

# NGHIÊN CỨU THIẾT KẾ GIẢI THUẬT LỌC THÍCH NGHI CHO HỆ THỐNG CHỐNG ỒN CHỦ ĐỘNG ANC

RESEARCH AND DESIGN OF ADAPTIVE FILTER FOR ACTIVE NOISE CONTROL SYSTEMS (ANC)

Quách Đức Cường\*,  
Kiều Xuân Thục, Bùi Văn Huy

## TÓM TẮT

Hệ thống chống ồn chủ động (ANC - Active Noise Control) là một trong những phương pháp mới nhằm tăng cường khả năng chống ồn, tạo không gian tĩnh lặng, nâng cao tiện nghi cuộc sống. Nguyên lý của ANC là sinh ra một sóng âm chủ động làm giảm thiểu năng lượng sóng âm ở dải tần số từ vài chục đến vài trăm Hz trong không gian. Trong bài báo này, chúng tôi sẽ trình bày một cấu hình bộ lọc thích nghi áp dụng cho hệ thống ANC. Giải thuật lọc thích nghi trong ANC được mô phỏng trên Matlab&Simulink đã chứng minh được hiệu quả của cấu hình đề xuất.

**Từ khóa:** ANC, FxLMS, bộ lọc thích nghi.

## ABSTRACT

The Active Noise Control (ANC - Active Noise Control) is new solutions to increase audio noise protection, create quiet spaces, improve the quality of life. The principle of ANC is to produce an active sound wave which can reduce sound energy between the frequency range from a few tens Hertz to several hundred Hertz. In this paper, we will present an adaptive filter configuration that is applied to ANC systems. The adaptive filtering algorithm of the ANC system on Matlab & Simulink has proven the effectiveness of the proposed configuration.

**Keywords:** ANC, FxLMS, Adaptive filter.

Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

\*Email: quachcuong304@gmail.com

Ngày nhận bài: 15/02/2020

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 05/6/2020

Ngày chấp nhận đăng: 18/8/2020

## KÝ HIỆU

Ký hiệu	Đơn vị	Ý nghĩa
I	W/m <sup>2</sup>	Cường độ âm thanh tại không gian, thời gian I(x,y,z,t)
L <sub>i</sub>	dB	Cường độ âm thanh
p	Pa	Áp suất không khí cục bộ

## CHỮ VIẾT TẮT

ANC	Hệ thống chống ồn chủ động
PNC	Hệ thống chống ồn bị động
FxLMS	Giải thuật theo bình phương sai số cực tiểu có bộ lọc

## 1. GIỚI THIỆU

Sóng âm là những sóng cơ truyền trong môi trường vật chất (rắn, lỏng, khí). Đối với con người, chúng ta chỉ cảm nhận được, nghe được dải sóng âm có tần số từ 20Hz đến 20000Hz. Tuy vậy, thực tế dải sóng âm mà con người tiếp nhận trong giao tiếp thường chỉ dao động trong phạm vi 400Hz đến vài kHz. Các dải âm có tần số trên 5kHz gây ra cảm giác chói tai. Ngược lại, sóng âm dưới 400Hz chính là những tiếng ù (ồn) gây cảm giác khó chịu. Ví dụ tiếng ồn phát ra từ các máy móc thiết bị: quạt điện, máy biến áp, hệ thống điều hòa không khí, máy nén, âm thanh từ các phương tiện giao thông... Công nghệ truyền thống để giảm tiếng ồn là sử dụng vật liệu cách âm, thiết kế cấu trúc thiết bị có khả năng chống rung tốt để hạn chế tiếng ồn do thiết bị phát ra. Giải pháp trên được gọi là kỹ thuật chống ồn bị động PNC (Passive Noise Canceling). Kỹ thuật PNC có hiệu quả đối với tình huống ngăn chặn tiếng ồn từ bên ngoài vọng vào môi trường cần chống ồn với điều kiện môi trường chống ồn có không gian hạn chế. Đối với tình huống nguồn phát âm ồn tồn tại ngay trong không gian chống ồn (điều hòa, quạt, thiết bị điện trong phòng...), giải pháp PNC không thể thực hiện được. Trong trường hợp này giải pháp chống ồn chủ động ANC kỳ vọng sẽ đáp ứng được yêu cầu chống ồn (hạn chế được năng lượng sóng âm trong dải tần số từ 20 đến 400Hz). Nguyên lý căn bản của hệ ANC là sử dụng hệ thống âm ly - loa chủ động tạo ra trong môi trường một dải sóng âm có đặc điểm: 1) trùng tần số, cường độ và biên độ (năng lượng) với sóng âm gây ồn; 2) ngược pha với sóng âm ồn. Theo nguyên lý chống chất tín hiệu sóng, tổng hợp của hai sóng âm trên (sóng do nguồn sinh ồn và sóng do hệ thống âm ly - loa chủ động tạo ra) sẽ là một sóng âm có biên độ, công suất nhỏ tạo ra môi trường tĩnh lặng đối với khả năng cảm nhận âm thanh của tai người. Hiện tại kỹ thuật ANC thường sử dụng các cấu trúc và thuật toán như: LMS (Least Mean Square); FxLMS (Filtered-x Least Mean Square); Feedback LMS, Feedforward LMS... [1-3] và những biến thể của chúng. Trong bài báo này, chúng tôi giới thiệu thiết kế và mô phỏng hệ thống ANC theo thuật toán Feedforward FxLMS để hạn chế năng lượng dao động sóng âm trong dải tần từ 20 đến 400Hz. Hiệu quả của hệ thống ANC được mô phỏng trên phần mềm

Matlab&Simulink. Bài báo được trình bày theo: 2) Cấu trúc hệ thống; 3) Giải thuật lọc thích nghi FxLMS; 4) Mô phỏng hệ thống; 5) Kết luận và hướng phát triển.

