

MẠCH THU THẬP TÍN HIỆU ĐIỆN TIM CÁCH LY THỜI GIAN THỰC SỬ DỤNG GIẢI THUẬT LỌC THÍCH NGHI

REAL TIME ISOLATION, ECG SIGNAL ACQUISITION CIRCUIT USING ADAPTIVE FILTERING ALGORITHM

Bùi Huy Hải¹, Giáp Văn Dương¹, Hà Tiến Vinh²

¹Khoa Điện tử, Trường Đại học Kinh tế - Kỹ thuật Công nghiệp

²Công ty Cổ phần Tự động hóa Tân Phát

Đến tòa soạn ngày 20/09/2020, chấp nhận đăng ngày 28/10/2020

Tóm tắt: Nội dung nghiên cứu của bài báo trình bày về giải pháp thiết kế mạch thu thập tín hiệu điện tim (ECG) sử dụng giải pháp cách ly thời gian thực, cách ly các đầu vào và đầu ra của hệ thống điều khiển phân tán (DCS) gần với bộ điều khiển làm gián đoạn đường dẫn dòng 1 chiều, thay thế nó với một trở kháng lớn để cách ly với các luồng điện áp cao nhằm tăng độ an toàn cho người bệnh, đồng thời sử dụng giải thuật triệt nhiễu thích nghi để loại bỏ các nhiễu phát sinh đột biến, đặc biệt là nhiễu cơ, nhằm tăng độ chính xác cho nhận dạng tín hiệu điện tim.

Từ khóa: ECG, tín hiệu điện tim, lọc thích nghi, mạch cách ly thời gian thực.

Abstract: The content of our research presents the design solution for electrocardiographic signal acquisition (ECG) circuit design solutions using real-time isolation solutions, isolating the distributed control systems (DCS) inputs and outputs close to the controller interrupts the dc path, replacing it with the large impedance of the isolation amp's high-voltage barrier, Simultaneously using adaptive filtering algorithm to remove sudden artifacts, especially muscle artifacts, to improve the accuracy for ECG signal acquisition.

Keywords: ECG, ECG signal, adaptive filter, real time isolation circuit.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

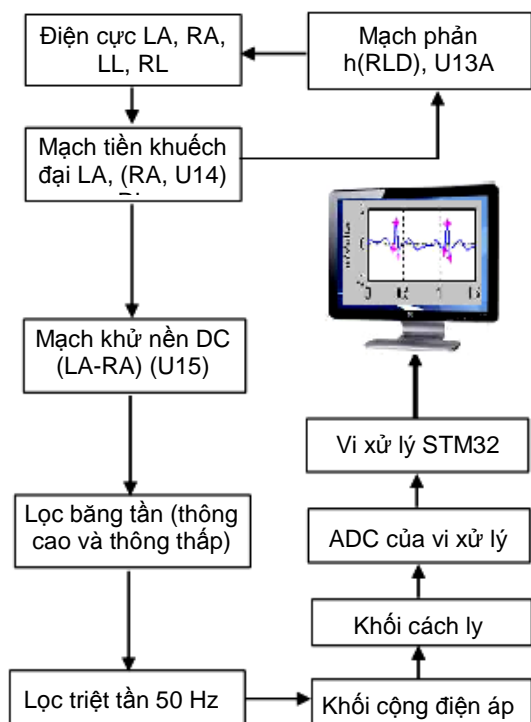
ECG là tín hiệu điện biến thiên, phát ra khi tim co bóp. Khi cơ thể có hiện tượng bệnh lý, nhiều bệnh lý cho thấy, chúng làm thay đổi giá trị ECG về hình dạng, biên độ và tần số. Việc thu nhận tín hiệu ECG chính xác này có ý nghĩa rất lớn đối với quá trình chăm sóc sức khỏe và chuẩn đoán lâm sàng với người bệnh. Các nghiên cứu để thiết kế, chế tạo thiết bị thu nhận ECG với độ chính xác cao ngày càng trở thành một lĩnh vực tiềm năng về ứng dụng, đồng thời tạo tiền đề cho các nghiên cứu thiết bị tự động chuẩn đoán lâm sàng. ECG luôn bị

