

KHẢO SÁT ĐẶC TRƯNG VÀ KHẢ NĂNG ỨNG DỤNG CỦA CẢM BIẾN GIA TỐC MEMS

1. Mục đích

Khảo sát cảm biến gia tốc chế tạo theo công nghệ MEMS, trên cơ sở đó thực hiện một bài toán sử dụng cảm biến gia tốc: Bài toán đo góc nghiêng và độ rung.

2. Lý thuyết

2.1 Tổng quan về MEMS

Vào thế kỷ XX, các thiết bị điện tử được tích hợp với số lượng ngày càng lớn, kích thước ngày càng nhỏ và chức năng ngày càng được nâng cao. Điều này đã mang lại sự biến đổi sâu sắc cả về mặt công nghệ lẫn xã hội. Vào cuối những năm 50 của thế kỷ XX, một cuộc cách mạng hoá về công nghệ micro đã diễn ra và hứa hẹn một tương lai cho tất cả các ngành công nghiệp. Hệ thống vi cơ điện tử (Micro ElectroMechanical Systems) viết tắt là MEMS cũng đã được ra đời và phát triển trong giai đoạn này.

Công nghệ vi cơ đã và đang tiến xa hơn nhiều so với nguồn gốc của nó là công nghiệp bán dẫn. MEMS bao gồm những cấu trúc vi cơ, vi sensor, vi chấp hành và vi điện tử cùng được tích hợp trên cùng một chip (on chip). Các linh kiện MEMS thường được cấu tạo từ silic. Một thiết bị MEMS thông thường là một hệ thống vi cơ tích hợp trên một chip mà có thể kết hợp những phần cơ chuyển động với những yếu tố sinh học, hoá học, quang hoặc điện. Kết quả là các linh kiện MEMS có thể đáp ứng với nhiều loại lỗi vào: hoá, ánh sáng, áp suất, rung động vận tốc và gia tốc... Với ưu thế có thể tạo ra những cấu trúc cơ học nhỏ bé tinh tế và nhạy cảm đặc thù, công nghệ vi cơ hiện nay đã cho phép tạo ra những bộ cảm biến (sensor), những bộ chấp hành (actuator) được ứng dụng rộng rãi trong cuộc sống. Các bộ cảm biến siêu nhỏ và rất tiện ích này đã thay thế cho các thiết bị đo cũ kỹ, cồng kềnh trước đây. Song công nghệ MEMS mới đang ở giai đoạn đầu của nó và cần rất nhiều những nghiên cứu cơ bản hơn, sâu hơn.

2.2 Công nghệ chế tạo các sản phẩm MEMS

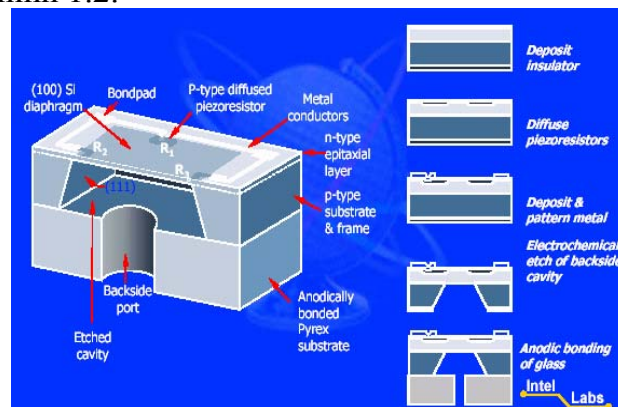
Các sản phẩm MEMS là sự tích hợp vi mạch điện tử với các linh kiện, các chi tiết vi cơ. Mạch vi điện tử được chế tạo trên phiến silic do đó xu hướng chung là lợi dụng tối đa vật liệu silic để chế tạo các linh kiện vi cơ theo những kỹ thuật tương tự với kỹ thuật làm mạch vi điện tử, điển hình là kỹ thuật khắc hình.

Tuy nhiên các linh kiện của mạch vi điện tử đều nằm trên mặt phẳng (công nghệ planar nghĩa là phẳng) còn nhiều linh kiện vi cơ phải thực hiện những thao tác như dịch chuyển, rung, quay, đẩy kéo, bơm v.v... Do đó chúng không chỉ nằm trên một mặt phẳng mà có một phần, có khi hoàn toàn tách ra khỏi mặt phẳng. Mặt khác các chi tiết vi cơ phải làm bằng vật liệu có tính chất thích hợp thí dụ có chi tiết cần đàn hồi như lò xo, có chi tiết cần rất cứng, có chi tiết cần mềm dẻo, có chỗ cần phản xạ tốt ánh sáng, có chỗ cần dẫn điện. May mắn là trên cơ sở silic có thể làm ra một số vật liệu đáp ứng được nhu cầu nói trên, thí dụ oxyt silic (SiO_2) cách điện, silic đa tinh thể (poly - Si) dẫn điện được, nitrit silic (Si_3N_4) vừa cứng vừa đàn hồi. Cũng có thể dùng các phương pháp bốc bay, phún xạ để tạo những lớp chất đặc biệt như lớp kim loại phản xạ, lớp áp điện, lớp hợp kim đàn hồi v.v... lên bề mặt silic rồi khắc hình để chỗ này có mặt phản xạ tốt dùng làm gương, chỗ kia có lá kim loại đàn hồi dùng làm lò xo v.v...

Có thể kể đến một số phương pháp về gia công các chi tiết cơ tiêu biểu ở công nghệ MEMS như sau:

➤ Gia công vi cơ khối

Gia công vi cơ khối là lấy đi một phần thể tích trong phiến vật liệu để hình thành chi tiết vi cơ. Gọi là gia công nhưng thực ra là dùng các phương pháp hoá, lý để ăn mòn (tẩm thực) tạo ra trên phiến các lỗ sâu, các rãnh, các chỗ lõm v.v... như được minh hoạ trên hình 1.2.



Để hình thành các chi tiết cơ ở phần còn lại có hai cách phổ biến:

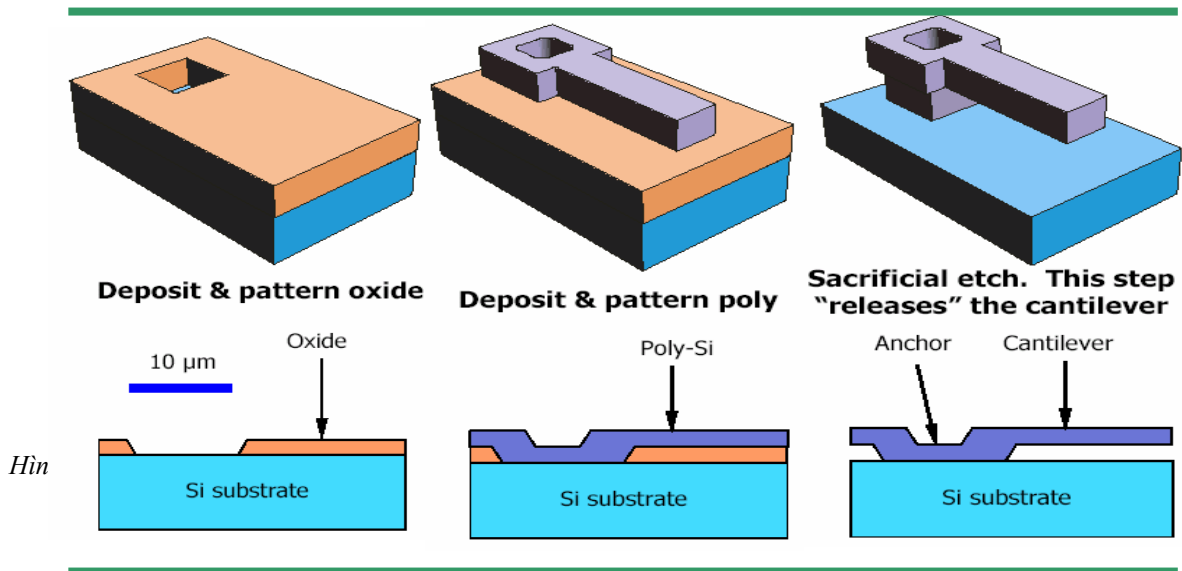
Ăn mòn ướt: thường dùng đối với các phiến vật liệu là silic, thạch anh. Đây là quá trình dùng dung dịch hoá chất để ăn mòn theo những diện tích định sẵn nhờ các mặt nạ (mask). Các dung dịch hoá chất thường dùng đối với silic là các dung dịch axit hoặc hỗn hợp các axit như HF, HNO₃, CH₃COOH, hoặc KOH. Việc ăn mòn có thể là đẳng hướng (ăn mòn đều nhau theo mọi hướng) hoặc dị hướng (có hướng tinh thể ăn mòn nhanh, có hướng chậm).