**2. CẤU TRÚC HỆ THỐNG**

**2.1. Âm thanh và tín hiệu âm thanh**

Âm thanh ồn là sóng âm dao động có tần số trong phạm vi từ 20 đến 400Hz. Cường độ âm thanh tại không gian, thời gian  $I(x,y,z,t)$  có đơn vị  $W/m^2$  xác định theo (1), [4]:

$$I(x,y,z,t) = \frac{p^2(x,y,z,t)}{\rho_0 c} \tag{1}$$

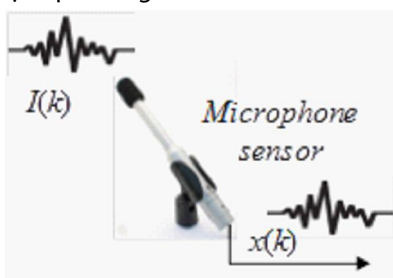
Trong đó:  $p$  (Pa) là áp suất không khí cục bộ hiệu quả do sóng âm gây ra;  $\rho_0$  ( $kg/m^3$ ) là mật độ không khí;  $c$  (m/s) là vận tốc âm thanh trong không khí. Xét một nguồn âm có công suất  $SW$  (W) thì cường độ âm thanh tại khoảng cách  $r$  (m) trong điều kiện lý tưởng được xác định bởi (2) [4-6]:

$$I = \frac{SW}{4\pi r^2} \tag{2}$$

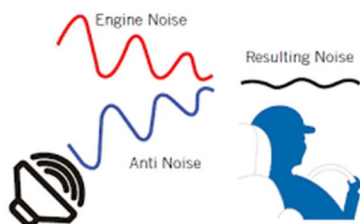
Thông thường cường độ âm thanh được tính theo đơn vị dB:

$$L_i = 10 \lg \frac{I}{I_0} \tag{3}$$

Giá trị  $I_0 = 10^{-12}$  ( $W/m^2$ ) biểu thị giá trị tiêu chuẩn tại áp suất không khí  $2 \cdot 10^{-5}$  (Pa). Mục tiêu của hệ ANC là chủ động giảm thiểu cường độ âm thanh của các sóng âm có tần số [20, 400] Hz. Để thực hiện điều này cần phải đo lường được cường độ âm thanh trong không gian. Thiết bị cảm biến cường độ âm thanh được sử dụng chính là thiết bị microphone với tín hiệu vào là cường độ âm thanh, tín hiệu ra là dạng điện áp analog.



Hình 1. Cảm biến âm thanh microphone



Hình 2. Tổng hợp nguồn âm

Nếu thiết bị microphone có chất lượng cao (độ trễ thấp, khuếch đại pha - biên độ một cách trung thực), có thể xem tín hiệu tín hiệu đầu ra của cảm biến tương quan và đại

diện cho tín hiệu cường độ âm thanh  $x(t) \triangleq I(t)$ . Trong hệ thống xử lý số, chúng ta sẽ sử dụng hình thái rời rạc để mô tả các tín hiệu của hệ thống. Khi đó  $x(k) \triangleq I(k)$ . Giả sử có  $N$  nguồn âm phát tán âm thanh thì cường độ âm thanh tại một điểm trong không gian lân cận sẽ được xác định bởi tổng đại số cường độ âm thanh do từng nguồn phát tán tới điểm không gian đó [4, 5].

$$I(k) = \sum_{i=1}^N I_i(k) \tag{4}$$

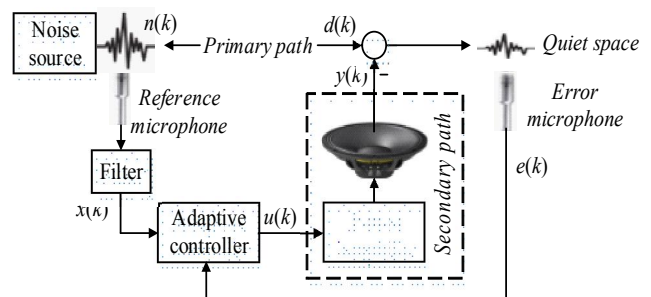
Bảng 1 trình bày giá trị cường độ âm thanh trong đơn vị dB tác động đến khả năng cảm nhận âm thanh của tai người.