tác động bởi nhiều thành phần nhiễu, như các thành phần điện cơ, điện não, các thành phần nhiễu trắng... điều gây nên sự biến đổi bất thường của tín hiệu thu ECG từ tần số đến biên độ [3]; giải thuật triệt nhiễu lọc thích nghi trong mạch thiết kế của bài báo sẽ giải quyết thỏa đáng sự biến đổi bất thường này. Trong quá trình thiết kế mạch, giải pháp nguồn cách ly được đưa vào tính toán thiết kế để cách ly người bệnh khỏi các dòng điện nguy hiểm có thể phát ra trong quá trình thu tín hiệu ECG, đồng thời có chức năng bảo vệ để tránh cho mạch bị hỏng hóc bởi điện áp

cao xuất hiện trong quá trình khử nhiễu tín hiệu thu.

2. XÂY DỰNG MẠCH ĐO TÍN HIỆU

Để thu nhận ECG người ta sử dụng các điện cực gắn trên bề mặt da của bệnh nhân, tín hiệu này trước hết sẽ được xử lý bởi mạch tiền khuếch đại (hệ số khuếch đại khoảng 40-60 dB), mạch lọc tín hiệu. Khối tiền khuếch đại chỉ làm được một phần vì đa phần tín hiệu đo của mình ở dải rất thấp. Mạch tiền khuếch đại tăng điện áp lên chỉ giúp mình dễ phân loại giữa nhiễu và tín hiệu thực. Tại đây, các thuật toán lọc số thực hiện các nhiệm vụ khử nhiễu và phân tích tín hiệu để đưa ra các thông tin có ích cho người dùng. Mạch thu nhận tín hiệu ECG được xây dựng dựa trên sơ đồ nguyên lý như hình 1.



Hình 1. Sơ đồ nguyên lý và luồng làm việc mạch thu nhận tín hiệu ECG

Tín hiệu từ các điện cực được đưa qua mạch khuếch đại rồi loại bỏ dòng 1 chiều. Do tín hiệu ECG bình thường có dải tần số từ 0,5 đến 100 Hz. Đây là dải tần số dùng cho ứng dụng

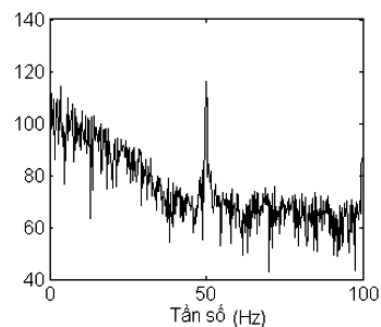
chẩn đoán các bệnh về tim mạch; tuy nhiên đôi với một số bệnh nhân, nhịp tim có thể tăng cao hơn rất nhiều. Như vậy, trong mạch thiết kế, nhóm nghiên cứu đã sử dụng một bộ lọc thông thấp ($f_c = 0,294$ Hz) và bộ lọc thông cao ($f_c = 157,9$ Hz) để triệt nhiễu tần số cao do các rung động của cơ bắp, nhiễu tần số thấp gây trôi tín hiệu do nhịp thở... Phân tích phổ tín hiệu ECG thấy rằng tín hiệu ECG chịu ảnh hưởng lớn bởi nhiễu 50 Hz hay còn gọi là nhiễu đường dây như hình 2, khối lọc triệt tần 50 Hz nhằm loại bỏ tín hiệu điện lưới ảnh hưởng trong quá trình đo bảo đảm an toàn cho người bệnh.

