NGHIÊN CỨU, THIẾT KẾ THỬ NGHIỆM HỆ ĐO KHOẢNG CÁCH SỬ DỤNG CẢM BIẾN SIÊU ÂM HY-SRF05

Hoàng Lê Hà*, Trần Thành Văn, Nguyễn Văn Ân
Khoa Điện tử - Viễn thông, Trường Đại học Khoa học - Đại học Huế
**Email:hoangleha87@gmail.com*

TÓM TẮT

Bài báo này đề cập đến việc nghiên cứu, thiết kế và thử nghiệm hệ đo khoảng cách bằng sóng siêu âm trên cơ sở ghép nối giữa cảm biến siêu âm HY-SRF05 và vi điều khiển PIC (Programmable - Intelligent - Computer). Cảm biến gồm hai khối thu và phát siêu âm hoạt động theo nguyên lý thu phát siêu âm: Sóng âm từ nguồn phát gặp vật cản sẽ quay ngược trở lại và được khối thu sóng tiếp nhận. Khoảng cách từ cảm biến đến vật cản phụ thuộc vào chênh lệch thời gian giữa hai thời điểm phát sóng và thu sóng. Vi điều khiển PIC được sử dụng để điều khiển hoạt động của cảm biến và hiển thị khoảng cách đo đạc trên màn hình LCD. Khoảng cách đo đạc bằng cảm biến cho giá trị gần như chính xác với khoảng cách thực tế với phần trăm chênh lệch đạt giá trị cao nhất là 7%. Các kết quả thực nghiệm cũng chỉ ra rằng nhiệt độ môi trường ảnh hưởng đến kết quả tính toán khoảng cách do thời gian sóng truyền đi tỷ lệ với tốc độ truyền sóng là đại lượng phụ thuộc vào nhiệt độ.

Từ khóa: *Cảm biến HY-SRF05, sóng siêu âm, vi điều khiển PIC...*

1. MỞ ĐẦU

Hiện nay sóng siêu âm đang được sử dụng rộng rãi trong các lĩnh vực đời sống và sản xuất [2,3]. Trong lĩnh vực công nghiệp, sóng siêu âm được sử dụng trong kiểm tra chiều dày, độ đồng đều hay phát hiện khuyết tật nằm trong các khối vật liệu. Trong lĩnh vực y học, sóng siêu âm được sử dụng trong siêu chẩn đoán và một số ứng dụng khác.... Sóng siêu âm với các đặc điểm riêng biệt có thể được sử dụng trong ứng dụng đo khoảng cách một cách chính xác. Trong một số ứng dụng thuộc lĩnh vực điều khiển tự động, cảm biến siêu âm được sử dụng để đo khoảng cách từ cảm biến đến vật cản, qua đó vi xử lý trung tâm có thêm thông tin để đưa ra các quyết định phù hợp tiếp theo. Nguyên lý hoạt động dựa trên nguyên lý thu và phát sóng siêu âm: khoảng cách từ cảm biến đến vật chắn được xác định căn cứ vào khoảng thời gian giữa hai thời điểm phát và thu sóng siêu âm phản xạ [1]. Đây là nền tảng cho các ứng dụng như đo tốc độ chuyển động, đo chiều dài vật hay cảnh báo va chạm trong cự ly không quá xa.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT VÀ PHƯƠNG PHÁP THIẾT KẾ

