

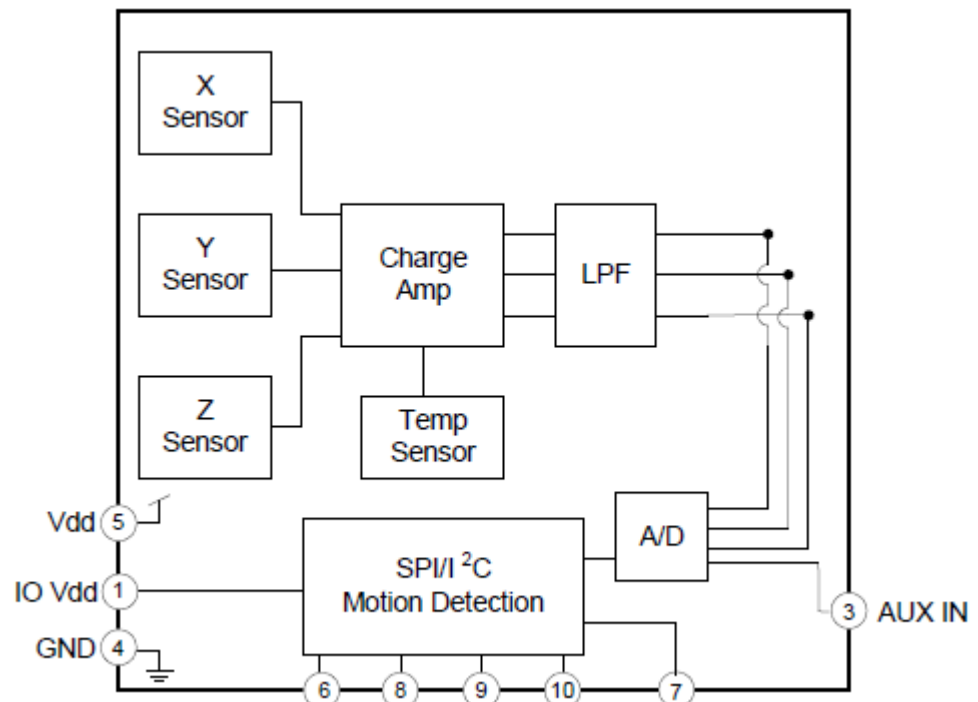
KXSD9 3-axis Digital Accelerometer 加速度計

工作電壓:DC 1.8V~3.6V

溝通介面:I2C 或 SPI

輸出範圍: $\pm 2g$, $\pm 4g$, $\pm 6g$, $\pm 8g$

IC 封裝為 BGA

功能區塊圖**感測能力**

特別說明一下這個 Sensitivity 表格，設定由 CTRL_REGC 控制，每一軸輸出的 range 如下，單位為 count/g

Parameters		Units	Min	Typical	Max
Sensitivity ¹	FS1=1, FS0=1 ($\pm 2g$)	counts/g	794	819	844
	FS1=1, FS0=0 ($\pm 4g$)		390	410	430
	FS1=0, FS0=1 ($\pm 6g$)		257	273	289
	FS1=0, FS0=0 ($\pm 8g$)		189	205	221

