

NGHIÊN CỨU, TÍNH TOÁN THIẾT KẾ HỆ THỐNG NHIÊN LIỆU DIESEL DÙNG KHẢO NGHIỆM CÁC CHẾ ĐỘ LÀM VIỆC CỦA BƠM CAO ÁP

STUDY, CALCULATE AND DESIGN A DIESEL FULL SYSTEM FOR TESTING THE WORKING MODES OF HIGH PRESSURE PUMPS

Trần Văn Hoàng, Vũ Thị Phụng

Khoa Cơ khí, Trường Đại học Kinh tế - Kỹ thuật Công nghiệp

Đến Tòa soạn ngày 25/04/2022, chấp nhận đăng ngày 16/05/2022

Tóm tắt: Thiết bị khảo nghiệm hệ thống nhiên liệu diesel dùng khảo nghiệm các chế độ làm việc của bơm cao áp để biết được tình trạng kỹ thuật của bơm cao áp. Trong quá trình làm việc của hệ thống sẽ bị hao mòn, hư hỏng,... Vì thế, cần kiểm tra điều chỉnh lại để hệ thống làm việc với hiệu suất cao, tiết kiệm nhiên liệu, mang lại lợi ích cao về kinh tế. Để giải quyết vấn đề này cần có những thiết bị khảo nghiệm các thông số làm việc của hệ thống, nhất là phải khảo nghiệm bơm cao áp. Các thiết bị nước ngoài đang được sử dụng khảo nghiệm như của Đức, Nga, Hàn Quốc, Trung Quốc,... các thiết bị này đầy đủ các tính năng để khảo nghiệm các chế độ cũng như các loại bơm cao áp, đảm bảo yêu cầu kỹ thuật. Tuy nhiên, thiết bị khảo nghiệm của các nước này giá thành còn quá cao, nặng, kích thước lớn. Vì vậy, bài báo này sẽ nghiên cứu tính toán thiết kế và đưa ra được quy trình chế tạo hệ thống để khảo nghiệm bơm cao áp ở các chế độ, phục vụ đào tạo thực hành tại Trường Đại học Kinh tế - Kỹ thuật Công nghiệp.

Từ khóa: Bơm cao áp, áp suất, khảo nghiệm.

Abstract: Diesel fuel system testing equipment used to test the working modes of high pressure pumps to know the technical condition of high pressure pumps. In the process working, the system will be damaged... Therefore, it is necessary to check and adjust to make the system work with high efficiency, save fuel, bring high economic benefits. To solve this problem, it is necessary to have equipment is being used such as Germany, Russia, Korea, China,... This equipment is full of features to test modes as well as high pressure pumps, ensuring technical requirements. However, the testing equipment of these countries is still expensive, heavy and large size. Therefore, this paper will study, calculate, design and provide a system manufacturing process to test high - high pressure pumps in the following mode, serving practical training at the University of Economic and Technical Industry.

Keywords: High pressure pump, pressure, test.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trên ô tô hiện nay hoặc các loại máy công cụ khác, động cơ đốt trong là nguồn động lực chính. Trong đó, động cơ diesel được sử dụng rộng rãi vì mang lại lợi ích về kinh tế lớn cũng như công suất động cơ cao. Một trong những hệ thống quan trọng và không thể thiếu được

là hệ thống nhiên liệu diesel. Vì vậy hệ thống nhiên liệu diesel là hệ thống vô cùng quan trọng trong động cơ cũng như trên xe ô tô.

Sau một thời gian làm việc thì bị hư hỏng và giảm công suất biểu hiện như: Để qua đêm khó nổ được máy, xịt khói đen, suất tiêu hao nhiên liệu lớn,... Đối với loại động cơ này thì

nguyên nhân chính là ở hệ thống nhiên liệu, nhất là bơm cao áp. Bơm là chi tiết chính để xác định các chỉ tiêu kinh tế kỹ thuật của hệ thống nhiên liệu cũng như động cơ diesel...

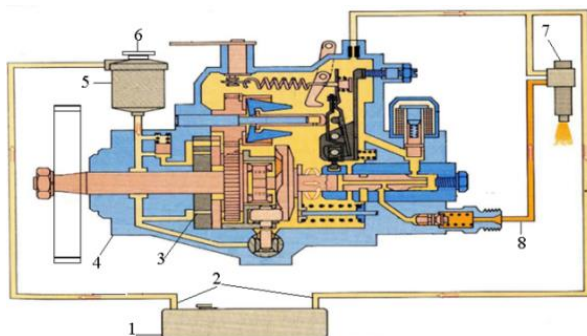
Để tránh trường hợp như trên thì cần thiết phải kiểm tra bảo dưỡng và sửa chữa hệ thống nhiên liệu, nhất là bơm cao áp để đảm bảo các chỉ tiêu về kỹ thuật cũng như kinh tế. Khi đó, cần tìm hiểu và kiểm tra các thông số của bơm cao áp như: Áp suất phun, lượng nhiên liệu phun ra, lưu lượng phun ra giữa các nhánh của bơm cao áp,...