2.1. Tổng quan về sóng siêu âm và cảm biến siêu âm

Trong vật lý, sóng âm là những dao động được lan truyền trong môi trường vật chất theo thời gian. Cụ thể, trong quá trình dao động, các phân tử thuộc môi trường bao quanh sẽ được nhận một phần năng lượng từ nguồn gây ra dao động và bắt đầu lệch khỏi vị trí cân bằng; dưới tác dụng của lực liên kết đàn hồi giữa các phần tử, chúng sẽ quay trở lại vị trí cân bằng ban đầu nhưng sau đó tiếp tục chuyển động theo quán tính... Nói cách khác, sự dịch chuyển của mỗi phần tử làm cho những phân tử bên cạnh lệch khỏi vị trí cân bằng và thực hiện dao động. Kết quả của hiện tượng này đó là dao động đã được truyền lan từ nguồn phát dao động cho đến các phần tử ở xa. Quá trình lan truyền sóng của sóng âm và sóng điện từ đó là hoàn toàn khác nhau: sự truyền sóng âm chỉ thực hiện được trong môi trường có xuất hiện lực liên kết đàn hồi hay nói cách khác môi trường lan truyền là môi trường vật chất đàn hồi trong khi sóng điện từ có thể truyền được trong chân không [1,4].

Sóng này mang bản chất của sóng dọc với phương lan truyền cùng phương với phương truyền sóng [2]. Nó tuân theo các quy luật của sóng cơ học như khúc xạ, phản xạ, nhiễu xạ hay giao thoa.... Các đặc trưng cơ bản của sóng âm bao gồm các đại lương sau.

- Tần số âm [Hz]: Tần số dao động của nguồn phát âm

- Biên độ âm: mức độ thay đổi áp suất (so với áp suất cân bằng của môi trường) trong quá trình dao động.

- Cường độ âm[W/m^2]: năng lượng mà sóng âm truyền trong một đơn vị thời gian qua một đơn vị diện tích đặt vuông góc với phương truyền âm.

- Mức cường độ âm [B], [dB]: Cường độ âm tính theo đơn vị logarit so với một gia trị cường độ âm chuẩn.

- Tốc độ âm: tốc độ truyền dao động từ phần tử này đến phần tử kia trong môi trường truyền âm. Tốc độ này phụ thuộc vào nhiệt độ của môi trường [4,5]. Lý thuyết siêu âm chỉ ra rằng thời gian truyền sóng âm trên một quãng đường xác định tỷ lệ nghịch với tốc độ âm.

Căn cứ vào tần số sóng âm phát ra, sóng âm được chia làm ba loại như hạ âm, sóng âm gây cảm giác âm và siêu âm. Sóng siêu âm là sóng âm với tần số từ 16KHz trở lên nằm ngoài khả năng nghe được của tai người. Giới hạn trên của tần số sóng siêu âm thường là 5 MHz đối với chất khí và 500 MHz đối với chất lỏng hay chất rắn. Trong thực tế, sóng siêu âm được chia ra thành sóng siêu âm tần số thấp, năng lượng cao (20kHz-100kHz) và sóng siêu âm tần số cao, năng lượng thấp (2MHz-10MHz) [2].

Hình 1. Cảm biến siêu âm HY-SRF05 và minh họa quá trình phát và thu sóng siêu âm

Hình 1 ở trên mô tả cảm biến siêu âm HY- SRF05 và minh họa nguyên lý hoạt động của cảm biến. Cảm biến gồm một bộ phát và một bộ thu sóng siêu âm có tần số 40 KHz có khả năng đo khoảng cách lên đến 4,5m và có hai chế độ hoạt động. Sóng siêu âm từ đầu phát truyền đi trong không khí, gặp vật cản sẽ phản xạ ngược trở lại và được ghi nhận ở phía đầu thu. Qua đó khoảng thời gian từ lúc phát sóng siêu âm tới lúc phản xạ về đầu thu sẽ quy đổi được khoảng cách từ cảm biến tới vật cản [4].