Trong đó:

LL: chân trái, RA: tay phải;

LA: tay trái, RL: chân phải;

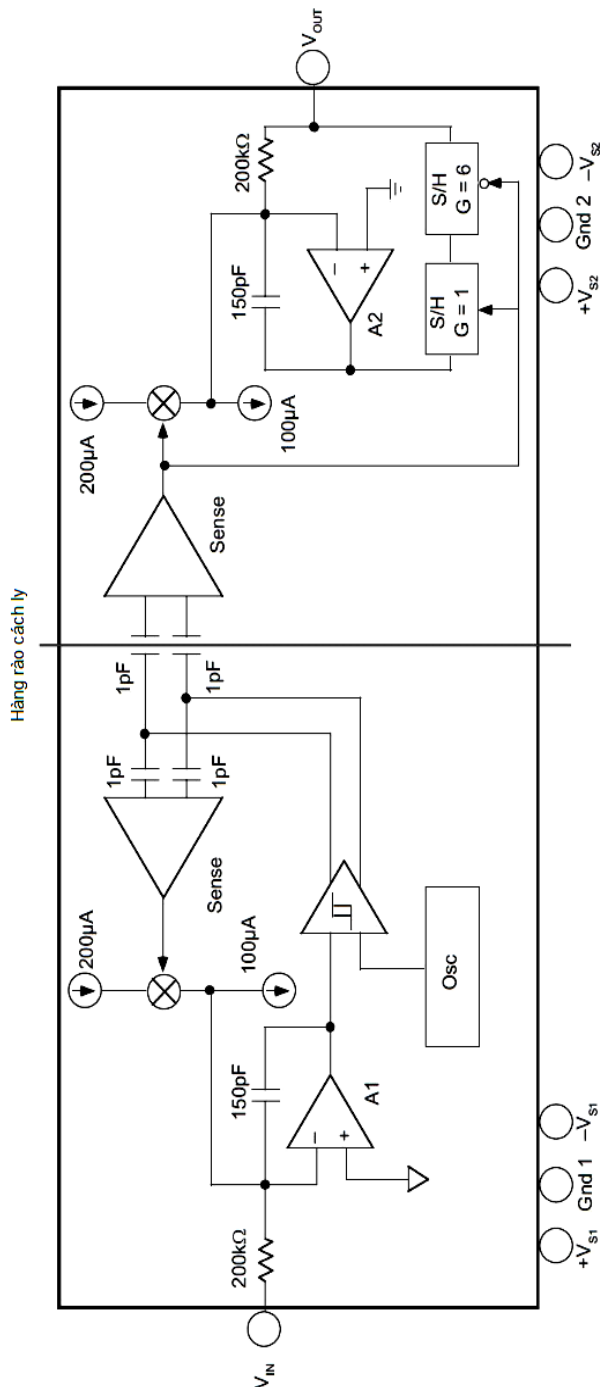
U13, U14, U15 là các IC sử dụng.



Hình 2. Đồ thị biên tần một tín hiệu ECG

Mạch phản hồi chân phải (RLD) là một thành phần rất quan trọng trong mạch thu thập tín hiệu ECG; mạch này tạo ra gốc điện thế cho các điện cực khác trong quá trình thu thập tín hiệu ECG; giúp cho tín hiệu điện áp vi sai của các cặp điện cực trong quá trình đo điện tim không bị trôi khỏi vùng làm việc của mạch khuếch đại và lọc. Trong trường hợp không có mạch phản hồi chân phải thì tín hiệu ECG sẽ bị ảnh hưởng bởi các nhiễu đồng pha do sự chênh lệch giữa điện áp của người với điện áp đất. Khối cộng điện áp được sử dụng để dịch chuyển tịnh tiến tín hiệu đo về khoảng đo

mong muốn, phù hợp với đầu đọc. Một khối cách ly được sử dụng để cách ly tín hiệu điện giữa mạch đo và vi xử lý nhằm bảo đảm an toàn cho người bệnh. Tác dụng của bộ cách ly để cải thiện hiệu suất và độ tin cậy của hệ thống là: bộ điều khiển nhiệt độ quá trình và bộ khuếch đại ECG.