Ăn mòn khô: ăn mòn khô bằng cách cho khí hoặc hơi hoá chất tác dụng thường là ở nhiệt độ cao. Hình dạng, diện tích hố ăn mòn được xác định theo mặt nạ (mask) đặt lên bề mặt phiến vật liệu. Để tăng cường tốc độ ăn mòn có thể dùng sóng điện từ (RF) kích thích phản ứng hoặc dùng điện thế để tăng tốc độ ion tức là tăng tốc độ các viên đạn bắn phá.

➤ **Gia công vi cơ bề mặt**

Thí dụ để trên phiến silic cần tạo ra một đám đa tinh thể silic một đầu cố định, một đầu tự do có thể làm theo các giai đoạn sau:

- Tạo ra lớp oxyt silic trên phiến silic.
- Dùng mặt nạ 1 khoét (theo cách khắc hình) diện tích để sau này gắn vào đáy đầu cố định của đám.
- Phủ lên toàn bộ một lớp đa tinh thể silic rồi dùng mặt nạ 2 để khắc hình khoét đi lớp silic đa tinh thể, chỉ chừa lại một đám.
- Nhúng toàn bộ vào một loại axit để hoà tan hết SiO₂ (nhưng không hoà tan silic) ta có được đám đa tinh thể một đầu bám vào phiến silic, một đầu tự do.



Trong thí dụ trên có những lớp chế tạo ra như lớp SiO_2 chỉ có vai trò trong một giai đoạn gia công, sau đó lại hoà tan để loại bỏ. Người ta gọi đó là lớp hi sinh.

➤ Hàn

Để tạo ra các chi tiết vi cơ phức tạp, sâu, kín như ống dẫn, bể ngâm... có thể thực hiện việc gia công ở hai phiên rồi hàn úp hai mặt gia công lại với nhau. Tạo một cái hồ trên bề mặt một phiên bằng cách ăn mòn thông thường rồi hàn lên trên phiên đó một phiên khác để đậy hồ lại. Gọi là hàn nhưng thực ra là ép nhiệt trực tiếp hai phiên lại hoặc dùng thêm một lớp lót để tăng cường sự kết dính.

➤ Gia công bằng tia laze

Có thể dùng tia laze để tạo ra những chi tiết vi cơ theo kiểu khoét lần lượt, điều khiển trực tiếp. Tuy nhiên cách gia công này rất chậm, không gia công đồng loạt được. Vì vậy ở công nghệ MEMS cách gia công bằng laze thường chỉ dùng để làm khuôn. Laze dùng là laze eximơ mới đủ mạnh và vật liệu để gia công thường là chất dẻo, polymer.

➤ Liga

LIGA là từ ghép các chữ đầu của Lithgraphie Galvanofruning und Abformung, tiếng Đức nghĩa là khắc hình, mạ điện và làm khuôn. Đây là kỹ thuật tạo ra các hệ vi cơ ba chiều chứ không phải là hai chiều như ở các cách khắc hình bình thường.

Ở LIGA người ta dùng chùm tia X cực mạnh nên có thể đi sâu vào chất cảm đến hàng milimet. Chất cảm thường dùng thuộc loại acrylic viết tắt là PMMA. Thông qua những chỗ bị khoét thủng trên khuôn, tia X chiếu vào lớp cảm theo những diện tích nhất định, làm biến chất chất cảm có tia X chiếu đến sẽ bị hoà tan. Vì trong kỹ thuật LIGA người ta thường dùng lớp chất cảm dày, và tia X mạnh nên tia X có thể đi sâu vào lớp chất cảm đến hàng trăm, thậm chí hàng nghìn micromet nhờ đó sau khi nhúng vào dung dịch, những chỗ chất cảm bị hoà tan đi có thể rất sâu, hình khắc thực sự là ba chiều chứ không phải là hai chiều như ở quang khắc thông thường.

2.3 Ứng dụng của các cảm biến MEMS

Tuy rằng MEMS mới ra đời chưa lâu nhưng đã có rất nhiều ứng dụng góp phần không nhỏ vào sự phát triển đời sống xã hội.

❖ Các ứng dụng phổ cập:

Các ứng dụng phổ cập nhất hiện nay của công nghệ MEMS trong các ngành công nghiệp có thể tóm tắt như sau:

Sensor áp suất: Kiểm tra tỷ lệ nhiên liệu và các chức năng đo đặc khác khác trong ô tô, thiết bị đo huyết áp và các ứng dụng dân dụng khác.

Sensor gia tốc và gyroscope: Túi khí trong ô tô, thiết bị định hướng cho tên lửa và các phương tiện vận tải.

Hiển thị: Các màn hình độ phân giải cao dùng các vi gương cho các thiết bị điện tử.

Đầu phun mực: Hàng trăm triệu chip phun mực một năm cho các máy in laser đen trắng và màu.

Các sensor hoá học: Cho các mục đích y tế và y sinh học.

Chuyển mạch cho thông tin quang sợi: Internet, truyền hình và thông tin giải rộng dùng cáp quang.

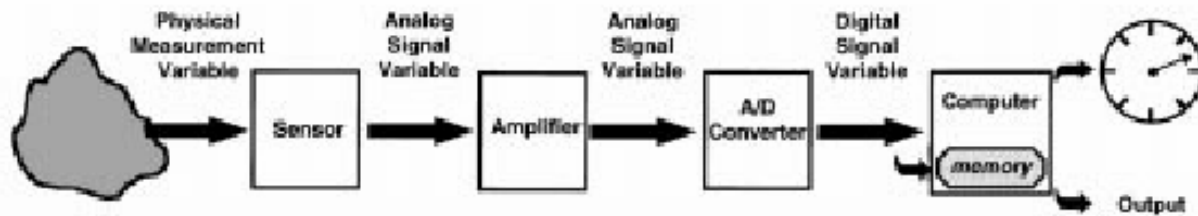
Vi van: Các hệ sắc kế khí cực nhỏ sử dụng các dây vi van.

Chuyển mạch điện cơ: Các vi role trong các ứng dụng một chiều, xoay chiều và vô tuyến.