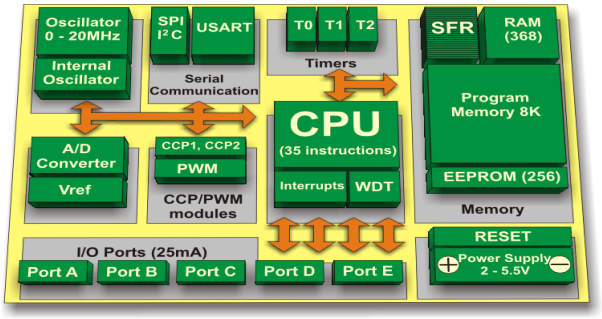
Bảng1 . Các thông số đặc trưng của cảm biến HC-SRF05

Điện áp hoạt động	5VDC
Sai số	± 0.3cm
Khoảng cách phát hiện	2 - 450cm
Dòng cung cấp	< 2mA

Chế độ hoạt động tách biệt chân phản hồi(Echo) và kích hoạt(Trigger) được sử dụng trong quá trình nghiên cứu để tiến hành đo đạc khoảng cách. Đây là chế độ đơn giản khi chân kích hoạt và chân phản hồi được sử dụng một cách riêng biệt. Trong khí đó, chân Out của cảm biến không được sử dụng để đảm bảo HC-SRF05 hoạt động chính xác.

2.2. Tổng quan về vi điều khiển PIC và cảm biến đo nhiệt độ không khí

PIC là một họ vi điều khiển theo kiến trúc Havard được sản xuất bởi công ty Microchip Technology. Dòng PIC đầu tiên là PIC1650 được phát triển bởi Microelectronics Division thuộc General Instrument. PIC sử dụng tập lệnh RISC, với dòng PIC low - end (độ dài mã lệnh 12 bit, ví dụ: PIC12Cxxx) và mid-range (độ dài mã lệnh 14 bit, ví dụ: PIC16Fxxxx), tập lệnh bao gồm khoảng 35 lệnh, và 70 lệnh đối với các dòng PIC high-end (độ dài mã lệnh 16 bit, ví dụ: PIC18Fxxxx). Tập lệnh bao gồm các lệnh tính toán trên các thanh ghi, các lệnh điều kiện, lệnh nhảy/gọi hàm và các lệnh để quay trở về…. Ngoài ra, nó cũng có các tính năng phần cứng khác như ngắt hoặc ngủ đông (chế độ hoạt động tiết kiệm điện). Chip vi điều khiển PIC 16f887 được sử dụng ở đây có nhiệm vụ như một vi xử lý trung tâm có chức năng xử lý các thông tin gửi đến từ các cảm biến và sau đó hiển thị kết quả trên màn hình LCD một cách phù hợp [6].

