

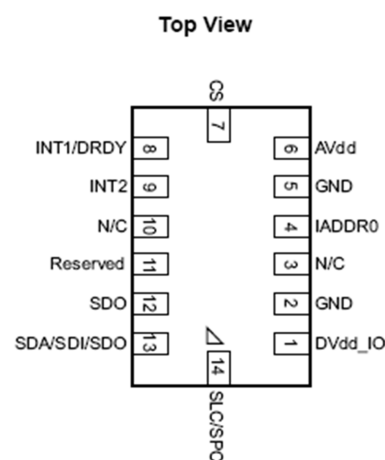
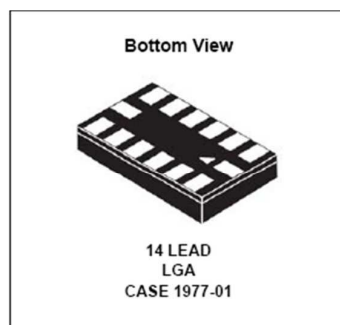
3.1 Cảm biến accelerometer

3.1.1 Cảm biến accelerometer MMA7455L:

Giới thiệu:

MMA7455 là cảm biến đo gia tốc 3 trục X, Y, Z, là sản phẩm của hãng Freescale, ngõ ra Digital, công suất thấp, có những đặc trưng cơ bản sau:

- Ngõ ra Digital (I2C/SPI) – 10-bit ở Mode 8g (g là gia tốc trọng trường)
- Kích thước: 3mm x 5mm x 1mm, đóng gói 14 chân LGA
- Dòng tiêu thụ thấp 400 μ A
- Chức năng Self Test trục Z
- Điện áp vận hành thấp 2.4V – 3.6V
- Sử dụng các thanh ghi User Assigned để chỉnh Offset
- Lập trình giá trị ngưỡng cho phép ngắt
- Phát hiện chuyển động: Shock, dao động, rơi.
- Phát hiện xung: xung đơn và xung kép
- Độ nhạy: 64 LSB/g @ 2g và @ 8g ở 10-Bit Mode
- Có thể chọn tầm đo ($\pm 2g$, $\pm 4g$, $\pm 8g$)
- Chịu shock tới 10000g



Hình 3.1.1: Hình dạng MMA7455

Ứng dụng phổ biến:

- Cell Phone/PMP/PDA: Image Stability, Text Scroll, Motion Dialing, E-Compass, Tap to Mute
- HDD: phát hiện trạng thái rơi tự do (*Freefall Detection*)
- Laptop PC: phát hiện rơi hay bị lấy cắp (*Freefall Detection, Anti-Theft*)
- Bỏ chỉnh độ nghiêng cho la bàn điện tử (*E-Compass Tilt Compensation*)
- 3D Gaming: Cảm biến đo độ nghiêng và chuyển động (*Tilt and Motion Sensing*), Ghi sự kiện (*Event Recorder*)

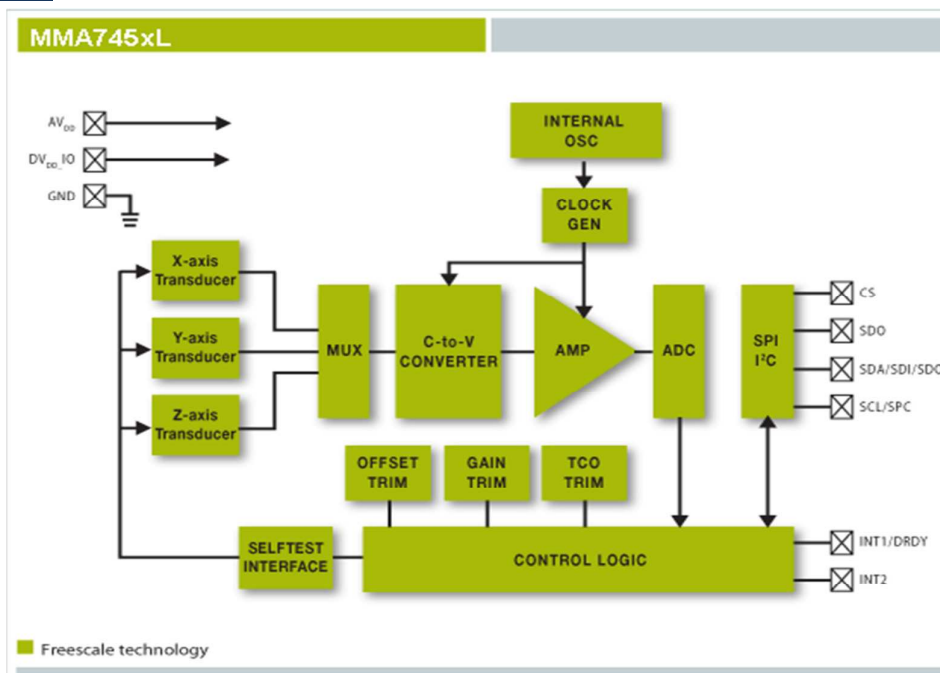
Mô tả các chân:

- #1: DVdd_IO, cấp nguồn digital cho các chân I/O.
- #2: GND, nối ground.
- #3: NC, không dùng, để hở hoặc nối đất.
- #4: IADDR0, Bit 0 của địa chỉ I2C.
- #5: GND, nối đất.
- #6: AVdd, nguồn Analog.
- #7: CS, Chip Select, chọn kiểu truyền thông: mức 0 cho SPI, mức 1 cho I2C.
- #8: INT1/DRDY, ngắt 1 và báo Data Ready.
- #9: INT2, Ngắt 2.
- #10: NC, không dùng, để hở hoặc nối đất.
- #11: Reserved, dự trữ, nối đất.
- #12: SDO, dữ liệu ra trong truyền thông nối tiếp kiểu SPI.
- #13: SDA/SDI/SDO, dữ liệu truyền thông nối tiếp kiểu I2C (SDA) / dữ liệu vào của truyền thông SPI (SDI) / dữ liệu ra của truyền thông nối tiếp kiểu 3-wire.
- #14: SCL/SPC, xung clock của truyền thông nối tiếp I2C (SCL) hay SPI (SPC).

