

Nghiên cứu mô phỏng và điều khiển dao động của màng bơm lấy mẫu khí

Simulation studies and control of membrane vibration in air sampling pumps

Bùi Đăng Thanh^{1*}, Trần Khánh Dương¹, Nguyễn Quang Địch¹, Vũ Văn Trường²

¹Hanoi University of Science and Technology

²Phenikaa University

*Corresponding author E-mail: thanh.buidang@hust.edu.vn

Abstract

An air measuring system plays an important role in monitoring the around air quality in industrial parks as well as urban area. In this system, a air sampling pump is a key element that directly affects the quality of the sample. In this paper, the numerical and controlling results of the vibrations of the membrane of such a sampling pump with a low power are presented. We consider a three-dimensional membrane undergoing the influences of its materials and vibration amplitudes. Four materials, e.g., Nitrile Rubber, Ethylene Propylene Rubber, Butadiene Rubber and VITON, are used, and the membrane's amplitude is varied in the range of 2mm-8mm. To control the motion of the pump membrane, a PID controller is designed to drive an electric motor connecting to the membrane of the pump. Basing on the investigated results including the pump performance, we find an optimal option for the selected pump. That is, the membrane amplitude is about 5 mm; the membrane frequency is about 7.67Hz that corresponds to a 450rpm of the electric motor.

Keywords: Amplitude; Membrane; PID; Sampling pump; Vibration

Symbols

Ký hiệu	Đơn vị	Mô tả
BR	-	Butadiene Rubber
$e(t)$		độ chênh lệch
N	W	Công suất
PID	-	Proportional Integral Derivative
Q	l/min	lưu lượng
s	mm	biên độ dao động
$u(t)$		tín hiệu điều khiển
K_p		hệ số khuếch đại
T_I		hằng số tích phân
T_D		hằng số vi phân
V	m ³	thể tích
$x(t)$		tín hiệu đặt
$y(t)$		tín hiệu ra
PWM		Pulse Width Modulation

Tóm tắt

Hệ thống đo nồng độ khí đóng vai trò quan trọng trong việc giám sát chất lượng không khí cho một khu vực nhất định như trong khu công nghiệp hoặc môi trường không khí xung quanh của đô thị. Trong hệ thống đó, bơm định lượng lấy mẫu khí là một phần tử không thể thiếu và có tác động trực tiếp đến chất lượng lấy mẫu khí của hệ thống. Bài báo trình bày một số kết quả nghiên cứu về mô phỏng và điều khiển dao động của màng bơm trong bơm lấy mẫu khí công suất nhỏ nằm trong hệ thống lấy mẫu này. Nghiên cứu được thực hiện trên một mẫu mô hình màng 3D dùng trong chế tạo bơm lấy mẫu khí và

được mô phỏng với việc xét đến ảnh hưởng của vật liệu chế tạo màng (bao gồm Nitrile Rubber, Ethylene Propylene Rubber, Butadiene Rubber and VITON) ở một số biên độ dao động khác nhau (trong khoảng 2mm – 8mm). Để điều khiển chuyển động của bơm màng, bộ điều khiển PID đã được thiết kế để điều khiển một động cơ điện được kết nối với màng bơm. Kết quả nghiên cứu đã đưa ra được lựa chọn về vật liệu cũng như biên độ dao động phù hợp cho cấu hình màng bơm được khảo sát. Cụ thể, dao động của màng khoảng 5mm, tần số khoảng 7.67Hz tương ứng với số vòng quay của động cơ là 450vòng/phút.

1. Giới thiệu

Ô nhiễm môi trường không khí xung quanh tại các khu đô thị nói chung và các khu công nghiệp nói riêng đang là vấn đề nghiêm trọng. Chất lượng không khí suy giảm ảnh hưởng trực tiếp đến môi trường sống xung quanh nói chung và đến sức khỏe con người nói riêng khi là nguyên nhân của các bệnh về đường hô hấp. Sử dụng các hệ thống đo, phân tích và giám sát nồng độ khí là công cụ chính để đánh giá mức độ ô nhiễm môi trường không khí. Bơm định lượng đưa khí lấy mẫu vào phân tích là một phần tử rất quan trọng trong hệ thống nói trên, nó có tác động trực tiếp đến chất lượng lấy mẫu khí cũng như sai số của hệ thống đo. Bơm định lượng lấy mẫu là một loại bơm thuộc dòng bơm thể tích, bơm được thiết kế để đưa lưu chất ở dạng lỏng hoặc khí vào một buồng lấy mẫu một cách chính xác. Phương thức hoạt động của bơm định lượng lấy mẫu là thiết bị sẽ rút một lượng lưu chất đã được đo lường vào trong buồng chứa và sau đó sẽ bơm lượng lưu chất đó vào ống dẫn hoặc bể chứa.

Máy bơm định lượng có các dòng như bơm định lượng piston, bơm định lượng thủy lực, bơm định lượng điện tử và bơm định lượng dạng màng có khả năng bơm lưu chất một cách chính xác theo ý muốn người dùng. Bơm định lượng hoạt động bằng động cơ điện loại nhỏ hoặc động cơ truyền động bằng khí, thiết bị có thể được vận hành bằng hệ thống điều khiển bên ngoài (tự động) hoặc điều khiển bằng hệ thống của chính máy bơm (thủ công). Về phần điều khiển, người dùng có thể tùy ý điều chỉnh bơm vận hành theo ý muốn từ lưu lượng, thời gian bơm hoạt động, cảnh báo bơm chạy khô, khử khí, và kiểm soát chất lượng của dòng chảy... Do vậy, các bộ điều khiển phù hợp có thể được áp dụng trong điều khiển bơm lấy mẫu để đạt được những yêu cầu trên có thể kể đến như: bộ điều khiển dự báo, bộ điều khiển PID [1, 2, 3] và các biến thể của nó;...