Hình 3. Sơ đồ hoạt động mạch cách ly

Trong trường hợp điều khiển quá trình, bộ khuếch đại cách ly thực hiện cách ly điện cả kênh vào và cả dòng điện lặp quần tại đầu ra từ phần cứng điều khiển. Như vậy, vừa tránh được những lỗi vô ý từ các thiết bị điện ảnh hưởng đến mạch điều khiển, đồng thời cách ly với đất để không làm hỏng quá trình hoạt động. Sơ đồ mạch cách ly được thực hiện như hình 3.

Bộ khuếch đại cách ly không chỉ ngăn ngừa các yếu tố làm hư hại hệ thống, mà chế độ loại bỏ các thành phần cách ly (IMR) còn có thể làm giảm ảnh hưởng trên đầu ra rất lớn. Biến thiên điện áp cao theo thời gian từ dòng điện cảm ứng (*High dv/dt from inductive current*) và từ nhiễu điện từ bức xạ (EMI) gây nên bởi các xung điện rơi le là rất khó xử lý.

Tín hiệu sau khi thu được sẽ được chuyển đổi sang tín hiệu số với tần số lấy mẫu 1 kHz sử dụng vi xử lý STM32, điều khiển truyền thông, hiển thị và kết nối với máy tính. Dữ liệu ECG trong máy tính sẽ được xử lý qua một bộ lọc số thích nghi nhằm loại bỏ các thành phần nhiễu bất thường, đặc biệt các thành phần tác động bởi nhiễu cơ (EMG).

3. GIẢI THUẬT TRIỆT NHIỄU THÍCH NGHI

Nhằm tăng chất lượng tín hiệu ECG thu nhận, loại bỏ các thành phần nhiễu bất thường đặc biệt là nhiễu cơ [3]; một giải thuật thích nghi được thực hiện tăng cường với các dữ liệu ECG đã thu nhận trong máy tính. Mô hình thực hiện giải thuật được mô tả như trên sơ đồ hình 4.

Trong đó:

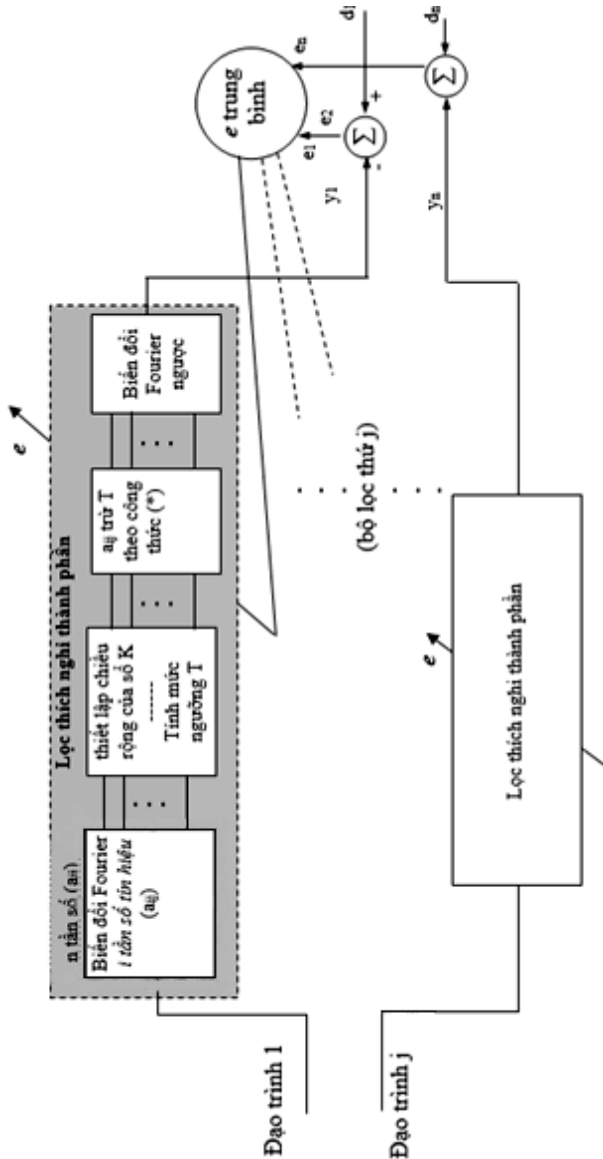
d là tín hiệu tham chiếu hay còn gọi là tín hiệu sạch;