Bảng 3.1.1: Mô tả chức năng các chân MMA7455

PIN DESCRIPTIONS			
Pin #	Pin Name	Description	Pin Status
1	DVDD_IO	Digital Power for I/O pads	Input
2	GND	Ground	Input
3	N/C	No Connection or Connect to Ground	Input
4	IADDR0	I ² C Address Bit 0	Input
5	GND	Ground (optional)	Input
6	AVDD	Analog Power	Input
7	CS	SPI Enable (0), I ² C Enable (1)	Input
8	INT1/ DRDY	Interrupt 1/ Data Ready	Output
9	INT2	Interrupt 2	Output
10	N/C	Rev 1: No Connection or Ground	Input
11	Reserved	Ground	Input
12	SDO	SPI Serial Data Output	Output
13	SD(A/I/O)	I ² C Serial Data (SDA), SPI Serial Data Input (SDI), 3-wire interface Serial Data Output (SDO)	Open Drain/Input/ Output
14	SCL/SPC	I ² C Serial Clock (SCL), SPI Serial Clock (SPC)	Input

Sơ đồ khối:



Hình 3.1.2: Sơ đồ khối dạng đơn giản của accelerometer

Thông số hoạt động:

Bảng 3.1.2: Các giá trị tối đa cho phép

Rating	Symbol	Value	Unit
Maximum Acceleration (all axes)	g_{max}	5,000	g
Analog Supply Voltage	AV_{DD}	-0.3 to +3.6	V
Digital I/O pins Supply Voltage	DV_{DD_IO}	-0.3 to +3.6	V
Drop Test	D_{drop}	1.8	m
Storage Temperature Range	T_{stg}	-40 to +125	°C

- Nguồn Analog: AV_{DD} 2.4 V - 3.6 V (tiêu chuẩn 2.8V)
- Nguồn digital: DV_{DD_IO} 1.71 V – AV_{DD} (tiêu chuẩn 1.8 V)
- Dòng tiêu thụ: I_{DD} khoảng 400 μ A, tối đa 490 μ A. Ở chế độ Stand by I_{DD} khoảng 10 μ A.
- Tầm đo gia tốc trên cả 3 trục X, Y, Z: có 3 mode $\pm 2g$, $\pm 4g$, $\pm 8g$
- Nhiệt độ làm việc: -40 – 80 °C
- Điện áp ngõ vào mức cao: $0.7 \times V_{DD}$, mức thấp: $0.35 \times V_{DD}$

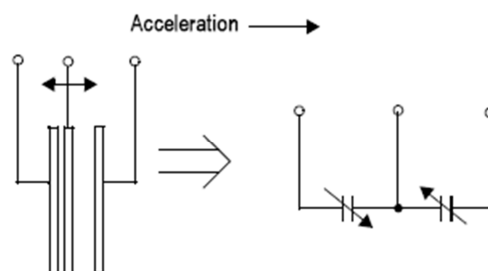
Nguyên lý hoạt động:

MMA7455 là một cảm biến vi cơ bề mặt (*surface-micromachined integrated-circuit accelerometer*) thuộc loại điện dung.

Dưới tác dụng của gia tốc, khoảng cách giữa các vách ngăn thay đổi, sự thay đổi này dẫn đến sự thay đổi giá trị điện dung theo công thức quen thuộc:

$$C = \frac{A\varepsilon}{D}$$

Với A là diện tích các miếng ngăn, ε là hằng số điện môi, D là khoảng cách giữa các tấm.



Giá trị điện áp ngõ ra tỉ lệ với gia tốc đo được.

Từ giá trị gia tốc, ta có thể tích phân đơn để có giá trị vận tốc hay tích phân 2 lớp để xác định vị trí của vật thể.

Gia tốc tĩnh do lực hấp dẫn có thể được dùng để xác định góc và độ nghiêng.

3.1.2 Phương pháp calibrate cho cảm biến accelerometer:

Điểm offset của accelerometer bị trôi do ảnh hưởng của nhiệt độ, sự lão hoá và các biến động trong môi trường làm việc. Sự trôi offset này ảnh hưởng lớn đến các ứng dụng, cụ thể nhất là trong xác định góc nghiêng (tilt), sai số do sai offset có thể lên tới 12° khi được đọc trên mặt phẳng nhẵn – điều này là không thể chấp nhận được.

Do đó ta **luôn phải tiến hành calibrate** cho accelerometer trước khi đưa vào sử dụng, tức là tìm các giá trị hiệu chỉnh để tính toán được giá trị đo chính xác.

Các giá trị cần xác định đó là giá trị 0g – zero g, và độ nhạy *sensitivity* thực tế.

Các phương pháp xác định giá trị zero g được đề nghị như sau:

1. *Manual 0g X, Y, Z Full Range Calibration:* Quay accelerometer từ vị trí +1g tới -1g, ghi nhận giá trị nhỏ nhất và lớn nhất. Do tính đối xứng, điểm “0g” sẽ nằm ở chính giữa khoảng này.

Tiến hành với cả 3 trục X,Y,Z để có giá trị offset cho mỗi trục.

2. Simple 0g X, Y, Z calibration: Cho rằng khi accelero nằm trên mặt phẳng, ta có giá trị trên trục X, Y tại đó là 0g, quay accelerometer 90° tới vị trí 0g của trục Z (trục Z nằm song song với mặt phẳng), ghi nhận giá trị zero của trục Z.

Phương pháp này đơn giản nhưng không có độ chính xác cao như phương pháp 1.

3. Freefall Calibration: Cho cảm biến rơi tự do. Thuận lợi của phương pháp này là ta có thể đọc được giá trị 0g của 3 trục cùng một lúc. Tuy nhiên khi cần calibrate lại, không phải lúc nào cũng dễ dàng để cho thiết bị “rơi tự do” được.

4. Simple 0g X, 0g Y, +1g Z calibration: Đặt cảm biến trên một mặt phẳng nhẵn, đọc giá trị 0g của các trục X, Y tại đây và +1g của trục Z. Giá trị +1g Z trừ đi độ nhạy biết trước, ta được 0g Z. Với phương pháp này có thể giá trị 0g X, Y là khá chính xác (với mặt gần như phẳng hoàn toàn), nhưng giá trị 0g Z thì không được đảm bảo vì nó không được đọc tại đúng vị trí 0g. Thuận lợi của phương pháp này là không cần phải dịch chuyển hay xoay thiết bị, phù hợp với trường hợp calib lại sau một thời gian hoạt động mà accelerometer đã được gắn “cứng” trên thiết bị.