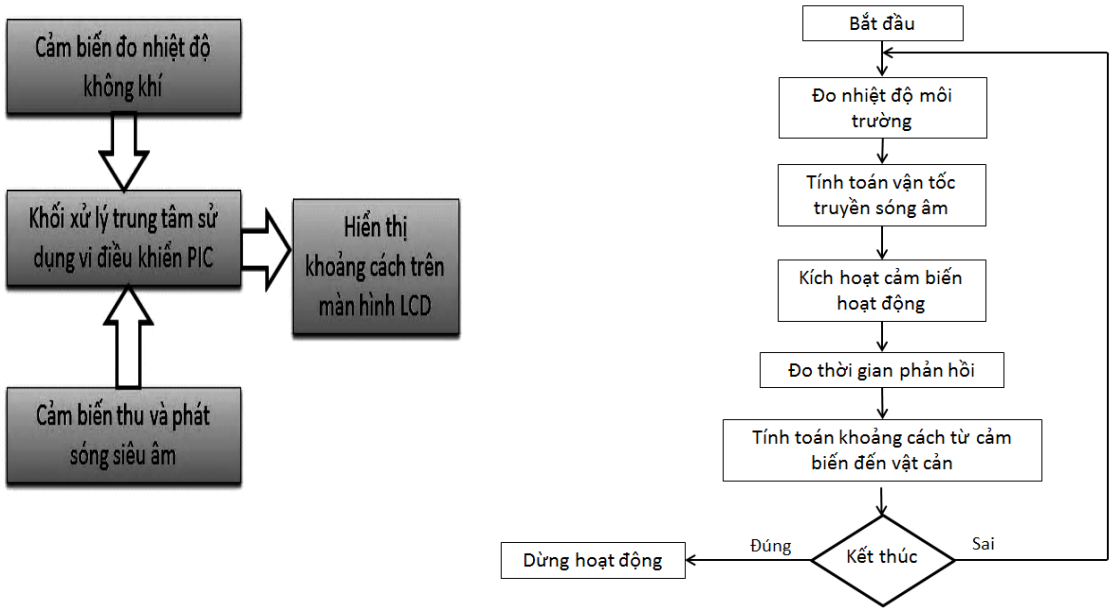


Hình 2. Sơ đồ khối chức năng bên trong chip vi điều khiển PIC 16f887

Sóng siêu âm có bản chất là sóng âm có tốc độ truyền âm phụ thuộc vào nhiệt độ môi trường. Trong quá trình nghiên cứu, cảm biến nhiệt độ LM35 được sử dụng để xác định nhiệt độ của môi trường qua đó tính toán một cách chính xác tốc độ truyền âm. Cảm biến này có hình dạng bên ngoài tương tự transistor lưỡng cực với điện áp nguồn biến thiên trong khoảng 4 -20V. Ngoài ra, cảm biến này có thể đo nhiệt trong dải từ -55^{0}C tới 150^{0}C với sai số 0,5^{0}C. Cảm biến thực hiện chuyển đổi thông số môi trường là nhiệt độ sang giá trị điện áp tương tự. Thông tin trị số điện áp này sẽ được vi xử lý trung tâm tiếp nhận và tính toán giá trị nhiệt độ của môi trường [5].

2.3. Thiết kế hệ đo khoảng cách trên cơ sở ghép nối giữa vi điều khiển PIC và cảm biến siêu âm

Trên cơ sở lý thuyết về cảm biến siêu âm HC-SRF05, cảm biến nhiệt độ LM35 cũng như nguyên tắc hoạt động vi điều khiển PIC, chúng tôi xây dựng hệ đo khoảng cách với sơ đồ khối và lưu đồ thuật toán như hình 3.



Hình 3. Sơ đồ khối hệ đo khoảng cách sử dụng cảm biến HC-SRF05 ghép nối vi điều khiển PIC 16f887 và lưu đồ thuật toán biểu diễn hoạt động hệ thống

Cụ thể các bước tiến hành như sau.

- Bước 1: Đo nhiệt độ bằng môi trường để xác định tốc độ truyền âm bằng cảm biến nhiệt độ. Tốc độ truyền sóng âm là một hàm số phụ thuộc vào nhiệt độ môi trường mà cụ thể ở đây là môi trường không khí. Trong quá trình nghiên cứu, chúng tôi ghép nối cảm biến nhiệt độ LM35 với vi điều khiển để đo nhiệt độ không khí tại nơi khảo sát.

- Bước 2: Tính toán tốc độ truyền âm. Mối quan hệ giữa tốc độ truyền âm và nhiệt độ môi trường được thể hiện như phương trình (1) [5].

$$V = 20{,}05 * \sqrt{t + 273{,}15} \quad (1)$$

Trong đó, t là nhiệt độ môi trường [^{0}C], V là tốc độ truyền sóng siêu âm trong không khí theo nhiệt độ [m/s].

- Bước 3: Kích hoạt cảm biến hoạt động.

- Bước 4: Đo thời gian chênh lệch giữa lúc phát và thu sóng siêu âm. Bộ định thời tích hợp trong vi điều khiển được đặt ở chế độ đếm thời gian xung qua giám sát điện áp tại chân Echo của cảm biến siêu âm. Cụ thể, bộ định thời được kích hoạt khi điện áp ở chân Echo chuyển từ mức thấp lên mức cao và dừng lại khi điện áp này được trả về mức thấp. Qua đó, số xung đếm được quy đổi sang thời gian chênh lệch bằng các phép tính phù hợp.

