

# Thiết kế hệ thống thu nhận tín hiệu điện tâm đồ trong thời gian thực dựa trên giao tiếp âm thanh - soundcard tích hợp trong máy tính

Dương Trọng Lượng\*, Nguyễn Đức Thuận, Nguyễn Thái Hà,  
Trịnh Quang Đức, Phí Ngọc Tú, Nguyễn Phan Kiên

*Trường Đại học Bách Khoa Hà Nội, Số 1 Đại Cồ Việt, Hai Bà Trưng, Hà Nội, Việt Nam*

Nhận ngày 06 tháng 3 năm 2014

Chỉnh sửa ngày 20 tháng 3 năm 2014; Chấp nhận đăng ngày 31 tháng 3 năm 2014

**Tóm tắt:** Bài báo này trình bày nghiên cứu, thiết kế hệ thống thu nhận tín hiệu điện tâm đồ (ECG) trong thời gian thực dựa trên giao tiếp âm thanh-soundcard tích hợp sẵn trong máy tính. Với mục đích phát triển một công cụ đo tín hiệu ECG thuận tiện trong việc thu thập, xử lý và phân tích, phục vụ cho học tập và nghiên cứu của sinh viên và cán bộ nghiên cứu trong lĩnh vực phân tích chẩn đoán bệnh dựa trên tín hiệu sinh học từ cơ thể người. Bên cạnh đó, để chế tạo một thiết bị đo tín hiệu ECG với chi phí thấp, thiết kế này đã sử dụng phương pháp điều chế tần số cho tín hiệu ECG để tương thích với tất cả các loại soundcard tích hợp trên máy tính. Dải tần số hoạt động của hệ thống này cho phép thu nhận và xử lý tín hiệu ECG có tần số và biên độ nằm trong khoảng 0 đến 100Hz và 300 $\mu$ V đến 3mV tương ứng. Để hiển thị, lưu trữ và phân tích dữ liệu tín hiệu ECG trên máy tính, các tác giả sử dụng phần mềm Matlab phiên bản 2013. Hệ thống được thử nghiệm đo tín hiệu điện tâm đồ từ một vài người tình nguyện sử dụng trình 3 điện cực.

*Từ khóa:* Thu nhận tín hiệu ECG; điều chế; tín hiệu ECG; giao tiếp âm thanh; phần mềm Matlab.

## 1. Giới thiệu

Các bệnh lý về tim mạch luôn thu hút được sự quan tâm của các chuyên gia y tế bởi sự nguy hiểm của nó tới tính mạng con người. Theo tổ chức Y tế Thế giới (WHO), bệnh tim là một trong những nguyên nhân hàng đầu gây tử vong ở các nước đang phát triển [1]. Các bệnh lý của tim mạch hầu hết được phản ánh thông qua tín hiệu điện tâm đồ. Vì lý do này, các thiết

bị ghi đo, theo dõi và chẩn đoán tín hiệu điện tim đã được nghiên cứu và phát triển mạnh mẽ. Kiểm tra và phân tích điện tâm đồ là một trong những thủ tục chẩn đoán căn bản để xác định bệnh lý về tim mạch một cách sơ bộ chẳng hạn như loạn nhịp tim, thiếu máu cục bộ, tắc động mạch vành vv...[2], từ đó tiến hành những giám định lâm sàng hình ảnh để cho kết luận chính xác và đưa tới giải pháp điều trị. Những tiến bộ mới về công nghệ vi điện tử và sự phát triển mạnh mẽ của công nghệ thông tin đã cho phép tạo ra những thiết bị số hóa ghi đo tín