2.4 Vi cảm biến gia tốc

Cảm biến gia tốc là một thiết bị dùng để đo gia tốc.

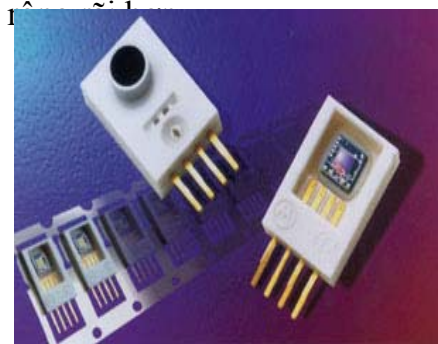
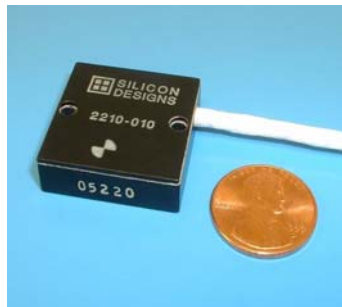
Cảm biến vi cơ là một loại cảm biến được chế tạo theo công nghệ vi cơ. Nó chính là một trong những sản phẩm phong phú và đa dạng nhất của công nghệ MEMS.



Hình 2.1. Sơ đồ một hệ đo gia tốc

Cảm biến vi cơ ngày càng nhanh hơn, nhạy hơn, nhẹ hơn, rẻ hơn và có độ tin cậy cao chưa từng có so với các cảm biến chế tạo theo công nghệ điện tử trước đây. Trong đề tài này chúng ta đặc biệt quan tâm đến khả năng ứng dụng của cảm biến gia tốc vi cơ điện tử.

Cảm biến gia tốc chế tạo theo công nghệ vi cơ điện tử có hai loại là cảm biến kiểu tụ và cảm biến kiểu áp trở. Trong nhiều ứng dụng việc lựa chọn cảm biến kiểu tụ hay kiểu áp trở là rất quan trọng. Cảm biến kiểu áp trở có ưu điểm là công nghệ cấu tạo rất đơn giản. Tuy nhiên nhược điểm của nó là hoạt động phụ thuộc nhiều vào sự thay đổi nhiệt độ và có độ nhạy kém hơn cảm biến kiểu tụ. Các cảm biến kiểu tụ có độ nhạy cao hơn, ít bị phụ thuộc vào nhiệt độ, ít bị nhiễu và mất mát năng lượng. Tuy nhiên chúng có nhược điểm là mạch điện tử phức tạp hơn. Hiện nay cảm biến gia tốc kiểu tụ được ứng dụng rộng rãi.



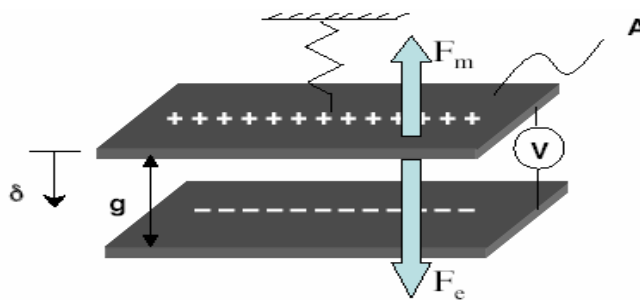
. Ứng dụng của cảm biến gia tốc

Cảm biến gia tốc vi cơ đã nhanh chóng thay thế các loại cảm biến gia tốc thông thường trước đây trong nhiều ứng dụng. Một vài những ứng dụng điển hình của cảm biến gia tốc vi cơ.

- Cảm biến góc Roll –Pitch
- Định hướng 3D trong không gian
- Phát hiện va chạm : những thông tin về gia tốc, vận tốc và độ dịch chuyển giúp phân biệt sự va chạm và việc không xảy ra va chạm
- Đo và điều khiển mức rung
- Điều khiển và dự đoán khả năng làm việc của máy móc, thiết bị
- Đo một số thông số sinh học trong cơ thể con người

2.4.1 Nguyên tắc hoạt động

- Tụ điện phẳng



Hình 2.3. Tụ điện phẳng

$$E = \frac{1}{2} CV^2$$

$$k = \frac{\partial F}{\partial x}$$

$$F = \frac{\partial E}{\partial x} = \frac{1}{2} \frac{\partial C}{\partial x} V^2$$

$$C = \frac{\epsilon A}{g - \delta}$$

$$FM = \frac{\partial C / \partial x}{C}$$

$$C = \frac{Q}{V}$$

Trong đó:

g là khoảng cách giữa hai bản tụ điện

δ là độ dịch chuyển của hai bản tụ

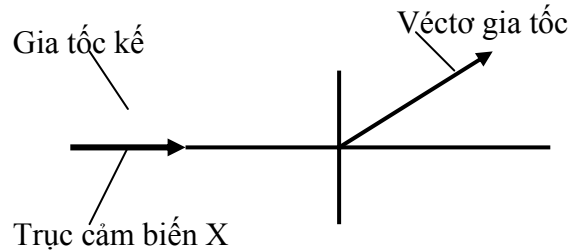
C là điện dung của tụ điện

E là năng lượng hay điện trường giữa hai bản tụ

k là hằng số đàn hồi

FM là hệ số phẩm chất

- Gia tốc



$$A_x = A \cos(\varphi)$$

φ là góc lệch
theo trục x

Gia tốc là sự thay đổi của vận tốc theo thời gian. Vận tốc đến lượt nó lại đo sự thay đổi của độ dịch chuyển theo thời gian. Lực trọng trường là nguyên nhân gây ra gia tốc rơi tự do và gia tốc này bằng 9.81 m/s^2 ($1g$).

- Gia tốc thường được tính thông qua lực gây ra gia tốc đó vì lực liên hệ với gia tốc theo công thức $F = ma$.

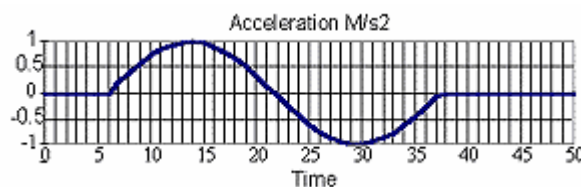
Ở đó F là lực gây ra gia tốc, m là khối lượng, a là gia tốc.

Lực có đơn vị là N , m có đơn vị là $gam (g)$, a có đơn vị là m/s^2

Các thiết bị dùng để đo gia tốc phải xác định được giá trị của lực tác dụng lên một khối vật thể đã biết trước.

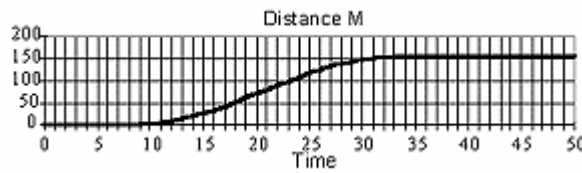
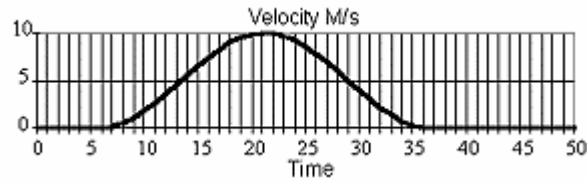
- Một cách tiếp cận khác để tính toán gia tốc đó là : Gia tốc là đạo hàm của vận tốc theo thời gian. Vận tốc lại là đạo hàm của độ dịch chuyển theo thời gian.