Điều kiện để cảm biến xác định được chính xác khoảng cách là thời gian chênh lệch nằm trong khoảng 100µs đến 25ms. Nếu thời gian chênh lệch dưới 100µs thì vật cản quá gần cảm biến và kết quả là hoàn toàn không chính xác. Trongg khi đó, thời gian lớn hơn 25ms chỉ ra rằng rằng vật cản nằm ngoài tầm đo của cảm biến. Ngoài ra, trong quá trình điều khiển thời gian giữa hai lần kích hoạt chân Trigger của cảm biến tối đa là 0,05s để tránh các sai lệch gây ảnh hưởng đến kết quả đo.

- Bước 5: Tiến hành tính toán khoảng cách từ cảm biến đến vật cản, từ đó ta có thể tính được khoảng cách từ cảm biến tới vật cản. Khoảng cách cần đo đạc S[cm] được xác định như sau.

$$S = V * \frac{\Delta t}{2} * 10^{-4} \quad (2)$$

Trong đó Δt [µS] là chênh lệch thời gian được xác định ở bước 4.

3. CÁC KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM VÀ THẢO LUẬN

Bảng 2. Bảng so sánh giữa khoảng cách thực tế và khoảng cách đo được tại nhiệt độ 35,6^{0}C

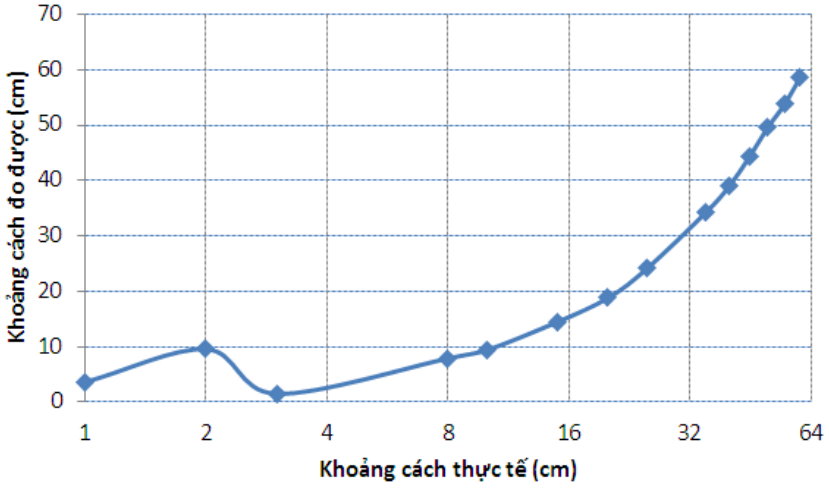
Khoảng cách thực tế (cm)	Khoảng cách đo được(cm)	Chênh lệch(%)	Khoảng cách thực tế(cm)	Khoảng cách đo được(cm)	Chênh lệch(%)
1	3.6	260.00	25	24.1	3.60
2	9.56	378.00	35	34.2	2.29
3	1.5	50.00	40	38.9	2.75
8	7.9	1.25	45	44.3	1.56

10	9.4	6.00	50	49.6	0.80
15	14.5	3.33	55	53.76	2.25
20	18.8	6.00	60	58.49	2.52

Trên cơ sở lý thuyết chúng tôi đã xây dựng thành công hệ đo khoảng cách sử dụng cảm biến HC-SRF05 ghép nối vi điều khiển PIC 16f887. Các kết quả thực nghiệm bao gồm thực nghiệm kiểm chứng khả năng đo khoảng cách của cảm biến và thực nghiệm kiểm tra tính chính xác của phép đo khoảng cách khi nhiệt độ môi trường thay đổi.