其他電性注意

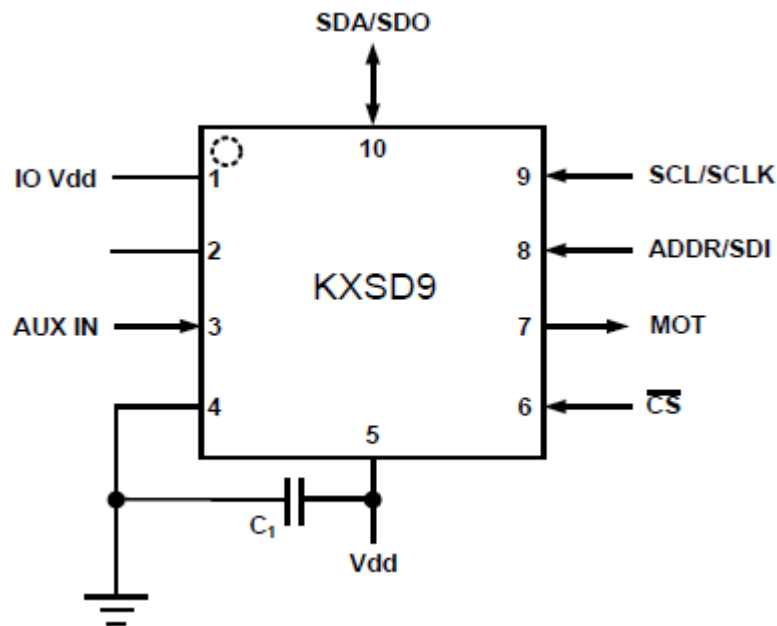
1.I2C 的上拉電阻最小接 1.5K(1.5K 算是強拉力，且較耗電，一般皆 4.7K~8.1K 即可)

2.Low Pass Filter 分別有 2Khz,1Khz,500hz,100hz,50hz，可由 CTRL_REGC 暫存器控制 Low Pass Filter

3.A/D Conversion time (這個攸關讀取的問題)需要注意，通常是 200uS，跟 CTRL_REGB CLKHld 有關係，當 KXSD9 還在量測用 I2C 去讀取，然後 CLKHld=1，則 KXSD9 會拉住 SCL 為 LOW，直到量測完畢，才放開 SCL，接著後面動作。(本實作不會用到此功能)

Parameters	Units	Min	Typical	Max
A/D Conversion time	μs		200	

KXSD9 電路



接腳描述

Pin	Name	Description
1	IO Vdd	The power supply input for the digital communication bus
2	DNC	Reserved – Do Not Connect
3	AUX IN	Auxiliary Input for analog/digital conversion
4	GND	Ground
5	Vdd	The power supply input. Decouple this pin to ground with a 0.1uF ceramic capacitor.
6	nCS	SPI Enable I ² C/SPI mode selection (1 = I ² C mode, 0 = SPI mode)
7	MOT	Motion Wakeup Interrupt
8	ADDR/SDI	I ² C programmable address bit/SPI Serial Data Input
9	SCL/SCLK	I ² C Serial Clock/SPI Serial Clock
10	SDA/SDO	I ² C Serial Data/SPI Serial Data Output

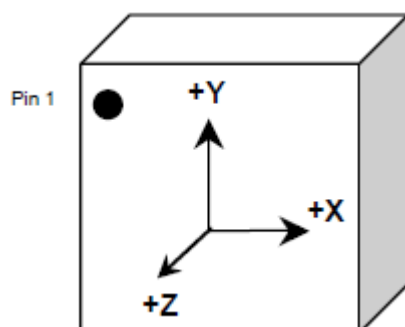
- nCS：當使用 I2C 溝通介面，此腳要接 HIGH；SPI 當作溝通介面，此腳接 LOW
- MOT：由 KSD9 輸出到外部，通常都接到主控的外部中斷，由加速度計喚醒主控。
- ADDR/SDI：當溝通介面為 I2C，此腳為設定 KXSD9 slave address

ADDR	KXSD9 I2C slave address [001100 x]
接 1(HIGH)	00110011 -> Read (0x33) 00110010 -> Wirte(0x32)
接 0(LOW)	00110001 -> Read (0x31) 00110000 -> Wirte(0x30)

若溝通介面為 SPI，此腳為 SPI Data input 腳。

本範例用 I2C 介面溝通，SPI 介面不贅述。

IC 對應 3 軸的方位(Orientation)



當加速度移動，相對於+X,+Y,+Z 移動，相對的數值會增加。

靜態測試得到的方位(地球的重力)

測試條件:FS1=1,FS0=1($\pm 2g$)(CTRL_REGC 暫存器控制 bit 1 & bit 0)