Bảng 1. Cường độ tương ứng với âm thanh thực tế [4, 5]

TT	Cường độ - Đơn vị Deciben (dB)	Âm thanh tương ứng
1	0dB	Hoàn toàn không nghe thấy âm thanh
2	10dB	Hơi thở của con người, đêm yên tĩnh ở nông thôn
3	20dB	Tiếng lá rơi
4	30dB	Tiếng lá xào xạc, lời thì thầm
5	40dB	Không gian yên tĩnh trong xe hơi
6	50dB	Âm thanh trong rạp phim cách âm
7	60dB	Văn phòng làm việc, sảnh yên tĩnh
8	70dB	Văn phòng ồn ào, siêu thị, đường phố
9	80dB	Hội trường ồn ào, nhà in, công cộng
10	90dB	Nhà máy sản xuất
11	110dB	Tiếng nhạc Rock lớn
12	130dB	Máy bay cất cánh, còi xe cứu hỏa...

**2.2. Cấu trúc hệ thống**

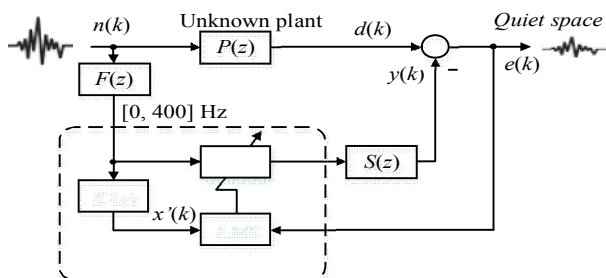
Cấu trúc phản cứng của hệ thống ANC mô tả trên hình 3. Sóng âm tại vùng không gian tĩnh lặng là tổng hợp của luồng sóng âm sơ cấp  $d(k)$  và luồng sóng âm thứ cấp  $y(k)$ . Luồng sơ cấp  $d(k)$  là sóng âm do nguồn tạp âm sinh ra, phụ thuộc  $n(k)$  và khoảng không gian, môi trường truyền... Quan hệ giữa  $d(k)$  và  $n(k)$  là một hàm  $P(z)$  có xu hướng giảm theo khoảng cách không gian và được mô là một khâu có mô hình không biết trước. Luồng thứ cấp  $y(k)$  là sóng âm do hệ thống ANC chủ động sinh ra.



Hình 3. Cấu trúc tổng quan hệ thống ANC

Sơ khối hệ thống mô tả trên hình 4.  $W(z)$  là khâu lọc thích nghi, trọng số của bộ lọc được cập nhật thông qua thuật toán LMS.  $S(z)$  đại diện cho khâu hàm truyền của các khối: DAC, âm ly, loa, đường truyền âm thanh từ loa đến

microphone cảm biến sai số. Cùng với hàm truyền  $P(z)$ ,  $S(z)$  cũng được xem là khâu có mô hình không biết trước. Khối  $S'(z)$  là hàm truyền đặt của khâu lọc filter-X. Đây chính là hàm truyền ước lượng của khâu  $S(z)$ . Bộ lọc  $F(z)$  có chức năng tách lọc sóng âm có tần số trong phạm vi  $[0, 400]$  Hz để đưa vào khâu xử lý FxLMS với mục tiêu chỉ xử lý - hạn chế sóng âm có dải tần thấp.



Hình 4. Cấu trúc tổng quan hệ thống ANC

### 3. GIẢI THUẬT LỌC THÍCH NGHI

#### 3.1. Giải thuật FxLMS

Từ hình 5 có thể rút ra biến đổi rời rạc của tín hiệu sai số:

$$E(z) = [P(z) - S(z)W(z)]X(z) \tag{5}$$

Trong trường hợp lý tưởng để sai số  $e(k)$  tiệm cận zero khi  $x(k) \neq 0$  là hàm truyền bộ lọc có giá trị:

$$W^0(z) = \frac{P(z)}{S(z)} \tag{6}$$

Có nghĩa rằng phải xác định chính xác và đồng thời  $P(z)$  và  $S(z)$ . Điểm chính của giải pháp này là với một mô hình đối tượng thích hợp hệ thống phải đáp ứng được sự thay đổi của cả tín hiệu nhiễu vào. Tuy nhiên, đặc tính của hệ ANC phụ thuộc chính vào hàm truyền của luồng âm thanh thứ cấp  $y(k)$  với việc cân bằng đáp ứng tần số khâu sơ cấp. Trong trường hợp này lượng giảm tín hiệu ồn sẽ được tăng lên. Ngoài ra có thể sử dụng một bộ lọc thích nghi bậc cao FIR để xấp xỉ hàm  $1/S(z)$  một cách hợp lý. Nó có thể bù lại lượng trễ vốn có của luồng sơ cấp. Giải thuật bình phương tối thiểu FxLMS có thể được dùng cho cấu trúc hình 5. Khi đó tín hiệu sai số tính theo (7), [2, 3].

$$e(k) = d(k) - s(k) \cdot [w^T(k)x(k)] \tag{7}$$

Trong đó:  $s(k) = [s(k) \ s(k-1) \ \dots \ s(k-L+1)]^T$ ,  $w(k) = [w_0(k) \ w_1(k) \ \dots \ w_{L-1}(k)]^T$  lần lượt là đáp ứng xung đơn vị của luồng âm thanh thứ cấp  $S(z)$  và trọng số bộ lọc  $W(z)$ . Chỉ số  $L$  là bậc của bộ lọc thích nghi  $W(z)$ . Giá trị  $L$  phải đủ lớn để hệ có độ chính xác cao [1-3].