Qua tìm hiểu, phân tích hệ thống nhiên liệu cũng như bơm cao áp. Khi đó, cần phải đưa bơm cao áp vào để khảo nghiệm kiểm tra các thông số và đưa các thông số đó đạt được tiêu chuẩn nhà sản xuất quy định. Từ đó, tính toán thiết kế và đưa ra quy trình công nghệ chế tạo mô hình hệ thống nhiên liệu diesel dùng khảo nghiệm các chế độ làm việc của bơm cao áp.

2. CẤU TẠO CHUNG VÀ NGUYÊN LÝ HOẠT ĐỘNG CỦA HỆ THỐNG NHIÊN LIỆU DIESEL

2.1. Sơ đồ cấu tạo chung

Cấu tạo chung hệ thống nhiên liệu diesel gồm các chi tiết sau: Thùng nhiên liệu, các đường ống thấp áp, bầu lọc thô, bầu lọc tinh, bơm thấp áp, bơm cao áp, các đường ống cao áp, vòi phun nhiên liệu [1-3].



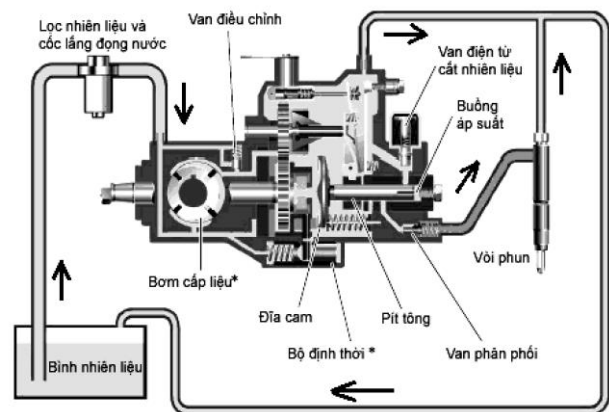
Hình 1. Sơ đồ cấu tạo hệ thống nhiên liệu diesel dùng BCA VE

Thùng nhiên liệu; 2. Ống thấp áp; 3. Bơm thấp áp;
4. Bơm cao áp; 5. Bầu lọc; 6. Bơm tay; 7. Vòi phun;
8. Ống cao áp

Bơm cao áp là tổ hợp các chi tiết kết hợp lại với nhau, có nhiệm vụ tạo áp suất cao lớn hơn áp suất của vòi phun từ 50-250 kG/cm³ cung cấp cho vòi phun theo thứ tự nổ của động cơ.

2.2. Nguyên lý hoạt động

Khi động cơ hoạt động, bơm cao áp quay dẫn động cho bơm thấp áp quay theo. Dầu diesel được hút từ thùng chứa – qua lưới lọc sơ bộ – qua bầu lọc thô – đẩy qua bầu lọc tinh - và vào khoang chứa của bơm cao áp, với một áp suất nhất định khoảng 2-3 kG/cm² [1-3].



Hình 2. Sơ đồ hoạt động của hệ thống nhiên liệu động cơ diesel dùng BCA VE

Nhiên liệu chờ sẵn trong khoang của bơm cao áp, bơm cao áp quay – cam chia đến nhánh bơm nào thì phân bơm đó sẽ đóng cửa dầu và thực hiện hành trình nén dầu diesel với áp suất cao – đẩy lên ống cao áp – cung cấp cho vòi phun – phun vào buồng đốt của động cơ để thực hiện đốt cháy (sinh công). Chu trình được thực hiện lặp lại để cung cấp dầu liên tục cho động cơ.

3. TÍNH TOÁN, THIẾT KẾ HỆ THỐNG NHIÊN LIỆU DIESEL DÙNG KHẢO NGHIỆM BƠM CAO ÁP

3.1. Tính toán thiết kế khung giá

3.1.1 Cơ sở lý thuyết tính toán khung giá

Thiết bị làm việc trong điều kiện môi trường ẩm ướt luôn có dầu diesel, tải trọng rung động

của moto, trọng lượng của các cụm chi tiết lên tới 100 kg. Từ đó, điều kiện chịu kéo - uốn - cắt khung của thiết bị đảm bảo các thông số sau [4]:

Cường độ chịu kéo $f = 230 \text{ (MPa)} = 2,3 \text{ T/cm}^2$

$E = 2.10^5 \text{ (MPa)} = 2000 \text{ T/cm}^2$

Hệ số điều kiện làm việc lấy $\gamma_c = 0,95$

$M = 0,06 \text{ T.m}$; $N = - 0,02 \text{ T}$

Qua tính toán và kiểm tra điều kiện bền uốn, bền cắt. Các điều kiện bền đều thỏa mãn và đảm bảo được:

Kiểm tra độ bền nén uốn

$$\sigma = \frac{N}{A} + \frac{M}{W_x} \leq f \cdot \gamma_c \Leftrightarrow 0,02 \leq 1,995$$

Thỏa mãn điều kiện bền.