Một số lượng lớn các thiết kế loại bơm định lượng công suất nhỏ dựa trên công nghệ thiết kế silicon đã được ứng dụng trong một vài thập kỉ gần đây [4, 5]. Những công nghệ thiết kế bơm có thể tìm thấy trong tài liệu tham khảo [6]. Trong số những công nghệ bơm này, bơm cơ khí với màng dao động [7, 8] phù hợp với ứng dụng trong hệ lấy mẫu. Bơm định lượng dạng màng có nhiều ưu điểm như buồng làm việc khép kín và được ngăn cách độc lập với môi trường, khả năng điều khiển đơn giản và chính xác để đạt được lưu lượng khí yêu cầu. Việc điều khiển chuyển động của màng có thể sử dụng áp suất lưu chất hoặc chuyển động cam.

Nghiên cứu mô phỏng liên quan đến dòng chảy của bơm đã được xem xét nhiều. Ví dụ, Nguyen và Huang [9] đã trình bày một nghiên cứu mô phỏng vi bơm với các phần tử vòi phun/ống khuếch tán. Màng bơm được mô hình hóa bằng tương tự động hoặc bằng vận tốc như là điều kiện biên. Tương tác rắn lỏng ở đây được bỏ qua. Kết quả mô phỏng cho thấy, dải lưu lượng được xác định bởi tần số dao động và điện áp điều khiển áp đặt vào màng bơm. Yang và cộng sự [10] đã đánh giá chất lượng hoạt động của vi bơm với hai khoang được sắp xếp song song hoặc nối tiếp. Nghiên cứu kết hợp các phương diện vật lý như điện, cơ khí và thủy-khí động lực vào bơm. Phương pháp mà các tác giả sử dụng là phương pháp phần tử hữu hạn. Hình thái của màng bơm tại các tần số khác nhau, tác động đến lưu lượng bơm, được nghiên cứu. Tương tác rắn lỏng và tương tác điện-cơ khí cũng đã được đưa vào nghiên cứu của Yao và cộng sự [11]. Trong nghiên cứu này, các tác giả đã mô phỏng ba chiều trường dòng ở chế độ không dừng. Màng bơm được điều khiển bởi tần số từ 8 Hz đến 500 Hz. Jeong và Kim [12] đã so sánh hai mô hình tính toán cho việc đánh giá các đặc tính của bơm sử dụng vòi phun/ống khuếch tán. Mô hình tương tác rắn – lỏng được đem so sánh với một mô hình được mô tả trước. Kết quả mô phỏng cho thấy, với một bơm sử dụng vòi phun/ống khuếch tán với một hình dạng hình học cho trước, sẽ tồn tại một tần số tối ưu cho lưu lượng lớn nhất. Tsui và Lu [13] đã mô phỏng dòng chảy trong vi bơm thông qua giải phương trình Navier-Stokes bằng phương pháp Thể tích khối hữu hạn trên lưới không cấu trúc. Việc chuyển động của màng bơm được mô hình hóa thông qua cài đặt vận tốc như là điều kiện biên. Các tác giả chỉ ra rằng hiệu năng của bơm phụ thuộc vào tỉ số lưu lượng giữa cửa vào và cửa ra của bơm.

Tuy nhiên, các nghiên cứu kể trên chưa đề cập đến việc mô phỏng chuyển động của màng bơm và đưa ra được bộ điều khiển phù hợp cho bơm. Ngoài ra xem xét tính chất vật liệu của màng bơm cũng chưa được đề cập trong các nghiên cứu

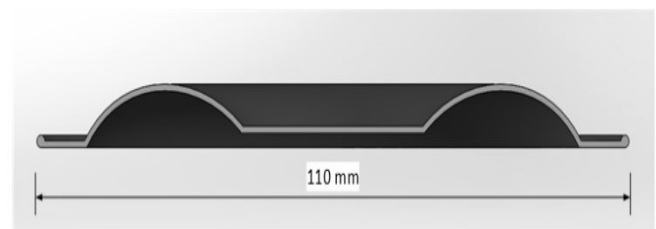
trước đó. Hơn nữa, với mỗi hệ thống, việc lựa chọn bơm cùng các thông số liên quan cũng đóng vai trò quan trọng. Những vấn đề còn thiếu và cấp thiết đó sẽ được nghiên cứu trong bài báo này.

Trong nghiên cứu này, màng bơm của bơm định lượng dạng màng được mô phỏng và khảo sát trên một mẫu hình 3D với các điều kiện khác nhau về vật liệu chế tạo màng bơm và biên độ dao động của màng bơm để tìm ra loại vật liệu phù hợp với phạm vi và mục đích sử dụng lấy mẫu khí. Ngoài ra, bộ điều khiển PID sẽ được áp dụng trong điều khiển bơm lấy mẫu nhằm nhanh chóng đưa bơm hoạt động ở lưu lượng đặt trước trong thời gian nhanh nhất. Mô hình màng bơm khảo sát được lấy từ mẫu màng bơm của bơm màng lấy mẫu trong hệ thống đo và giám sát nồng độ không khí thuộc đề tài nghiên cứu khoa học tiềm năng mang mã số 13/2019/TN. Thêm vào đó, một mẫu bơm màng cũng đã được tính toán, thiết kế và chế tạo cũng như vận hành thực nghiệm trong nghiên cứu này để đánh giá sự phù hợp của bơm màng trong việc lấy mẫu khí cho hệ thống giám sát không khí.