Ngoài ra, với các dụng cụ, thiết bị thí nghiệm chính xác như máy tạo xung, dao động kí, ... ta có các phương pháp calibrate hiệu quả hơn.

Đọc giá trị sau khi được calibrate:

- Xác định khoảng dời offset CZ_{OFF} của mỗi trục
- Đọc giá trị đo được CA
- Gia tốc thực:

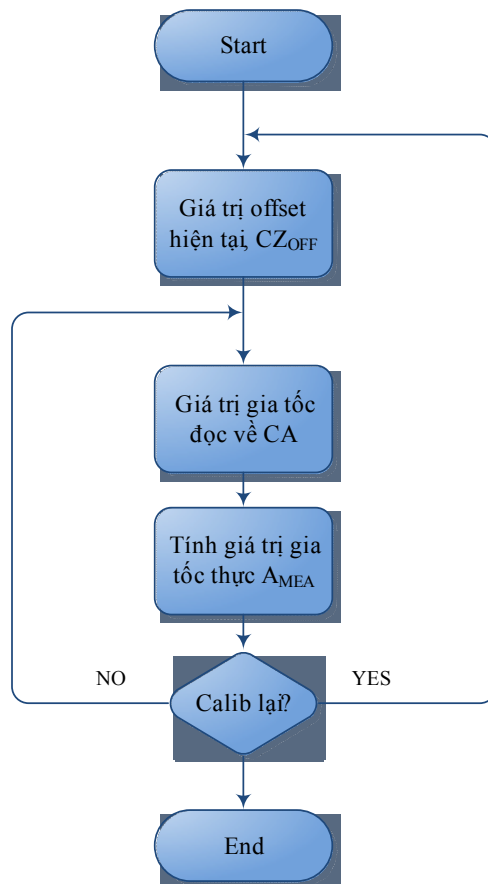
$$A_{MEAS} = \frac{CA - CZ_{OFF}}{S}$$

Với S là độ nhạy.

Nếu sử dụng phương pháp *Simple 0g X, 0g Y, +1g Z calibration* thì gia tốc thực được tính như sau:

$$A_{MEAS} = \frac{CA - (CZ_{OFF} - S)}{S}$$

Giải thuật calibrate *tự-chỉnh-zero* được mô tả bằng sơ đồ khối như sau, trong đó chương trình đọc dữ liệu từ accelerometer sẽ chạy bình thường cho đến khi nhận được lệnh chỉnh zero:



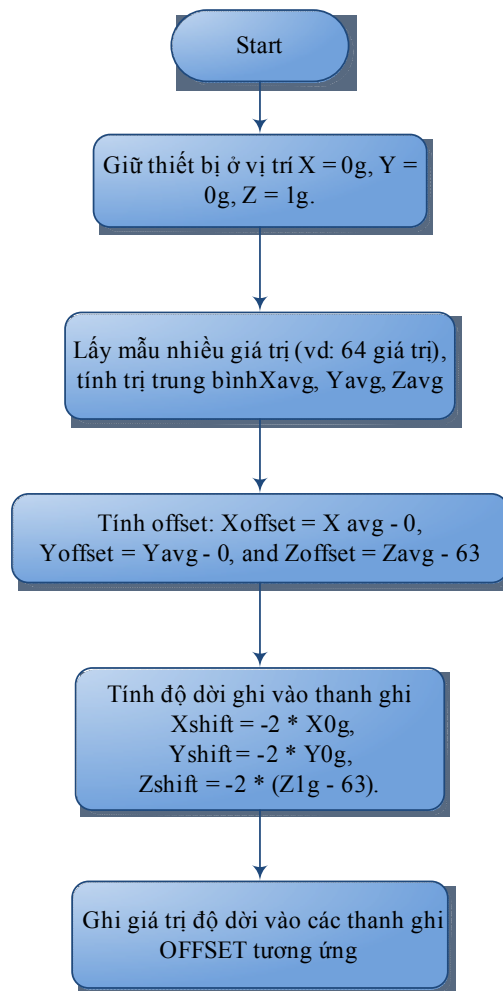
Hình 3.1.3: Lưu đồ giải thuật tự-chỉnh-zero cho accelerometer

Cảm biến accelerometer MMA7455L, có 6 thanh ghi dùng để chứa giá trị offset, sau khi xác định được các giá trị offset của mỗi trục ta lưu chúng vào các thanh ghi này và giá trị được đọc ra từ các thanh ghi dữ liệu là giá trị đã được hiệu chỉnh.

Cần lưu ý rằng, giá trị được lưu vào 6 thanh ghi này là giá trị offset tính được nhân với 2. Mỗi trục X, Y, Z có 2 thanh ghi chứa giá trị offset, ứng với High byte và Low byte. Nếu dùng mode 8-bit thì ta chỉ cần quan tâm tới thanh ghi Low Byte.

Ví dụ, ta tính được offset của trục X là -12, như vậy cần phải ghi giá trị -24 vào thanh ghi XOFFL (ở địa chỉ \$10).

Áp dụng cho accelerometer MMA7455L, chẳng hạn vị trí chọn để chỉnh offset là $0g$ X, $0g$ Y, $+1g$ Z, sau khi nhận được lệnh chỉnh offset, giải thuật chỉnh offset sẽ có dạng như sau:



Hình 3.1.4: Lưu đồ giải thuật chỉnh offset cho MMA7455L

Trong đó số 63 là giá trị chuẩn của gia tốc = $1g$, đó cũng chính là độ nhạy.