- Gia tốc



- Vận tốc

- Độ dịch ch



- Gia tốc cũng có thể dụng cụ đơn giản như sau

Theo định luật II Newton

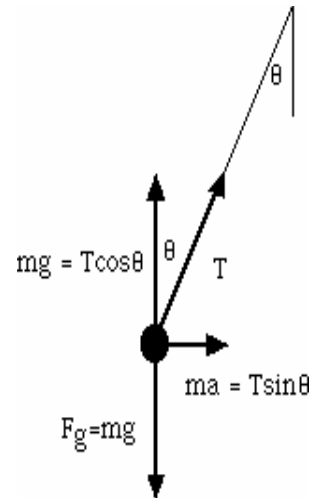
$$\Sigma F = ma$$

$$T \cos \theta - mg = 0$$

$$T = mg / \cos \theta$$

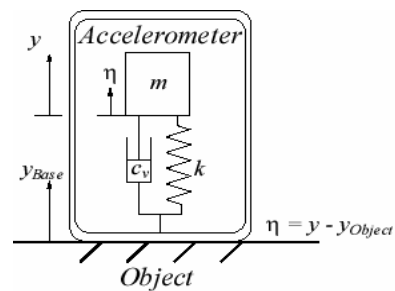
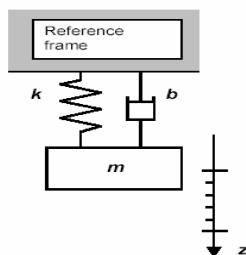
$$T \sin \theta = ma$$

$$\text{Ta có } a = g \tan \theta$$



2.4.2 Nguyên tắc hoạt động của vi cảm biến gia tốc kiểu tụ

Việc đo gia tốc thông qua cảm biến gia tốc MEMS [1] có thể được mô tả nhờ một sơ đồ trên hình vẽ 4 như một hệ gồm một khối lượng m và một lò xo.



Hình 4. Hệ khối lượng – lò xo được sử dụng để đo gia tốc

Khi hệ quy chiếu được gia tốc, gia tốc này được truyền cho khối m thông qua lò xo. Lò xo giãn ra và độ dịch chuyển này được xác định bởi một cảm biến độ dịch chuyển.

Theo định luật Hooke, lực kéo khối lượng m tỉ lệ với độ biến dạng của lò xo $F = kx$, với k là hệ số tỉ lệ hay độ cứng của lò xo, x là khoảng dịch chuyển so với vị trí cân bằng. Theo định luật II Newton, trong hệ quy chiếu quán tính đứng yên, lực F này cung cấp cho khối lượng m có một gia tốc a theo công thức $F = ma$. Tại vị trí cân bằng ta có $F = ma = kx$.

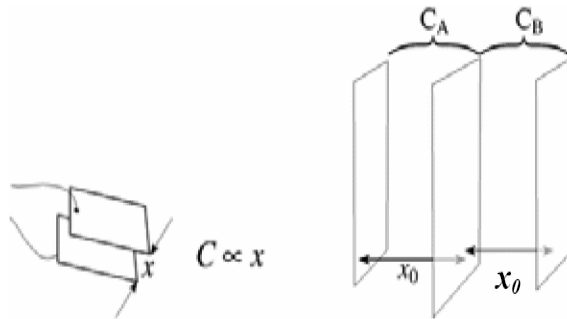
Hệ thống có thể được mô tả bởi phương trình vi phân sau:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + D \frac{dx}{dt} + Kx = F_{ext} = m * a$$

với D là hệ số ma sát.

Do đó, chúng ta thu được $a = \frac{kx}{m}$ trong hệ quy chiếu quán tính đứng yên..

Như vậy, để đo gia tốc ta chỉ cần đo khoảng dịch chuyển x . Để đo khoảng dịch chuyển này, người ta có thể sử dụng thuộc tính điện của tụ điện có hai bản cực song song khoảng cách giữa hai bản tụ có thể thay đổi được (hình 6)



Hình 5 Mô hình một tụ điện đơn (bên trái) và hai tụ nối tiếp nhau (bên phải).

Điện dung của tụ điện đơn là $C = \frac{k}{x_0}$, với k là hằng số phụ thuộc vào thuộc

tính của môi trường nằm giữa hai bản tụ. Nếu biết k , điện dung của tụ điện C ta có thể tính được x_0 . Cũng trong hình 3, nếu bản tụ nằm giữa C_A và C_B dịch chuyển một khoảng là x thì

$$C_A = \frac{k}{x + x_0}, \quad C_B = \frac{k}{x - x_0} \quad (1)$$

hay có thể viết lại là:

$$C_A = C \frac{x_0}{x_0 + x}, \quad C_B = C \frac{x_0}{x_0 - x} \quad (2)$$

do đó

$$\Delta C = C_A - C_B = Cx_0 \left[\frac{1}{x_0 + x} - \frac{1}{x_0 - x} \right] \quad (3)$$

Với khoảng x dịch chuyển nhỏ, phương trình trên có thể rút gọn thành:

$$\Delta C \approx C \frac{2x}{x_0} \quad (4)$$

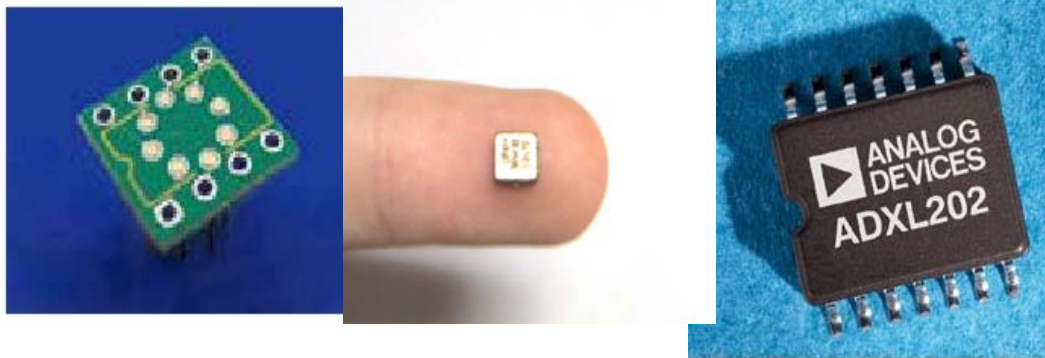
Như vậy, nếu gắn khối lượng m của cảm biến vào bản tụ nằm giữa hệ hai tụ điện nối tiếp thì có thể xác định được độ dịch chuyển của nó dưới tác dụng của lực F , tức là xác định được gia tốc thông qua việc xác định giá trị ΔC .

3. Dụng cụ và thiết bị thực nghiệm

3.1. Mô tả cảm biến

3.1.1 Giới thiệu chung

Hai loại cảm biến gia tốc được sử dụng phổ biến trong các ứng dụng hiện nay là cảm biến kiểu tụ và kiểu áp trở.



Hình 3.1. Cảm biến gia tốc ADXL202

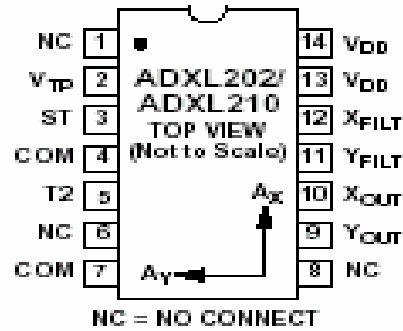
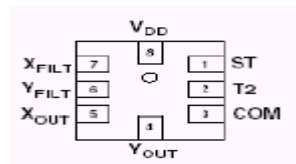
- ❑ Cảm biến gia tốc được sử dụng trong đề tài này là một cảm biến gia tốc hai chiều kiểu tụ cho phép xác định một cách độc lập các gia tốc theo các phương trục tọa độ X và Y.

