

數位溫度感測晶片 (使用 I²C[®] 介面, SMBus[™] 格式)

Digital Temperature Sensor and Thermal Watchdog

I²C[®] Interface and SMBus[™] Format

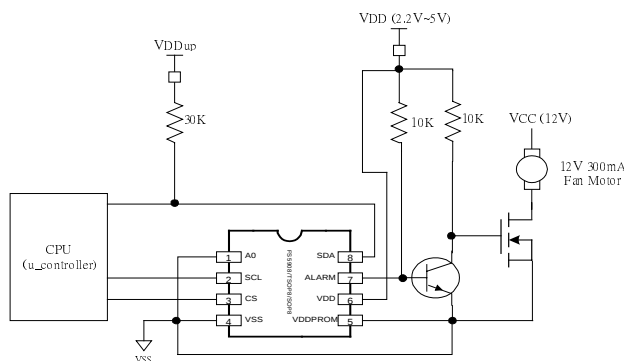
綜合說明

FS5908 是一精確的環境溫度感測晶片，將環境溫度感測技術予以數位格式化，亦是富晶公司針對與感測器 (Sensor) 結合的 SOC (System on Chip) 晶片之一。本晶片包含有：

1. Digital Silicon Temperature Sensor (Resolution : 0.125°C)
2. Calibration Algorithm
3. PROM Coefficients
4. I²C Interface and SMBus Format
5. Open Drain ALARM ("Interrupt" and "Comparator" mode)

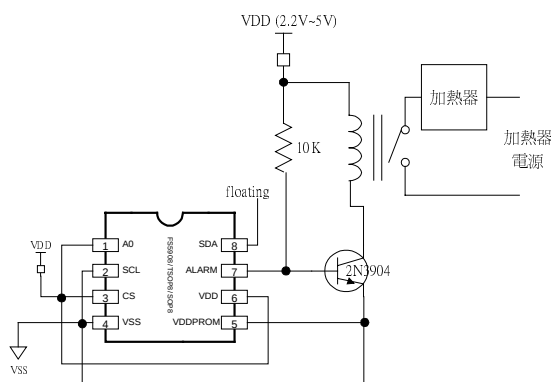
FS5908 內部控制暫存器的狀態、校正係數以及 I²C 的地址線等，皆可於晶片生產完畢後，由客戶視應用及產品需要，於出廠前透過 PROM 燒錄完成，當晶片電源啟動時，所有內部狀態會為燒錄時所設定的預設狀態。因此將使得本晶片的應用範圍更廣泛與更具彈性。

FS5908 另一重大特點是在電壓源為 2.2V~5.5V 區間工作時，電壓的變化並不會影響溫度感測結果的輸出值，換言之在工作電壓區間內，FS5908 的感測結果並不會隨著工作電壓變化而有所變動。



應用一：監視 CPU 溫度

Digital Temperature Sensor：可與任何 CPU、 μp 結合



應用二：設定熱水器在 95°C ($T_{LowLim} = 95^\circ\text{C}$) 加溫，高於 99°C ($T_{UpLim} = 99^\circ\text{C}$) 關閉

Thermal Watchdog：如熱水器、冰箱、各種環境監控

I²C[®] is a registered trademark of Philips Corporation
SMBus[™] is a trademark of Intel Corporation

特徵

- 晶片本身即可量測溫度，不需外加元件。
- 8 pin 的 SOP 或 TSOP 包裝。
- 數位控制介面為 I²C 介面 (SMBus 規格)。
- 透過 I²C 介面，任何時候均可讀取溫度值。
- 提供 open drain 的過熱/過冷警戒腳位 (ALARM)，可在比較模式或中斷模式下操作，當電源啟動時，晶片是預設在比較模式下操作。
- 透過 I²C 介面，上下限設定值 (T_{UpLim} 及 T_{LowLim}) 可讀取及設定。
- 上下限設定值 (T_{UpLim} 及 T_{LowLim}) 可於出廠時，依應用領域規範，及時燒錄一次，當電源啟動時，T_{UpLim} 及 T_{LowLim} 會為燒錄時的預設狀態。
- 不同應用領域、不同的精度的各類產品對溫度精度的要求，亦可在不同溫度下校正生產而完成。
- 不與微控制器連接時，亦可作為獨立的溫度感測器 (Watch Dog) 或自動調溫器。
- 待機模式可將消耗的電流減至最小。
- 本晶片的 I²C 介面可接 128 顆 FS5908 晶片。
- 有低電壓偵測。
- FS5908 的 I²C 地址線是由一條外接地址選擇線 (A0)，與可經由 PROM 燒錄的地址選擇線 (A6-A1) 所組成，當 addlock (PROM9<0>) 為 0 時，A6 ~ A1 強制設定為 100100；當 addlock (PROM9<0>) 為 1 時 A6 ~ A1 ← PROM9<7:2>。

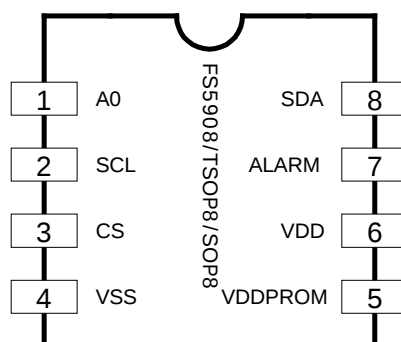
規格

- | | | |
|--------|------|----------------------|
| ● 工作電壓 | | 2.2V~5.5V |
| ● 消耗電流 | 正常操作 | 1mA(標準)
1.5mA(最大) |
| | 待機模式 | ≤100uA(標準) |
| | 關機模式 | ≤5uA |
- 適當校正晶片(die)可表示 -128°C~127.875°C 之溫度範圍；
本晶片實際提供客戶參考數據是在 -40°C ~ 100°C 範圍內
 - 溫度感測精準度依校正方式而定 請參考【6.溫度校準與生產方式】章節說明
 - 溫度解析度 0.125°C
 - 資料轉換頻率 4/S [客戶也可依需要，自行設定]

應用領域

- 個人電腦。
- 量測儀器。
- 工業控制。
- 家電用品。
- 汽車溫度檢測。
- 運動、健康用品。
- 系統溫度管理、環境溫度量測。
- 各種需以數位化格式量取溫度之產品 (數位化格式易於儲存、傳遞、分析及顯示)。