Code mẫu:

1. "Simple 0g X, 0g Y, +1g Z calibration"

S = Sensitivity;

X0g_current = XCZOFF;

Y0g_current = YCZOFF;

Z1g_current = ZCZOFF;

XCA = XCA_val;

YCA = YCA_val;

ZCA = ZCA_val;
AmeasX = (XCA-X0g_current)/S;
AmeasY = (YCA-Y0g_current)/S;
AmeasZ = (ZCA-(Z1g_current-S))/S;

2. Các phương pháp đọc “0g” khác:

S = Sensitivity;
X0g_current = XCZOFF;
Y0g_current = YCZOFF;
Z0g_current = ZCZOFF;
XCA = XCA_val;
YCA = YCA_val;
ZCA = ZCA_val;
AmeasX = (XCA-X0g_current)/S;
AmeasY = (YCA-Y0g_current)/S;
AmeasZ = (ZCA-Z0g_current)/S;

Xác định lại độ nhạy:

Độ nhạy danh định được quy định bởi nhà sản xuất, tuy nhiên do ảnh hưởng của điều kiện môi trường, tuổi thọ và các yếu tố khác, khi accelerometer hoạt động, độ nhạy thực tế có thể thay đổi. Để xác định lại độ nhạy làm việc của accelerometer, ta tính như sau:

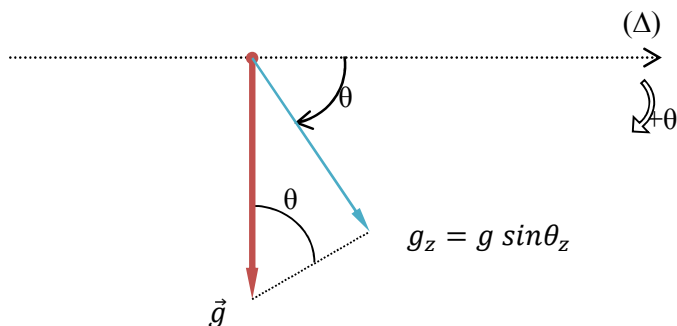
$$S = \left(\frac{value_{+1g} - value_{-1g}}{2g} \right) \quad [count/g]$$

Giá trị độ nhạy có ý nghĩa lớn trong những tính toán về sau, chẳng hạn như tính góc nghiêng *tilt* trên 3 trục.

3.1.3 Xác định góc nghiêng Tilt bằng giá trị gia tốc trên 1 trục:

Xác định góc *tilt* là một trong những ứng dụng phổ biến của accelerometer, góc nghiêng được xác định dựa vào giá trị gia tốc tĩnh.

Ta biết, gia tốc trọng trường g luôn không đổi. Khi cảm biến accelerometer thực hiện chuyển động quay, hệ trục xyz gắn liền với nó cũng quay theo, với mỗi vị trí khác nhau của accelerometer trong không gian, *hình chiếu* của gia tốc trọng trường g lên hệ trục xyz đó sẽ cho ra những giá trị khác nhau phụ thuộc vào góc hợp bởi phương ngang và phương của mỗi trục.



Tilt chính là góc nghiêng của mỗi trục x,y,z so với mặt phẳng ngang. Ta gọi trục nằm ngang là (Δ), với chiều dương của góc nghiêng (tilt) θ là chiều kim đồng hồ (chiều hướng về gia tốc trọng trường g).

Ta có:

$$g_z = g \sin \theta_z$$

$$g_x = g \sin \theta_x$$

$$g_y = g \sin \theta_y$$

Giá trị gia tốc tĩnh được từ các ngõ ra của accelerometer chính là hình chiếu của g lên mỗi trục tương ứng. Như vậy ta sẽ xác định được:

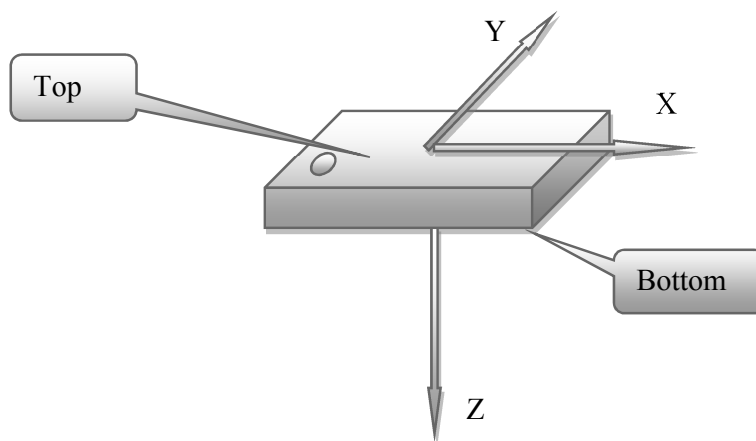
$$\theta_x = \arcsin\left(\frac{g_x}{g}\right)$$

$$\theta_y = \arcsin\left(\frac{g_y}{g}\right)$$

$$\theta_z = \arcsin\left(\frac{g_z}{g}\right)$$

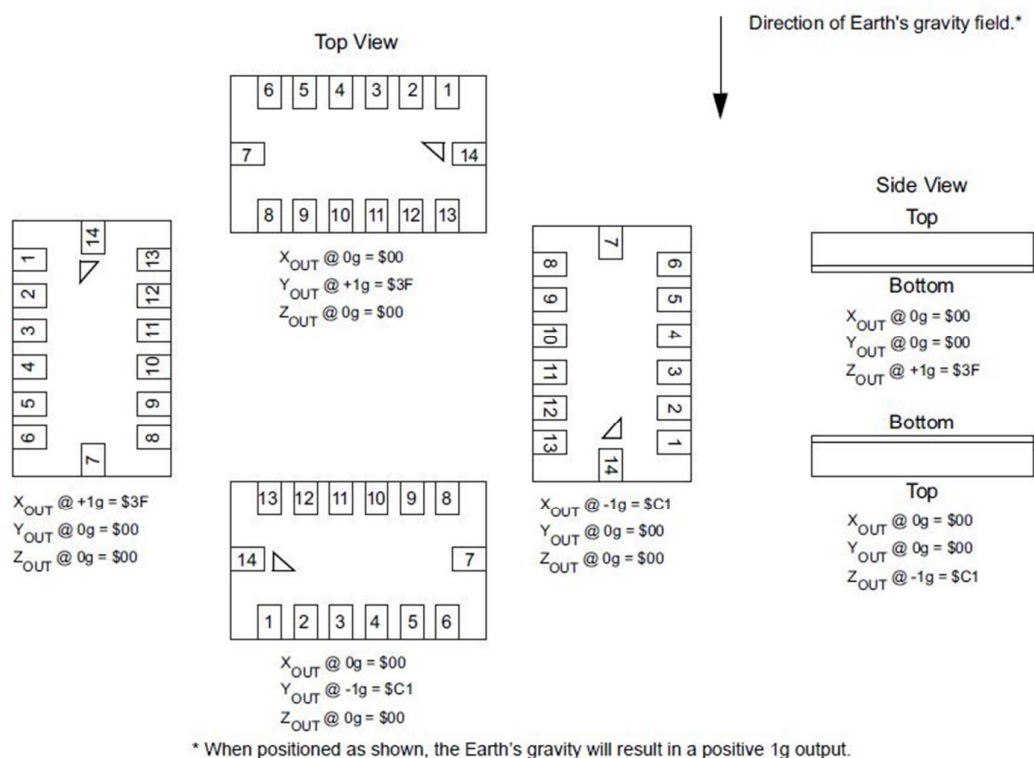
Với θ nằm trong khoảng $-90^\circ \rightarrow +90^\circ$.