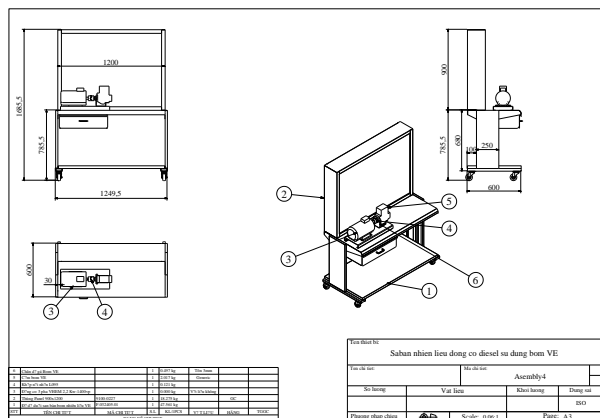
Kiểm tra điều kiện bền chịu cắt

$$\zeta = \frac{V \cdot S_x}{I_x \cdot t_w} = 0,069 \text{ T/cm}^2 \leq \gamma_c \cdot f_v = 0,95 \cdot 0,58 \cdot 2,1 = 1,1517 \text{ T/cm}^2$$

Thỏa mãn điều kiện bền chịu cắt

3.1.2. Quy trình thiết kế, gia công chế tạo khung giá thiết bị

Quy trình chế tạo thiết bị bao gồm 20 cụm nguyên công để gia công hệ thống, mỗi cụm nguyên công có các bước nguyên công cụ thể và chi tiết, có bản vẽ chi tiết và các thông số đầy đủ.



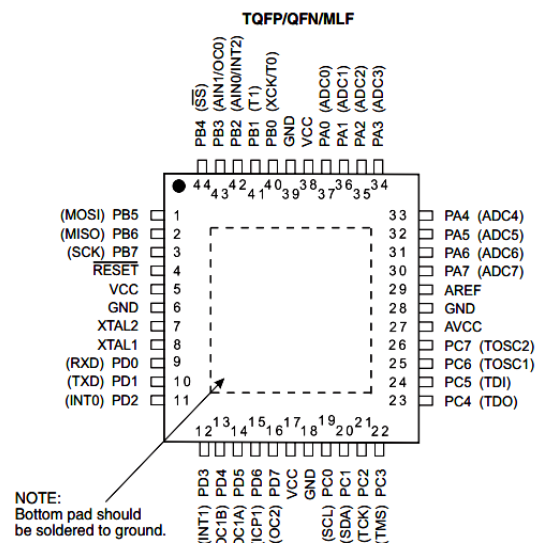
Hình 3. Bản vẽ tổng thể thiết bị khảo nghiệm

Các nguyên công cơ bản như: Quy trình gia công thùng panel trên, quy trình gia công tấm mặt bàn, quy trình gia công giá đỡ động cơ, quy trình gia công khớp nối bơm và động cơ, quy trình gia công sản để dưới...

3.2. Tính toán, thiết kế mạch điều khiển dải tốc độ

Dựa vào đặc tính của động cơ diesel, từ đó xác định tốc độ của động cơ cần cung cấp cho bơm hoạt động và thử nghiệm. Với những loại động cơ diesel cao tốc, tốc độ động cơ đạt khoảng 8000 v/p khi đó tốc độ của bơm cao áp là 4000 v/p. Từ đó, ta đi thiết kế mạch điều khiển dải tốc độ động cơ từ 0-5000 v/p đảm bảo yêu cầu để kiểm tra và khảo nghiệm bơm cao áp.