\* Tác giả liên hệ. ĐT: 84-967008876.  
E-mail: luong.duongtrong@hust.edu.vn

hiệu điện tim và các thiết bị theo dõi các thông số sống của cơ thể người như: điện tâm đồ (ECG), nhiệt độ cơ thể, nhịp tim, huyết áp và độ bão hòa oxy...[3,4]. Ở Việt Nam, các thiết bị này thường phải nhập ngoại mà công nghệ chế tạo cũng như các thông số kỹ thuật chi tiết bị ẩn dấu với mục đích bảo vệ bản quyền chế tác. Hơn nữa, số liệu đo được thực hiện thông qua những thiết bị như vậy thường bị mã hóa và chỉ có thể được giải mã với những phần mềm được cung cấp bởi nhà sản xuất, do đó, gây khó khăn trong việc phân tích tín hiệu điện tâm đồ trong thời gian thực. Để khắc phục những khó khăn này, một số hãng sản xuất cung cấp những thiết bị, hệ thống mở để cho phép người sử dụng phát triển các ứng dụng trên đó, tuy nhiên, giá thành của những hệ thống đó khá đắt tiền [5,6]. Hạt nhân của những hệ thống số hóa cho phép đo và ghi lại dữ liệu điện tâm đồ trên máy tính thực tế chỉ nằm trong những mạch khuếch đại được xử lý tín hiệu phức hợp để loại bỏ đa những can nhiễu trong tín hiệu điện tim. Thông qua chuyển đổi tương tự-số, tín hiệu điện tim được truyền tới máy tính được điều khiển bằng những phần mềm do nhà sản xuất cung cấp. Việc phát triển những phần mềm phân tích tín hiệu điện tâm đồ có thể được thực hiện bởi người sử dụng thông qua những thuật toán được cài đặt trên máy tính. Hiện nay, hầu hết các máy tính cá nhân hiện nay đều được tích hợp soundcard là một bộ chuyển đổi tương tự-số cho phép chuyển đổi âm thanh trong giải nghe thấy thành tín hiệu số. Hơn nữa, cho đến nay, các giải thuật xử lý số tín hiệu cũng đã phát triển tương đối hoàn chỉnh, đủ để đáp ứng yêu cầu cho lọc can nhiễu của tín hiệu điện tâm đồ. Do đó, xuất phát từ những điều kiện thuận lợi của công nghệ hiện nay, bài báo này đề xuất một ý tưởng thiết kế hệ thống thu nhận tín hiệu điện tâm đồ giá rẻ cho phép đo, thu thập, và xử lý tín hiệu điện tâm đồ trong thời gian thực dựa trên giao tiếp âm thanh – soundcard tích hợp sẵn trong máy tính. Tuy nhiên, bởi vì mục đích

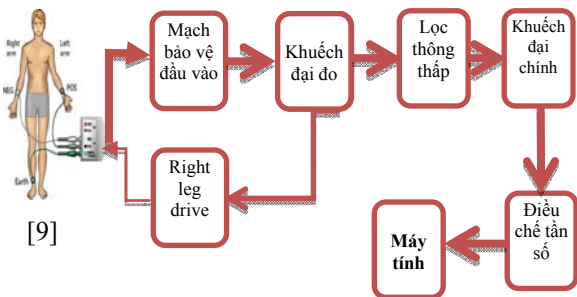
của soundcard là thu tín hiệu âm thanh, do đó, để đảm bảo loại bỏ những can nhiễu ngoài khoảng tần số âm thanh nghe được, một số soundcard đã thiết kế sẵn những bộ lọc thông dải trên mạch cứng. Do đó, ở điều kiện này, soundcard sẽ loại tín hiệu điện tâm đồ ở dải tần số từ 0 đến 20 Hz là dải tần số quan trọng để quan sát những thông số chính của tín hiệu điện tim như sóng phức hợp P-QRS-T-U [7]. Để khắc phục trở ngại này, trong thiết kế này, về cơ bản chúng tôi ứng dụng phương pháp điều chế tần số của tín hiệu ECG với tần số sóng mang là 10KHz để cho phép tín hiệu ECG đo được trong dải tần từ 20Hz đến 20KHz của soundcard. Để cài đặt các giải thuật xử lý số tín hiệu cũng như hiển thị và phân tích tín hiệu điện tâm đồ thời gian thực, phần mềm thương mại hỗ trợ công cụ toán học mạnh là Matlab đã được sử dụng. Trên cơ sở đó, từ công trình này, một công cụ thu nhận tín hiệu ECG có dải tần từ 0 đến 100Hz, biên độ từ 300 $\mu$ V đến 3mV để phục vụ cho việc học tập, nghiên cứu của sinh viên và cán bộ nghiên cứu trong lĩnh vực đo lường tín hiệu sinh học từ cơ thể người có thể được phát triển. Hơn nữa, với những thuật toán phân tích tín hiệu điện tâm đồ cho phép trích chọn được các đặc trưng của các bệnh lý về tim mạch, hệ thống này có thể phát triển thành một thiết bị đo tín hiệu điện tim có giá thành thấp, hỗ trợ việc chẩn đoán và điều trị bệnh tim mạch.