Hệ trục tọa độ gắn với accelerometer MMA7455L được quy định như sau:



Hình 3.1.5: Hệ trục tọa độ xyz trên MMA7455L

Các đáp ứng ngõ ra tại 6 vị trí đặc biệt của accelero như sau (mode 2g):



Hình 3.1.6: Các đáp ứng ngõ ra tại 6 vị trí đặc biệt của MMA7455L tại mode 2g

Ngõ ra của các loại accelerometer là tuyến tính, kể cả dạng analog hay digital, với MMA7455L độ nhạy danh định ở mode $\pm 2g$ là 64 count/g, $\pm 4g$ là 32 count/g, $\pm 8g$ là 16 count/g ở mode 8-bit dữ liệu, 64 count/g ở mode 10-bit.

Khi làm việc, dưới tác động của môi trường và do sự lão hoá của cảm biến, độ nhạy sẽ là một giá trị khác với giá trị danh định này.

Khi calibrate cho cảm biến, ta đồng thời cũng cần xác định lại độ nhạy của nó.

$$S = \left(\frac{value_{+1g} - value_{-1g}}{2g} \right) \quad [count/g]$$

Bảng sau cho biết giá trị gia tốc tương ứng với ngõ ra:

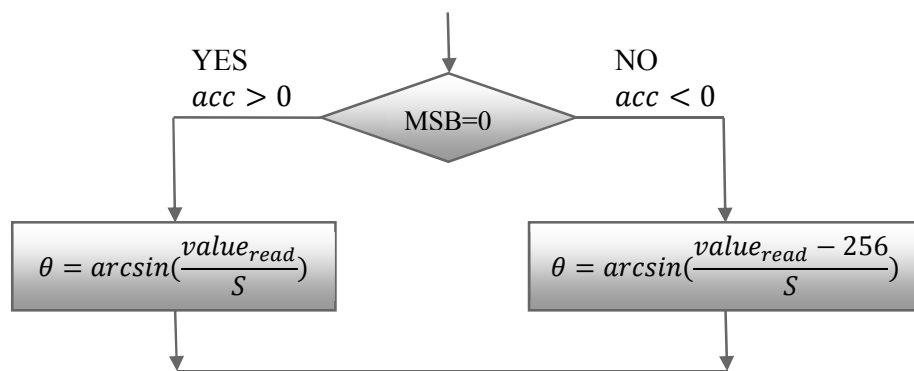
Bảng 3.1.3: Acceleration vs. Output (8-bit data)

FS Mode	Acceleration	Output
2g Mode	-2g	\$80
	-1g	\$C1
	0g	\$00
	+1g	\$3F
	+2g	\$7F
4g Mode	-4g	\$80
	-1g	\$E1
	0g	\$00
	+1g	\$1F
	+4g	\$7F
8g Mode	-8g	\$80
	-1g	\$F1
	0g	\$00
	+1g	\$0F
	+8g	\$7F

Vậy ta thấy, bit có trọng số lớn nhất (MSB) là bit dấu, MSB = 1 với các giá trị gia tốc âm, và MSB = 0 cho các giá trị dương.

Từ đây ta có giải thuật xác định góc nghiêng *Tilt*:

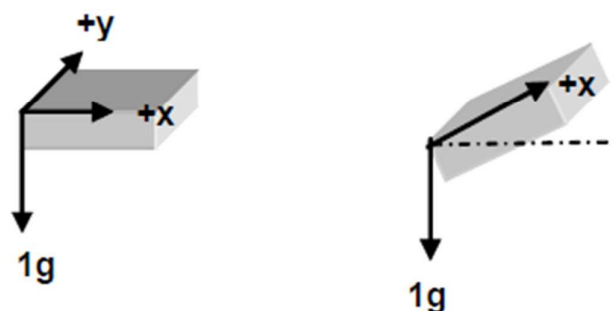
Với S là độ nhạy.



Hình 3.1.7: Giải thuật xác định góc nghiêng Tilt bằng 1 trục

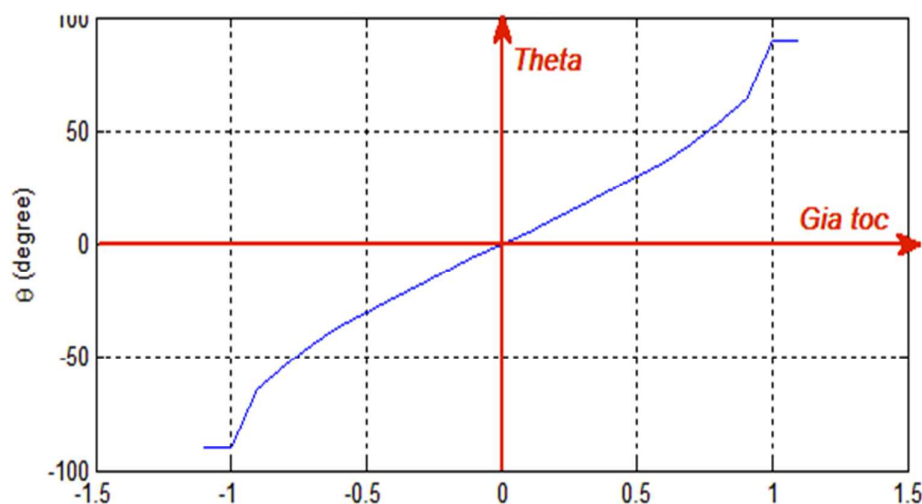
Nhận xét:

Đây chính là phương pháp xác định góc nghiêng dựa vào giá trị gia tốc tĩnh đo được trên một trục. Phương pháp này áp dụng cho các loại cảm biến accelerometer 1 trục toạ độ, hoặc trong trường hợp accelerometer được gắn vào thiết bị mà ta không thể dựa thêm kết quả đo trên các trục khác để xác định góc nghiêng, chẳng hạn như trường hợp sau:



Hình 3.1.8: Accelerometer 2 trục toạ độ, trong đó chỉ có 1 trục X có khả năng quay

Giá trị góc Tilt tính theo phương pháp này càng chính xác khi càng gần 0° , và sai số rất lớn khi càng gần $\pm 90^\circ$.