3.2.1 Thiết kế vi mạch điều khiển theo dải tốc độ động cơ



Hình 4. Vi điều khiển atmelga16L

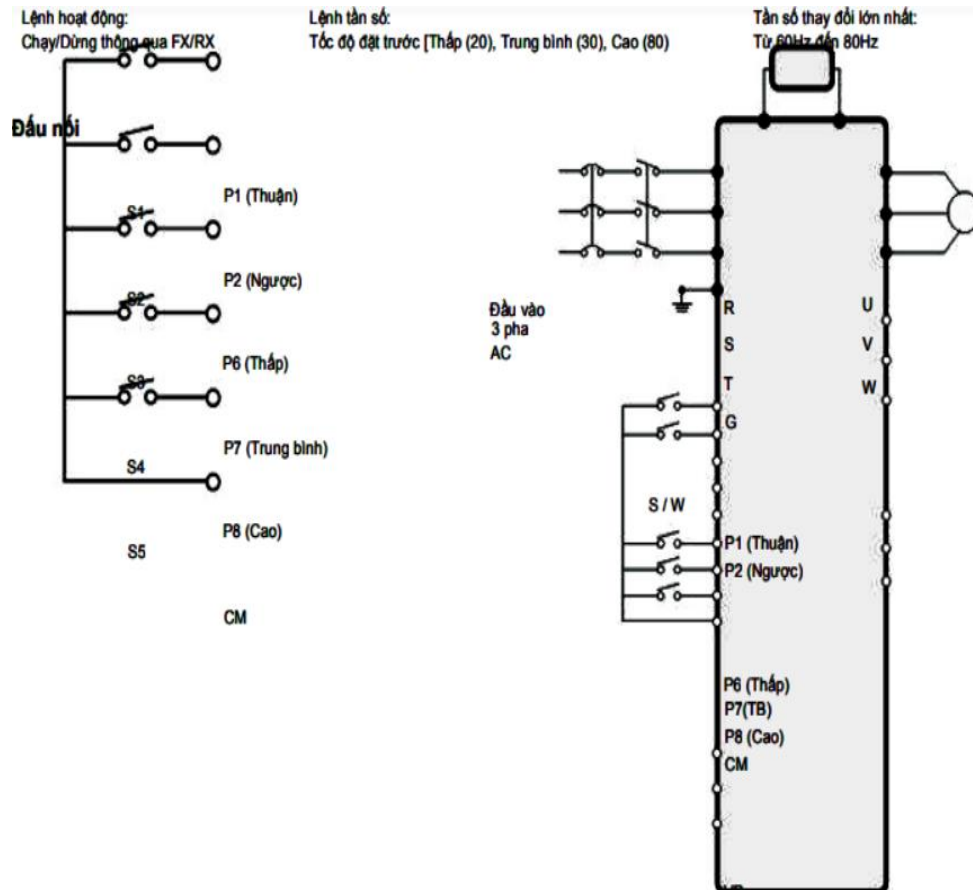
- Vi điều khiển.
- Atmelga16L có đầy đủ tính năng của họ AVR, bao gồm các tính năng như sau:
 - Bộ nhớ 16K(flash), 512 byte (EEPROM), 1 K (SRAM), 1 bộ timer/counter 16 bit.
 - Vi điều khiển có 40 chân, trong đó có 32

chân vào ra dữ liệu chia làm 4 PORT A,B,C,D. Các chân này đều có chế độ pull_up resistors.

- Giao tiếp SPI, giao diện I2C, 8 kênh ADC 10 bit, 1 bộ so sánh analog, 4 kênh PWM.
- 1 bộ định thời Watchdog, 1 bộ truyền nhận

UART lập trình được, 2 bộ timer/counter 8 bit [5].

- Các chế độ làm việc của mạch điều khiển.
- Tốc độ đặt trước+chạy/dừng thông qua FX/RX.



Hình 5. Mạch điều khiển chế độ chạy/dừng

Với mạch đặt trước các chế độ chạy/dừng đã được lập trình để điều khiển, qua đó có thể khảo nghiệm được lượng nhiên liệu cung cấp cho động cơ là bao nhiêu, trong một khoảng thời gian nhất định. Từ đó tính được suất tiêu hao nhiên liệu hiện tại của động cơ.

- Biến trở, chạy/dừng thông qua FX/RX+thời gian tăng tốc/giảm tốc [6].