## 2. Phương pháp thực hiện

Trên cơ sở mục đích nghiên cứu, các chỉ tiêu thông số kỹ thuật cơ bản của mạch ghi đo tín hiệu điện tim (được chỉ ra trong bảng 1), nhóm tác giả đưa ra sơ đồ khối của hệ thống thu nhận tín hiệu ECG trong thời gian thực dựa trên giao tiếp âm thanh-soundcard kết nối với máy tính (hình 1).

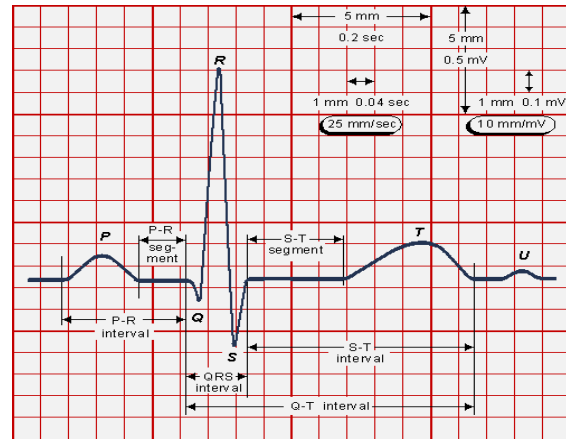
Bảng 1. Các chỉ tiêu thông số kỹ thuật cơ bản của mạch ghi đo tín hiệu ECG

TT	Chỉ tiêu thông số kỹ thuật	Mô tả
01	G = 30 (db)	Hệ số khuếch đại của toàn mạch
02	Tuổi thọ của pin $\cong$ 2,5giờ	Mạch được thiết kế dùng nguồn pin 9V, để giảm thiểu nhiều nguồn điện lưới 50Hz
03	Dòng tiêu thụ: 35mA	Tính cho mạch khuếch đại đo, lọc thông thấp, khuếch đại chính, Điều chế tần số.
04	Công suất của mạch: 260mW	Tính từ mạch khuếch đại đo cho đến mạch điều chế tần số.
05	Công suất của điện cực: 0,1W/cm [8]	Công suất cực đại cho phép của điện cực
06	Tiêu chuẩn an toàn: IEC 60601-1 class 2 và TCVN 7303-1	Tiêu chuẩn an toàn điện đối với thiết bị y tế của thế giới và Việt nam cho bệnh nhân
07	3-lead (3 điện cực)	Dùng loại cáp đo 3 dây nối với 3 điện cực, đo đạo trình các chi
08	Biên độ của tín hiệu ECG: 3mV (max)	Hệ thống có thể cho ra tín hiệu ECG có biên độ lớn nhất là 3mV
09	Chuyển đổi A/D 24bit	Ứng dụng bộ ADC 24bit tích hợp sẵn trên soundcard
10	Dải tần đáp ứng: 0,05 ÷ 100Hz	Đây là dải tần số của tín hiệu ECG dùng để chẩn đoán.
11	Hiển thị trên máy tính	Kết nối với máy tính qua giao tiếp âm thanh



Hình 1. Sơ đồ khối hệ thống thu nhận và xử lý tín hiệu ECG trong thời gian thực kết nối với máy tính qua giao tiếp âm thanh-soundcard.