Hình 3.1.9: Giá trị góc nghiêng tính theo hàm arcsin của gia tốc

Theo đồ thị trên, ta thấy, khi giá trị góc lân cận 0° , độ dốc đáp ứng nhỏ hơn nhiều so với khi góc theta tiến tới $\pm 90^\circ$. Chính vì độ dốc lớn ở vùng gần $\pm 90^\circ$ làm giá trị góc nghiêng đọc ở vùng này thiếu chính xác.

Giả sử độ nhạy là 63 count/g. Với giá trị gia tốc đọc vào được là 0x01 và 0x02, tương ứng là 1 và 2 trong hệ thập phân, ta tính xem góc nghiêng chênh lệch bao nhiêu.

$$\theta(acc = 1) = \arcsin\left(\frac{1}{63}\right) \approx 0.9^\circ$$

$$\theta(acc = 2) = \arcsin\left(\frac{2}{63}\right) \approx 1.8^\circ$$

Trong khi đó, với các giá trị gia tốc rất gần với 1g (tức là giá trị output gần với 64 hay 0x40) thì độ chênh lệch lại rất lớn.

$$\theta(acc = 63) = \arcsin\left(\frac{63}{63}\right) = 90^\circ$$

$$\theta(acc = 62) = \arcsin\left(\frac{62}{63}\right) \approx 79^\circ$$

Như vậy độ phân giải lớn nhất cho mỗi LSB có thể lớn hơn 10° (!!!).

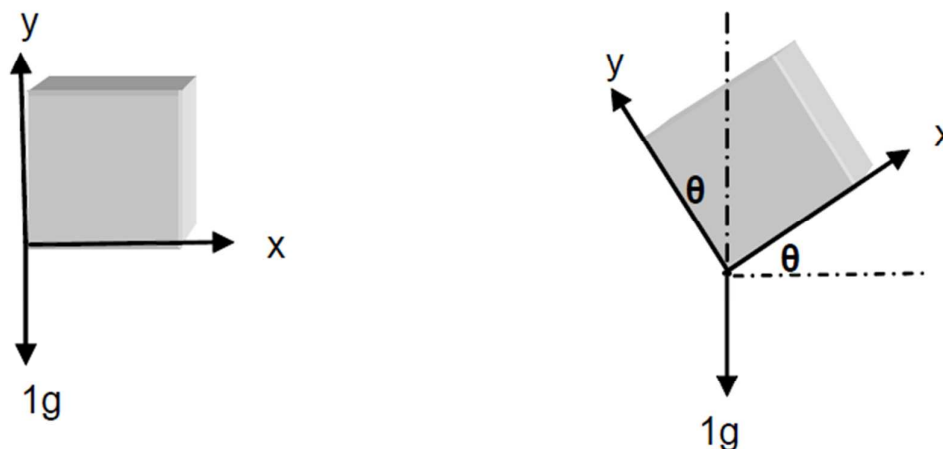
Để đạt độ chính xác chấp nhận được, phương pháp này khuyến cáo chỉ nên dùng khi đo dải góc từ -45° đến $+45^\circ$.

Một bất lợi nữa của cách đo này là, do tính góc tilt bằng hàm arcsin nên không phân biệt được 2 góc bù nhau, chẳng hạn như 30° và 150° , kết quả luôn trả về 30° .

Khi cần phải đo góc ngoài phạm vi -45° đến $+45^\circ$ và có cảm biến accelerometer loại 2 hay 3 trục toạ độ, hơn nữa lại không bị giới hạn về khả năng quay của thiết bị, phương pháp sau được đề nghị dùng:

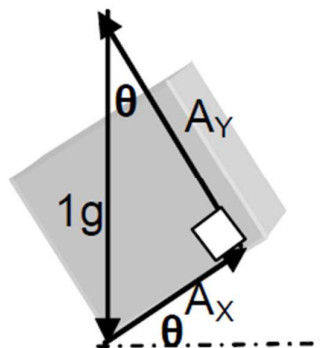
3.1.4 Xác định góc nghiêng tilt bằng giá trị gia tốc 2 hay 3 trục:

Cũng với loại cảm biến gia tốc 2 trục toạ độ như ở hình 3.2.8 nhưng được lắp đặt theo chiều dọc, như vậy cả 2 trục X,Y đều có khả năng quay:



Hình 3.1.10: Accelerometer 2 trục toạ độ quay được

Phân tích gia tốc tĩnh g lên 2 trục tọa độ X, Y như sau:



Hình 3.1.11: $\vec{A}_X + \vec{A}_Y = \vec{g}$

Ta có:

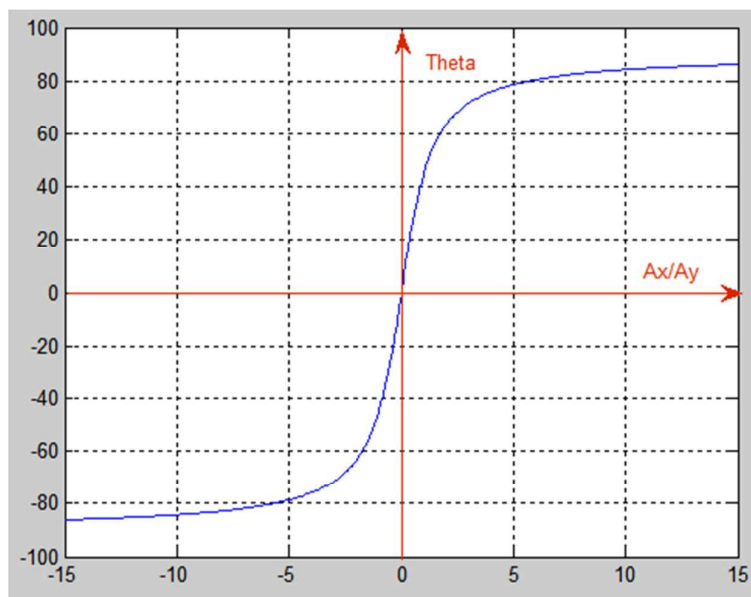
$$A_X = \sin \theta \quad [g]$$

$$A_Y = \cos \theta \quad [g]$$

Từ đây, thiết lập công thức tính góc nghiêng θ :