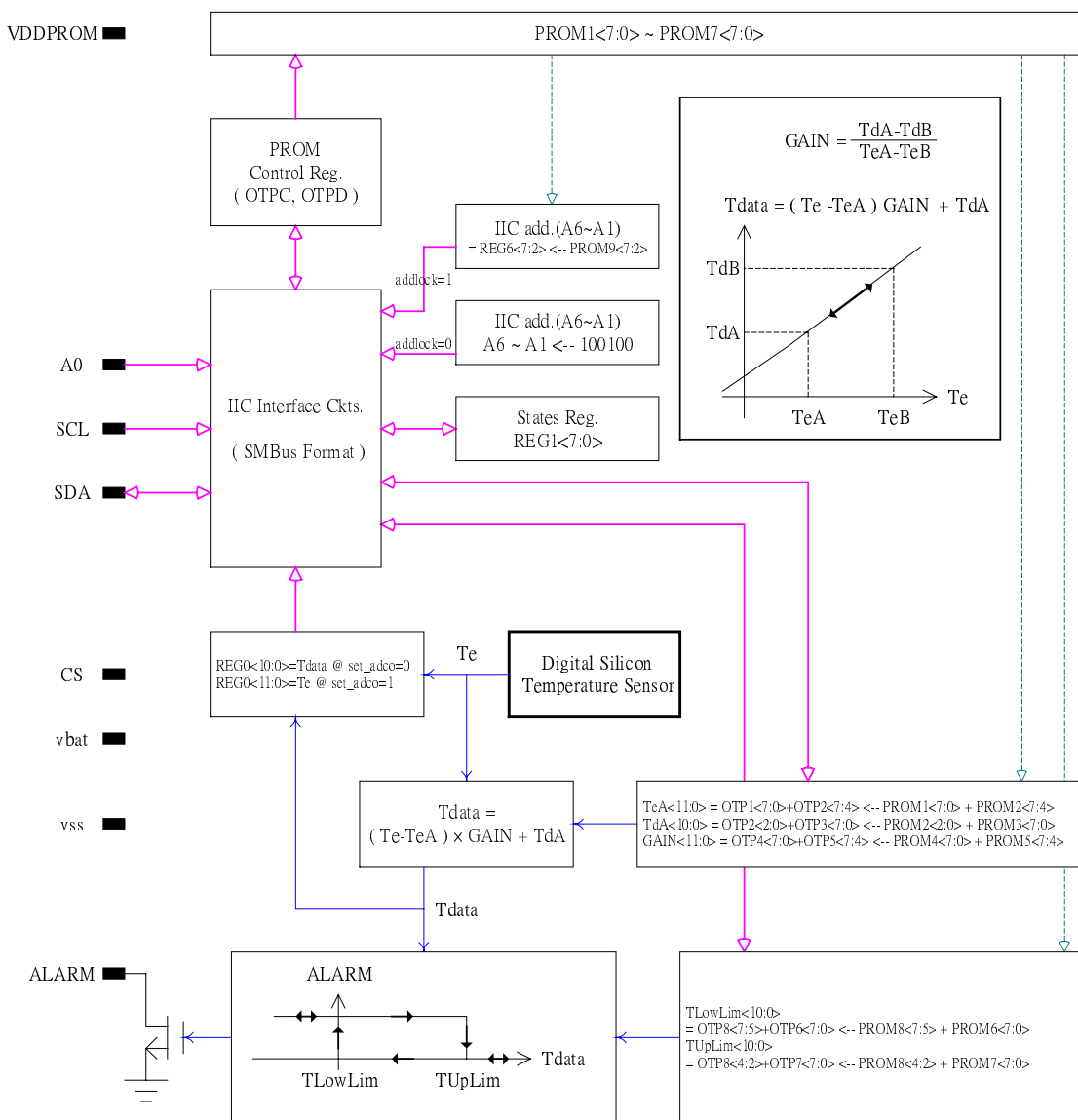
包裝腳位圖



腳位描述

腳位	名稱	功能
1	A0	本晶片透過 I ² C 介面控制的位址線為 A6,A5,A4,A3,A2,A1,A0；此 A0 由外部腳位控制 A6 ~ A1 可透過燒錄晶片內的 PROM 來設定， 當 addlock 為 0 時 A6 ~ A1 為 100100。 當 addlock 燒錄為 1 時，A6 ~ A1 ← PROM9<7:2>
2	SCL	I ² C 序列傳輸時脈訊號線
3	CS	Chip Select (為 high 時晶片 enable)
4	VSS	晶片負電源輸入腳 (0V)
5	VDDPROM	燒錄晶片內之 PROM 時，需外接 5.8V 電源， 正常工作時接地
6	VDD	晶片正電源輸入腳 (2.2V~5.5V)
7	ALARM	過熱 (過冷) 警示輸出腳；Open-drain 方式的輸出
8	SDA	I ² C 序列傳輸雙向資料傳輸線

方塊圖



電氣規格

Absolute Maximum Ratings (Note 1)

Supply Voltage	0.3V to 5.5V	Soldering Information, Lead Temperature	
Voltage at any Pin	0.3V to (VDD+0.3)V	ESD Susceptibility (Note 3)	
Input Current at any Pin (Note 2)	5 mA	Human Body Model	800V
Package Input Current (Note 2)	20mA	Machine Model	200V
ALARM Output Sink Current	10 mA		
ALARM Output Voltage	5.5V		
Storage Temperature	-65°C to 150°C		

Note 1: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. DC and AC electrical specifications do not apply when operating the device beyond its rated operating conditions.

Note 2: When the input voltage (VI) at any pin exceeds the power supply (VI<GND or VI>+Vs) the current at that pin should be limited to 5 mA. The 20 mA maximum package input current rating limits the number of pins that can safely exceed the power supplies with an input current of 5 mA to four.

Note 3: Human body model, 100 pF discharged through a 1.5KΩ resistor. Machine model, 200 pF discharged directly into each pin.

Operating Ratings

Specified Temperature Range	TMIN to TMAX
(Note 4)	-55°C to 125°C
Supply Voltage Range (VDD)	+2.2V to 5.5V

Note 4: FS5908 θ_{JA} (thermal resistance, junction-to-ambient)

Device Number	Thermal Resistance (θ_{JA})
FS5908/TSOP8	0.125°C/mW
FS5908/SOP8	0.125°C/mW

Temperature-to-Digital Converter Characteristics

Unless otherwise noted, these specifications apply for VDD from 2.2V to 5.5V (Note 5). Boldface limits apply for $T_A=T_J=T_{MIN}$ to T_{MAX} ; all other limits $T^A=T_J=+25^\circ\text{C}$

Parameter	Conditions	Typical (Note10)	Limits (Note 6)	Units (Limit)
Accuracy	$T_A=0^\circ\text{C}$ to $+50^\circ\text{C}$ $T_A=-25^\circ\text{C}$ to $+100^\circ\text{C}$ $T_A=-55^\circ\text{C}$ to $+125^\circ\text{C}$		± 1.0 ± 2.0 ± 3.0	$^\circ\text{C}$ (max)
Resolution		0.125		$^\circ\text{C}$
Temperature Conversion Time	(Note 7)	250±50		mS
Quiescent Current	I ² C Inactive I ² C Active Shutdown Mode	600 1000 10	1500	uA uA(max) uA
ALARM Output Saturation Voltage	I _{OUT} =4.0mA (Note 8)		0.8	V(max)
ALARM Delay	(Note9)		1 8	Conversions(min) Conversions(max)

Note 5: FS5908 will operate properly over the +Vs supply voltage range from 2.2V to 5.5V. The devices are tested and specified for rated accuracy at their normal supply voltage. Accuracy will typically degrade 0.15°C/V of variation in VDD.

Note 6: Limits are guaranteed to Fortune AOQL (Average Outgoing Quality Level)

Note 7: This specification is provided only to indicate how often temperature data is updated. The FS5908 can be read at any time without regard to conversion state (and will yield last conversion result). If a conversion is in process it will be stopped and restarted after the end of the read.

Note 8: For best accuracy, minimize output loading. Higher sink currents can affect sensor accuracy with internal heating. This can cause an error of 0.25°C at full rated sink current and saturation voltage based on junction-to-ambient thermal resistance.

Note 9: ALARM Delay is user programmable up to 8 over limit conversions before O.S. is set to minimize false tripping in noisy environments.

Note 10: Typicals are at $T_A=25^\circ\text{C}$ and represent most likely parametric norm.

Logic Electrical Characteristics

DIGITAL DC CHARACTERISTICS

Unless otherwise noted, these specifications apply for VDD from 2.2V to 5.5V. Boldface limits apply for $T_A = T_J = T_{MIN}$ to T_{MAX} ; all other limits $T^A = T_J = +25^\circ C$

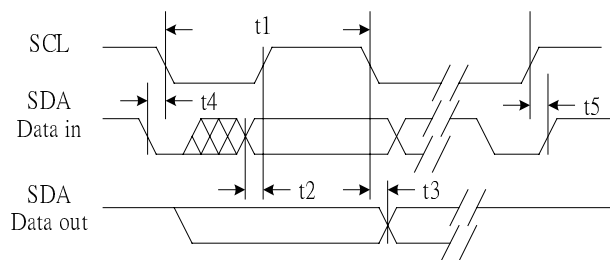
System	Parameter	Conditions	Typical (Note 10)	Limits (Note 6)	Units (Limit)
$V_{IN(1)}$	Logical 1 Input Voltage			$VDD \times 0.7$ $VDD + 0.5$	V (min) V (max)
$V_{IN(0)}$	Logical 0 Input Voltage			0.3 $VDD \times 0.3$	V (min) V (max)
$I_{IN(1)}$	Logical 1 Input Current	$V_{IN} = 5V$	0.005	1.0	μA (max)
$I_{IN(0)}$	Logical 0 Input Current	$V_{IN} = 0V$	-0.005	-1.0	μA (max)
C_{IN}	All Digital Inputs		20		pF
I_{OH}	High Level Output Current	$V_{OH} = 5V$		100	μA (max)
V_{OL}	Low Level Output Current	$I_{OL} = 3mA$		0.4	V (max)
T_{OF}	Output Fall Time	$C_L = 400pF$ $I_O = 3mA$		250	ns (max)

I²C DIGITAL SWITCHING CHARACTERISTICS

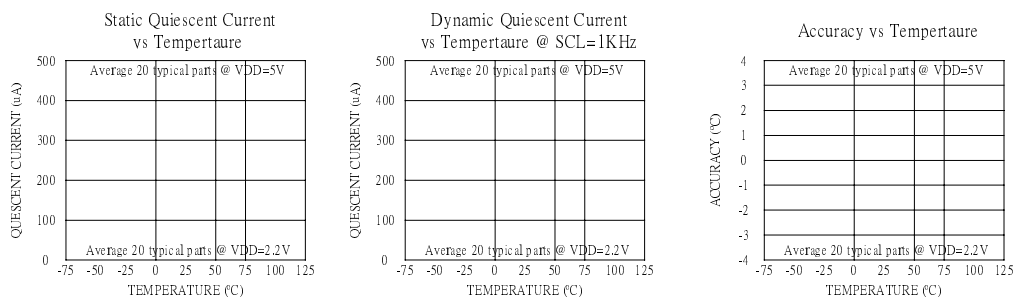
Unless otherwise noted, these specifications apply for VDD from 2.2V to 5.5V (Load capacitance) on output lines=80pF unless otherwise specified. Boldface limits apply for $T_A = T_J = T_{MIN}$ to T_{MAX} ; all other limits $T^A = T_J = +25^\circ C$, unless otherwise noted.

