SD1	SD0	—	—	—
Channel-2 Bus Voltage	04	SIGN	BD11	BD10	BD9	BD8	BD7	BD6	BD5	BD4	BD3	BD2	BD1	BD0	—	—	—
Channel-3 Shunt Voltage	05	SIGN	SD11	SD10	SD9	SD8	SD7	SD6	SD5	SD4	SD3	SD2	SD1	SD0	—	—	—
Channel-3 Bus Voltage	06	SIGN	BD11	BD10	BD9	BD8	BD7	BD6	BD5	BD4	BD3	BD2	BD1	BD0	—	—	—
Channel-1 Critical-Alert Limit	07	C1L12	C1L11	C1L10	C1L9	C1L8	C1L7	C1L6	C1L5	C1L4	C1L3	C1L2	C1L1	C1L0	—	—	—
Channel-1 Warning-Alert Limit	08	W1L12	W1L11	W1L10	W1L9	W1L8	W1L7	W1L6	W1L5	W1L4	W1L3	W1L2	W1L1	W1L0	—	—	—
Channel-2 Critical-Alert Limit	09	C2L12	C2L11	C2L10	C2L9	C2L8	C2L7	C2L6	C2L5	C2L4	C2L3	C2L2	C2L1	C2L0	—	—	—
Channel-2 Warning-Alert Limit	0A	W2L12	W2L11	W2L10	W2L9	W2L8	W2L7	W2L6	W2L5	W2L4	W2L3	W2L2	W2L1	W2L0	—	—	—
Channel-3 Critical-Alert Limit	0B	C3L12	C3L11	C3L10	C3L9	C3L8	C3L7	C3L6	C3L5	C3L4	C3L3	C3L2	C3L1	C3L0	—	—	—
Channel-3 Warning-Alert Limit	0C	W3L12	W3L11	W3L10	W3L9	W3L8	W3L7	W3L6	W3L5	W3L4	W3L3	W3L2	W3L1	W3L0	—	—	—
Shunt-Voltage Sum	0D	SIGN	SV13	SV12	SV11	SV10	SV9	SV8	SV7	SV6	SV5	SV4	SV3	SV2	SV1	SV0	—
Shunt-Voltage Sum Limit	0E	SIGN	SVL13	SVL12	SVL11	SVL10	SVL9	SVL8	SVL7	SVL6	SVL5	SVL4	SVL3	SVL2	SVL1	SVL0	—
Mask/Enable	0F	—	SCC1	SCC2	SCC3	WEN	CEN	CF1	CF2	CF3	SF	WF1	WF2	WF3	PVF	TCF	CVRF
Power-Valid Upper Limit	10	PVU12	PVU11	PVU10	PVU9	PVU8	PVU7	PVU6	PVU5	PVU4	PVU3	PVU2	PVU1	PVU0	—	—	—
Power-Valid Lower Limit	11	PVL12	PVL11	PVL10	PVL9	PVL8	PVL7	PVL6	PVL5	PVL4	PVL3	PVL2	PVL1	PVL0	—	—	—
Manufacturer ID	FE	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1
Die ID	FF	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0

電流檢測 INA3221 模組的外型及接線如下圖(a)(b)所示：

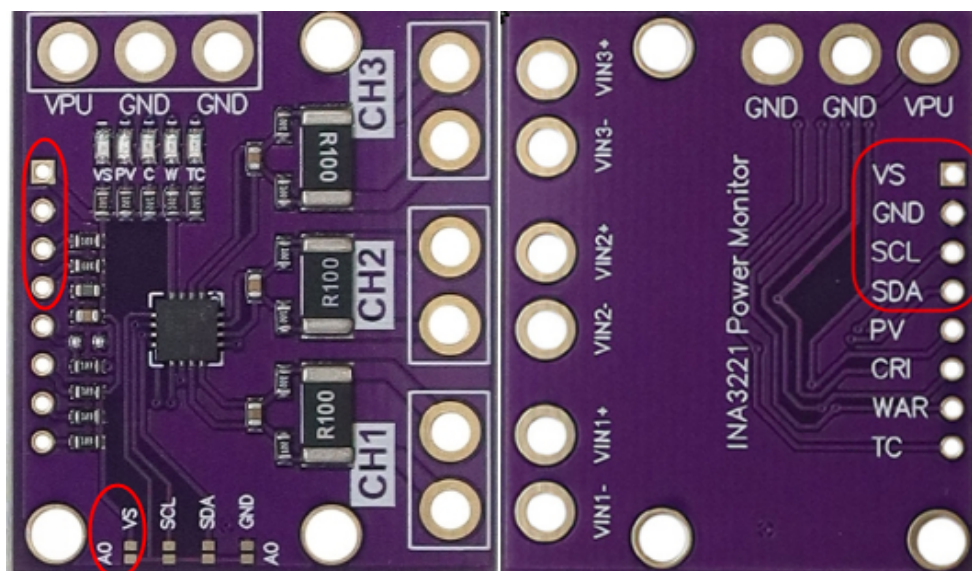


圖 9-19(a) 電流檢測 INA3221 模組外型

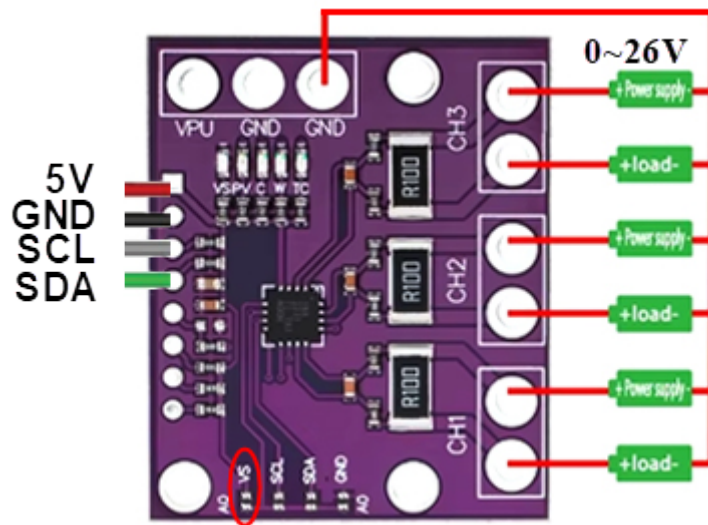


圖 9-19(b) 電流檢測 INA3221 模組接線(不同模組接線會有差異)

4. I²C 介面電流檢測 INA3221 實習範例：

- (1) 範例 INA3221_basictest：以 I2C0 介面外接 INA3221，讀取檢測 CH1~3 負載的電流，在序列監控視窗顯示。。
- (2) 範例 INA3221_critcaltest：以 I2C1 介面外接 INA3221，讀取檢測 CH1~3 負載的電流，在序列監控視窗顯示。