**ECG signal:** Tín hiệu ECG ghi lại những hoạt động mang tính chất điện của tim. Tín hiệu ECG được gọi là bình thường (trạng thái tim hoạt động bình thường) bao gồm năm đỉnh lồi, lõm được gán bởi năm chữ cái là P,Q,R,S và T [10]. Trong một số trường hợp có thêm đỉnh U. Hình dạng của tín hiệu ECG này được chỉ ra trong hình 2, một số đặc điểm về biên độ và khoảng thời gian tồn tại của nó được thể hiện trong bảng 2 và bảng 3.



Hình 2. Tín hiệu ECG bình thường [11].

Tín hiệu ECG bình thường có dải tần số từ 0,05 đến 100Hz. Đây là dải tần số dùng cho ứng dụng chẩn đoán các bệnh về tim mạch [12].

Bảng 2. Biên độ của các sóng thành phần trong tín hiệu ECG [12]

Sóng thành phần trong tín hiệu ECG	Biên độ (mV)
Sóng P	0,25
Sóng R	1,6
Sóng Q	0,4
Sóng T	0,1÷0,5

Bảng 3. Khoảng thời gian giữa các sóng trong tín hiệu ECG [12]

Sóng thành phần trong tín hiệu ECG	Khoảng thời gian giữa các sóng (S)
P-R	0,12÷0,2
Q-T	0,35÷0,44
S-T	0,05÷0,15
Sóng P	0,05÷0,11
Sóng phức QRS	0,05÷0,09

**Mạch bảo vệ đầu vào:** Gồm các điện trở, tụ điện tạo thành mạch lọc bậc 2 để lọc tín hiệu có tần số cao và hạn chế dòng điện rò gây nguy hiểm cho bệnh nhân.

**Mạch khuếch đại đo:** Chuyển tín hiệu điện áp vi sai thành tín hiệu đơn và tiền khuếch đại với hệ số G1 là 10(db). Để thực hiện công việc này, tác giả sử dụng vi mạch khuếch đại đo INA 333 của hãng Texas Instruments. Vi mạch này có một số ưu điểm hơn so với vi mạch cùng chức năng của các hãng khác chẳng hạn như can nhiễu thấp, sai số thấp, tỉ số nén mode chung cao (100dB), có chế độ tiết kiệm năng lượng, hệ số khuếch đại điều chỉnh được từ 1-1000 lần [5].

**Right leg drive:** lấy tín hiệu từ mạch khuếch đại đo đưa trở về chân phải của người tình nguyện hoặc bệnh nhân làm tăng khả năng loại bỏ nhiễu chung trong khi đo tín hiệu ECG.

**Lọc thông thấp:** Sử dụng mô hình lọc thông thấp Butterworth bậc 4 với tần số cắt là 100Hz, hệ số khuếch đại bằng 1, dùng vi mạch OP333 [5].

**Khuếch đại chính:** Sử dụng vi mạch OPA333 để khuếch đại một lần nữa với hệ số khuếch đại G2 là 20(db) trước khi đưa vào khối điều chế tần số. Như vậy, biên độ của tín hiệu ECG đo từ người sẽ được khuếch đại với hệ số khuếch đại:

$$G(\text{db}) = G1 + G2 = 10(\text{dB}) + 20(\text{dB}) = 30(\text{dB})$$

**Điều chế tần số:** Thực hiện điều chế tín hiệu ECG ở đầu ra của bộ khuếch đại chính có tần số từ 0,05Hz ÷ 100Hz (dải tần số cần điều chế) thành tín hiệu có tần số 10KHz (tần số sóng mang) – đây là tần số nằm ở khoảng giữa của dải tần số âm thanh nghe thấy của người (20Hz ÷ 20KHz). Để thực hiện điều chế, trong nghiên cứu này tác giả sử dụng vi mạch XR2206 của hãng EXAR[13]. Tín hiệu ECG sau khi điều chế được đưa vào soundcard.