The switching characteristics of the FS5908 fully meet or exceed the published specifications of the I²C Bus. The following parameters are the timing relationships between SCL and SDA signals related to the FS5908. They are not the I²C bus specifications.

Symbol	Parameter	Conditions	Typical (Note 10)	Limits (Note 6)	Units (Limit)
t1	SCL (Clock) Period			5.0	μs (min)
t2	Data In Set-up Time to SCL High			120	ns (min)
t3	Data Out Stable after SCL Low			40	ns (min)
t4	SDA Low Set-Up Time to SCL Low (Start Condition)			120	ns (min)
t5	SDA High Hold Time after SCL High(Stop Condition)			0	ns (min)



Typical Performance Characteristics



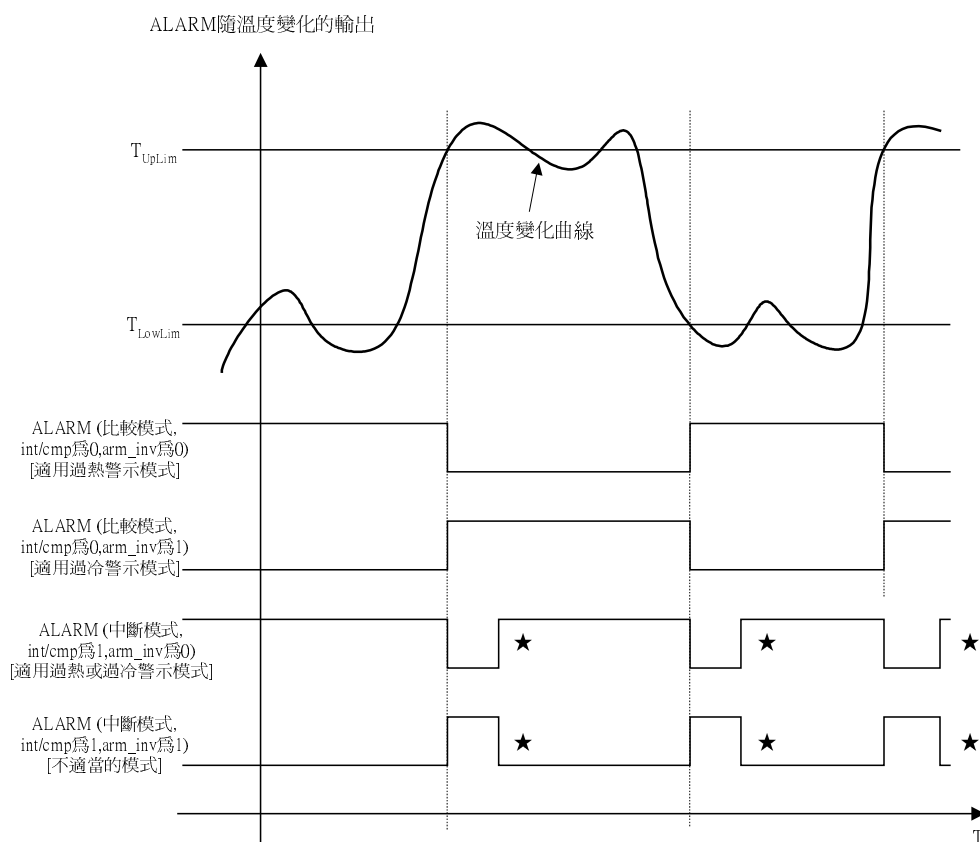
1. 功能描述

1.1. 溫度量測

FS5908 量測晶片周圍的環境溫度，並將溫度值以數位格式隨時透過溫度暫存器更新，使用者可透過 I²C 介面隨時讀取這些更新的溫度感測數值。

1.2. 過熱過冷警示

本晶片可設定一組警戒溫度 T_{UpLim} 及 T_{LowLim} （詳見下圖），當量測到的溫度到達所設定的警戒溫度時，將由 ALARM 腳位發出通知信號。此 ALARM 訊號可通知微處理器或直接啓動冷卻風扇、加熱器等。ALARM 相關的警戒溫度由上限值暫存器（ T_{UpLim} ）及下限值暫存器（ T_{LowLim} ）決定，並可隨時依需求予以更改。



★：在中斷模式操作時 ALARM 腳位送出中斷信號後只有當 FS5908 的任一暫存器被讀取或進入待機模式才會重置 ALARM

1.2.1. ALARM 腳位與 arm_inv 設定

控制暫存器內的 arm_inv 位元決定 ALARM 腳位的輸出模式（參考上頁圖形），其與 ALARM 的關係如下：

- arm_inv 為 0：
- 比較模式操作時：ALARM 在溫度低於下限設定時為邏輯準位 1，高於上限設定時為邏輯準位 0。
 - 中斷模式操作時：ALARM 在一般狀況為邏輯準位 1，送出中斷信號時為邏輯準位 0。
- arm_inv 為 1：
- 比較模式操作時：ALARM 在溫度低於下限設定時為邏輯準位 0，高於上限設定時為邏輯準位 1。
 - 中斷模式操作時：ALARM 在一般狀況為邏輯準位 0，送出中斷信號時為邏輯準位 1。

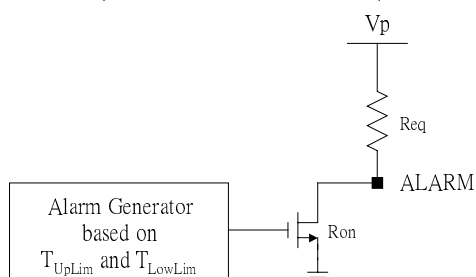
在比較模式下 ALARM 輸出可被用來啟動冷卻風扇或緊急系統，關閉或降低系統時脈。FS5908 在比較模式下進入待機模式時不會重置 ALARM 的狀態。

在中斷模式操作下，則無論應用在過冷警示或過熱警示的場合，arm_inv 均應設為 0。

只要感測溫度一超過上限值，ALARM 立刻送出中斷信號，此時只要經由 I²C 介面讀取 FS5908 的任何暫存器，則 ALARM 的中斷信號立即會被清除，一直到感測溫度低於下限值時，ALARM 才會再度送出中斷信號，同樣藉由讀取暫存器可清除之。FS5908 在中斷模式操作下進入待機模式時將重置 ALARM 的輸出。

1.2.2. ALARM 輸出

ALARM 輸出腳位是一 open-drain 方式的輸出（見下圖），內部並沒有提昇電路的設計，除非有外部另外提供的提昇電流（一般是使用提昇電阻），否則將無法產生邏輯高準位。提昇電阻的選用依系統的不同而定。



上圖 MOS 在有電流 I 流過時，其消耗的功率為 $P_{av} = I^2 \cdot R_{on}$ [$I = V_p / (R_{eq} + R_{on})$]；而功率影響本晶片的溫度精度如下表所示：

P _{av}	被影響溫度 (Δ℃)
1mW	0.125
5mW	0.625
10mW	1.125
20mW	1.750

1.3 待機模式 (shutdown=Reg1<0>)

設定控制暫存器的 shutdown 位元可進入待機模式，待機模式操作時 FS5908 的標準消耗電流將低於 100uA。在中斷模式操作下如果 ALARM 在動作狀態下進入待機模式，則 ALARM 的動作狀態會被清除，而在比較模式操作時進入待機模式，則 ALARM 會維持在進入前的狀態。待機模式下除 I²C 電路正常外，其餘所有電路皆關閉。

1.4 關機模式 (CS)