Hàm năng lượng của sóng âm được đại diện bởi giá trị bình phương biên độ sóng ( $\xi(k) = E[e^2(k)]$ ). Để đơn giản chúng ta sử dụng hàm năng lượng này có dạng (8).

$$\xi(k) = e^2(k) \tag{8}$$

Hệ số của bộ lọc  $W(z)$  được xác định theo (9), [3, 4, 8].

$$w(k+1) = w(k) - \frac{\mu}{2} \nabla \xi(k) \tag{9}$$

Trong đó,  $\nabla \xi(k)$  là gradient của  $\xi(k)$  và  $\mu$  là một hằng số dương đủ nhỏ thể hiện bước hiệu chỉnh tham số. Từ phương trình (7) và (8) có:

$$\begin{cases} \nabla e(k) = -s(k)x(k) = -x'(k) \\ \nabla \xi(k) = \nabla e^2(k) = 2[\nabla e(k)]e(k) = -2x'(k)e(k) \end{cases} \tag{10}$$

Theo [4] thì giá trị tới hạn của  $\mu$  để hệ thống ổn định là:

$$\mu_{\max} = \frac{2}{P_x(L+M)} \tag{11}$$

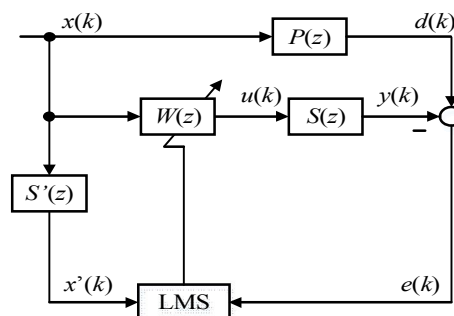
Trong đó:  $P_x = E[e^2(k)]$  là công suất tín hiệu tham chiếu  $x'(k)$ ;  $L$  là bậc của bộ lọc  $W(z)$ ;  $M$  là số lượng mẫu tương ứng với độ trễ tổng thể trong luồng âm thanh thứ cấp. Thuật toán FxLMS để xác định tham số bộ lọc thích nghi  $W(z)$  xác định như trong (12).

$$w_i(k+1) = w_i(k) + \mu e(k)x'(k-i) \tag{12}$$

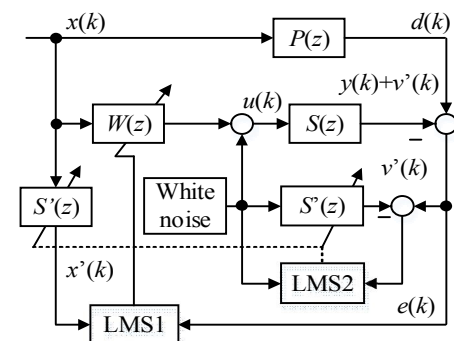
Trong thực tiễn  $S(z)$  là hàm truyền chưa biết trước do đó cần phải ước lượng.

#### 3.2. Xác định hàm truyền bộ lọc $S'(z)$

Việc xác định hàm truyền ước lượng  $S'(z)$  có thể thực hiện theo hai hướng online và offline như trên hình 5 và 6. Kỹ thuật nhận dạng offline thường được thực hiện theo cách tác động tín hiệu bước đơn vị vào đầu vào của khối amply, đo tín hiệu tại cảm biến microphone, sau đó sử dụng các phương pháp nhận dạng để xác định hàm truyền  $S'(z)$ . Đối với trường hợp nhận dạng online, chúng ta thực hiện theo sơ đồ hình 6. Giải pháp ước lượng online có ưu thế về độ linh hoạt trong quá trình áp dụng. Tuy nhiên cần lưu ý đến tần số lấy mẫu và xử lý phải đủ lớn để đáp ứng được tính thời gian thực của hệ ANC.