Các kết quả thực nghiệm kiểm chứng khả năng đo khoảng cách bằng cảm biến được mô tả ở bảng 2. Ở đây chúng tôi tiến hành thử nghiệm trong trường hợp nhiệt độ của môi trường là 35,6^{0}C (tốc độ truyền sóng là 352,3 m/s). Qua đó, chúng tôi tiến hành đối chiếu với khoảng cách thực tế từ cảm biến đến vật cản và tính toán phần trăm chênh lệch giữa khoảng cách đo được và khoảng cách thực tế.

Đồ thị biểu diễn quan hệ giữa khoảng cách đo được và khoảng cách thực tế như hình 4.



Hình 4. Đối chiếu khoảng cách thực tế và khoảng cách đo được bằng cảm biến

Các kết quả này chỉ ra rằng khoảng cách đo được tồn tại sai khác so với thực tế. Cụ thể khi khoảng cách thực tế dưới 3cm thì cảm biến siêu âm hoạt động không chính xác và gây sai số lớn, điều này hoàn toàn phù hợp với đặc tính của cảm biến. Cảm biến siêu âm cho kết quả gần như chính xác khi khoảng cách đo càng ngày càng lớn và tỷ lệ chênh lệch so với khoảng cách thực tế là dưới 7%. Điều này chứng tỏ hệ đo khoảng cách đã đo được khoảng cách cho kết quả gần như là chính xác khi khoảng cách từ trên 3cm trở đi.

Theo phương trình (1), tốc độ truyền sóng âm ứng với một giá trị nhiệt độ môi trường là hoàn toàn xác định. Lý thuyết về truyền sóng chỉ ra rằng chênh lệch thời gian giữa thời điểm sóng truyền đi và sóng phản xạ ngược lại sẽ tỷ lệ với tốc độ truyền sóng nếu khoảng cách giữa cảm biến và vật cản là không đổi thì. Do đó, thời gian chênh lệch giữa hai thời điểm thu và phát sóng siêu âm sẽ hoàn toàn khác nhau ứng với các nhiệt độ môi trường khác nhau. Trong quá trình nghiên cứu chúng tôi đã tiến hành các thử nghiệm nhằm tính toán khoảng cách đo đạc

bằng cảm biến siêu âm theo phương trình (2) ứng với các nhiệt độ môi trường khác nhau. Không mất tính tổng quát, khoảng cách từ cảm biến đến vật cản được giữa cố định là 50cm để kiểm chứng sự thay đổi của khoảng cách đo được. Bảng 3 thể hiện sự thay đổi của khoảng cách đo đạc theo nhiệt độ môi trường.

Bảng 3. Ảnh hưởng của nhiệt độ đến kết quả đo đạc khi giữ khoảng cách thực là 50 cm

Nhiệt độ (^{0}C)	Tốc độ truyền âm (m/s)	Khoảng cách đo được(cm)
25,1	346,2	49,5
28,5	348,2	49,6
30,1	349,1	50,3
34,5	351,6	50,2
35,6	352,3	50,2

Các kết quả trên thể hiện rằng khoảng cách đo được cho sai số từ 0,2 ÷ 1 % so với giá trị thực tế là 50 cm. Các kết quả thực nghiệm này khẳng định rằng kết quả tính toán khoảng cách theo phương trình (2) sẽ cho kết quả sai số nếu bỏ qua việc xác định tốc độ truyền sóng âm trong môi trường. Trong thiết kế hệ thống, chúng tôi đã xác định được tốc độ truyền sóng theo phương trình (1) thông qua phép đo nhiệt độ môi trường bằng cảm biến LM35. Kết quả là sai số trong phép tính khoảng cách đã được giảm một cách đáng kể.