當 CS 設為 0，則關閉本晶片，電流消耗此時小於 5 uA。

當 CS 設為 1 時（電壓為 VDD），則啟動本晶片。所有狀態會進入預設的操作模式。見下頁圖的預設狀態說明。

本晶片當 Watchdog（獨立的溫度感測器）。

見第一頁圖：應用二

- SCL 接地
- SDA 浮接
- CS 接 VDD
- VDDPROM 接地
- A0 接地或接 VDD 皆可

1.5. set_arm_cnt (Reg 1<4:3>)

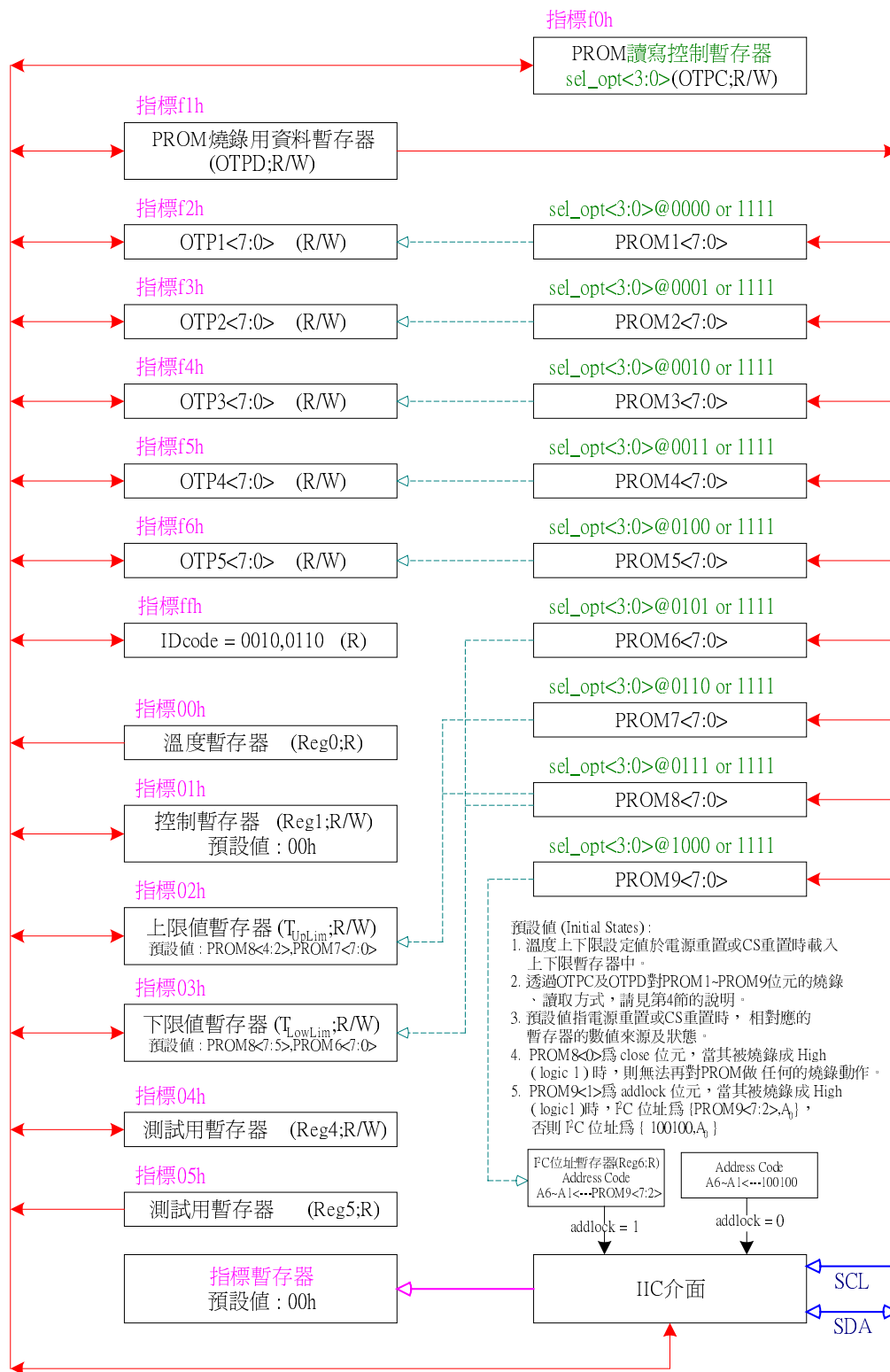
在晶片內部每 1/4 秒會更新一筆量測溫度，當量測溫度達到警戒溫度時，內部的警戒計數器將會遞增，當警戒計數器的值等於 set_arm_cnt 所設定的次數時，ALARM 腳位才會發出警戒訊號。在過程中，任何一筆量測溫度未達警戒溫度均會將警戒計數器清為 0。因此 set_arm_cnt 的設定可避免因雜訊或干擾而使得 ALARM 產生誤動作。

set_arm_cnt<1:0>	使 ALARM 輸出產生變化，所需的比對輸出次數
00	1（預設值）
01	2
10	4
11	8

1.6 低電壓偵測 (setlowbat=Reg1<7>)

setlowbat	0	1
Rog0<14>=lowbat	=1	=1
	@VDD _s 2.4V	@VDD _s 2.2V

內部暫存器結構及資料格式



2.1. 溫度暫存器(Pointer=00h，唯讀)

Pointer	Name	Type	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	
h'00	Reg0	R	adc_trans	lowbat	alarm	high	low	Tdata<10:0>											set_adco=0
			0	0	1	Te<11:0>													set_adco=1

當 set_adco = 0 時：

Reg0<15>(adc_trans)：當溫度輸出值更新後，此位元變為 1；當此暫存器被讀取後，此位元被清為 0。

Reg0<14>(lowbat)：低電壓警示，當此位元為 1 時，表晶片工作電壓低於所設定電壓。設定方法請參閱 2.2 控制暫存器中 Reg1<7>(setlowbat) 所示之設定方式。

Reg0<13>(alarm)：此位元永遠為比較模式輸出，當溫度值高於(等於)上限值時，此位元變為 1，一直要到溫度值低於(等於)下限值時，此位元才會變為 0。

Reg0<12>(high)：當溫度值高於(等於)上限值時，此位元為 1，反之為 0。

Reg0<11>(low)：當溫度值低於(等於)下限值時，此位元為 1，反之為 0。

Reg0<10:0>：溫度資料，下表為每一位元代表意義：

10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
+/-	64	32	16	8	4	2	1	0.5	0.25	0.125

例：溫度	數位輸出值	
	三進位	十六進位
+125°C	011-1110-1000	3E8
+25°C	000-1100-1000	0C8
+0.5°C	000-0000-0100	004
0°C	000-0000-0000	000
-0.5°C	100-0000-0100	404
-25°C	100-1100-1000	4C8
-125°C	111-1110-1000	7E8

當 set-adco = 1 時：

輸出為數位矽溫度感測器的直接輸出 Te<11:0>，其資料格式見第 6 節－溫度校準與生產方式。

2.2. 控制暫存器(Pointer=01h，可讀寫)

Pointer	Name	Type	7	6	5	4	3	2	1	0
h'01	Reg1	R/W	setlowbat	rst_alarm	set_adco	set_arm_cnt<1:0>	arm_inv	int/cmp	shutdown	

Reg1<7>=setlowbat：低電壓警示設定，0 為 2.4V，1 為 2.2V。

Reg1<6>(rst_alarm)：設為 1 後可直接清除 alarm、high、low 等位元及 ALARM 腳位之警告信號，設為 0 後以上信號重新計算，可於重設上下限後使用。

Reg1<5>(set_adco)：設為 0 為 Tdata<10:0>輸出，設為 1 則為 Te<11:0>輸出，參見 2.1 說明。

Reg1<4:3>(set_arm_cnt<1:0>)：

溫度超過 T_{UpLim} 或低於 T_{LowLim} 時會改變 ALARM 的輸出準位，此二位元決定改變 ALARM 輸出準位所需的連續觸發次數(參見 1.5.)：

Reg1<2>(arm_inv)：設定 ALARM 腳位輸出模式，參見 1.2.1.

Reg1<1>(int/cmp)：0 為比較模式，1 為中斷模式，參見 1.2.1.

Reg1<0>(shutdown)：待機模式，設為 0 為正常操作，設為 1 則進入待機模式，參見 1.3.