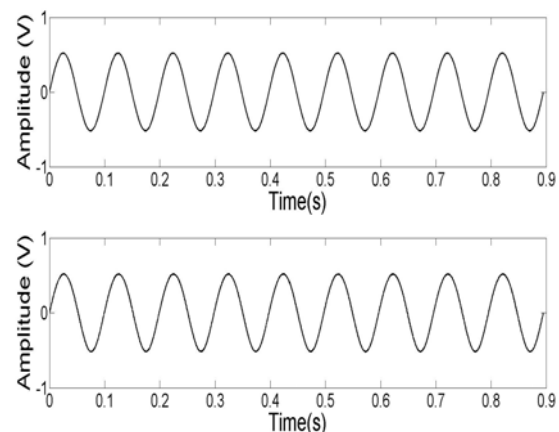
**Soundcard:** Nhận tín hiệu ra từ khối điều chế để giải điều chế và chuyển đổi sang tín hiệu số thông qua bộ ADC 24bit cũng được tích hợp trên soundcard. Soundcard là giao tiếp âm thanh và cũng là một trong những chuẩn đầu vào của máy tính. Dữ liệu dưới dạng số của tín hiệu ECG được lưu trữ, hiển thị và phân tích thông qua các phần mềm Matlab hay Labview. Để đánh giá sự hoạt động tin cậy của hệ thống, chúng tôi sử dụng tiêu chí bình phương trung bình của lỗi (Mean Square Error – MSE), tiêu chí này được xác định bởi công thức (1).

$$\text{MSE} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x(i) - \hat{x}(i))^2 \quad (1)$$

trong đó, N là giá trị tần số, x(i) là tín hiệu ra,  $\hat{x}(i)$  là tín hiệu vào.

### 3. Kết quả và thảo luận

Trước hết, nhóm tác giả tiến hành thử nghiệm hệ thống với tín hiệu hình sin mô phỏng. Bởi vì, chúng tôi coi tín hiệu hình sin này là tín hiệu chuẩn, tiền định, để kiểm tra sự hoạt động, độ chính xác của hệ thống. Kết quả thu được như hình 3.

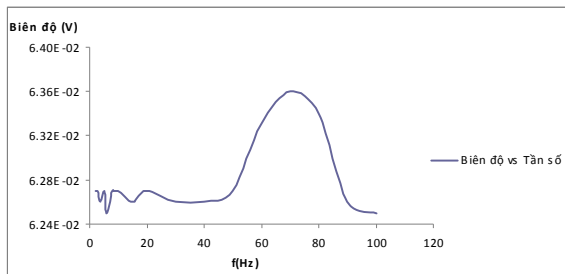


Hình 3. a) Tín hiệu ra của bộ giải điều chế;  
b) Tín hiệu vào của bộ điều chế.

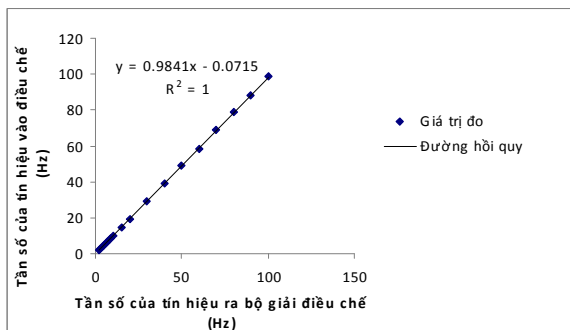
Để xác định độ chính xác của phép điều chế, chúng tôi đã thay đổi tần số, giữ cố định biên độ của tín hiệu đầu vào. Sai số tương đối của phép điều chế được tính theo công thức (2).