- Cảm biến này có hai loại lỗi ra đó là lỗi ra số (độ rộng xung lỗi ra tỉ lệ với gia tốc) và lỗi ra tương tự (mức điện áp tương tự lỗi ra tỉ lệ với gia tốc).
- Cảm biến có thể được sử dụng để đo cả gia tốc tĩnh(ví dụ như gia tốc trọng trường) ứng dụng làm sensor đo độ nghiêng và gia tốc động (ví dụ như độ rung) ứng dụng làm sensor đo độ rung.
- Dải đo là trong khoảng $\pm 2g$ với g là gia tốc trọng trường.

3.1.2. Sơ đồ chân

Chân	Tên	Mô tả chức năng
1	NC	No connect
2	V_{TP}	Test point
3	ST	Self Test
4	COM	Common
5	T2	Nối với Rset để đặt T2
6	NC	No connect
7	COM	Common
8	NC	No connect
9	Yout	Lỗi ra số kênh Y
10	Xout	Lỗi ra số kênh X
11	Yfilt	Lỗi ra tương tự kênh Y
12	Xfilt	Lỗi ra tương tự kênh X

13	V_{DD}	+3V đến +5.25V
14	V_{DD}	+3V đến +5.25V



Hình 3.2 Sơ đồ chân của ADXL202

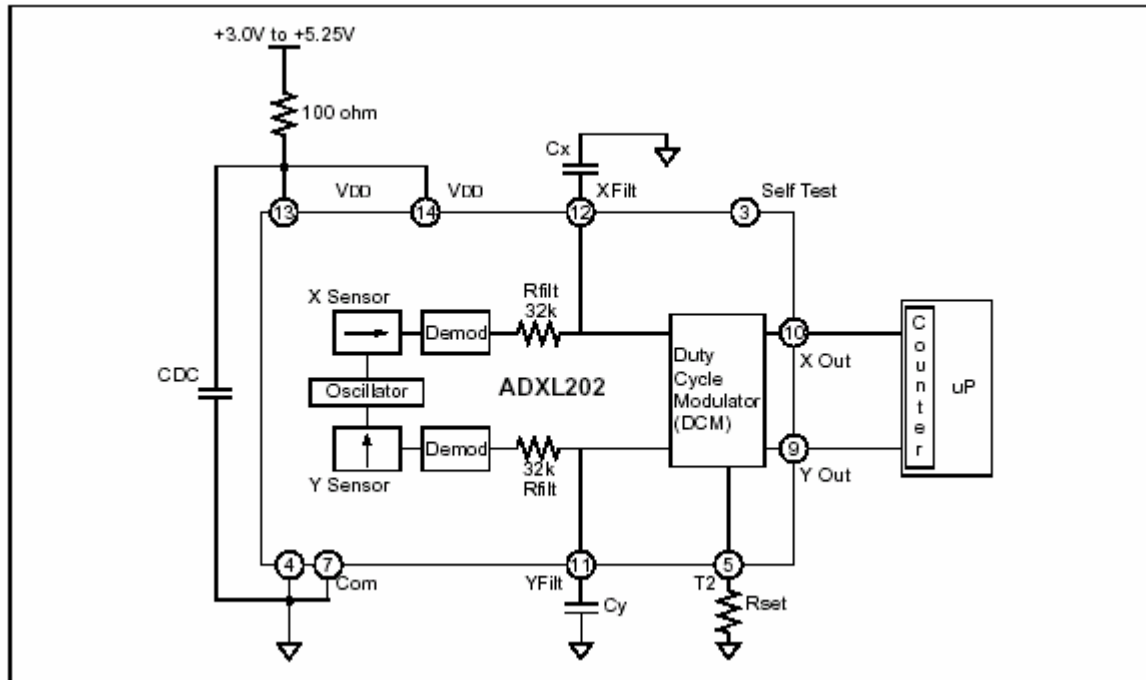
3.1.3. Nguyên lý hoạt động của ADXL202

Nguyên lý hoạt động của ADXL 202 được chỉ ra như ở hình 3.3.

ADXL202 là hệ thống đo gia tốc hai kênh được tích hợp hoàn toàn trên một chip (on-chip).

ADXL 202 được chế tạo theo nguyên tắc vi cơ bề mặt và theo nguyên tắc đo gia tốc có vòng phản hồi (open-loop).

Trên mỗi kênh, tín hiệu lỗi ra được chuyển đổi từ tương tự thành tín hiệu số qua một bộ DCM (duty cycle modulated).



Hình 6. Sơ đồ nguyên lý của ADXL202

Tín hiệu tương tự X_{filt} và Y_{filt} được đưa qua hai tụ lọc C_x và C_y .

Giá trị của hai tụ này thường được chọn bằng nhau và trong khoảng $0.47\mu F$.

Giá trị của tụ điện quyết định dải tần mà tín hiệu tương tự lỗi ra hoạt động.

Tín hiệu ra số là X_{out} và Y_{out} (có độ rộng xung tỉ lệ với gia tốc ở lỗi vào).



Dải tần	Giá trị tụ
10Hz	$0.47\mu F$
50Hz	$0.1\mu F$

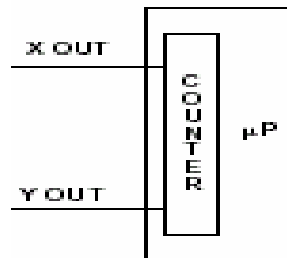
Tín hiệu tương tự được cho qua một mạch lọc RC (mạch lọc thông dải) có tác dụng nâng cao độ phân giải và giúp chống nhiễu chông phổ.

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{R_{set} \cdot C_{filt}}}$$

100Hz	0.05 μ F
200Hz	0.27 μ F
500Hz	0.01 μ F
5kHz	0.001 μ F

ADXL 202 có 14 chân nối ra. Điện trở Rset đặt độ rộng xung nối ra PWM (T2).

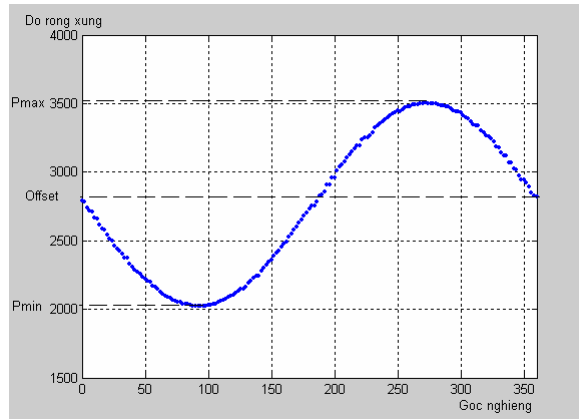
T2	R2
1ms	125K Ω
2ms	250K Ω
5ms	625K Ω
10ms	1.25M Ω



Tín hiệu số nối ra được đếm bởi bộ đếm của vi điều khiển

3.1.4. Khảo sát tín hiệu nối vào theo tín hiệu số nối ra

Đo sự phụ thuộc giữa số xung thu được từ bộ đếm vào góc nghiêng của cảm biến so với phương trọng trường, ta thu được một dạng tín hiệu điều hoà hình sin như minh hoạ trong hình 3.