2.3. 上限值暫存器(T_{UpLim} , Pointer=02h)及下限值暫存器(T_{LowLim} , Pointer=03h)(可讀寫)

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
(NC)					$T_{UpLim} <10:0>$										
					+/-	64°C	32°C	16°C	8°C	4°C	2°C	1°C	0.5°C	0.25°C	0.125°C

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
(NC)					$T_{LowLim} <10:0>$										
					+/-	64°C	32°C	16°C	8°C	4°C	2°C	1°C	0.5°C	0.25°C	0.125°C

預設值可在出廠前做燒錄設定，燒錄於 PROM (PROM6、PROM7、PROM8) 中，於開機或生產 CS 時，會由 PROM 處放至預設的各相關暫存器中，各位元代表意義與溫度暫存器相同 (詳見 2.1 溫度資料格式)。bit<10>=0 時，代表正(+)，bit<10>=1 時，代表負(-)。

此上限值暫存器(T_{UpLim})及下限值暫存器(T_{LowLim})，請參閱 P.9 的圖形。

$T_{LowLim} <10:0>$ ← { PROM8 <7:5> , PROM6 <7:0> }
 $T_{UpLim} <10:0>$ ← { PROM8 <4:2> , PROM7 <7:0> }
 OTP6 <7:0> ← PROM6 <7:0>
 OTP7 <7:0> ← PROM7 <7:0>
 OTP8 <7:0> ← PROM8 <7:0>

2.4. 預設狀態

FS5908 在電源啟動時，或 CS 產生時，會進入預設的操作模式，其狀態請參閱 P.9 的圖形。

Initial States :

- 暫存器指標預設值: 00h
- 控制暫存器預設值 00h
- OTPX<7:0>相對應 PROM1~PROM9 的相關位置
 OTP1<7:0> <---- PROM1<7:0>
 OTP2<7:0> <---- PROM2<7:0>
 OTP3<7:0> <---- PROM3<7:0>
 OTP4<7:0> <---- PROM4<7:0>
 OTP5<7:0> <---- PROM5<7:0>
- $T_{LowLim} <10:0>$ <-- {PROM8<7:5>,PROM6<7:0>}
- $T_{UpLim} <10:0>$ <-- {PROM8<4:2>,PROM7<7:0>}
- OTP9<7:0> <---- PROM9<7:0>
- 溫度上下限設定值於電源重置或CS重置時載入上下限暫存器中
- 透過OTPC及OTPD對PROM1~PROM9位元的燒錄、讀取方式，請見第4節的說明。
- 預設值指電源重置或CS重置時，相對應的暫存器的數值來源及狀態。
- PROM8<0> 為 close 位元，當其被燒錄成 High(logic 1) 時，則無法再對任何PROM做燒錄的動作。
- PROM9<1> 為 addlock 位元，當其被燒錄成 High (logic1) 時，
 I²C 位址為{PROM9<7:2>,A0}，
 否則I²C 位址為 { 100100,A0 }

FS5908 可以接在獨立的溫度調整器上，而不需要透過 I²C 介面控制，如此 FS5908 所有的暫存器會進入設值狀態。(請參閱 P.1 的圖形)。

2.5 測試暫存器(Pointer=04h，Pointer=05h，可讀寫)

Reg4<7:0>、Reg5<7:0>為量產測試用暫存器，一般使用時請忽略不用，以免影響 IC 之正常運作。

2.6 I²C 位址暫存器(Pointer=06h，唯讀)

Pointer	Name	Type	7	6	5	4	3	2	1	0
h'06	Reg6	R	IIC addr<6:1>						addlock	(rv)

Reg6<7:2> : I²C 位址線 A6 ~ A1。

Reg6<1> : A6 ~ A1 可透過燒錄晶片內的 PROM 來設定，當 addlock 為 0 時則為 100100；當 addlock 為 1 時，A6 ~ A1 ← PROM9<7:2>。

Reg6<7:2>暫存器中儲存 PROM9<7:2>所燒錄之 I²C 位址 A6 ~ A1，但當 addlock 為 0 時 I²C 位址 A6 ~ A1 預設為 100100 並不會儲存於 Reg6<7:2>中，使用時應注意。

3. 數位介面

FS5908 採用 I²C 作為數位資料傳輸介面，共有 SCL 及 SDA 兩條信號線，其中 SCL 為時脈信號，在 FS5908 為輸入腳位，而 SDA 則為雙向的串列資料輸出入腳，輸出入格式請參考 SMBus 規格。

3.1. 位址(Address)：

依據 I²C 介面的規範，FS5908 具有 7 位元的位址加 1 位元的讀寫控制信號(R/W)，R/W 為 0 時表寫入，為 1 時表讀取。完整的位址位元組如下：

7	6	5	4	3	2	1	0
A6	A5	A4	A3	A2	A1	A0	R/W
A6 ~ A1 可透過燒錄晶片內的 PROM 來設定， 當 addlock 為 0 時則為 100100。 當 addlock 為 1 時，A6 ~ A1 ← PROM9<7:0>						外接腳位	讀寫控制

3.2. 暫存器指標(Pointer)

暫存器指標用以選擇欲讀寫的暫存器，其與暫存器對應關係如下：

Pointer	名稱	長度	狀態
h'00	REG0	16 bits (2 bytes)	R
h'01	REG1	8 bits (1 byte)	R/W
h'02	T _{UpLim}	16 bits (2 bytes)	R/W
h'03	T _{LowLim}	16 bits (2 bytes)	R/W
h'04	REG4	8 bits (1 byte)	R/W
h'05	REG5	8 bits (1 byte)	R
h'06	REG6	8 bits (1 byte)	R
h'f0	OTPC	8 bits (1 byte)	R/W
h'f1	OTPD	8 bits (1 byte)	R/W
h'f2	PROM1	8 bits (1 byte)	R/W
h'f3	PROM2	8 bits (1 byte)	R/W
h'f4	PROM3	8 bits (1 byte)	R/W
h'f5	PROM4	8 bits (1 byte)	R/W
h'f6	PROM5	8 bits (1 byte)	R/W
h'f7	PROM6	8 bits (1 byte)	R
h'f8	PROM7	8 bits (1 byte)	R
h'f9	PROM8	8 bits (1 byte)	R
h'fa	PROM9	8 bits (1 byte)	R
h'ff	IDcode	8 bits (1 byte)	R

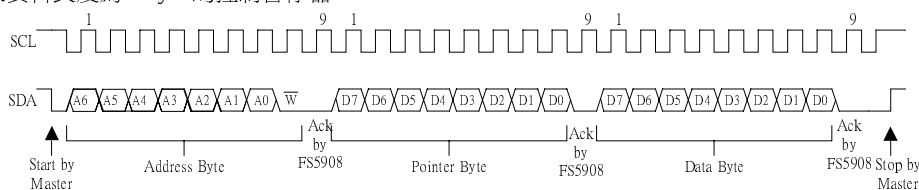
3.3. 暫存器寫入程序：

欲透過 I²C 介面寫入 FS5908 的暫存器包括以下程序：

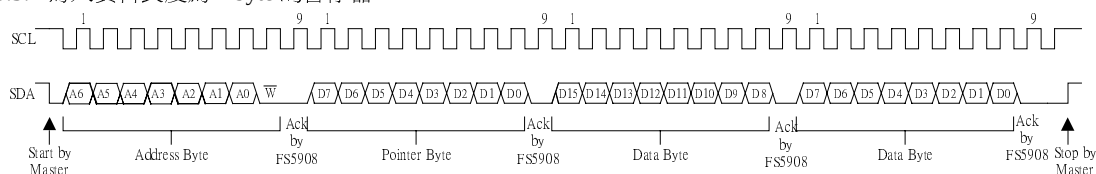
- (1) 寫入位址(Address)
- (2) 寫入暫存器指標(Pointer)
- (3) 寫入資料(Data)。