2. Mô hình khảo sát của màng bơm và các điều kiện khảo sát

2.1. Mô hình khảo sát của màng bơm

Trong nghiên cứu này, một mô hình màng bơm có biên dạng và kích thước thể hiện trên Hình 1 được khảo sát. Màng bơm có đường kính 110mm. Bốn loại vật liệu dùng cho màng bơm [14] được lựa chọn với các thông số chính được thể hiện trên Bảng 1 [15].



Hình 1: Hình dạng màng bơm.

Với mỗi loại vật liệu khác nhau, mô hình màng bơm được mô phỏng với 4 biên độ dao động khác nhau của vùng trung tâm màng bơm lần lượt là $s = 2, 3, 5, 8$ mm.

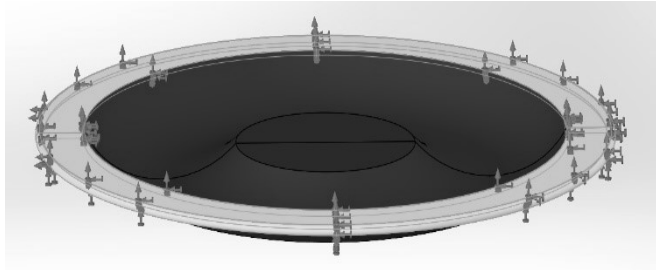
Bảng 1: Vật liệu màng bơm

Vật liệu	Giới hạn bền kéo (Mpa)	Mô đun đàn hồi (Mpa)	Khối lượng riêng (kg/m ³)
Nitrile Rubber (NBR, Acrylonitrile-Butadiene Rubber)	15	3	1000
Ethylene Propylene Rubber (EPM, EPDM)	12.8	4.2	860
Butadiene Rubber (BR)	13.7871	6.1	1000
VITON (FBR)	11	5	1932.3

Mô hình 3D của màng bơm được xây dựng bằng phần mềm Solidworks và được mô phỏng bằng module mở rộng Simulation Add-in của chính phần mềm này.

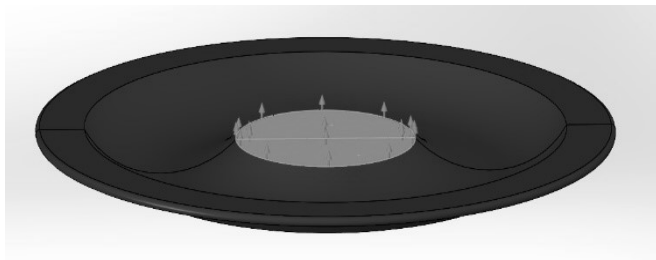
2.2. Thiết lập các điều kiện mô phỏng

Mô hình 3D sau khi được nhập sang môi trường mô phỏng của phần mềm Solidworks [16] sẽ được thiết lập các ràng buộc và các điều kiện đầu vào cho quá trình mô phỏng. Hình 2 biểu diễn gán ràng buộc cố định - Fix trên các bề mặt viền xung quanh màng bơm, là vị trí màng bơm được cố định vào thân bơm.



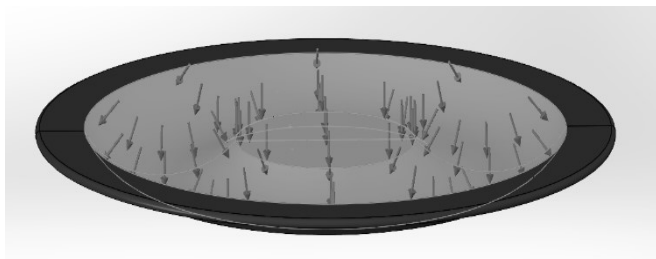
Hình 2: Thiết lập gán ràng buộc cố định-Fix.

Vùng trung tâm của màng bơm sẽ được kết nối với trục cam và chính là khu vực tạo nên hành trình hút-đẩy của màng bơm. Hình 3 mô tả thiết lập biên độ dao động của hành trình vùng trung tâm màng bơm với các biên độ $s=2,3,5,8\text{mm}$.



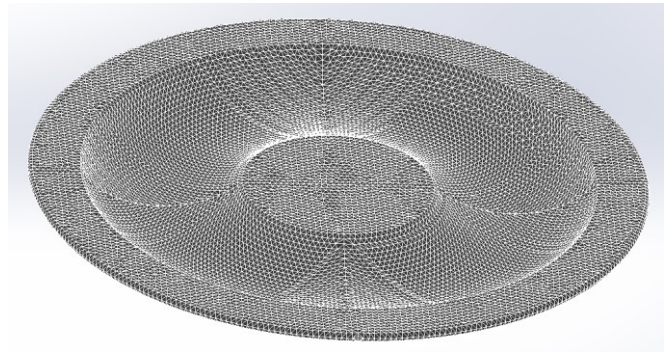
Hình 3: Thiết lập biên độ dao động của hành trình vùng trung tâm màng bơm.

Khi bơm hoạt động sẽ sinh ra một áp suất trong dòng lưu chất và áp suất này sẽ tác động lên bề mặt màng bơm làm cho biên dạng màng bơm thay đổi và do vậy sẽ ảnh hưởng đến thể tích thực khi bơm. Áp suất này cũng được đưa vào điều kiện đầu vào của quá trình mô phỏng và vùng chịu tác động được thể hiện trên Hình 4, độ lớn của áp suất được lấy bằng áp suất làm việc lớn nhất của bơm, 0.035MPa.



Hình 4: Áp suất tác động lên bề mặt màng bơm.