$$\Delta(\%) = \frac{V_{out}(f) - V_{in}(f)}{V} 100 = \frac{\Delta V(f)}{V} 100 \quad (2)$$

Trong đó:  $\Delta$  là sai số tương đối của biên độ tín hiệu ra so với biên độ của tín hiệu vào;  $V_{out}(f)$  và  $V_{in}(f)$  là biên độ của tín hiệu ra và biên độ của tín hiệu vào phụ thuộc vào tần số điều chế;  $V$  là biên độ của tín hiệu mẫu được đặt ở giá trị 1V. Kết quả trong hình 4 cho thấy giá trị sai số lớn nhất ( $\Delta V(f)$ ) là xấp xỉ 0,01 tương đương với  $\Delta = 1\%$ . Với sai số này là chấp nhận được. Bởi vì trong thực tế, với kinh nghiệm của các bác sỹ thì sai số biên độ của tín hiệu ECG đến 5% rất khó để phân biệt được khi tín hiệu ECG được hiển thị trên màn hình của thiết bị theo dõi bệnh nhân hoặc trên màn hình máy tính.

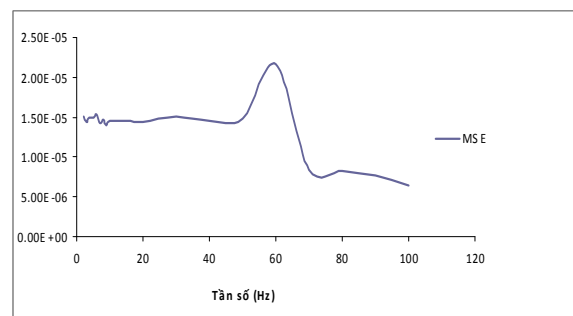


Hình 4. Giữ nguyên biên độ, thay đổi tần số của tín hiệu vào điều chế.



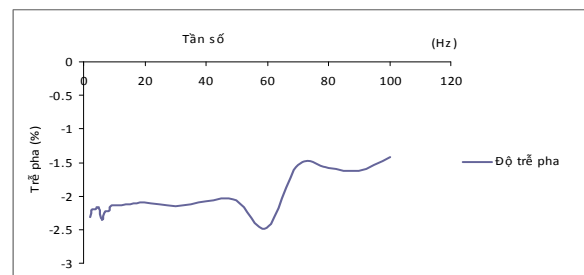
Hình 5. Đặc tuyến tần số điều chế.

Kết quả trên hình 5 thể hiện sự tuyến tính giữa tần số của tín hiệu vào điều chế và tín hiệu sau điều chế với hệ số xấp xỉ bằng 1 (sai số tương đối khoảng 2%). Điều này cho thấy, hầu như không có sự thay đổi đáng kể của tần số trước và sau điều chế. Hình 6 thể hiện giá trị MSE. Giá trị MSE rất thấp ( $1,5 \cdot 10^{-5}$ ) và khá ổn định ở dải tần số từ 0 đến 48Hz. Trong dải tần số từ 50Hz đến khoảng 100Hz thì MSE có thay đổi trong phạm vi từ  $0,7 \cdot 10^{-6}$  đến  $2,2 \cdot 10^{-5}$ .



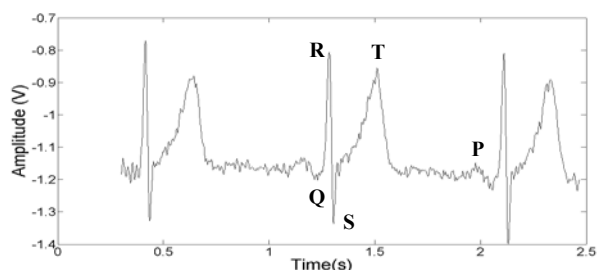
Hình 6. Giá trị của MSE khi so sánh tín hiệu vào điều chế và tín hiệu ra giải điều chế thông qua tần số.