寫入資料的第一個位元組(byte)是這筆資料的最高位元組，每一位元組中的第一個位元(bit)是這個位元組的最高位元。

3.3.1 寫入資料長度為 1 byte 的控制暫存器



3.3.2 寫入資料長度為 2 byte 的暫存器



欲透過 I²C 介面讀取 FS5908 的暫存器包括完整讀取程序 (3.4) 及重覆讀取程序 (3.5) 兩種方式：

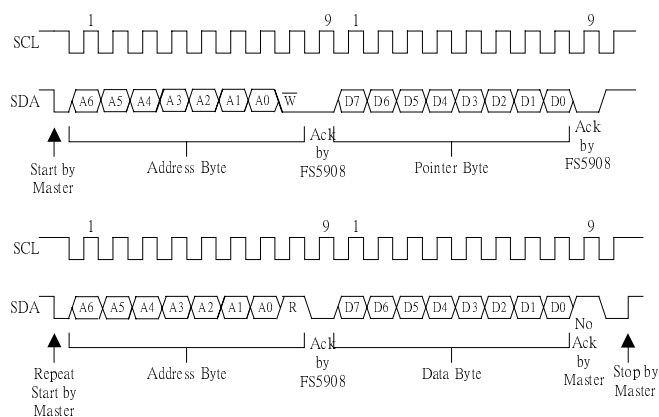
3.4. 暫存器完整讀取程序：

3.4.1. 完整讀取程序及重覆讀取程序。完整讀取程序包含以下步驟：

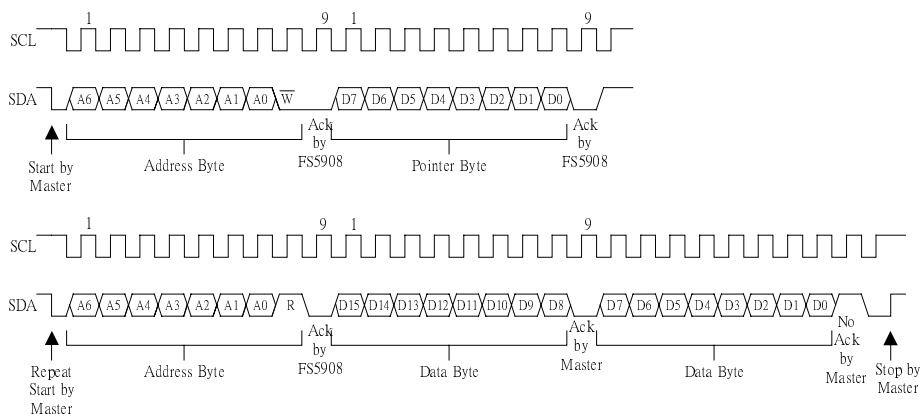
- (1) 寫入位址
- (2) 再寫入暫存器指標
- (3) 再次寫入位址
- (4) 讀取資料

讀取資料的第一個位元組(byte)是這筆資料的最高位元組，其中的第一個位元(bit)是這個位元組的最高位元。

3.4.2. 完整讀取資料長度為 1 byte 的控制暫存器



3.4.3. 完整讀取資料長度為 2 byte 的暫存器



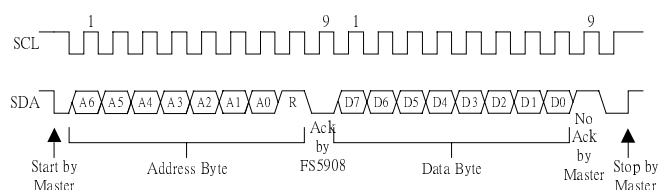
3.5 暫存器重覆讀取程序：

3.5.1 重覆讀取程序包含以下步驟：

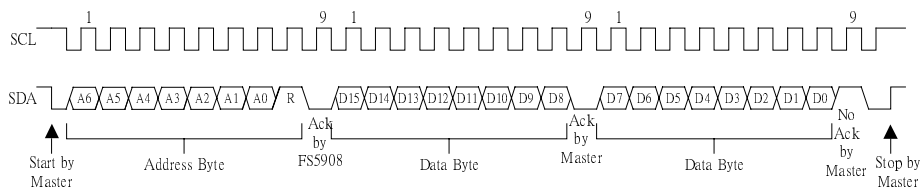
- (1) 寫入位址
- (2) 讀取資料

當以重覆讀取程序讀取時，所讀取到的暫存器為前一次以完整讀寫所指定的暫存器，即指標（pointer）已被設定好之暫存器。

3.5.2 重覆讀取資料長度為 1 byte 的控制暫存器



3.5.3 重覆讀取資料長度為 2 byte 的暫存器



- 於 I²C 介面讀寫時，若發生 SDA 信號被 FS5908 強拉至邏輯低準位，只要重新執行讀取或寫入程序，即可解開。(此種狀況於正常時序下不會發生，只有當使用者讀取的資料長度小於暫存器實際的長度時，才有可能產生。)
- 對本晶片暫存器作寫入動作之後，要做讀回確認動作，以確保寫入指令無誤。

4. 燒錄及讀取 PROM 方式

4.1. PROM 相關暫存器：

Pointer	Name	Type	7	6	5	4	3	2	1	0
h'f0	OTPC	R/W	sel_otp<3:0>				test_otp	en_rw	wr_otp	write_fuse
h'f1	OTPD	R/W	OTPD<7:0>							
h'f2	OTP1	R/W	TeA<11:4>							
h'f3	OTP2	R/W	TeA<3:0>				RV	TdA<10:8>		
h'f4	OTP3	R/W	TdA<7:0>							
h'f5	OTP4	R/W	GAIN<11:4>							
h'f6	OTP5	R/W	GAIN<3:0>				ldouble	lsave	setN	setfreq
h'f7	OTP6	R	TLowLim_ini<7:0>							
h'f8	OTP7	R	TUpLim_ini<7:0>							
h'f9	OTP8	R	TLowLim_ini<10:8>				TUpLim_ini<10:8>		(rv)	close
h'fa	OTP9	R	IIC addr<6:1>						addlock	(rv)

- sel-otp <3:0> 及 test-otp 為晶片量產測試用，客戶禁止使用這些功能。

輸出速率	setN	setfreq
2 次 / Sec	0	0
4 次 / Sec	0	1
4 次 / Sec	1	0
8 次 / Sec	1	1

- 當 setN, setfreq 為 1 時，則 Idouble 應設為 1，此時晶片功率會增加 1 倍。
- 而 Isave 設為 1 時，晶片功率會減少一半。

4.2. PROM 讀取控制：

PROM讀取控制	
step 1	OTPC=8'h04
step 2	delay 50 uS
step 3	OTPC=8'h00

以上步驟 step1 開啓 PROM 電源，step2 等待輸出穩定並載入暫存器 OTP 中(硬體自動完成)，step3 關閉 PROM 電源。經此程序，PROM1<7:0> ~ PROM9<7:0>之值即被載入相關的 OTP1<7:0>~OTP9<7:0>暫存器中。

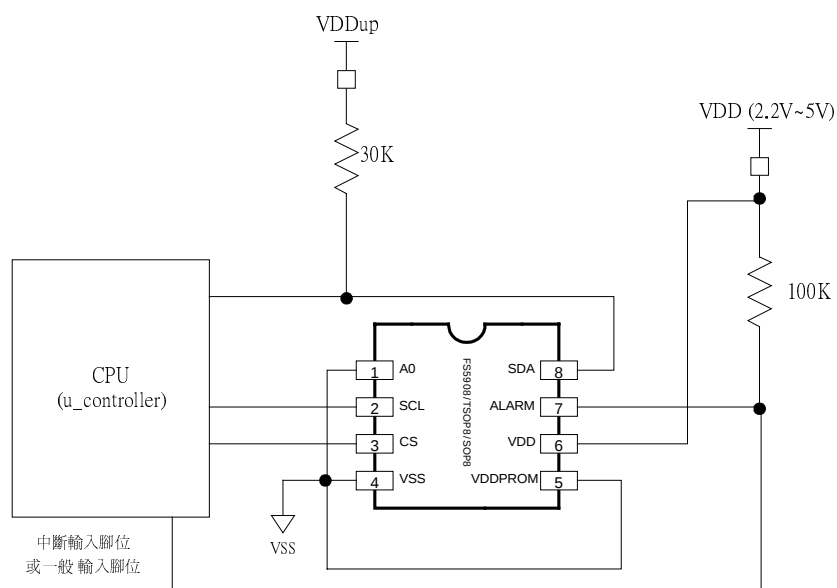
4.3. PROM 燒錄控制：

PROM燒錄控制									
動作	燒錄PROM1 <7:0>	燒錄PROM2 <7:0>	燒錄PROM3 <7:0>	燒錄PROM4 <7:0>	燒錄PROM5 <7:0>	燒錄PROM6 <7:0>	燒錄PROM7 <7:0>	燒錄PROM8 <7:0>	燒錄PROM9 <7:0>
step 1	OTPD=燒錄值								
step 2	OTPC=8'h04	OTPC=8'h14	OTPC=8'h24	OTPC=8'h34	OTPC=8'h44	OTPC=8'h54	OTPC=8'h64	OTPC=8'h74	OTPC=8'h84
step 3	OTPC=8'h07	OTPC=8'h17	OTPC=8'h27	OTPC=8'h37	OTPC=8'h47	OTPC=8'h57	OTPC=8'h67	OTPC=8'h77	OTPC=8'h87
step 4	等待irq_far=1								
step 5	OTPC=8'h04	OTPC=8'h14	OTPC=8'h24	OTPC=8'h34	OTPC=8'h44	OTPC=8'h54	OTPC=8'h64	OTPC=8'h74	OTPC=8'h84
step 6	OTPC=8'h00								