Hình 5. Hệ ANC nhận dạng offline  $S'(z)$



Hình 6. Hệ ANC nhận dạng online  $S'(z)$

### 4. MÔ PHỎNG HỆ THỐNG

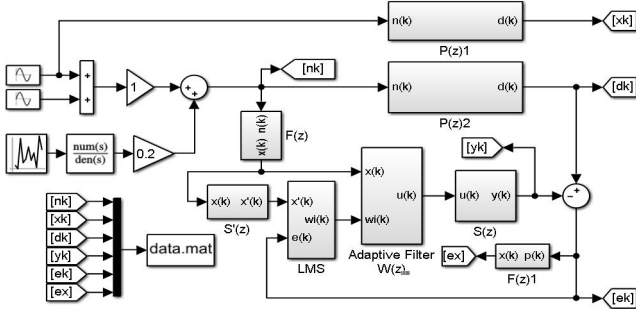
#### 4.1. Mô tả thiết lập hệ thống

Để thực hiện mô phỏng hệ thống, giả thiết: 1) hàm truyền đạt  $S'(z)$  là biết trước; 2)  $P(z)$  cùng  $S(z)$  thay đổi trong một phạm vi nhất định xung quanh giá trị gốc  $P_0(z)$  và  $S_0(z)$  (bảng 2). Hàm truyền bộ lọc  $F(z)$  là bộ lọc bậc 4 dùng để tách lọc tín hiệu trong dải tần từ 0 đến 400Hz. Tần số lấy mẫu xử lý của hệ ANC được chọn là 20kHz. Khảo sát hệ ANC xét trong điều kiện chỉ có một nguồn tạo sóng âm thanh ồn. Đáp ứng thời gian của tín hiệu nhiễu  $n(k)$  được thay đổi tùy vào trường hợp mô phỏng cụ thể. Bộ lọc thích nghi  $W(z)$  có bậc  $L = 12$ . Hằng số bước của hệ thống  $\mu = 0,01$  và có thể điều chỉnh trong quá trình mô phỏng.

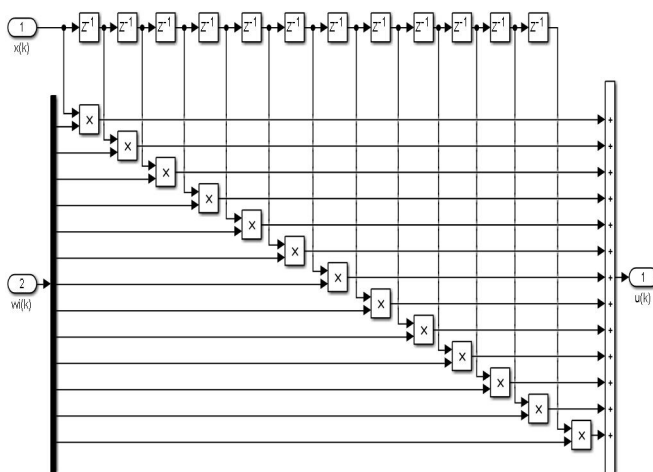
Bảng 2. Tham số gốc của hệ thống mô phỏng [4]

TT	Hàm truyền	Ghi chú
1	$S'(z) = 0,1 + 0,44z^{-1} - 0,095z^{-2} + 0,01z^{-3} + 0,09z^{-4}$	Bậc 4
2	$P_0(z) = 0,003 + 0,075z^{-1} + 0,15z^{-2} + 0,3z^{-3} + 0,15z^{-4} + 0,075z^{-5} + 0,003z^{-6}$	Bậc 6
3	$S_0(z) = S'(z)$	Bậc 4
4	$F(z) = \frac{0,0076z^{-1} + 0,0071z^{-2}}{1 - 1,824z^{-1} + 0,8387z^{-2}} \cdot \frac{0,0076z^{-1} + 0,0071z^{-2}}{1 - 1,824z^{-1} + 0,8387z^{-2}}$	Bậc 4

Mô hình mô phỏng hệ thống thực hiện trên Matlab&Simulink được thể hiện trên hình 7 và 8.



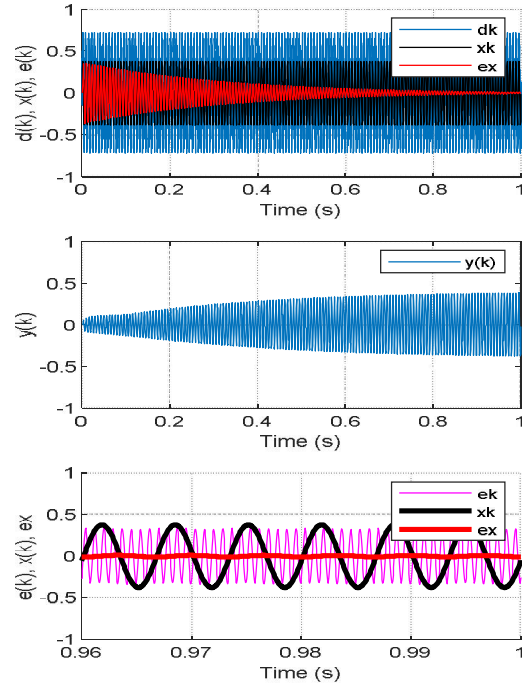
Hình 7. Sơ đồ mô phỏng hệ thống ANC sử dụng thuật toán FxLMS trên Matlab&Simulink