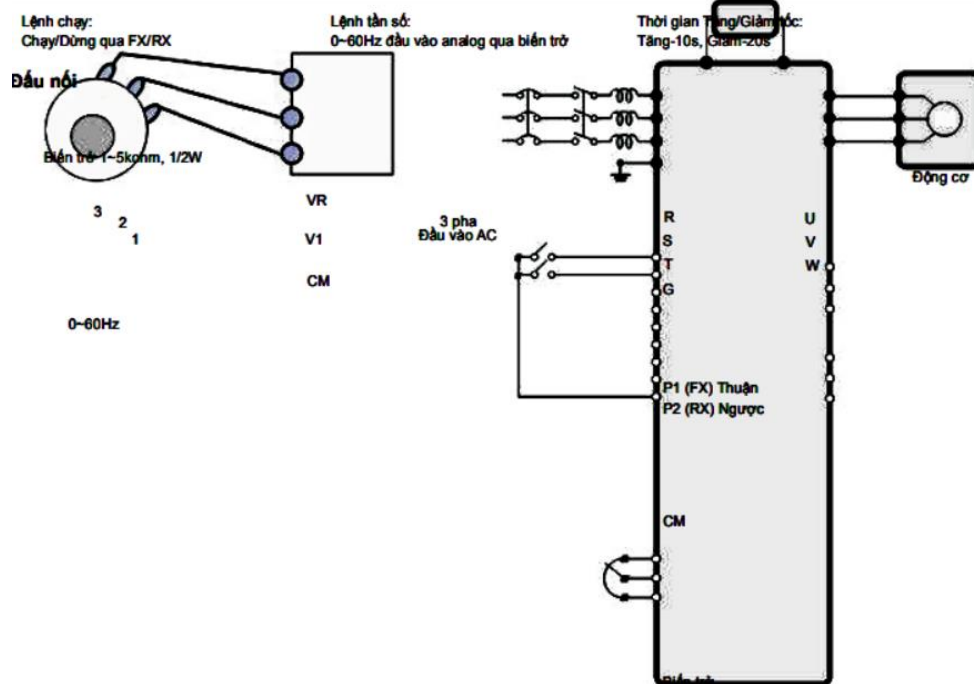
Ở các chế độ khác nhau, sẽ có lượng nhiên liệu cung cấp cho động cơ khác nhau. Vì thế, với chế độ điều khiển tăng tốc/giảm tốc của mạch điều khiển sẽ dễ dàng tính toán được

lượng nhiên liệu cung cấp cho động cơ ở các chế độ làm việc. Từ đó tính lượng tiêu thụ nhiên liệu của động cơ ở các chế độ đó [6].

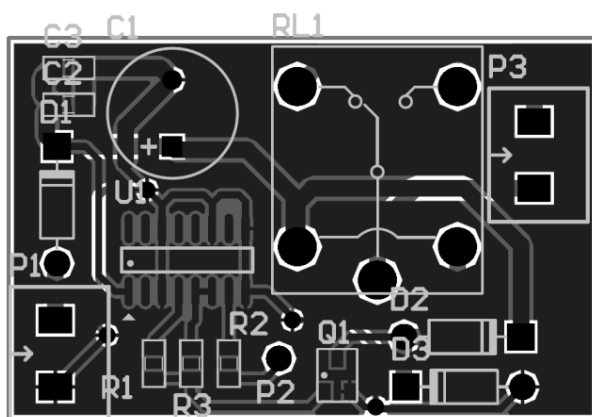
- Sơ đồ đi dây mạch điều khiển

Từ sơ đồ nguyên lý mạch điều khiển chung hình 5, 6 ta vẽ mạch in như hình 7, là mạch đi dây kết nối các phần điều khiển đã được lập trình [7].

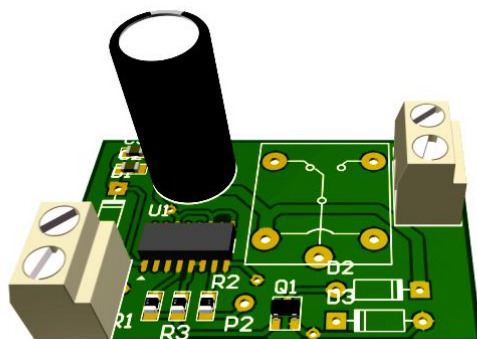
Hình 8 thể hiện mô phỏng mạch điều khiển động cơ bao gồm cả phần mạch in và các chi tiết hoàn thiện trong thiết bị điều khiển như: khối cấp nguồn vào ra, tụ điện...



Hình 6. Mạch điều khiển chế độ chạy/dừng, thời gian tăng tốc/giảm tốc

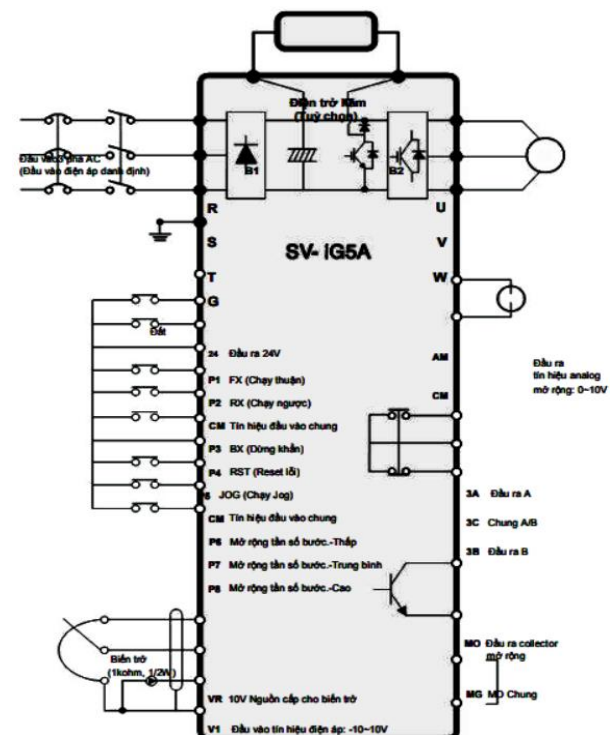


Hình 7. Sơ đồ đi dây mạch điều khiển



Hình 8. Mô phỏng mạch điều khiển

- Sơ đồ đấu nối mạch điều khiển với động cơ
- Sau khi đã đi dây, mô phỏng mạch điều khiển,