變化如紅框數值，相對應 Diagram 的 IC 擺放方式。

(1-g) 1-g -> 地球的重力

↓
Earth's Surface

Position	1	2	3	4	5	6
Diagram					Top Bottom	Bottom Top
X	2048 counts	2867 counts	2048 counts	1229 counts	2048 counts	2048 counts
Y	2867 counts	2048 counts	1229 counts	2048 counts	2048 counts	2048 counts
Z	2048 counts	2048 counts	2048 counts	2048 counts	2867 counts	1229 counts
X-Polarity	0	+	0	-	0	0
Y-Polarity	+	0	-	0	0	0
Z-Polarity	0	0	0	0	+	-

用 I2C Bus 操作 KXSD9

Term	Definition
S	Start Condition
Sr	Repeated Start Condition
SAD	Slave Address
W	Write Bit
R	Read Bit
ACK	Acknowledge
NACK	Not Acknowledge
RA	Register Address
Data	Transmitted/Received Data
P	Stop Condition

資料傳輸(只列基本的)

1.主控對 KXSD9 Write 1byte data

Master	S	SAD + W		RA		DATA		P
Slave			ACK		ACK		ACK	

2.主控對 KXSD9 Write N-byte data

Master	S	SAD + W		RA		DATA		DATA		P
Slave			ACK		ACK		ACK		ACK	

3.主控對 KXSD9 Read 1-byte data

Master	S	SAD + W		RA		Sr	SAD + R			NACK	P
Slave			ACK		ACK			ACK	DATA		

4.主控對 KXSD9 Read N-byte data

Master	S	SAD + W		RA		Sr	SAD + R			ACK		NACK	P
Slave			ACK		ACK			ACK	DATA		DATA		

KXSD9 暫存器

不論是用 I2C 還是 SPI 最終都是操作 KXSD9 的暫存器，來得到相對應加速度數值。

如下表為 I2C 的表(SPI 有另外一張表，這邊不列出，因為操作是 I2C 非 SPI，可參閱 KXSD9 sepc)

Register Name	Type Read/Write	Address	
		Hex	Binary
XOUT_H	R	0x00	0000 0000
XOUT_L	R	0x01	0000 0001
YOUT_H	R	0x02	0000 0010
YOUT_L	R	0x03	0000 0011
ZOUT_H	R	0x04	0000 0100
ZOUT_L	R	0x05	0000 0101
AUXOUT_H	R	0x06	0000 0110
AUXOUT_L	R	0x07	0000 0111
-	-	xxxx	xxxx xxxx
-	-	xxxx	xxxx xxxx
Reset_write	W	0x0A	0000 1010
-	-	xxxx	xxxx xxxx
CTRL_REGC	R/W	0x0C	0000 1100
CTRL_REGB	R/W	0x0D	0000 1101
CTRL_REGA	R	0x0E	0000 1110

Table 9. I²C Mode Register Map

這邊攸關於模式切換&讀取加速度數值，介紹幾個關鍵暫存器。

重點介紹暫存器

3 軸加速度數值暫存器 (Register Address 0x00~0x05)

如下，為 X 軸數值，分高低 Byte。Y 和 Z 軸一樣，這邊不列出(可看 SPEC)

XOUT_H

X-axis accelerometer output most significant byte

R	R	R	R	R	R	R	R
XOUTD11	XOUTD10	XOUTD9	XOUTD8	XOUTD7	XOUTD6	XOUTD5	XOUTD4
Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0

XOUT_L

X-axis accelerometer output least significant byte

R	R	R	R	R	R	R	R
XOUTD3	XOUTD2	XOUTD1	XOUTD0	X	X	X	X
Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0

從 KXSD9 讀取出來後要合併成一個， $XOUT = (XOUT_H \ll 8) | (XOUT_L \gg 4)$;

這邊要注意，數值一定都是正的。可參考[靜態測試得到的方位\(地球的重力\)](#)，

Y、Z 軸一樣的作法。

重置 KXSD9 Reset Write

當在 Register 0x0A(Reset Write)寫入 0b11001010，會 Reset KXSD9。

Reset_write

W	W	W	W	W	W	W	W
1	1	0	0	1	0	1	0
Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0