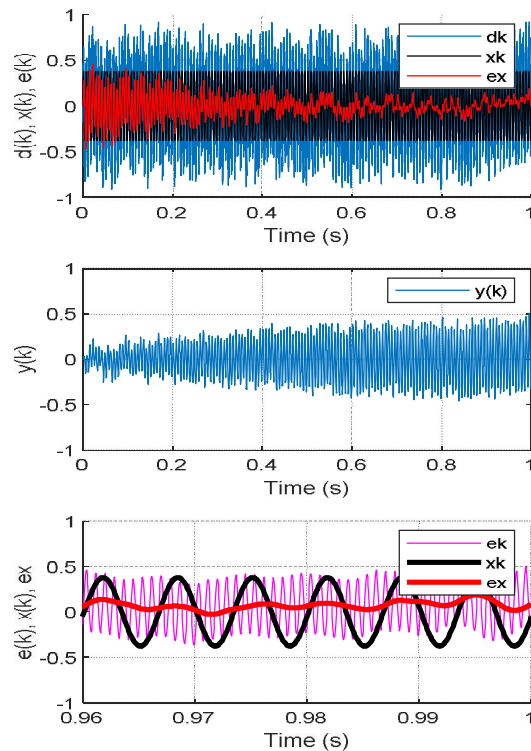
Hình 8. Bộ lọc thích nghi  $W(z)$  bậc 12

#### 4.2. Kết quả mô phỏng

a) Trường hợp 1:  $S(z) = S_0(z) = S'(z)$ ;  $P(z) = P_0(z)$ . Đáp ứng thời gian của hệ thống khi nguồn sóng âm có dạng  $n(t) = 0,5\sin(100 \times 2\pi t + 0) + 0,5\sin(1500 \times 2\pi t + 0,2)$  diễn tả trên hình 9. Trường hợp  $x(t)$  biến động ngẫu nhiên thể hiện trên hình 10. Có thể thấy sai số  $e(k)$  của hệ thống giảm dần và hội tụ với giá trị trung bình khác không. Thời gian hội tụ vào khoảng 1,0s.

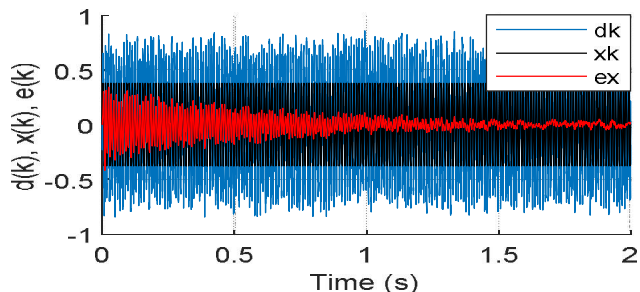


Hình 9. Đáp ứng thời gian, trường hợp 1



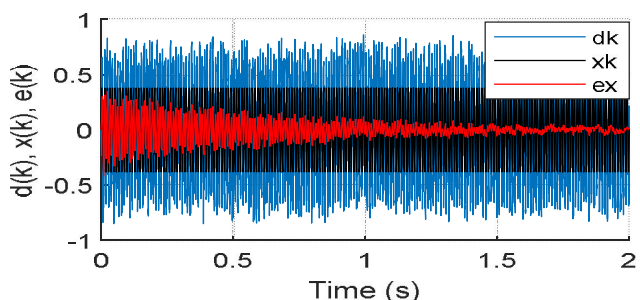
Hình 10. Đáp ứng thời gian, trường hợp 1

**b) Trường hợp 2:** Trong trường hợp này giá trị của  $P(z) = P_0(z)$ . Tín hiệu vào ngẫu nhiên. Thay đổi giá trị  $S(z)$  để kiểm tra khả năng giảm sóng âm ồn của hệ. Hình 11 tương ứng với trường hợp  $S(z) = S_1(z) = 0,1 + 0,44z^{-1} - 0,095z^{-2} + 0,01z^{-3} + 0,09z^{-4}$  và hình 12 tương ứng với trường hợp  $S(z) = S_2(z) = 0,12 + 0,38z^{-1} - 0,09z^{-2} + 0,01z^{-3} + 0,092z^{-4}$ . Kết quả cho thấy khi thay đổi  $S(z)$  trong phạm vi nhất định hay nói cách khác là mô hình của  $S(z)$  không xác định chính xác thì hệ thống ANC vẫn có thể hoạt động tốt.