e là tín hiệu phản hồi ($e = y - d$); [4] [5];

k : cửa sổ phân tích tín hiệu.

Mức ngưỡng T được thiết lập theo công thức [3]:

$$T = \sigma \sqrt{2 \log(k)} \quad (1)$$



Hình 4. Mô hình giải thuật triệt nhiễu thích nghi

Việc đánh giá nhiễu trong tín hiệu thu thực hiện qua tín hiệu phản hồi e để điều chỉnh các mức ngưỡng T .

Năng lượng trung bình σ của các băng con [3]:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\text{median}(|a_{ij}|)}{c}} \quad (2)$$

c là hệ số hằng (c được thiết lập bằng 0.685) và k là chiều dài dữ liệu phân tích, median là giá trị trung bình.

Mức ngưỡng T sẽ giới hạn các giá trị biên độ của các hệ số (a_{ij}) theo công thức:

$$\hat{a}_{jk} = \begin{cases} \text{sign}(a_{jk})(|a_{jk}| - T) & \text{if } |a_{jk}| > T \\ 0 & \text{if } |a_{jk}| < T \end{cases} \quad (3)$$

Công thức $T = \sigma \sqrt{2 \log(k)}$ và $T \sim \sigma$ được mô tả như trên; với $\sigma^2 = \frac{\text{mean}(|a_{jk}|)}{c}$

$$\rightarrow \sigma_{t+1} = \sqrt{\frac{\text{mean}(|a_{jk}|_{t+1} + e_t)}{c}} \quad (4)$$

$$T_{t+1} = \sigma_{t+1} \sqrt{2 \log k} \quad (5)$$

Với e_t là giá trị trung bình của lỗi ước định tại thời gian t , $\text{mean}(|a_{jk}|_{t+1})$, và T_{t+1} là giá trị tuyệt đối của các băng tần và giá trị ngưỡng tại thời điểm $(t+1)$ [1].