I²C Address: 0x0Ah

控制 KXSD9 暫存器 CTRL_REGC

CTRL_REGC

Read/write control register: Factory programmed power up/reset default value (0xE1h)

R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	Reset Value
LP2	LP1	LP0	MOTLev	MOTLat	0	FS1	FS0	11100001
Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0	

I²C Address: 0x0Ch
 SPI Read Address: 0x8Ch SPI Write Address: 0x0Ch

當 Power on 或 Reset 後，CTRL_REGC 初始數值為 0xE1。也就是 LP="111"，MOT="00"，FS="01"。

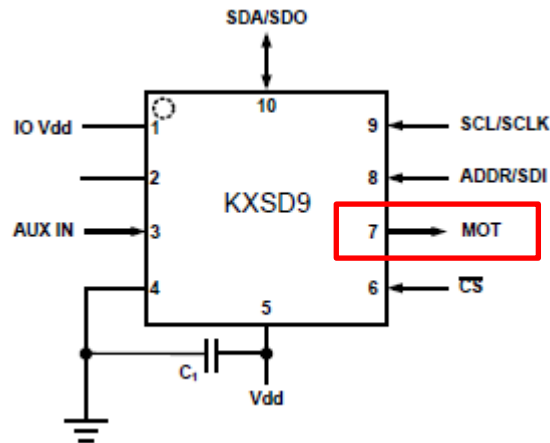
先介紹 **LP2,LP1,LP0**，此為控制加速度運算的頻寬。初始化是 50HZ(LP="111")。

LP2	LP1	LP0	Filter Corner Frequency
0	0	0	No Filter
0	0	1	2000 Hz
0	1	0	2000 Hz
0	1	1	2000 Hz
1	0	0	1000 Hz
1	0	1	500 Hz
1	1	0	100 Hz
1	1	1	50 Hz

再來介紹 **FS1,FS0**，用來控制輸出感測範圍(The full scale sensing range of accelerometer)，初始化為±6g(FS="01")

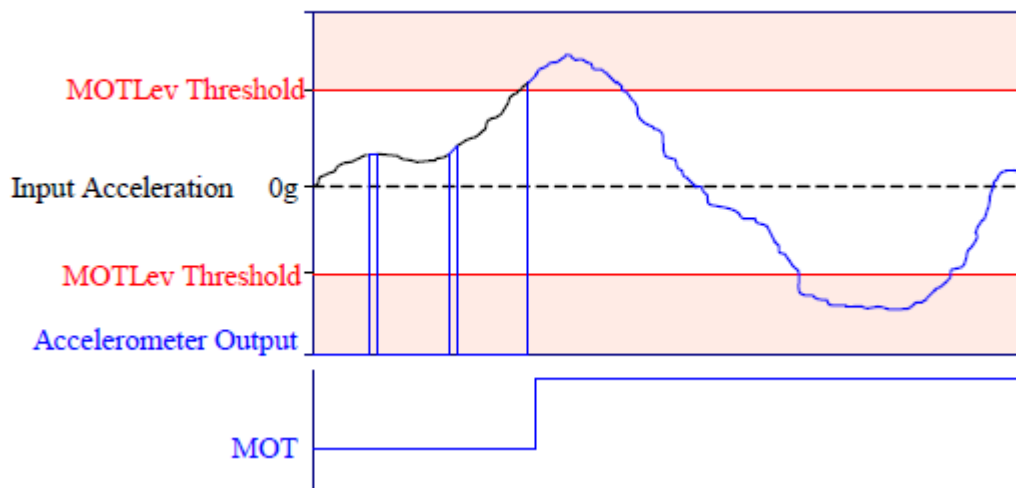
FS1	FS0	Full Scale Range	12-bit Sensitivity
0	0	+/-8 g	205 counts/g
0	1	+/-6 g	273 counts/g
1	0	+/-4 g	410 counts/g
1	1	+/-2 g	819 counts/g