Sau khi các ràng buộc và điều kiện đầu vào được thiết lập, mô hình 3D được chia lưới với Mesh Control và kích thước các cạnh của phần tử lưới được đặt là 1mm. Hình 5 thể hiện mô hình 3D sau khi đã chia lưới.

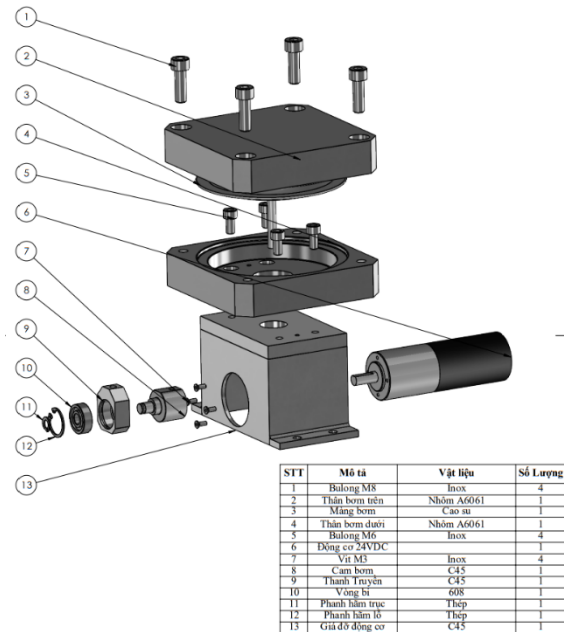


Hình 5: Chia lưới mô hình 3D màng bơm.

3. Cấu hình kết cấu cơ khí bơm lấy mẫu và hệ thống thử nghiệm bơm

3.1. Thông số kỹ thuật cơ bản khối thân bơm

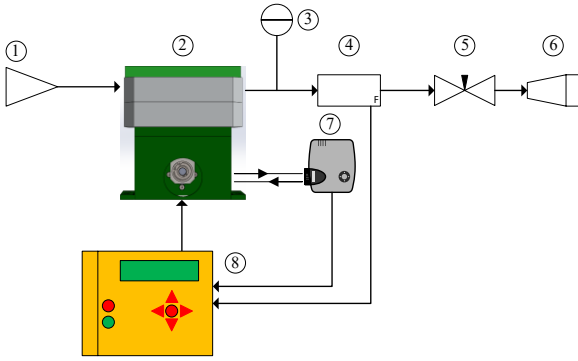
Với các thông số kỹ thuật của màng bơm như đã trình bày ở phần 2.1, một bộ thân bơm đã được thiết kế và chế tạo để đáp ứng việc lắp đặt màng bơm, phục vụ cho quá trình vận hành thử nghiệm bơm (Hình 6). Thân bơm được chế tạo từ vật liệu nhôm A6061, có kích thước ngoài dài x rộng tương ứng là 120mm x 120mm, đảm bảo đáp ứng đủ không gian để lắp đặt màng bơm cũng như không gian vận hành của màng bơm. Phần giá đỡ động cơ được làm từ vật liệu thép tấm C45 và được liên kết với nhau bằng các mối hàn kỹ thuật, chắc chắn.



Hình 6: Bộ thân bơm màng.

3.2. Hệ thống thử nghiệm bơm

Bơm màng sau khi chế tạo và lắp ráp sẽ được vận hành thử nghiệm để đo đạc các đặc tính vận hành chính của bơm như đặc tính về lưu lượng Q và công suất N của bơm. Hình 7 thể hiện sơ đồ cấu hình của hệ thống thử nghiệm bơm.



Hình 7: Sơ đồ hệ thống thử nghiệm bơm.

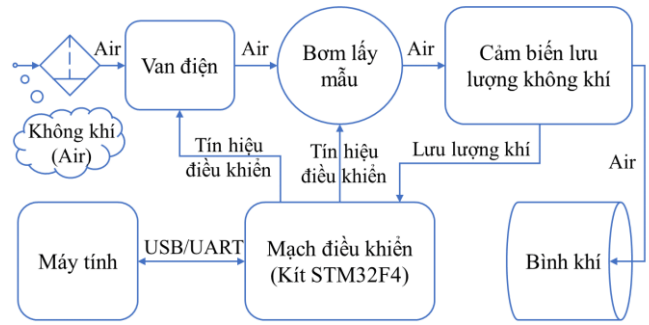
1. Lọc hút; 2. Bơm màng; 3. Đồng hồ đo áp; 4. Cảm biến lưu lượng không khí; 5. Van tiết lưu; 6. Tiêu âm; 7. Cảm biến tốc độ quay; 8. Bộ điều khiển PID.

Trên sơ đồ Hình 7, lưu lượng khí ra khỏi bơm được đo bởi cảm biến lưu lượng không khí (4). Tín hiệu từ cảm biến được đưa về bộ điều khiển PID (8) và tại đây các thuật toán so sánh được thực hiện để đưa ra tín hiệu điều khiển tốc độ của động cơ. Van tiết lưu (5) được sử dụng để gây tải tạo áp suất cho dòng khí bơm ra. Tốc độ động cơ được đo bằng cảm biến tốc độ quay (7). Các thông số chính sẽ được thu thập bao gồm lưu lượng Q, áp suất p của bơm và số vòng quay n của động cơ. Lưu lượng bơm được đo ở các giá trị áp suất là $p = 10; 30; 50; 70; 90$ [kPa] với các giá trị tốc độ quay của động cơ kéo bơm lần lượt là $n = 50; 100; 150; 200; 250; 300; 350; 400; 450$ [vòng/phút].