Sai số này là rất thấp không đáng kể. Sự trễ pha của tín hiệu vào điều chế và ra điều chế được thể hiện ở hình 7. Như trên hình 7 chỉ ra, trễ pha lớn nhất khoảng 2% trong dải tần từ 50Hz đến 70Hz. Sự trễ pha này có thể do nguyên nhân gây ra bởi nhiều nguồn điện lưới trong thiết bị đo. Sau khi đánh giá một vài thông số kỹ thuật của mạch đo và điều chế, chúng tôi đã tiến hành đo thử nghiệm trên một vài người tình nguyện như là một phép thử nghiệm trên thực tế.

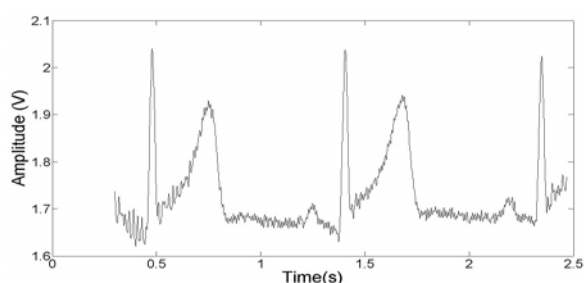


Hình 7. Sự trễ pha của tín hiệu sau điều chế ở trong miền tần số.

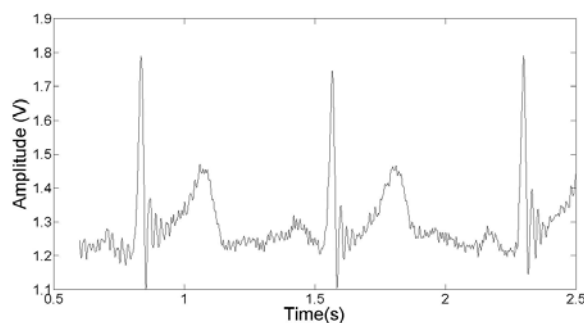
Hình 8, hình 9 và hình 10 thể hiện kết quả đo tín hiệu ECG từ 3 người tình nguyện.



Hình 8. Dạng tín hiệu điện tim của người tình nguyện thứ 1.



Hình 9. Dạng tín hiệu điện tim của người tình nguyện thứ 2.



Hình 10. Dạng tín hiệu điện tim của người tình nguyện thứ 3.

#### 4. Kết luận

Nhóm tác giả đã thiết kế được hệ thống thu nhận tín hiệu ECG trong thời gian thực dựa trên

giao tiếp âm thanh-soundcard kết nối với máy tính. Sự hoạt động, độ tin cậy của hệ thống đã được thử nghiệm và đánh giá thông qua tín hiệu mẫu có tần số từ 0 đến 100Hz, biên độ 1V. Qua việc đánh giá một vài thông số, hệ thống đã đạt được các chỉ tiêu thông số kỹ thuật như: Sai số về biên độ là 1%, trong khi sai số của pha là 2%. Với sai số cho phép của các thiết bị đo tín hiệu điện tim hiện nay thì các chỉ tiêu kỹ thuật này đủ đảm bảo độ tin cậy của phép đo. Hệ thống cũng được thử nghiệm đo tín hiệu ECG từ ba người tình nguyện. Kết quả của phép đo cho thấy các dạng sóng thu được phản ánh đầy đủ các thành phần sóng của tín hiệu điện tim. Tuy nhiên, các tín hiệu ECG thu được vẫn còn có các thành phần nhiễu trắng. Loại nhiễu này có thể được loại bỏ bằng phương pháp trung bình hóa biên độ trong một khoảng thời gian đủ nhỏ. Vấn đề này sẽ được phát triển trong tương lai. Kết quả của nghiên cứu này cho thấy hệ thống này hoàn toàn có thể đáp ứng được yêu cầu thu nhận, xử lý và phân tích tín hiệu ECG để giúp cho việc theo dõi và chẩn đoán bệnh tim mạch của các bác sỹ.