Hình 9. Sơ đồ đấu dây mạch điều khiển với động cơ

3.2.2. Động cơ dẫn động

Trên cơ sở tính toán các chế độ làm việc trong thử nghiệm, dựa vào công suất của bơm cao áp. Từ đó ta lựa chọn động cơ đảm bảo các yếu tố về chỉ tiêu kinh tế và kỹ thuật, đảm bảo cung cấp đủ momen cho hệ thống.

Động cơ: Động cơ điện 3 pha – Việt Hưng

Công suất: 2,2 kW

Tốc độ: 1400 v/p.

4. MÔ PHỎNG CHẾ ĐỘ LÀM VIỆC CỦA THIẾT BỊ

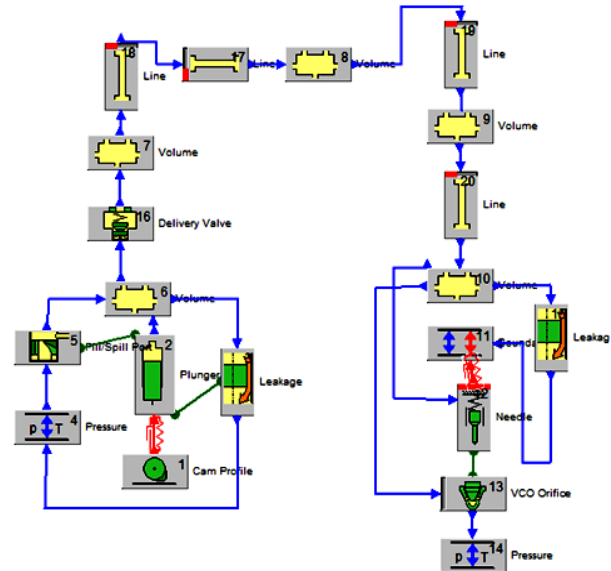
Với nhiệm vụ khảo nghiệm chế độ làm việc của bơm cao áp, để kiểm tra tình trạng kỹ thuật của bơm. Từ đó, có phương án điều chỉnh, bảo dưỡng và sửa chữa bơm kịp thời để đảm bảo tính năng kinh tế kỹ thuật của ô tô. Vì thế, dùng phần mềm để mô phỏng hoạt động của hệ thống, từ đó có thể dễ dàng kiểm tra đánh giá chất lượng bơm cao áp.

Hiện nay, có rất nhiều phần mềm mô phỏng áp dụng trong kỹ thuật mang lại hiệu quả cao, nhất là những ngành cần tính toán hay thể hiện nguyên lý... Trong đề tài này, nhóm tác giả đã sử dụng phần mềm Hydsim để mô phỏng quá trình khảo nghiệm bơm cao áp.

Mô hình mô phỏng hệ thống nhiên liệu của động cơ chuyển đổi trong phần mềm AVL - Hydsim được thể hiện như trên hình 11.

Các thông số đầu vào các chế độ của động cơ được lấy từ các thông số thực tế đã được đo đạc kết hợp với các thông số kết cấu chuyển đổi để có thể xây dựng được mô hình mô phỏng này. Các thông số đầu vào của mô hình mô phỏng trên phần mềm AVL-Hysim sẽ được đưa ra trong phần phụ lục. Mô hình mô phỏng trên phần mềm AVL-Hydsim được sử dụng để đưa ra các thông số về lưu lượng, tốc độ, thời gian và chất lượng phun nhiên liệu

vào buồng cháy. Các thông số này nếu tiến hành thí nghiệm sẽ rất khó khăn nên tác giả lựa chọn phương pháp mô phỏng để đưa ra các bộ thông số này. Các kết quả mô phỏng sẽ được lưu lại dưới dạng bảng excel để làm đầu vào cho phần mềm Ansys-ICE.