4. Thiết kế điều khiển bơm lấy mẫu trong hệ thống đo và giám sát nồng độ không khí

4.1. Cấu trúc phần cứng

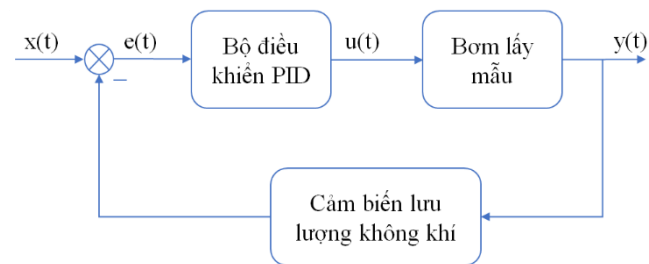
Như đã trình bày trong phần 1, bơm lấy mẫu đóng vai trò quan trọng trong hệ thống đo và giám sát nồng độ không khí. Nó có nhiệm vụ bơm dòng không khí từ môi trường vào trong bình chứa, từ đó phân phối dòng khí đến các cảm biến đo nồng độ khí trong hệ thống. Để các phép đo đạt độ chính xác cao, luồng không khí được bơm vào cần phải đảm bảo liên tục và đồng đều. Do vậy, để kiểm soát lưu lượng khí bơm vào bình chứa, cảm biến lưu lượng không khí sẽ được trang bị trong hệ thống. Bên cạnh đó, để ngăn không khí đi vào hệ thống, trong một số trường hợp, van điện từ khí nén sẽ được trang bị thêm. Ngoài ra, không khí trước khi được bơm vào bình khí sẽ được lọc thô thông qua bộ lọc khí nén để loại bỏ những hạt bụi có kích thước lớn có thể gây tắc nghẽn đường dẫn khí. Cuối cùng, để xử lý dữ liệu mang thông tin lưu lượng dòng khí gửi về từ cảm biến đo lưu lượng khí, đồng thời điều khiển van điện từ khí nén cũng như bơm lấy mẫu hoạt động theo ý muốn, mạch điều khiển (được thiết kế dựa trên vi điều khiển STM32F407VET6) sẽ được sử dụng. Tín hiệu đặt mang giá trị lưu lượng khí sẽ được gửi đến mạch điều khiển từ máy tính. Sơ đồ kết nối các thiết bị phục vụ điều khiển bơm lấy mẫu được thể hiện trong Hình 8 :



Hình 8: Sơ đồ kết nối phần cứng.

4.2. Thiết kế bộ điều khiển PID

Bộ điều khiển số PID sẽ được phát triển trên phần mềm nhúng và nạp vào vi điều khiển. Hình 9 chỉ ra mô hình hệ thống bơm lấy mẫu với bộ điều khiển PID. Trong đó, $x(t)$ là tín hiệu đặt mang giá trị lưu lượng mong muốn; $e(t)$ là độ chênh lệch giữa lưu lượng khí đặt từ người dùng và tín hiệu đo lưu lượng từ cảm biến lưu lượng trong thực tế; $u(t)$ là tín hiệu điều khiển được gửi từ vi điều khiển đến đối tượng điều khiển (bơm lấy mẫu); $y(t)$ là tín hiệu ra mang giá trị lưu lượng thực.



Hình 9: Mô hình hệ thống với bộ điều khiển PID.

Phương trình tổng quát của bộ điều khiển PID có dạng:

$$u(t) = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_I} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_D \frac{de(t)}{dt} \right] \quad (1)$$

Giá trị các tham số của bộ điều khiển PID (K_p , T_I , T_D) được lựa chọn theo phương pháp Ziegler Nichols [2, 3] và được chỉ ra trong Bảng 2:

Bảng 2: Giá trị các tham số của bộ điều khiển PID

Tham số bộ điều khiển	Giá trị
K_p	6.8
T_I	38.2
T_D	9.55

Để nhúng bộ điều khiển PID với các tham số đã lựa chọn ở trên xuống kit STM32F4, ứng dụng xử lý tín hiệu số trong rời rạc hóa tín hiệu liên tục. Theo đó, thời gian lấy mẫu tín hiệu (T_0) được lựa chọn dựa theo định lý lấy mẫu Nyquist – Shannon và bằng 10 ms. Khi đó, phương trình (1) được rời rạc hóa sẽ trở thành [17]:

$$u(k) = K_p \left[e(k) + \frac{T_0}{T_I} \sum_{i=0}^k e(i-1) + \frac{T_D}{T_0} [e(k) - e(k-1)] \right] \quad (2)$$

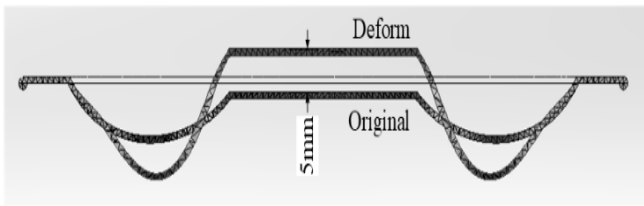
Trong đó: k là thời điểm lấy mẫu (0, 1, ..., t/ T_0). Một chương trình con thực hiện thuật toán điều khiển PID cho phép điều khiển lưu lượng của bơm lấy mẫu bám sát giá trị đặt mong muốn của người dùng. Chương trình này sẽ đọc các giá trị đo

được từ cảm biến lưu lượng ở bộ nhớ đệm dữ liệu đầu vào và so sánh chúng với giá trị đặt (được truyền xuống từ máy tính trung tâm) sau đó là các tính toán sai lệch điều khiển, tính toán theo thuật toán điều khiển PID số trước khi gửi ra điều khiển bơm theo nguyên lý điều chế độ rộng xung PWM.