$$S_1(z) = 0,1 + 0,44z^{-1} - 0,095z^{-2} + 0,01z^{-3} + 0,09z^{-4}$$

Hình 11. Đáp ứng của hệ khi  $S(z) = S_1(z)$

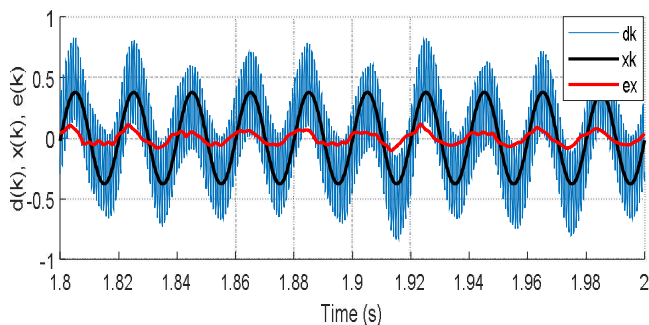


$$S_2(z) = 0,12 + 0,38z^{-1} - 0,09z^{-2} + 0,01z^{-3} + 0,092z^{-4}$$

Hình 12. Đáp ứng của hệ khi  $S(z) = S_2(z)$

**c) Trường hợp 3:** Khảo sát mức suy hao năng lượng sóng âm hạ tần trong phạm vi 20 - 400Hz trong trường hợp:  $P(z) = P_0(z)$ ;  $S(z) = S_2(z) = 0,12 + 0,38z^{-1} - 0,09z^{-2} + 0,01z^{-3} + 0,092z^{-4}$ ; tín hiệu vào  $n(t) = 0,5\sin(f \times 2\pi t + 0) + 0,5\sin(1500 \times 2\pi t + 0,2) +$  tín hiệu ngẫu nhiên có tần số 200Hz biên độ trong phạm vi  $[-0,2; 0,2]$ . Mức độ suy hao tức thời  $anr(k)$  có đơn vị là dB (Decibel) và được tính theo (13).

$$anr(k) = 10\log_{10} \frac{e^2(k)}{x^2(k)}, k = 1, 2, 3, \dots, K \quad (13)$$



Hình 13. Khảo sát mức suy hao năng lượng sóng âm hạ tần khi  $f = 50\text{Hz}$

Giá trị trung bình của lượng suy hao trong khoảng thời gian ổn định (từ  $k_1$  đến  $k_2$ ) ký hiệu là ANR xác định bởi (14).

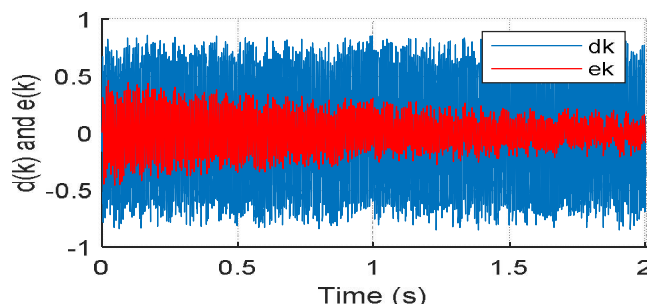
$$ANR = 10\log_{10} \left( \frac{\sum_{k=k_1}^{k_2} e^2(k)}{\sum_{k=k_1}^{k_2} x^2(k)} \right) \quad (14)$$

Mức suy hao năng lượng sóng âm hạ tần được thể hiện trong bảng 3. Từ bảng 3 có thể nhận thấy dải tần số từ 20Hz đến 300Hz mức độ chống tạp âm khá tốt. Khi tần số sóng âm lớn (khoảng 350Hz trở lên) thì khả năng hạn chế sóng của hệ ANC có chiều hướng giảm đi.

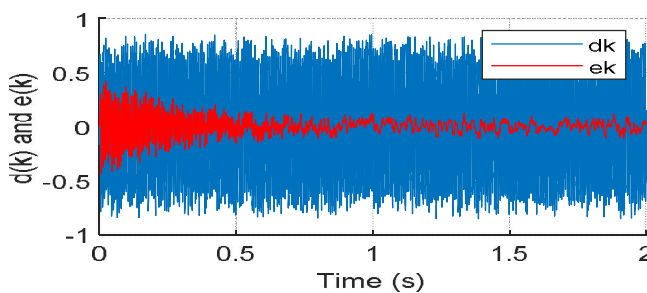
Bảng 3. Khảo sát mức độ suy hao của sóng âm hạ tần

TT	Tần số $f$ (Hz)	$E[x^2(k)]$	$E[e^2(k)]$	ANR (dB)
1	20	0,07135	0,00172	-16,1787
2	50	0,07468	0,00365	-13,1091
3	100	0,07636	0,00098	-18,9164
4	150	0,07394	0,00184	-16,0406
5	200	0,06722	0,00538	-10,9672
6	250	0,05484	0,01100	-6,9770
7	300	0,03916	0,01697	-3,6316
8	350	0,02463	0,02010	-0,8827
9	400	0,01453	0,01772	0,8620

**d) Trường hợp 4:** Khảo sát ảnh hưởng của hệ số cập nhật  $\mu$  lên thời gian hội tụ của hệ ANC trong trường hợp:  $P(z) = P_0(z)$ ;  $S(z) = S_2(z) = 0,12 + 0,38z^{-1} - 0,09z^{-2} + 0,01z^{-3} + 0,092z^{-4}$ ; tín hiệu vào  $n(t) = 0,5\sin(f \times 2\pi t + 0) + 0,5\sin(1500 \times 2\pi t + 0,2) +$  tín hiệu ngẫu nhiên có tần số 200Hz biên độ trong phạm vi  $[-0,2; 0,2]$ . Thời gian hội tụ và đáp ứng quá độ của hệ ANC khi hệ số  $\mu$  thay đổi thể hiện trên hình 14. Từ hình 14 có thể thấy khi  $\mu$  lớn hệ có xu hướng rút ngắn thời gian xác lập tuy vậy nếu giá trị này quá lớn thì đáp ứng của hệ thống sẽ không hội tụ. Khi  $\mu$  nhỏ thì thời gian xác lập sẽ kéo dài và sai số ở trạng thái xác lập sẽ nhỏ.