Hình 10. Mô hình mô phỏng hệ thống nhiên liệu động cơ diesel

Cơ sở lý thuyết của AVL-Hydsim

Phần mềm AVL Boost Hydsim sử dụng cơ sở lý thuyết về động học chất lỏng và cơ bản là phương trình Bernoulli.

$$z + \frac{P}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} = H = \text{const}$$

$$z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} = H = \text{const}$$

Bên cạnh đó còn sử dụng nhiều công thức khác cũng như các công thức được biến đổi từ phương trình Bernoulli

Công thức tính lượng nhiên liệu theo thời gian được tính dựa trên phương trình Bernoulli:

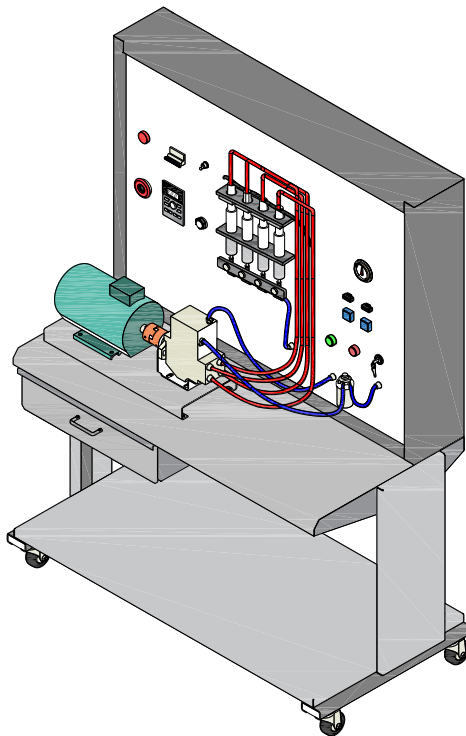
$$\dot{Q}_{hyd} = \text{sign}(p_{in} - p_{out}) \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{\mu_{seat}^2 A_{seat}^2} + \frac{1}{\mu_{hole}^2 A_{hole}^2}}} \sqrt{\frac{2}{\rho} |p_{in} - p_{out}|}$$

Phương trình tính góc côn tia phun:

$$\alpha = \frac{320 \cdot \Delta p^{0.15} \cdot \rho_G^{0.25}}{\rho_D^{0.45} \cdot v^{0.1} \left(3 + 0.28 \frac{l_{hole}}{d_{hole}} \right) \cdot \mu_{coeff}^{0.2}}$$

Qua trình mô phỏng ở các chế độ để kiểm tra kỹ thuật của bơm cao áp:

- Lượng nhiên liệu phun ra theo tốc độ quay động cơ (góc quay trục khuỷu).
- Lượng nhiên liệu ở các chế độ (theo độ nâng kim phun).
- Lượng nhiên liệu giữa các phân bơm trong cùng một chế độ (biên dạng cam).
- Kiểm tra sự làm việc ổn định của các bộ phận chi tiết của bơm.



Hình 11. Sơ đồ mô phỏng chế độ làm việc của hệ thống

5. THỬ NGHIỆM, ĐÁNH GIÁ HIỆU QUẢ HOẠT ĐỘNG

5.1. Đối tượng và phương pháp thử nghiệm

5.1.1 Đối tượng thử nghiệm

Thiết bị được thử nghiệm trên mô hình mô

phỏng trên phần mềm AVL-Hydsim.

Thông số kỹ thuật: Bơm cao áp phân phối VE, áp suất đạt từ 120-180 kg/cm³.

5.1.2. Phương pháp thử nghiệm

Quá trình thử nghiệm được tiến hành theo phương pháp đối chứng trên mô hình mô phỏng và thông số kỹ thuật của bơm cao áp thực tế.

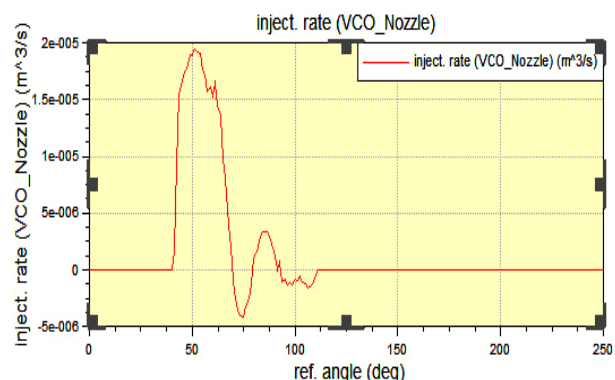
5.2. Các thông số, chỉ tiêu, tính năng kỹ thuật đạt được

Khảo nghiệm các thông số của bơm cao áp phân phối VE với các chỉ tiêu kỹ thuật.

- Lượng nhiên liệu phun ra theo tốc độ quay động cơ (góc quay trục khuỷu).