最後介紹 **MOTLev, MOTLat** 這兩個參數，是用來控制 KXSD9 的 pin7 輸出行為。此接腳是用來喚醒主控(wake up)。



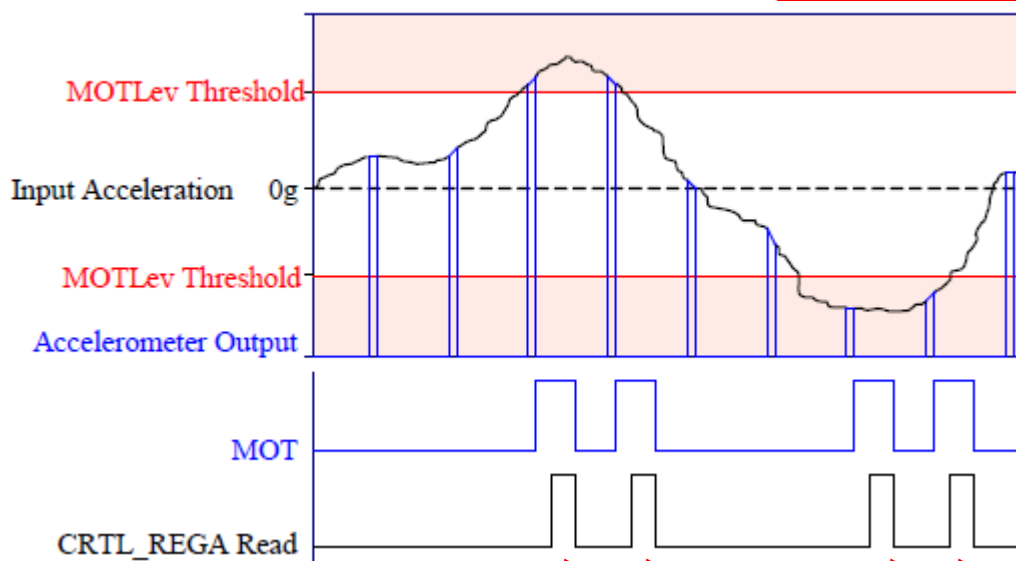
- MOTLat：是否要鎖住 MOT pin，如下圖，當 MOTLat =1

Typical Motion Wake Up Interrupt Example (MOTLat = 1)



如下圖，當 MOTLat =0

Typical Motion Wake Up Interrupt Example (MOTLat = 0)



有讀取 CTRL_REGA, MOT pin 會拉 low

解釋:

- 當 **MOTLat=1**，會將 MOT pin7 拉 HIGH，並且將 CTRL_REGA MOTI bit 設"1"。同時間去清除 CTRL_REGB 的 MOTlen bit，然後進入 full-power mode。(當 CTRL_REGB MOTlen bit 為"1" 則是 low power motion wake up mode。

CTRL_REGA MOTI bit -> 當有喚醒(wake up)發生，會自動設"1"，若沒有發生，則是"0"。(等等後面會介紹)。

若要 KXSD9 重新進入 low power motion wake up mode，需要設定 CTRL_REGB 的 MOTlen bit 為"1"。

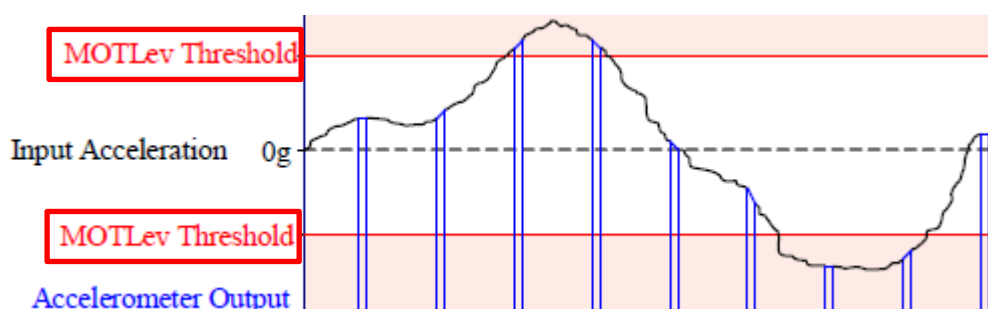
- 當 **MOTLat=0**，當 CTRL_REGB MOTlen 為"1"且有移動發生(motion event happens)，則會將 MOT pin7 拉 HIGH，並且將 CTRL_REGA MOTI bit 設"1"。但不會進入 full-power mode，反而是持續在 low power motion wakeup mode。