$$\theta = \arctan \frac{A_X}{A_Y}$$

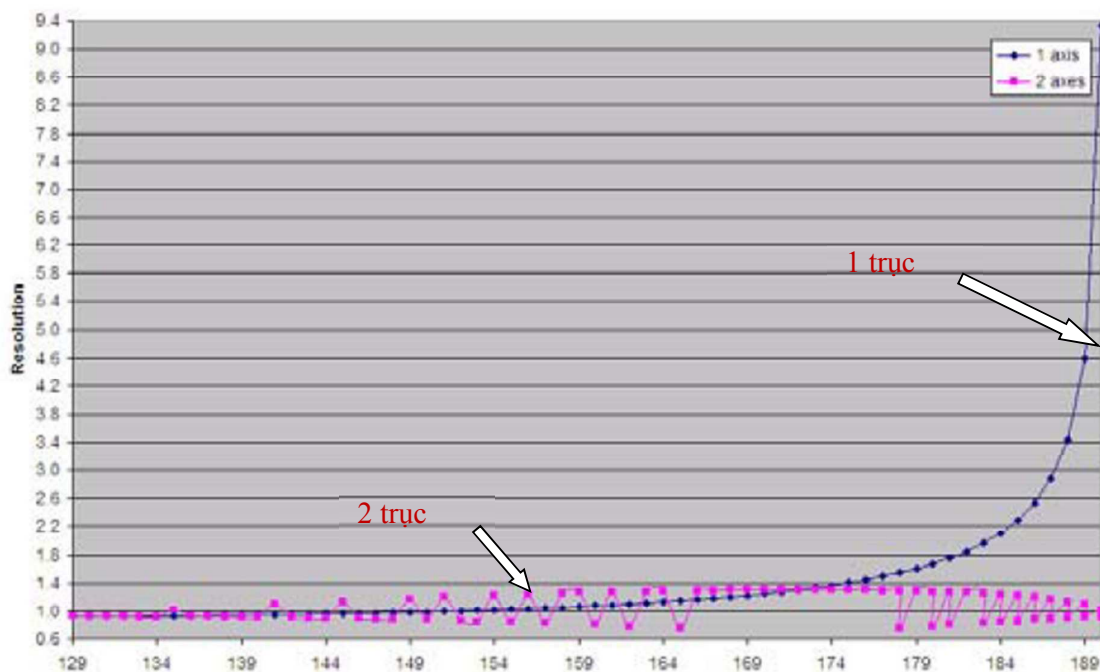
Tính góc nghiêng dựa vào 2 trục tọa độ dùng hàm arctan có độ chính xác cao hơn phương pháp dùng hàm arcsin rất nhiều. Trước hết ta khảo sát đáp ứng của góc nghiêng theta với hàm arctan:



Hình 3.1.12: Giá trị góc nghiêng tính theo hàm arctan

Độ dốc khi theta tiến càng gần $\pm 90^\circ$ càng giảm, do đó giá trị góc nghiêng đọc được càng chính xác. Với cách tính này độ phân giải lớn nhất không vượt quá 1.5° .

So sánh độ phân giải của 2 phương pháp tính góc nghiêng: dùng 1 trục và 2 trục tọa độ bằng đồ thị sau để thấy rõ phương pháp thứ 2 hiệu quả như thế nào:



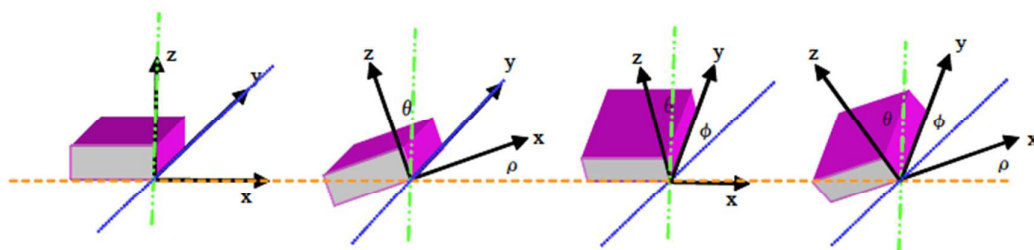
Hình 3.1.13: Sự thay đổi độ phân giải góc nghiêng theo giá trị ngõ ra

Độ phân giải của phương pháp dùng 2 trục tọa độ để đo góc nghiêng chỉ dao động trong khoảng $0-1.5^\circ$ cho mỗi giá trị thay đổi của ngõ ra, tốt hơn nhiều lần so với phương pháp đo góc nghiêng chỉ dùng một trục tọa độ.

Trong đó độ phân giải lớn nhất (tức là kết quả đo kém chính xác nhất) nằm trong tầm đo góc $35-55^\circ$, nhưng chỉ sai lệch khoảng $\pm 1.5^\circ$.

❖ Dùng cả 3 trục tọa độ X, Y, Z để xác định góc nghiêng:

Accelerometer 3 trục tọa độ có thể dùng để xác định góc định hướng của vật thể trong không gian 3 chiều.



Hình 3.1.14: Các góc pitch, roll và theta

Định nghĩa *Pitch* (ρ), *Roll* (ϕ), *Theta* (θ) lần lượt là góc hợp bởi trục X, Y, Z với mặt đất, các góc này được tính từ giá trị gia tốc trên 3 trục như sau:

$$\rho = \arctan \frac{A_x}{\sqrt{A_y^2 + A_z^2}}$$

$$\phi = \arctan \frac{A_y}{\sqrt{A_x^2 + A_z^2}}$$

$$\theta = \arctan \frac{\sqrt{A_y^2 + A_z^2}}{A_x}$$

3.1.5 Lập trình truyền thông SPI với MMA7455L:

MMA7455 có thể thực hiện giao tiếp theo cả 2 chuẩn SPI và I2C. Việc chọn chuẩn truyền thông được thực hiện bằng việc thiết lập giá trị cho chân CS (pin 7). Khi CS ở mức thấp (0) SPI được chọn, và khi CS ở mức cao (1) MMA7455 thực hiện giao tiếp nối tiếp theo chuẩn I2C (đồng thời SPI bị cấm).