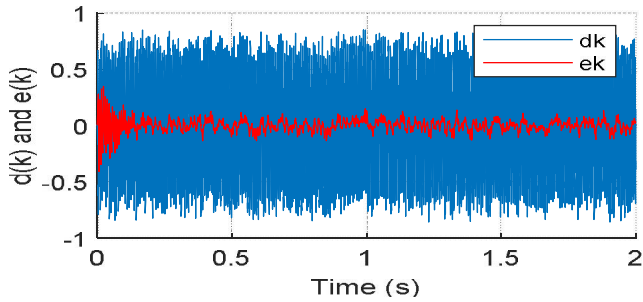


a) Trường hợp  $\mu = 0,002$

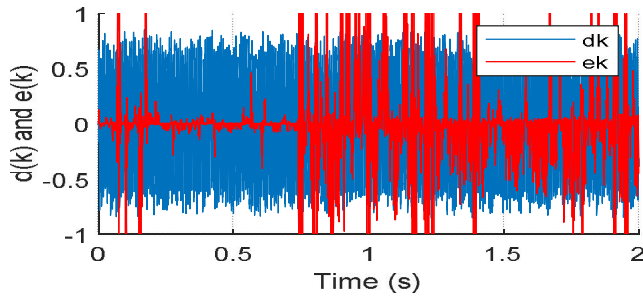


b) Trường hợp  $\mu = 0,010$





c) Trường hợp  $\mu = 0,050$



d) Trường hợp  $\mu = 7,200$

Hình 14. Đáp ứng thời gian của sai số  $e(k)$  khi  $f = 150\text{Hz}$

**5. KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN**

Bài báo đã trình bày sơ lược về sử dụng giải thuật FxLMS để thiết kế hệ thống ANC đơn kênh với cấu trúc Feedforward FxLMS. Trong hệ thống này hàm truyền đạt giữa tín hiệu điều khiển và tín hiệu âm thanh thu được từ microphone (hàm  $S'(z)$ ) được xác định thông qua nhận dạng offline. Kết quả mô phỏng cho thấy lượng âm thanh của dải tần số thấp được giảm thiểu trong điều kiện mô hình hệ thống không xác định chính xác. Tuy nhiên, kết quả mô phỏng trên mới chỉ xét trong điều kiện lý tưởng: một nguồn âm thanh ổn, không xét tới cấu trúc không gian hệ thống, bỏ qua ảnh hưởng của hiện tượng phản dội âm thanh do cấu trúc không gian - vật thể trong môi trường tạo lên... Những nghiên cứu tiếp theo, nhóm tác giả sẽ trình bày chi tiết về các vấn đề trên và kiểm nghiệm kết quả nghiên cứu trong môi trường thực với hệ thống nhúng ARM Cortex-32 bit tốc độ cao.

**LỜI CẢM ƠN**

Nhóm tác giả xin chân thành gửi lời cảm ơn tới Khoa Điện và Khoa Điện tử - Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội đã phối hợp và hỗ trợ trong quá trình nghiên cứu.

**TÀI LIỆU THAM KHẢO**

[1]. Iman Tababaei Ardekani, Valeed H. Abdulla, 2011. *FxLMS-based Active Noise Control: A quick review*. APSIPA ASC Xian.

[2]. Veervasantaroo D, Ajay S, Premkumar P, Laxmidhar Behera, 2018. *Adaptive Active Noise Control Schemes for Headset Applications*. Proceeding of the 17<sup>th</sup> World Congress, The International Federation of Automatic Control, Seoul, Korea, July 6-11, pp.7550-7555.

[3]. P.Babu, A.Krishnan, 2010. *A modified structure for Feed forward active noise control system with improved performance*. International journal of computer science & information Technology (IJCSIT) Vol.2, No.4.

[4]. Zhōu xīn xiáng, 2014. *Zào shēng kòng zhì yu jìé gòu shè bèi de dòng tài shè j.* Yè jīn gōng yè chū bǎn shè.

[5]. Xíng shì lù, bāo jùn jiāng, 2013. *21 shì jì quán guó gāo děng yuàn xiào huán jìng xī liè shí yòng guī huà jiào cái: Huán jìng zào shēng kòng zhì gōng chéng.* Běi jīng dà xué chū bǎn shè.

[6]. Zhōu nián guāng, 2015. *Biàn diàn zhàn zào shēng kòng zhì jì shù jí diǎn xíng.* Zhōng guó diàn lì chū bǎn shè.

[7]. Jiāng jìng yuè, 2018. *Miàn xiàng jiā jū huán jìng de zào yīn kòng zhì xì tong jiàn mó jí kè shì huà yán jiū.* Shuò shì lùn wén, Gui lín diàn zì kè jì dà xué..

[8]. Péng fāng fāng, 2013. *Jī yú zì shì yìng lù bō lìlùn de zhì néng shēng xiǎng kòng zhì suàn fǎ yán jiū.* Shuò shì lùn wén, Zhōng nán lín yè kè jì dà xué.

**AUTHORS INFORMATION**

**Quach Duc Cuong, Kieu Xuan Thuc, Bui Van Huy**  
Hanoi University of Industry