4. KẾT LUẬN

Trên cơ sở lý thuyết về cảm biến và vi điều khiển, chúng tôi đã tiến hành thiết kế và thử nghiệm hệ đo khoảng cách bằng sóng siêu âm trên cơ sở ghép nối giữa cảm biến siêu âm và vi điều khiển PIC 16f887. Cảm biến này hoạt động theo nguyên lý thu phát siêu âm: Sóng âm từ nguồn phát gặp vật cản sẽ quay ngược trở lại và được thu nhận. Khoảng cách từ cảm biến đến vật cản phụ thuộc vào chênh lệch thời gian giữa hai thời điểm phát sóng và thu sóng. Vi điều khiển PIC được sử dụng để điều khiển hoạt động của cảm biến và hiển thị khoảng cách đo đạc. Các kết quả thực nghiệm chỉ ra rằng sai số giữa khoảng cách đo được và khoảng cách thực tế dưới 7%. Nguyên nhân là các sai số trong tính toán khoảng cách đã được hạn chế tối đa khi tốc độ truyền sóng âm đã được xác định chính xác.

Phương pháp đo khoảng cách bằng sóng siêu âm cho kết quả có độ tin cậy cao, khoảng cách đo có thể lên đến 400 cm và chi phí thấp so với các phương pháp đo khoảng cách bằng tia la-ze hay sóng vi ba. Các kết quả đạt được trong bài báo là nền tảng bước đầu để xây dựng ứng dụng trong các lĩnh vực hàng ngày yêu cầu chi phí thấp và đạt độ tin cậy cao như cảnh báo va chạm phương tiện giao thông trong cự ly gần hay các ứng dụng khác.

LỜI CẢM ƠN

Công trình nghiên cứu này được thực hiện dưới sự hỗ trợ kinh phí từ đề tài "Nghiên cứu, ghép nối cảm biến siêu âm với vi điều khiển PIC ứng dụng đo khoảng cách" cấp cơ sở trường Đại học Khoa học - Đại học Huế.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. A. K. Shrivastava, A. Verma, S.P. Singh (2010). Distance Measurement of an Object or Obstacle by Ultrasound Sensors using P89C51RD2, *International Journal of Computer Theory and Engineering 2*, pp. 64-68.

[2]. Võ Duy Dần (2010). *Vật liệu điện môi và ứng dụng*, Nhà xuất bản Đại học Huế.

[3]. Phan Thanh Hà (2014). Một vài ứng dụng của siêu âm, *Tạp chí thông tin khoa học và công nghệ Quảng Bình*, t. 36-44.

[4]. J.David and N.Cheeke (2002). Fundamental of ultrasonic waves, *CRC Press*, Florida USA, ISBN 0-8493-0130-0.

[5]. Md. Shamsul Arefin, Tajrian Mollick (2013). Design of an Ultrasonic Distance Meter, *International Journal of Scientific and Engineering Research 4*, ISSN 2229-5518

[6]. Microchip Technology PIC 16f88x datasheet (2009).

STUDY AND DESIGN OF DISTANCE MEASUREMENT METER USING HY-SRF05 ULTRASONIC SENSOR

Hoang Le Ha*, Tran Thanh Van, Nguyen Van An

Department of Electronics - Telecommunications, Hue University College of Sciences

**Email:hoangleha87@gmail.com*

ABSTRACT

This article aims to report the study and design as well as experimental results of distance measurement using ultrasonic sensor based on the communication between HY-SRF05 sensor and PIC (Programmable - Intelligent - Computer) microcontroller. The ultrasonic sensor uses as a transducer that emits high- frequency, inaudible acoustic waves in one direction when the transducer element vibrates. And the waves strike and bounce off an object, the transducer receives the echoed signal. The sensor then determines its distance from the object based on the length of time between the initial sound burst and the echo's return. The microcontroller is used to monitor the distance meter and display on LCD screen. Distance measurement shows accurate values in accordance with practical distance with maximum error percentage of 7%. Futhermore, it can be shown from the experimental results that distance calculation deeply depends on the velocity of ultrasound which is proportional to the environmental temperature.

***Keywords**: Ultrasonic sensor HY-SRF05, ultrasound, PIC microcontroller.*