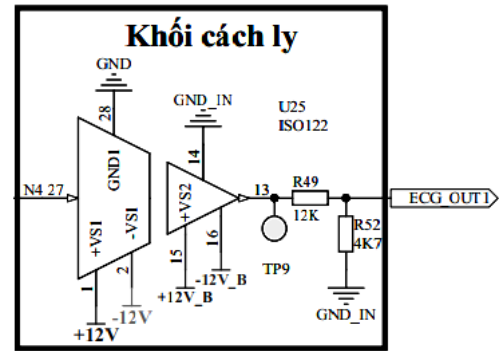
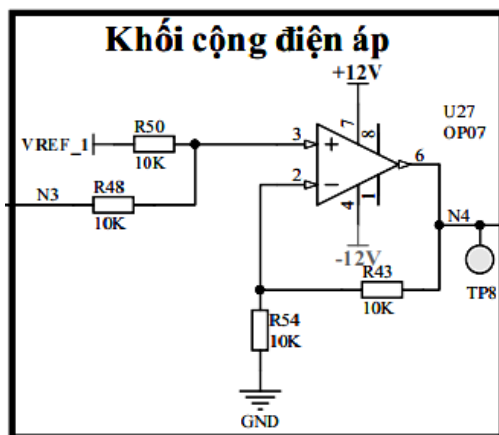
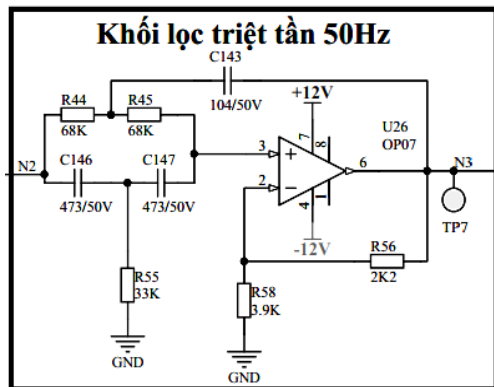
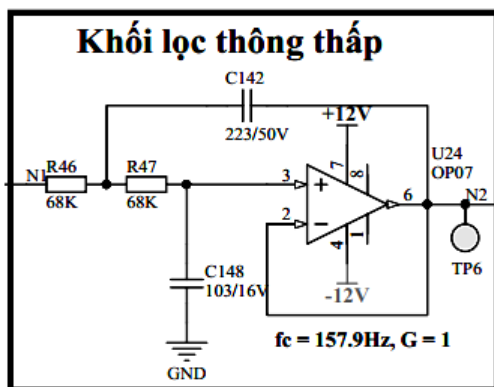
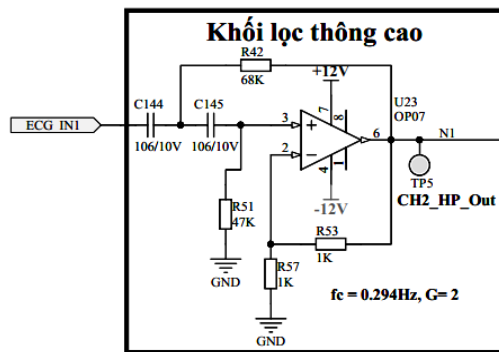
Như vậy với mỗi băng con khác nhau, các giá trị σ sẽ khác nhau và từ đó, chúng ta sẽ có các mức ngưỡng khác nhau trên mỗi hệ số a_{ij} .

Với một số đạo trình mà không bị nhiễu bởi các thành phần nhiễu, sẽ không có hồi đáp của lỗi ước định để hiệu chỉnh giá trị ngưỡng. Như vậy, một bước đánh giá các thành phần nhiễu trong mỗi băng con được thực hiện trong hệ thống trước khi thủ tục triệt và loại bỏ nhiễu phát sinh. Giá trị ngưỡng được hiệu chỉnh chỉ trên các băng con trong trường hợp có nhiễu cơ xuất hiện.

4. KẾT QUẢ TRIỂN KHAI HỆ THỐNG

Công tác thực nghiệm được thực hiện qua mạch thu nhận ECG thời gian thực hai đạo trình. Hiển thị đồng thời dạng sóng ECG của cả hai đạo trình theo thời gian thực. Thuật toán phát hiện đỉnh R được kích hoạt, các đỉnh R phát hiện được sẽ được đánh dấu ngay

trên sóng hiển thị. Mạch xây dựng mô tả như hình 5.



Hình 5. Modul mạch thu nhận ECG thời gian thực hai đạo trình

Trong thực nghiệm của nhóm tác giả, mạch thu thập tín hiệu điện tim cách ly thời gian thực đã sử dụng vi xử lý STM32F429ZGT6, điều khiển truyền thông IoT qua QUECTEL EC21, hiển thị và kết nối với máy tính thông qua cổng USB. Mạch thiết kế chế tạo được bố trí như trên hình 6.