- 燒錄電壓 VDDPROM 為 5.8V。
- OTPD<7:0>可以位元組(byte)燒錄一次至相關的 PROM 內(Step 1~Step 6)；或以一個位元(bit)、一個位元(bit)逐次燒錄(重覆(Step 1~Step 6)至相關 PROM 內，如此一個 byte 的 PROM 需重覆本動作八次。
- 當 en_rw 設為 1 時，Reg0<0>為 irq_far；可用 I²C 讀回查看。

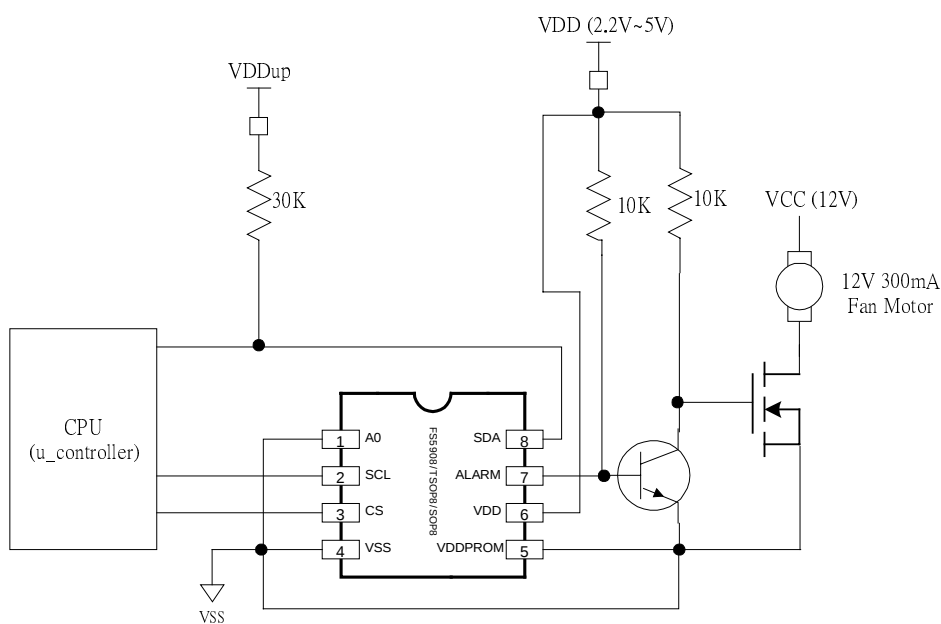
5. 應用範例

5.1 微處理器控制 FS5908 之接線圖

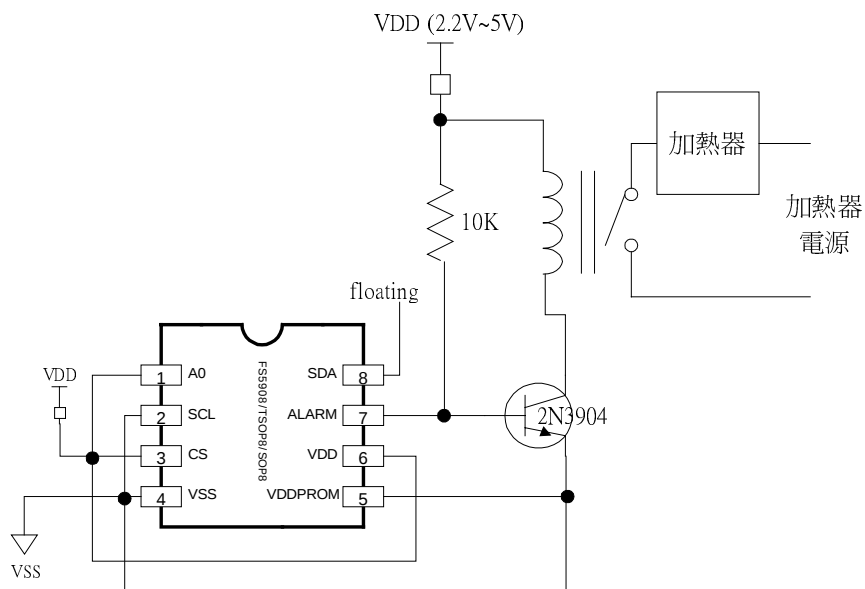


以微處理器控制 FS5908 時，微處理器的 SDA 端必須為 open drain 的雙向 IO 腳位。

5.2 透過 μ p 控制散熱風扇



5.3 獨立溫度過冷警示電路(控制加熱器)



6. 溫度校準與生產方式

6.1 概述

FS5908 內建數位矽溫度感測器

其有兩種資料格式輸出，一種是數位矽溫度感測器的直接輸出值 T_e ，另一種是 T_e 數值經過與校正係數運算後的溫度值 T_{data} 。Reg0 為 T_e/T_{data} 值輸出暫存器，長度為 16 位元。

Reg1<5> (set-adco)設為 1，則 Reg0 <15:0>為 T_e 值輸出值

Reg1<5> (set-adco)設為 0，則 Reg0 <15:0>為 T_{data} 值輸出值

輸出暫存器資料格式			
暫存器 位元	資料 位元	T_e 輸出值 (直接量測值)	T_{data} 輸出值 (校準後輸出值)
15		adc_trans	temp_trans
14		1'b0	lowbat
13		1'b0	alarm
12		1'b1	high
11		272.384K	low
10	10	136.192 K	+/-
9	9	68.096 K	64°C
8	8	34.048 K	32°C
7	7	17.024 K	16°C
6	6	8.512 K	8°C
5	5	4.256 K	4°C
4	4	2.128 K	2°C
3	3	1.064 K	1°C
2	2	0.532 K	0.5°C
1	1	0.266 K	0.25°C
0	0	0.133 K	0.125°C

見上表， T_e 的輸出值是 FS5908 晶片受到環境溫度的直接輸出值， T_e 的數字是未經過校正的，實際上會因晶片生產過程而有些微差異。故我們必須將這些差異在生產過程中找出來，並記錄在 PROM 中，再透過適當的校正方式 (Algorithm, 已寫入晶片中)，即可完全將晶片受到的環境溫度反應到 T_{data} 的數值輸出。 T_e/T_{data} 的數位輸出格式亦如上表。

$T_{data}<10> = 0$ 時，代表溫度為正 (+)， $T_{data}<10> = 1$ 時，代表溫度為負 (-)。

6.2 原理

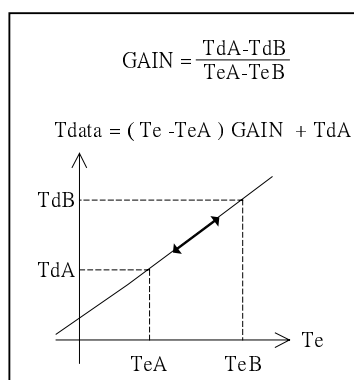
$$T_{data} = (T_e - T_{eA}) \cdot GAIN + T_{dA}$$

T_e 為此數位矽溫度感測器的直接輸出值

T_{data} 為晶片受熱溫度（亦為環境溫度）

不同晶片會有不同 $GAIN$ 、 T_{eA} 及 T_{dA} 的誤差〔經驗証得知：同一批 Wafer 上的晶片其 $GAIN$ 相近，但 T_{dA} 仍有些微變化〕。故當不同的晶片在相同溫度值下，會呈現出不同的 T_e 值。

我們希望透過 2 種溫度（ T_A 、 T_B ）下生產，如此便可求出 T_{eA} 、 T_{dA} 及 $GAIN$ 值，然後將相關資料燒錄放入 PROM 當中，當晶片正常工作時，會利用存在 PROM 中的這些預先燒錄的係數（ T_{eA} 、 T_{dA} 及 $GAIN$ ）來算出晶片溫度值 T_{data} 。