Hình 8 Đồ thị biểu diễn sự phụ thuộc độ rộng xung vào góc nghiêng

Việc đếm thời gian kéo dài xung từ lõi ra số của cảm biến gia tốc MEMS được thực hiện bởi vi điều khiển Basic Stamp[2].

Bằng thực nghiệm sử dụng một thiết bị chuẩn góc và phần mềm nhúng viết trên chip hiển thị số xung ta thực hiện khảo sát trong dải đo từ 1° đến 360° (xem phụ lục 1), ta thu được phương trình như trên.

$$P_t = A \cdot \sin(\alpha_t + \varphi) + \text{Offset} (*)$$

Trong đó:

P_t là số xung tại thời điểm t

α_t là góc nghiêng tương ứng với xung P_t

$A = \frac{P_{\max} - P_{\min}}{2}$ với $P_{\max}$ và $P_{\min}$ là số xung cực đại và cực tiểu đo được

φ góc nghiêng ban đầu (trên đồ thị hình 6 góc nghiêng ban đầu $\varphi=0$)

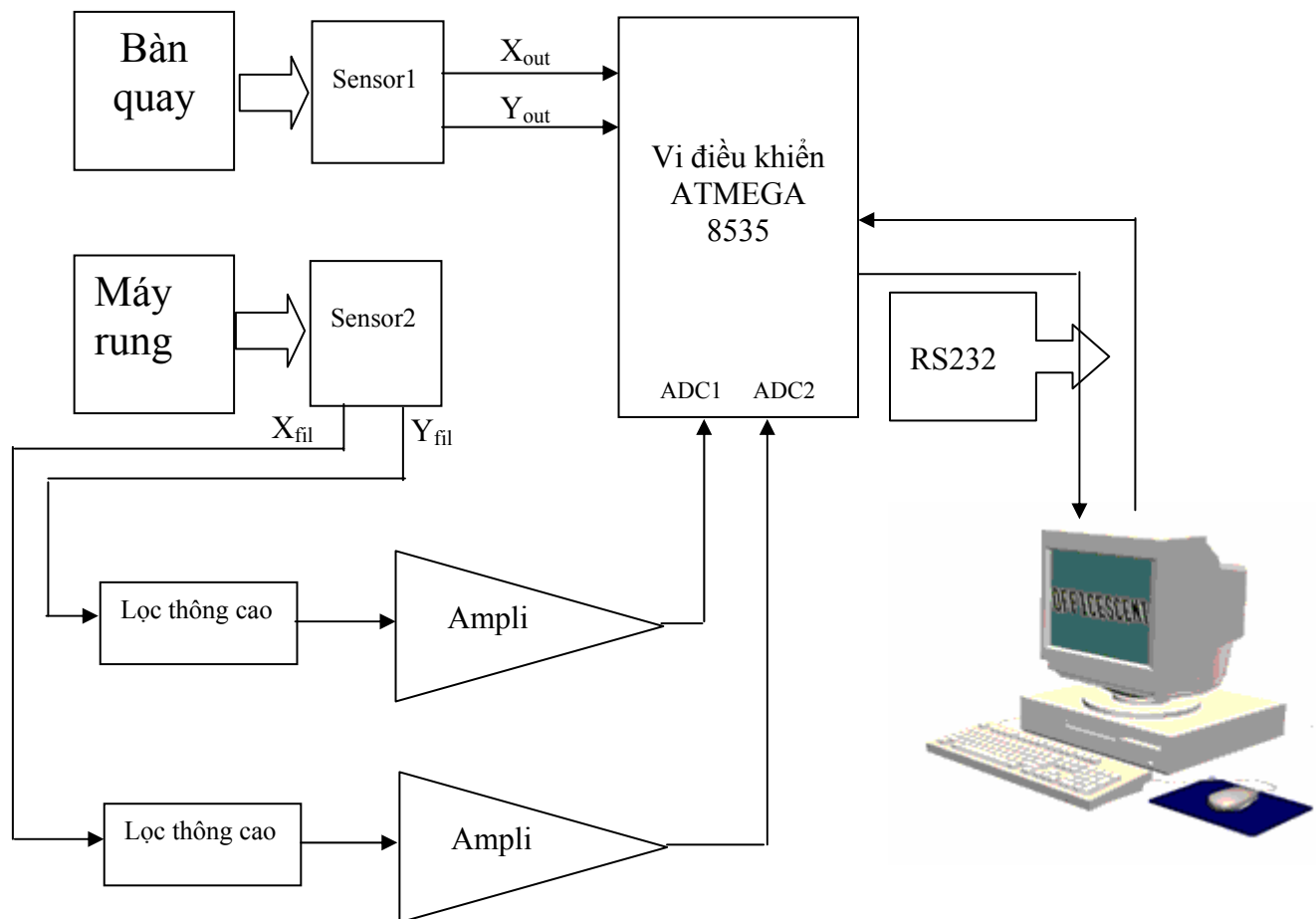
$\text{Offset} = P_{\min} + \frac{P_{\max} - P_{\min}}{2} = \frac{P_{\max} + P_{\min}}{2}$ là độ lệch ban đầu của hình sin so với gốc 0.

Phương trình trên là cơ sở cho việc tính toán góc nghiêng dựa trên lõi ra số của cảm biến gia tốc.

Thành phần chính của bài thí nghiệm gồm

- 1 Máy rung
- 1 bộ gá sensor có chia độ
- 2 Cảm biến gia tốc ADXL202
- Board mạch: điều khiển máy rung, nhận các tín hiệu từ cảm biến gia tốc, xử lý rồi truyền về PC theo lệnh nhận được từ PC.

Sơ đồ khối của hệ đo như sau:



Mô tả hoạt động:

Sensor1 gá trên đĩa quay, góc nghiêng của sensor 1 so với phương gia tốc trọng trường g (phương thẳng đứng) được chỉnh bởi kim xoay. Các lối ra độ rộng xung X_{out} và Y_{out} đưa vào vi điều khiển để đo độ rộng xung của mỗi kênh.

Sensor2 gắn trên máy rung (là một loa trầm công suất vừa), khi loa rung sẽ tác động gia tốc lên 2 trục X và Y của sensor2. Các lỗi ra điện áp của sensor được lọc thông cao rồi qua bộ khuếch đại và dịch mức một chiều trước khi đưa vào ADC1 và ADC2 của vi điều khiển ATMEGA8535.

Vi điều khiển ATMEGA8535 kết nối RS232 với PC, tốc độ baud 57600. Dùng PC gửi các lệnh đo về VĐK để thực hiện 2 phép đo:

Byte	Hướng	Ý nghĩa
0x01	PC-> MP	Yêu cầu gửi giá trị độ rộng xung của X_{out} và Y_{out} về.
0x02	PC->MP	Yêu gửi giá trị ADC1 và ADC2 về.

Các giá trị X_{out} , Y_{out} , ADC1, ADC2 vi điều khiển gửi về PC đều là 2 byte Byte thấp trước, byte cao sau. Do đó giá trị PC nhận được là:
 $\text{Byte thấp} + 256 * \text{byte cao}$

4. Phần Thực hành

4.1 Khảo sát cảm biến áp gia tốc

4.1.1 Dùng dao động ký khảo sát lỗi ra độ rộng xung của ADXL202

- Cấp nguồn cho mạch: Nối các chốt +5V, -5V, GND từ board POWER SUPPLY vào board xử lý ATMEGA8535
- Đặt sensor lên giá đỡ lên gá chia độ
- Đặt kim chỉ 0°

Dùng dao động ký quan sát xung lỗi ra trên các chốt X_{out1} và Y_{out1} , độ rộng xung của mỗi kênh tương ứng với gia tốc trọng trường tác dụng vào sensor theo trục X và Y.