5. Kết quả và thảo luận

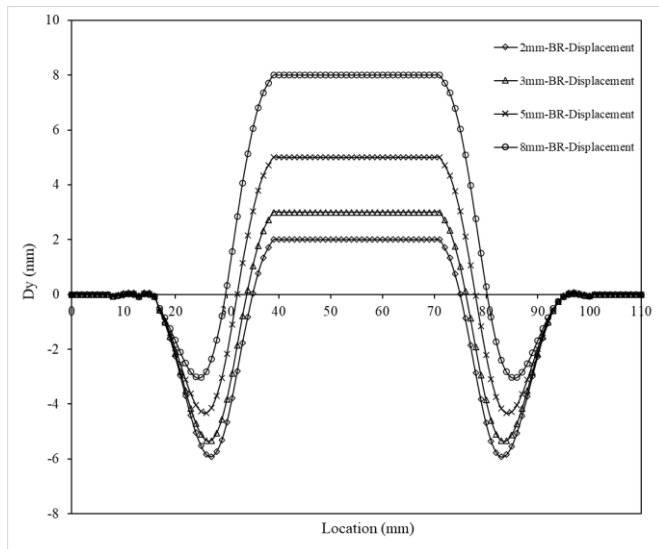
5.1. Chuyển vị và ứng suất của màng bơm

Để khảo sát chuyển vị và ứng suất của màng bơm trong quá trình vận hành, kết quả mô phỏng trên một mặt cắt đi qua tâm màng bơm sẽ được trích xuất. Hình 10 biểu diễn về chuyển vị của màng bơm trên mặt cắt ngang qua tâm với hành trình vùng trung tâm màng bơm $s=5\text{mm}$.



Hình 10: Chuyển vị của màng bơm với $s=5\text{mm}$.

Hình 11 thể hiện kết quả mô phỏng chuyển vị tại mặt cắt đi qua tâm của màng bơm đối với trường hợp màng làm bằng vật liệu BR (Butadiene Rubber). Có thể thấy trên Hình 11, chuyển vị của màng bơm có phần chuyển vị dương và phần chuyển vị âm. Chuyển vị dương chính là phần hình thành nên thể tích làm việc hữu ích của buồng bơm, còn chuyển vị âm hình thành nên thể tích vô ích trong quá trình bơm vận hành. Để đánh giá về tương quan giữa chuyển vị dương và chuyển vị âm, nghiên cứu này đã sử dụng giá trị trung bình các chuyển vị trên mặt cắt đi qua tâm màng bơm. Nếu trung bình các chuyển vị có giá trị dương nghĩa là chuyển vị dương chiếm ưu thế hơn so với chuyển vị âm và ngược lại.

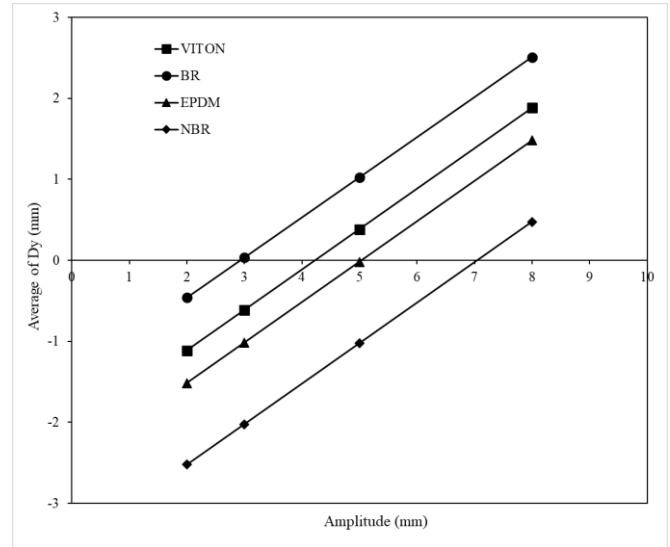


Hình 11: Kết quả mô phỏng chuyển vị của màng bơm.

(Vật liệu BR-Butadiene Rubber; $s=2,3,5,8\text{mm}$)

Hình 12 thể hiện kết quả tính giá trị trung bình chuyển vị cho các kết quả mô phỏng màng bơm với bốn loại vật liệu khác

nau và với bốn biên độ dao động khác nhau của màng bơm. Kết quả cho thấy với màng bơm làm bằng vật liệu BR thì giá trị trung bình chuyển vị có ba giá trị dương trong khi đó với các vật liệu khác chỉ có hai hoặc một. Điều đó chứng tỏ màng bơm làm bằng vật liệu BR, có thông số Mô đun đàn hồi là 6.1MPa, sẽ cho giá trị về thể tích hữu ích của bơm là tốt hơn cả trong bốn loại vật liệu.



Hình 12: Trung bình chuyển vị của màng bơm tại mặt cắt đi qua tâm.

Cũng từ Hình 12 có thể nhận thấy với vật liệu làm màng bơm bằng BR, trung bình chuyển vị của màng bơm có giá trị dương với $s=5\text{mm}$ và $s=8\text{mm}$, còn ở các giá trị khác của s thì trung bình chuyển vị xấp xỉ bằng không hoặc có giá trị âm nghĩa là thể tích hữu ích khá nhỏ hoặc chỉ có thể tích vô ích. Với $s=8\text{mm}$ thì thể tích hữu ích là lớn nhất, nhưng điều đó có nghĩa là tốc độ động cơ vận hành bơm cũng phải giảm xuống để đảm bảo một lưu lượng trung bình cố định cần thiết. Tốc độ động cơ giảm sẽ dẫn tới tần số dao động của màng bơm sẽ giảm theo và, do đó, thời gian biến thiên về lưu lượng khí sẽ tăng lên, không có lợi khi sử dụng các bình tích dung tích nhỏ, gọn nhẹ để bình ổn lưu lượng khí đầu ra cũng như phát hiện sớm mức độ thay đổi nồng độ khí. Vì vậy, lựa chọn $s=5\text{mm}$ là phù hợp cho biên độ dao động của màng bơm. Dựa trên kết quả chuyển vị của màng bơm cho trường hợp $s=5\text{mm}$ tính ra được thể tích làm việc của màng bơm thông qua phần mềm Solidworks là $V=15.22\text{cm}^3$. Để đạt lưu lượng trung bình thiết kế $Q=7$ [l/min] thì động cơ cần có số vòng quay $n=460$ [rpm], tương ứng với tần số dao động của màng bơm $Fz=7.67\text{Hz}$.