以下為公式推導：

T_{dA} 溫度下，數位矽感測器的直接輸出為 T_{eA}

T_{dB} 溫度下，數位矽感測器的直接輸出為 T_{eB}

$$\rightarrow GAIN = \frac{(T_{dB} - T_{dA})}{(T_{eB} - T_{eA})}$$

如此，當晶片的直接受熱而有輸出值 T_e 時，可利用下面公式求出 T_{data} 值：

$$T_{data} = (T_e - T_{eA}) \cdot GAIN + T_{dA}$$

從公式得知，存入 T_{eA} 、 T_{dA} 、 $GAIN$ ，再經過適當計算，即可求出 T_{data} 。

6.3 生產方式

6.3.1. 參數取得

- (1) 於溫度 $T=TdA$ 時讀取 TeA 。
- (2) 於溫度 $T=TdB$ 時讀取 TeB 。

6.3.2. 參數計算與儲存

以下用一例子說明：

(1) 溫度 A 下：

於溫度 $TdA = 20^{\circ}C = 000_1010_0000 = 11'h\ 0A0 = 3'd293$ (溫度資料格式如 2.1 所示) 下，
讀取 $TeA=273+20=293$ (K) 時，因晶片生產誤差，假設其數值約略為
 $TeA=1001_0010_1010 = 12'h\ 92A = 4'd2346$ 。

(2) 溫度 B 下：

於溫度 $TdB = 50^{\circ}C = 001_1001_0000 = 11'h\ 190 = 3'd323$ (溫度資料格式如 2.1 所示) 下，
讀取 $TeB=273+50=323$ (K) 時，因晶片生產誤差，假設其數值約略為
 $TeB=1010_0000_1011 = 12'h\ A0B = 4'd2571$ 。

(3) GAIN 的格式如下：

位元	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
代表數的大小	2^2	2^3	2^4	2^5	2^6	2^7	2^8	2^9	2^{10}	2^{11}	2^{12}	2^{13}

$$\text{如此 } GAIN = \frac{TdB - TdA}{TeB - TeA} = \frac{d'323 - d'293}{d'2571 - d'2346} = 0.1\bar{3} = 12'h444$$

(4) 儲存動作

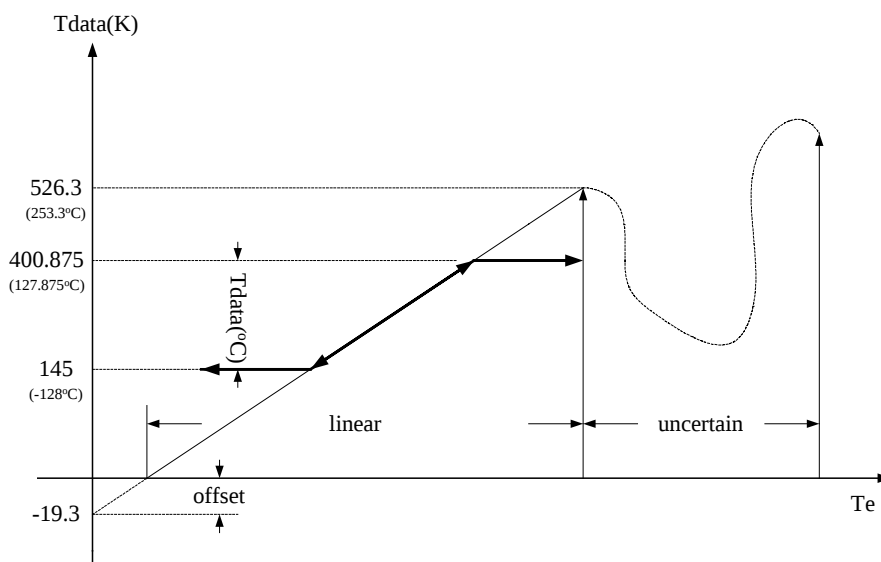
- 4.1 將 $TdA = 11'h0A0$ 及 $TeA = 12'h92A$ ，於溫度 A 時，存入晶片 PROM 中。
- 4.2 在溫度 B 時，計算 GAIN，並將其 $GAIN = 12'h444$ (格式如上所示) 存入晶片。
- 4.3 $TeA<10:0>$ 、 $TdA<11:0>$ 、 $GAIN<11:0>$ 相對於 PROM 位置
請參考 P.16 之第 4 節—燒錄及讀取 PROM 方式內的圖表。

6.3.3 GAIN 的經驗值在本晶片為下：

$$-40^{\circ}C \sim 100^{\circ}C : GAIN = 1/7.5 = 0.1\bar{3} = 12'h444 \text{ (格式如 6.2 所示) }。$$

6.3.4 T_e 的數值在隨機取樣八顆的實驗量測統計如下：

	-40°C	-30°C	-20°C	-10°C	0°C	10°C	20°C	30°C	40°C	50°C	60°C	70°C	80°C	90°C	100°C
Avg	1896	1971	2047	2121	2196	2272	2346	2421	2496	2571	2646	2721	2796	2871	2946
	768h	7B3h	7FFh	849h	894h	8E0h	92Ah	975h	9C0h	A0Bh	A56h	AA1h	AECh	B37h	B82h
Max	1932	2007	2083	2158	2233	2309	2384	2459	2535	2610	2685	2761	2836	2911	2987
	78Ch	7D7h	823h	86Eh	8B9h	905h	950h	99Bh	9E7h	A32h	A7Dh	AC9h	B14h	B5Fh	BABh
Min	1869	1944	2018	2092	2166	2240	2314	2388	2462	2536	2610	2684	2758	2832	2906
	74Dh	798h	7E2h	82Ch	876h	8C0h	90Ah	954h	99Eh	9E8h	A32h	A7Ch	AC6h	94Eh	B5Ah



從上圖得知：

1. -40°C ~ 100°C 之間，FS5908 所感測到的結果 (T_e) 呈現非常線性，每度 C 的變化量約為 7.5 格。
2. 假設小於 -40°C 及大於 100°C 也都是非常線性的情況，則：
 - ➔ T_e 所能表示的值下限為 -19.3K (不存在)，上限為 526.3K。
 - ➔ 本晶片 offset 經驗值約為 19.3 (K、°C)。
3. T_{data} 上、下限為 -128°C ~ 127.875°C。超過上、下限則以上、下限輸出值輸出。
4. T_e 上、下限為 145K (-128°C) ~ 526.3K (253.3°C)：
 - ➔ 下限依材料特性而定。
 - ➔ 上限超過 253.3°C (526.3K) 則輸出不正常，也連帶影響 T_{data} 數值。
5. 完全不經校正，給經驗值的情形下，-40°C ~ 100°C 之精度誤差在 $\pm 5^\circ\text{C}$ 以下。

6.4 附註

6.4.1. 精度依校正方式而有差異

6.4.1.1. 一點校正：只校正 TdA 、 TeA ，而 $GAIN$ 給經驗值。

6.4.1.2 兩點校正： TeA 、 TdA （在 TA 下校正），及 $GAIN$ （在 TB 下計算出）。

6.4.2. 精度依校正溫度而有差異

6.4.2.1. TA 、 TB 反應到晶片(TeA 、 TeB)的差異度數。

6.4.2.2. TdA 、 TdB 的距離（如 $TdA=10^{\circ}C$ ， $TdB=50^{\circ}C$ 或 $TdA=0^{\circ}C$ ， $TdB=100^{\circ}C$ ），
差異亦會影響各種區域內的溫度精度。

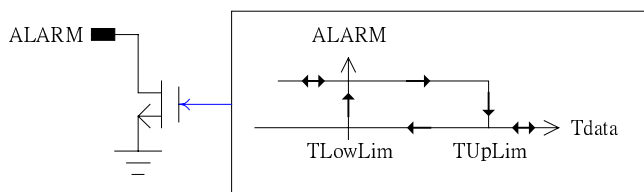
6.4.2.3. 晶片應用範圍的溫度區域離校正點的遠近，亦會產生差異。

6.4.3. T_{UpLim} 、 T_{LowLim} 可在出廠時，由客戶依應用領域不同而校正不同數值

6.4.3.1 應用一：冰箱

當溫度高於 $T_{UpLim} = 4^{\circ}C$ 時， $ALARM=0$ （啟動冷媒機）。

當溫度低於 $T_{LowLim} = 2^{\circ}C$ 時， $ALARM=1$ （關閉冷媒機）。



6.4.3.2 應用二：熱水器

當溫度低於 $T_{LowLim} = 95^{\circ}C$ 時， $ALARM=0$ （啟動加熱器）。

當溫度高於 $T_{UpLim} = 99^{\circ}C$ 時， $ALARM=1$ （關閉加熱器）。