Cần lưu ý nếu ta chọn CS mức 0 cho giao tiếp SPI thì cần phải cấm I2C bằng cách set bit I2CDIS trong thanh ghi I2C Device Address.

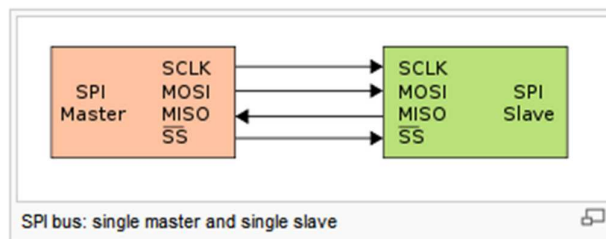
Còn nếu không kết nối chân CS với “mass” thì ta có thể dùng MCU để điều khiển việc chọn SPI mode.

Trong giao tiếp SPI hay I2C, MMA7455L chỉ có thể đóng vai trò Slave, thông thường Master là một vi điều khiển (MCU).

Trong đề tài này, ta dùng vi điều khiển AVR Atmega16 làm Master để thu thập dữ liệu từ MMA7455L.

3.1.4.1 Sơ lược về chuẩn truyền thông SPI:

SPI (*Serial Peripheral Interface*) được đặt tên bởi Motorola, là 1 chuẩn truyền thông nối tiếp sử dụng 4 dây tín hiệu nên còn được gọi là bus nối tiếp 4-wire. SPI hoạt động ở chế độ song công (*full duplex mode*) tức là có thể truyền và nhận đồng thời trên đường truyền.



Hình 3.1.15: SPI bus với 1 Master và 1 Slave

4 dây tín hiệu là:

- SCLK — Serial Clock (output from master)
- MOSI/SIMO — Master Output, Slave Input (output from master)
- MISO/SOMI — Master Input, Slave Output (output from slave)
- SS — Slave Select (tích cực thấp, output from master)

Các tên gọi khác:

- SCK, CLK, SPC — Serial Clock (output from master)
- SDI, DI, SI — Serial Data In, Data In, Serial In
- SDO, DO, SO — Serial Data Out, Data Out, Serial Out
- nCS, CS, nSS, STE — Chip Select, Slave Transmit Enable.

Quá trình truyền nhận dữ liệu thông qua SPI bus:

Chân CS được điều khiển bởi Master, được lái về mức “0” để bắt đầu và mức “1” để kết thúc một phiên truyền dữ liệu.

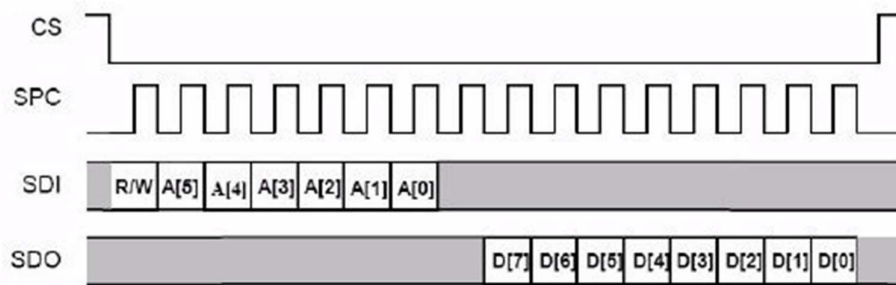
SPC (SCK) là tín hiệu clock được điều khiển bởi Master.

Lệnh đọc và ghi dữ liệu vào các thanh ghi của Slave hoàn thành trong 16 chu kỳ xung Clock nếu đọc/ghi 1 byte, hoặc nhiều hơn nhưng là 1 bội số của 8 trong trường hợp đọc/ghi nhiều byte.

Khung truyền của lệnh đọc dữ liệu bao gồm 1 bit Read/Write (mức cao để đọc), 6 bits địa chỉ và 1 bit Don't care.

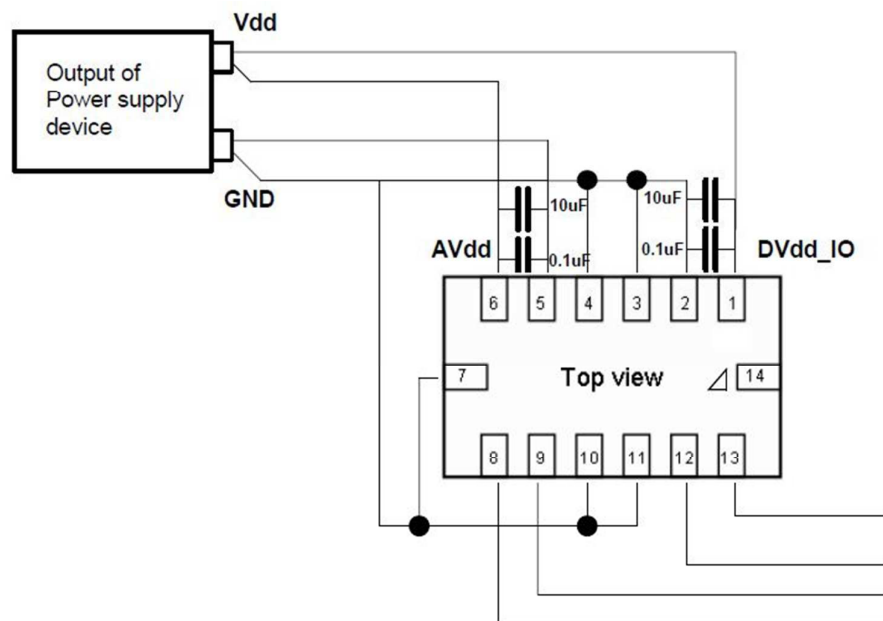
Các bit dữ liệu sẽ được gửi về trên dây SDO (hay MISO).

Khung truyền của lệnh ghi cũng gồm 1 bit Read/Write (mức thấp để ghi), 6 bits địa chỉ và 1 bit Don't care. Theo sau đó là 8-bit dữ liệu.



Hình 3.1.16 Biểu đồ thời gian quá trình đọc thanh ghi 8-bit (Mode 4 wire)

3.1.4.2 Kết nối SPI MMA7455L với MCU:



Hình 3.1.17 Sơ đồ kết nối MMA7455L với MCU