5.2. Đáp ứng lưu lượng của bơm

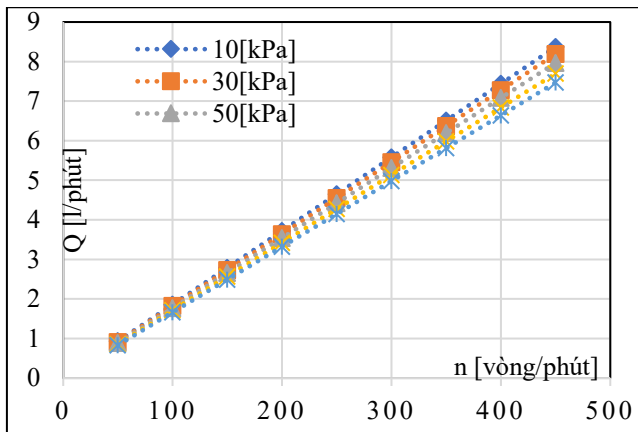
Để khảo sát đáp ứng lưu lượng của bơm, một phần mềm giao tiếp giữa máy tính và hệ thống (GUI) được phát triển. Cụ thể, phần mềm cho phép gửi các thông số về lưu lượng cài đặt, bộ tham số PID đến mạch điều khiển hệ bơm (kit STM32F4), sau đó nhận dữ liệu giá trị lưu lượng bơm tại các thời điểm lấy mẫu từ mạch điều khiển ứng với các thông số đã cài đặt. Giao diện phần mềm phát triển được chỉ ra trong Hình 13. Bước đầu thử nghiệm với lưu lượng đặt là 60ml/s cho kết quả tích cực. Tùy vào sự thay đổi của đối tượng điều khiển mà người dùng có thể điều chỉnh các thông số của bộ điều khiển PID để đạt được chất lượng điều khiển tốt hơn.



Hình 13: Giao diện phần mềm điều khiển lưu lượng bơm lấy mẫu.

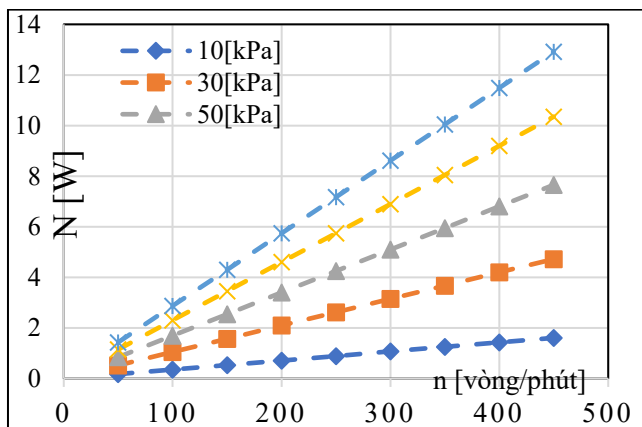
5.3. Kết quả đo thực nghiệm đặc tính bơm

Hình 14 thể hiện kết quả các đường đặc tính lưu lượng Q của bơm màng theo số vòng quay n và ở các giá trị áp suất khác nhau. Từ kết quả này có thể thấy bơm màng có lưu lượng phụ thuộc vào tốc độ cơ kéo bơm, trong khi đó không phụ thuộc nhiều vào sự thay đổi của áp suất khí ở đầu ra của bơm. Điều này rất có lợi cho quá trình điều khiển bơm để ổn định được lưu lượng cấp vào hệ thống đo nồng độ khí.



Hình 14: Đường đặc tính n - Q của bơm tại các giá trị áp suất khác nhau.

Kết quả mô tả mối quan hệ giữa số vòng quay n của động cơ và công suất bơm N được thể hiện trên Hình 15. Kết quả thực nghiệm trên Hình 15 cho thấy với giá trị áp suất nhỏ tại cửa ra của bơm thì công suất bơm thay đổi không đáng kể, nhưng khi áp suất ở cửa ra càng cao thì công suất bơm phụ thuộc rõ nét vào sự thay đổi về tốc độ quay của trục bơm.



Hình 15: Đường đặc tính n - N của bơm tại các giá trị áp suất khác nhau.