Hình 6. Mạch thu thập tín hiệu điện tim cách ly thời gian thực

Các giá trị lựa chọn, độ rộng cửa sổ k được thiết lập bằng một epoch tín hiệu ECG với 300 mẫu, hệ thống lọc thích nghi sử dụng 10 bộ lọc băng con để thí điểm trong giảm nhiễu cơ bất thường. Sử dụng điện cực đo chuyển đạo tay trái - tay phải và chân trái - tay phải, tín hiệu nhận được từ các khâu thu thập tín hiệu ECG có chất lượng tương tự như các thiết bị đo thông dụng...

Kết quả thu được sau thử nghiệm được đánh giá chất lượng qua độ tương quan giữa tín hiệu ECG sạch với tín hiệu gốc thu nhận qua mạch và tín hiệu thực nghiệm qua hệ thống lọc [2], kết quả thực hiện trên 10 epoch tín hiệu ECG.

Bảng 1. Kết quả thực hiện trên 10 epoch tín hiệu ECG

Số TT	Tín hiệu gốc chưa qua lọc	ECG qua hệ thống lọc và giải thuật thích nghi
	Giá trị R	Giá trị R
1	0.9745	0.9865
2	0.9821	0.9936
3	0.9842	0.9962
4	0.9878	0.9949
5	0.9806	0.9897
6	0.9813	0.9896
7	0.9647	0.9932
8	0.9622	0.9894
9	0.9120	0.9894
10	0.9536	0.9938

Quá trình đo đạc và kiểm tra mạch sản phẩm như hình 7.



Hình 7. Tín hiệu ECG hiển thị trên máy đo sau quá trình lọc

5. KẾT LUẬN VÀ KHUYẾN NGHỊ

Thu nhận tín hiệu ECG chất lượng cao là một quá trình phức tạp, với mong muốn làm chủ công nghệ xây dựng các thiết bị đo đạc chất lượng cao, giá thành rẻ nhất, an toàn và hiệu quả. Mạch đo tín hiệu ECG của nhóm tác giả bài báo thực hiện đã bảo đảm đầy đủ các tiêu chí đã nêu trên; đồng thời thiết bị xây dựng tích hợp thêm công nghệ IoT để có thể truyền dữ liệu lên Icloud. Hướng phát triển tới của nhóm tác giả bài báo sẽ là tích hợp hệ đo điện tim cùng với nhiều các thông số khác của bệnh nhân, đồng thời tiếp tục nghiên cứu các giải pháp mạch phần cứng cùng các dòng vi xử lý mới để có thể thiết kế được hệ đo nhanh, chính xác và an toàn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Hoàng Mạnh Hà, tên luận án: Các phương pháp thích nghi trong lọc nhiễu tín hiệu điện tim, Viện Công nghệ thông tin, Viện Khoa học và Công nghệ Việt Nam, 2011.
- [2] Bùi Huy Hải, Nghiên cứu hiệu quả của phương pháp kết hợp giữa ICA và WT trong triệt nhiễu tín hiệu y sinh, Tạp chí Khoa học và công nghệ - Uneti, Vol. 8, No.7, pp. 38-44, (2015).
- [3] Junfeng Gao¹, Chongxun Zheng¹, Pei Wang¹, Online Removal of Muscle Artifact from Electroencephalogram Signals Based on Canonical Correlation Analysis, Clinical EEG and Neuroscience, Vol. 41, No 1, pp. 53-59 (2010).
- [4] C.C. Chiu, B.H. Hai, S.J. Yeh, and K.Y.K. Liao, Recovering EEG Signals: Muscle Artifact Suppression Using Wavelet-Enhanced, Independent Component Analysis Integrated with Adaptive Filter, Biomedical Engineering: Applications, Basis and Communications, Vol. 26, No.5, (2014).
- [5] Simom H, Adaptive Filter Theory, Pearson Education Taiwan, pp.23-25, (2008).

Thông tin liên hệ: **Bùi Huy Hải**

Điện thoại: 0946514357 - Email: bhhai@uneti.edu.vn

Khoa Điện tử, Trường Đại học Kinh tế - Kỹ thuật Công nghiệp.