➤ Yêu cầu:

Thay đổi góc nghiêng α của sensor bằng cách quay kim chỉ, dùng dao động ký quan sát và đo độ rộng xung tương ứng của mỗi lỗi ra X_{out} và Y_{out} rồi ghi vào bảng dưới đây:

Góc nghiêng (độ)	10	20	30	40	45	50	60	70	80	90
$D_x(\%)$										
$D_y(\%)$										
Tần số (Hz)										

Từ bảng trên rút ra nhận xét:

- Tại các giá trị góc đặc biệt: 0° , 45° và 90°
- Nhận xét gì về gia tốc trọng trường g với các giá trị a_x và a_y

4.1.2 Đo góc nghiêng chính xác dùng máy tính

- Vẫn cấp nguồn cho board mạch như phần 4.1.1
- Đặt sensor lên giá đỡ lên gá chia độ
- Nối các chốt Y_{out1} với Y_{in} , X_{out1} với X_{in}
- Chạy Turbo C trên PC
- Mở file DOGOC.cpp có sẵn trong thư mục BIN
- Chạy thử chương trình

Sinh viên đọc hiểu chương trình rồi xử lý kết quả nhận được. Thay đổi góc nghiêng của kim chỉ rồi ghi vào bảng dưới đây:

Góc nghiêng (độ)	10	20	30	40	45	50	60	70	80	90
$D_x(\%)$										

D _Y (%)										
Tần số (Hz)										

Chú ý rằng công thức lý thuyết nhà sản xuất sensor đưa ra:

$$A_{(g)} = (D - 0.5) / 12.5\% \quad (g)$$

D: độ rộng xung

Không hoàn toàn đúng. Để thu được kết quả chính xác phải có phép căn chuẩn.

Cụ thể như sau:

- Căn chuẩn cho kênh X:

Chỉnh kim chỉ 90 → $A_x = 1$ (g), thu được D1

Chỉnh kim chỉ 270 → $A_x = -1$ (g), thu được D2

Giả sử hàm A_x phụ thuộc tuyến tính theo D: $A_x = a \cdot D + b$

Từ D1 và D2 tính ra ngay được các hệ số a và b.

- Căn chuẩn cho kênh Y:

Tương tự kênh X, sinh viên tự suy nghĩ.

➤ Yêu cầu:

Sinh viên tìm các giá trị a_x, b_x, a_y, b_y căn chuẩn cho các kênh X và Y. Từ đó xác định góc nghiêng α của sensor theo công thức:

$$\tan(\alpha) = A_y / A_x$$

A_x và A_y là các gia tốc theo trục X và Y

4.1.3 Dùng vôn kế khảo sát lối ra điện áp của cảm biến:

- Vẫn cấp nguồn cho board mạch như phần 4.1.1
- Đặt sensor lên giá đỡ chia độ
- Đặt kim chỉ 0°

Dùng vôn kế một chiều đo điện áp lối ra trên các chốt X_{fil1} và Y_{fil1} , điện áp trên mỗi kênh tương ứng với gia tốc trọng trường tác dụng vào sensor theo trục X và Y.

➤ Yêu cầu:

Thay đổi góc nghiêng α của sensor bằng cách quay kim chỉ, dùng vôn kế đo điện áp tương ứng của mỗi lối ra X_{out1} và Y_{out1} rồi ghi vào bảng dưới đây:

Góc nghiêng (độ)	10	20	30	40	45	50	60	70	80	90
V _X (V)										
V _Y (V)										

Từ bảng trên rút ra nhận xét:

- Tại các giá trị góc đặc biệt: 0°, 45° và 90°
- Hình như điện áp mỗi kênh tỷ lệ tuyến tính với $\sin \alpha$ hoặc $\cos \alpha$??

4.1.4 Đo tần số rung :

- Vặn cấp nguồn cho board mạch như phần 4.1.1
- Gắn sensor 2 lên máy rung
- Đưa tín hiệu từ signal generator vào Power Amplifier
- Nối các chốt Y_{fil2} với Y_{fin} , X_{fil2} với X_{fin}
- Vặn biến trở về vị trí 5 Hz
- Chạy Tubor C trên PC
- Mở file DORUNG.cpp có sẵn trong thư mục BIN
- Chạy thử chương trình

Chỉnh tín hiệu là sóng sine 50Hz, dùng dao động ký để đặt biên độ khoảng 100mV.

Sinh viên đọc hiểu chương trình rồi xử lý kết quả nhận được.

➤ Yêu cầu

- Vẽ ra dạng sóng trên màn hình của 2 kênh X và Y.
- Tính tần số của tín hiệu thu được.
- Thay đổi tần số, biên độ, dạng sóng của tín hiệu vào. Hãy quan sát các kết quả thu được, rút ra các nhận xét.

Phụ lục

Giao tiếp giữa máy tính và vi điều khiển được thực hiện bằng phương thức truyền thông nối tiếp theo chuẩn RS 232.

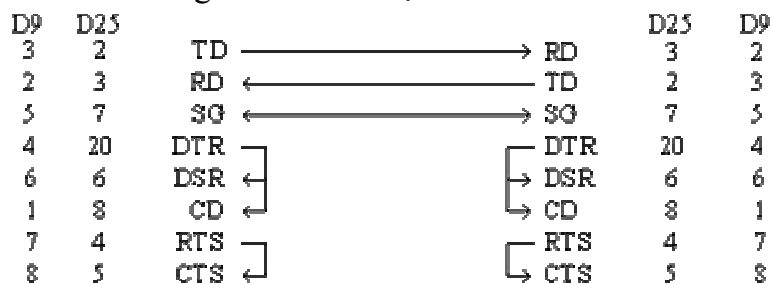
Lý thuyết về truyền thông nối tiếp đã được trình bày rất kỹ trong các giáo trình về cấu trúc máy tính, sinh viên có thể tham khảo. Trong tài liệu này chỉ nhắc lại một số kiến thức để giúp sinh viên có thể thực hiện giao tiếp được với vi điều khiển qua cổng COM.

Các chân của cổng nối tiếp:

DB25 Chân số	DB9 Chân số	Viết tắt	Tên đầy đủ
Pin 2	Pin 3	TD	Transmit Data
Pin 3	Pin 2	RD	Receive Data
Pin 4	Pin 7	RTS	Request To Send
Pin 5	Pin 8	CTS	Clear To Send
Pin 6	Pin 6	DSR	Data Set Ready
Pin 7	Pin 5	SG	Signal Ground
Pin 8	Pin 1	CD	Carrier Detect
Pin 20	Pin 4	DTR	Data Terminal Ready
Pin 22	Pin 9	RI	Ring Indicator

Table 1 : D Type 9 Pin and D Type 25 Pin Connectors

Sơ đồ kết nối giữa hai thiết bị đầu cuối



Địa chỉ cổng nối tiếp

Trong máy tính có không phải chỉ một cổng nối tiếp. Tùy từng phần cứng của máy tính mà cổng COM có địa chỉ xác định. Thông thường ta sử dụng 2 cổng COM1 và COM2. Địa chỉ của một số COM khác cho dưới đây.