6. Kết luận

Nghiên cứu đã đưa một mô hình màng bơm 3D của bơm lấy mẫu khí vào khảo sát với các thông số điều kiện đầu vào mô phỏng gần nhất với thực tế. Một số loại vật liệu thông dụng làm màng bơm cũng được đưa vào nghiên cứu để tìm ra loại vật liệu phù hợp nhất. Kết quả mô phỏng cho thấy với vật liệu BR sẽ cho hiệu quả cao nhất về vùng thể tích hữu dụng trong bơm và đề xuất biên độ dao động của màng bơm $s=5\text{mm}$ là phù hợp cho kết cấu màng khảo sát. Với biên độ này thì độ ổn định lưu lượng đầu ra của bơm sẽ dễ được kiểm soát và điều chỉnh. Nghiên cứu cũng đã thiết kế và phát triển được một bộ điều khiển PID với giao diện người dùng thân thiện, phù hợp cho việc điều khiển bơm lấy mẫu khí. Các kết quả thực nghiệm đo đặc tính của mẫu bơm màng cũng đã chỉ ra rằng mẫu bơm màng được thiết kế và chế tạo trong nghiên cứu này có lưu lượng hoàn toàn phụ thuộc vào số vòng quay của động cơ mà không phụ thuộc vào áp suất đầu ra của bơm, điều đó rất thích hợp cho việc điều khiển chính xác lưu lượng lấy mẫu khí thông qua việc điều khiển số vòng quay của động cơ kéo bơm. Mẫu bơm màng trong nghiên cứu này có khoang làm việc kín, mức độ rò rỉ rất thấp do đó có thể sử dụng vào việc bơm các loại chất khí khác nhau mà không lo bị rò rỉ ra môi trường.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Quỹ Phát triển khoa học và công nghệ Quốc gia (NAFOSTED) trong đề tài mã số: 13/2019/TN.

Tài liệu tham khảo

- [1] L. Chen, Y. Liu, L. Sun, D. Qu, and J. Min, "Intelligent control of Piezoelectric Micropump based on MEMS flow sensor," in *2010 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, Oct. 2010, pp. 3055–3060. doi: 10.1109/IROS.2010.5649844
- [2] B. Dang-Thanh, N. Lam-Duy, and J. Bernard, "Improving the behavior of an electro-optic modulator by controlling its temperature," in *Proceeding of IEEE conference on Advanced Technologies for Communications*, Hai Phong, Viet Nam, 2009, pp. 125–128
- [3] D. Lequesne, *Régulation PID*. Paris: Hermes Science Publications, 2006
- [4] P. Desevaux and O. Aeschbacher, "Numerical and Experimental Flow Visualizations of the Mixing Process Inside an Induced Air Ejector," *Int. J. Turbo Jet Engines*, vol. 19, no. 1–2, pp. 71–78, 2002, doi: 10.1515/TJJ.2002.19.1-2.71
- [5] S. Shoji and M. Esashi, "Microflow devices and systems," *J. Micromechanics Microengineering*, vol. 4, no. 4, p. 157, 1994, doi: 10.1088/0960-1317/4/4/001
- [6] V. Singhal, S. V. Garimella, and A. Raman, "Microscale Pumping Technologies for Microchannel Cooling Systems," 2015. /paper/Microscale-Pumping-Technologies-for-Microchannel-Singhal-Garimella/2ca386ceb0191900aa22a6a010fc7cb03afd8412 (accessed Dec. 20, 2018)
- [7] H. T. G. Van Lintel, F. C. M. Van de Pol, and S. Bouwstra, "A piezoelectric micropump based on micromachining of silicon," *Sens. Actuators*, vol. 15, no. 2, pp. 153–167, 1988
- [8] R. Zengerle, J. Ulrich, S. Kluge, M. Richter, and A. Richter, "A bidirectional silicon micropump," *Sens. Actuators Phys.*, vol. 50, no. 1, pp. 81–86, Aug. 1995, doi: 10.1016/0924-4247(96)80088-4
- [9] N.-T. Nguyen and X. Huang, "Numerical simulation of pulse-width-modulated micropumps with diffuser/nozzle elements," Jan. 2000
- [10] K.-S. Yang, I.-Y. Chen, and C.-C. Wang, "Performance of Nozzle/Diffuser Micro-Pumps Subject to Parallel and Series Combinations," *Chem.*

- Eng. Technol.*, vol. 29, no. 6, pp. 703–710, 2006, doi: <https://doi.org/10.1002/ceat.200500275>
- [11] Q. Yao *et al.*, “CFD Simulations of Flows in Valveless Micropumps,” *Eng. Appl. Comput. Fluid Mech.*, vol. 1, no. 3, pp. 181–188, Jan. 2007, doi: [10.1080/19942060.2007.11015191](https://doi.org/10.1080/19942060.2007.11015191)
- [12] J. Jeong and C. N. Kim, “A numerical simulation on diffuser-nozzle based piezoelectric micropumps with two different numerical models,” *Int. J. Numer. Methods Fluids*, vol. 53, no. 4, pp. 561–571, 2007, doi: <https://doi.org/10.1002/flid.1294>
- [13] Y.-Y. Tsui and S.-L. Lu, “Evaluation of the performance of a valveless micropump by CFD and lumped-system analyses,” *Sens. Actuators Phys.*, vol. 148, no. 1, pp. 138–148, Nov. 2008, doi: [10.1016/j.sna.2008.06.036](https://doi.org/10.1016/j.sna.2008.06.036)
- [14] “Hướng Dẫn Lựa Chọn Vật Liệu Màng Bơm Phù Hợp Với Nhu Cầu » Asatech.vn - Nhà Cung Cấp Bơm Công Nghiệp Uy Tín.” <https://asatech.vn/huong-dan-lua-chon-chat-lieu-mang-bom-phu-hop-voi-nhu-cau> (accessed Feb. 22, 2022)
- [15] “Rubber or Thermoset Elastomer (TSE) Manufacturers, Suppliers, and Distributors.” <http://www.matweb.com/reference/Manufacturers.aspx?MatGroupID=93> (accessed Feb. 22, 2022)
- [16] “3D CAD Design Software | SOLIDWORKS.” <https://www.solidworks.com/home-page-2021> (accessed Feb. 22, 2022)
- [17] F. H. Raven, *Automatic Control Engineering*, 5th Edition, 5th edition. New York: McGraw-Hill College, 1994