當去讀取 CTRL_REGA，MOT 會自動拉 LOW。

就是當有設定 **MOTLat=1**，會一直讓 MOT pin 維持 high。**MOTLat=0**，會一直讓 MOT pin 維持 high，但只要去讀取 CTRL_REGA 後，MOT 會自動拉 LOW。

- **MOTLev**，設定 threshold(臨界值)，觸發移動偵測(motion event)喚醒用(跟 MOT pin 有關係)。設定關係如下表，正負一起設定，如紅框所示

MOTLev	FS1	FS0	Motion Wake Up Threshold
0	0	0	+/-6 g
0	0	1	+/-4.5 g
0	1	0	+/-3 g
0	1	1	+/-1.5 g
1	0	0	+/-4 g
1	0	1	+/-3 g
1	1	0	+/-2 g
1	1	1	+/-1 g



控制 KXSD9 暫存器 CTRL_REGB

CTRL_REGB

Read/write control register: Factory programmed power up/reset default value (0x40h)

R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	Reset Value
CLKhld	ENABLE	ST	0	0	MOTlen	0	0	01000000
Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0	
I ² C Address: 0x0Dh				SPI Read Address: 0x8Dh				
				SPI Write Address: 0x0Dh				

CTRL_REGB 初始化數值為:0x40，參數有 CLKhld、ENABLE、ST、MOTlen 這四個。

這邊不討論 CLKhld，這個是 I2C SCL 有 hold 住的做法，在這邊不會使用到，也不會看到。

通常讓 CLKhld 保持為"0"就好。

- ENABLE: 設定 KXSD9 模式。
ENABLE = 1，normal mode。
ENABLE=0，low power mode。
 - ST:自我測試(Self-test function)，會測試 3 軸，輸出會丟在 3 軸加速度暫存器。
進入條件：ST 要設"1"外，EENABLE 也要設"1"。
 - MOTlen:開啟移動偵測喚醒功能(motion wakeup feature)，
MOTlen=1，KXSD9 會進入 low power mode 直到有移動事件發生(motion event occurs)，
會使暫存器 CTRL_REGA MOTI 設"1"，外部腳 MOT 為"HIGH"。
但 KSD9 是甚麼模式要看 CTRL_REGC 的 MOTLat bit。
 - ◆ 當 MOTLat =1，保持 KXSD9 為 low power mode。
 - ◆ 當 MOTLat =0，KXSD9 轉為 normal mode。
- MOTlen=0，保持為 normal operating mode。

控制 KXSD9 暫存器 CTRL_REGA

一個參數 **MOTI**，用來讀取得知是否有**移動喚醒中斷發生**(motion wakeup interrupt)。

CTRL_REGA

Read-only status register

R	R	R	R	R	R	R	R
X	X	X	X	X	X	MOTI	X
Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0

I²C Address: 0x0Eh

SPI Read Address: 0x8Eh SPI Write Address: 0x0Eh

- MOTI，當有移動喚醒中斷發生
 MOTI=1，代表有 Wake up event 發生，同時外部 MOT pin 為 high
 MOTI=0，代表有 Wake up event 發生，同時外部 MOT pin 為 low

KXSD9 工作流程

簡易流程如下，詳細請參考 code : EXAMPLE_KXSD9.C



註: KXSD9_INIT API 包含幾項初始化步驟:

1. KXSD9_RESET API (下達Soft Reset)
2. KXSD9_SET_LOW_PASS (設定low pass filter 100hz)
3. KXSD9_SET_FS_MOTLEV_MOTLAT (設定FS mode, MOTLev, MOTLat)
4. KXSD9_SET_PWR_MODE (設定power mode)
5. KXSD9_SET_MOTLEN (設定MOTLen)