#### Tài liệu tham khảo

- [1] B. A. Walker, A. H. Khandoker, & J. Black, "Low cost ECG monitor for developing countries," The Fifth International conference on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information processing (ISSNIP), pp 195-200, December 2009.
- [2] D.Hee Lee, A.Rabbi, J.Choi, R. Fazel-Rezai, "Development of a Mobile Phone Based e-Health Monitoring Application," International Journal of Advanced Computer Science and Applications, Vol. 3, No. 3, 2012.
- [3] Phillips, Medchoice, Nihon konden, "Patient's monitor," Manuals, 2012.
- [4] <http://www.adinstruments.com/products>
- [5] [www.ti.com/vi](http://www.ti.com/vi)
- [6] <http://www.ni.com/>

- [7] Balambigai Subramanian, "Efficient Zigbee Based health Care system for Arrhythmia Detection In Electrocardiogram," *European Journal of Scientific Research* ISSN 1450-216X, Vol.69, No.2, pp. 180-187, 2012.
- [8] Hoang Chu Duc, Luong Duong Trong, Thuan NguyenDuc, Duc TrinhQuang, " Mobile device based HRV analysis system," *IEEE*, 978-1-4673-5990, 2013.
- [9] Staff off ADInstruments, "ECG & peripheral circulation," ADInstruments, 2008.
- [10] C.Saritha, V. Sukanya, Y. Narasimha Murthy, "ECG Signal Analysis Using Wavelet Transforms," *Bulg. J. Phys.* 35, page 68–77, 2008.
- [11] Gari D.Clifford, Francisco Azuaje, Patrick E. McSharry, "Advanced Methods and tools for ECG data analysis," Artech house Inc, Boston London, 2006.
- [12] DuongTrong Luong, Nguyen Duc Thuan, Nguyen Hung, "ECG signal transmission using wireless in patient health care and monitoring system," *Tạp chí khoa học & công nghệ, Đại học Bách Khoa Đà Nẵng*, số 12(61), 2012.
- [13] EXAR corporation, "XR-2206 monolithic function generator," (510)668-7000-7017, 2008.

## Design of the Electrocardiogram Signal Acquisition System in Real-time Based on Soundcard Interface Integrated on Personal Computer

Dương Trọng Lượng, Nguyễn Đức Thuận, Nguyễn Thái Hà,  
Trình Quang Đức, Phí Ngọc Tú, Nguyễn Phan Kiên

*Hanoi University of Science and Technology, 1 Đại Cồ Việt, Hai Bà Trưng, Hanoi, Vietnam*

**Abstract:** This paper presents a study and design of the Electrocardiogram (ECG) signal acquisition system in real-time, based on soundcard interface integrated on personal computer (PC). It's aim is to develop a convenient tool for acquiring, processing and analysing the ECG signals. This tool can be used effectively also by students in learning and studying and by researchers in pathological analysis and diagnosis based on biological signals from human body. Besides, to fabricate an ECG signals measuring device with low cost, this design uses frequency modulation method for the ECG signal to match with all soundcard built in PC. The range of operating frequency of this system allows receiving and processing the ECG signals whose frequency ranged in 0 to 100Hz, and amplitude from 300  $\mu$ V to 3mV. In order to display, store and analyse the ECG signals on the computer, the authors use Matlab software versions 2013. The system was examined to through measurement of the ECG signals from several volunteers using three leads.

*Keywords:* ECG acquisition; modulation; ECG signal; sound interface; Matlab software.