Tên	Địa chỉ cơ sở	IRQ
COM 1	3F8	4
COM 2	2F8	3
COM 3	3E8	4

COM 4	2E8	3
-------	-----	---

Table 3 : Standard Port Addresses

Chương trình viết bằng ngôn ngữ C dưới đây cho ta địa chỉ cơ sở của các cổng com mong muốn.

```
#include <stdio.h>
#include <dos.h>
CONST Max = 10;
void main(void)
{
    unsigned int far *ptraddr; /* Pointer to location of Port Addresses */
    unsigned int address;      /* Address of Port */
    int a;

    ptraddr=(unsigned int far *)0x00000400;

    for (a = 0; a < Max; a++)
    {
        address = *ptraddr;
        if (address == 0)
            printf("No port found for COM%d \n",a+1);
        else
            printf("Address          assigned          to          COM%d          is
%Xh\n",a+1,address);
        *ptraddr++;
    }
}
```

Các thanh ghi sử dụng và địa chỉ của chúng được đưa ra ở bảng sau

Địa chỉ cơ sở	DLAB	Read/Write	Viết tắt	Tên gọi
+ 0	=0	Write	-	Transmitter Holding Buffer
	=0	Read	-	Receiver Buffer
	=1	Read/Write	-	Divisor Latch Low Byte
+ 1	=0	Read/Write	IER	Interrupt Enable Register
	=1	Read/Write	-	Divisor Latch High Byte
+ 2	-	Read	IIR	Interrupt Identification Register
	-	Write	FCR	FIFO Control Register
+ 3	-	Read/Write	LCR	Line Control Register
+ 4	-	Read/Write	MCR	Modem Control Register
+ 5	-	Read	LSR	Line Status Register
+ 6	-	Read	MSR	Modem Status Register
+ 7	-	Read/Write	-	Scratch Register

DLAB

Bit DLAB là bit thứ 7 trong thanh ghi điều khiển đường truyền. Khi bit này được đặt bằng 1 thì 2 thanh ghi: thanh ghi có địa chỉ bằng địa chỉ cơ sở và thanh ghi có địa chỉ bằng địa chỉ cơ sở +1 sẽ lưu trữ giá trị số chia xác định tốc độ truyền thông (tốc độ baud) của cổng nối tiếp (thanh ghi có địa chỉ là địa chỉ cơ sở lưu byte thấp, thanh ghi có địa chỉ = địa chỉ cơ sở +1 lưu byte cao). Bằng cách thiết lập giá trị cho 2 thanh ghi này, ta có thể có tốc độ truyền mong muốn. Bảng dưới đây là một số giá trị thường dùng.

Tốc độ Baud (BPS)	số chia (Dec)	Byte cao số chia	Byte thấp số chia
50	2304	09h	00h
300	384	01h	80h
600	192	00h	C0h
2400	48	00h	30h
4800	24	00h	18h
9600	12	00h	0Ch
19200	6	00h	06h
38400	3	00h	03h
57600	2	00h	02h
115200	1	00h	01h

Trong bài thực tập này, tốc độ truyền thông được sử dụng là 9600.

Thanh ghi điều khiển đường truyền: Line Control Register (LCR)

Ý nghĩa các bit trong thanh ghi được cho ở bảng dưới đây.

Bit 7	1	Divisor Latch Access Bit		
	0	Cho phép các thanh ghi bộ đệm nhận, truyền và cho phép ngắt		
Bit 6	Set Break Enable			
Bits 3, 4 And 5	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Parity Select
	X	X	0	No Parity
	0	0	1	Odd Parity
	0	1	1	Even Parity
	1	0	1	High Parity (Sticky)
	1	1	1	Low Parity (Sticky)
Bit 2	Số bit STOP			
	0	1 bit Stop		
	1	2 bit STOP khi độ dài dữ liệu là 6,7 or 8 bit hoặc 1.5 bit STOP khi chiều dài dữ liệu là 5 bit.		

Bits And 1	0	Bit 1	Bit 0	Xác định chiều dài dữ liệu
		0	0	5 Bít
		0	1	6 Bít
		1	0	7 Bít
		1	1	8 Bít

Trong bài thực tập này, khung truyền có dạng: 8 bít dữ liệu, bít Stop, không có bít chặn lẻ.

Thanh ghi trạng thái đường truyền: Line Status Register (LSR)

Ý nghĩa các bít:

Bit	Notes
Bit 7	Có lỗi ở bộ đệm nhận
Bit 6	Bộ đệm nhận rỗng
Bit 5	Bộ đệm truyền rỗng
Bit 4	Break Interrupt
Bit 3	Lỗi khung truyền
Bit 2	Lỗi chặn lẻ
Bit 1	Overrun Error
Bit 0	Dữ liệu sẵn sàng trong bộ đệm nhận

Thanh ghi trạng thái modem: Modem Status Register (MSR)

Bit	Notes
Bit 7	Carrier Detect
Bit 6	Ring Indicator
Bit 5	Data Set Ready
Bit 4	Clear To Send
Bit 3	Delta Data Carrier Detect
Bit 2	Trailing Edge Ring Indicator
Bit 1	Delta Data Set Ready
Bit 0	Delta Clear to Send

Thủ tục khởi tạo cổng truyền thông nối tiếp trên máy tính:

1. Xác định tốc độ baud

2. Định dạng khung truyền

```
outportb(PORT1 + 3 , 0x80); /* SET DLAB ON */
outportb(PORT1 + 0 , 0x03); /* Set Baud rate - Divisor Latch Low Byte */
/* Default 0x03 = 38,400 BPS */
/*          0x01 = 115,200 BPS */
/*          0x02 = 57,600 BPS */
/*          0x06 = 19,200 BPS */
/*          0x0C = 9,600 BPS */
/*          0x18 = 4,800 BPS */
/*          0x30 = 2,400 BPS */
outportb(PORT1 + 1 , 0x00); /* Set Baud rate - Divisor Latch High Byte*/
outportb(PORT1 + 3 , 0x03); /* 8 Bits, No Parity, 1 Stop Bit */
```

Thủ tục xuất một byte ra cổng nối tiếp:

1. Kiểm tra bộ đệm truyền
2. Nếu bộ đệm truyền rỗng: viết byte cần xuất vào thanh ghi đệm truyền

```
outportb(PORTAddr, ch);} /* Send Char to Serial Port */
```

Thủ tục đọc một byte từ cổng nối tiếp:

1. kiểm tra có dữ liệu sẵn sàng trong bộ đệm nhận không
2. Nếu sẵn sàng, đọc giá trị ở thanh ghi bộ đệm nhận.

```
c = inportb(PORTAddr + 5); /* Check to see if char has been*/
/* received. */
if (c & 1) {ch = inportb(PORTAddr); /* If so, then get Char */
printf("%c",ch);} /* Print Char to Screen */
```

Nhiệm vụ của sinh viên: Viết chương trình thực hiện:

1. Hiển thị áp suất trong buồng áp suất tại thời điểm hiện tại
2. Cho ngưỡng cảnh báo là 400mmHg và ngưỡng nguy hiểm là 450 mmHg. Viết chương trình cảnh báo khi áp suất vượt quá ngưỡng cảnh báo và mở van an toàn khi áp suất vượt quá ngưỡng nguy hiểm.

Tài liệu tham khảo

1. Ngô Diên Tập, “Vi điều khiển AVR”, NXB KHKT 2003
2. Mohamed Gad-el-Hak, “The MEMS handbook”, CPR Press, New York, 2002
3. <http://www.analog.com/en/prod/0,2877,ADXL202,00.html>