Bảng 1. Lưu lượng nhiên liệu theo góc quay trục khuỷu

Góc (deg)	Lưu lượng (m ³ /s)	Góc (deg)	Lưu lượng (m ³ /s)
40	0	53,75	1,90.10 ⁻⁵
41,25	1,82.10 ⁻⁶	55,00	1,75.10 ⁻⁵
42,50	9,25.10 ⁻⁶	56,25	1,71.10 ⁻⁵
43,75	1,55.10 ⁻⁵	57,50	1,57.10 ⁻⁵
45,00	1,66.10 ⁻⁵	58,75	1,61.10 ⁻⁵
46,25	1,74.10 ⁻⁵	60,00	1,53.10 ⁻⁵
47,50	1,77.10 ⁻⁵	61,25	1,64.10 ⁻⁵
48,75	1,89.10 ⁻⁵	62,50	1,45.10 ⁻⁵
50,00	1,89.10 ⁻⁵	63,75	1,35.10 ⁻⁵
51,25	1,94.10 ⁻⁵	66,00	0

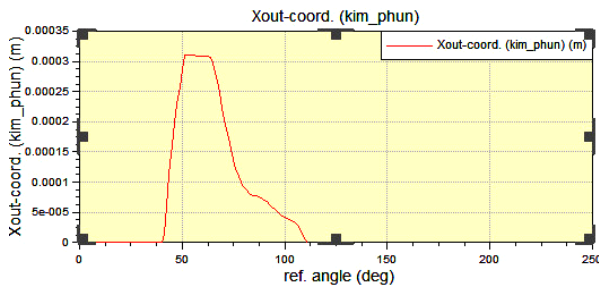


Hình 12. Lượng nhiên liệu phun theo góc quay trục khuỷu

- Lượng nhiên liệu ở các chế độ (theo độ nâng kim phun).

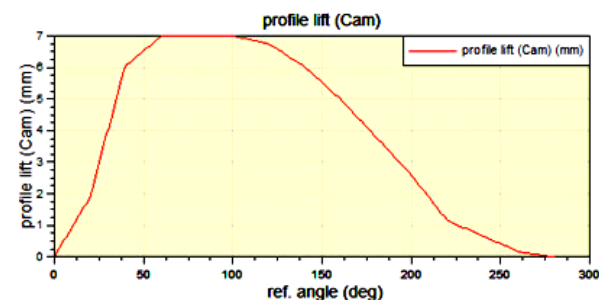
Bảng 2. Độ nâng kim phun theo góc quay trục khuỷu

Góc (deg)	Độ nâng (mm)	Góc (deg)	Độ nâng (mm)
40,00	0	53,75	0,3104
41,25	0,0135	55,00	0,3099
42,50	0,0579	56,25	0,3097
43,75	0,1131	57,50	0,3093
45,00	0,1620	58,75	0,3094
46,25	0,1980	60,00	0,3092
47,50	0,2294	61,25	0,3094
48,75	0,2580	62,50	0,3090
50,00	0,2860	63,75	0,3068
51,25	0,3100	66,00	0
52,50	0,3104		



Hình 13. Lượng nhiên liệu phun theo độ nâng kim phun

- Lượng nhiên liệu giữa các phân bơm trong cùng một chế độ (biên dạng cam).



Hình 14. Lượng nhiên liệu phun theo biên dạng cam

- Kiểm tra điều chỉnh các chế độ làm việc của bơm cao áp.

6. KẾT LUẬN

Hệ thống nhiên liệu diesel đã được tính toán, thiết kế dùng để khảo nghiệm bơm cao áp. Kết quả chỉ ra rằng:

- Lập được quy trình chế tạo hệ thống nhiên liệu diesel dùng khảo nghiệm bơm cao áp VE.
- Tính toán, thiết kế mạch điều khiển dải tốc độ động cơ.

- Mô phỏng trên phần mềm hydsim các chế độ khảo nghiệm của bơm.

- Khảo nghiệm các loại bơm cao áp phân phối VE ở các chỉ tiêu thông số kỹ thuật.

+ Lượng nhiên liệu phun ra theo tốc độ quay động cơ (góc quay trục khuỷu).

+ Lượng nhiên liệu ở các chế độ (theo độ nâng kim phun).

+ Lượng nhiên liệu giữa các phân bơm trong cùng một chế độ (biên dạng cam).

- Từ những kết quả đạt được của đề tài, hướng nghiên cứu để mô hình hoàn thiện hơn là hiển thị các thông số đo được bằng hình ảnh và đồ thị trực tiếp.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Nguyễn Tất Tiến, “Nguyên lý động cơ đốt trong”, NXB Giáo dục, 2000.
- [2] Phạm Minh Tuấn, “Lý thuyết động cơ đốt trong”, NXB Khoa học và Kỹ thuật, 2008.
- [3] Phạm Văn Thê, “Trang bị động lực diesel tàu thủy”, NXB Khoa học và Kỹ thuật, 2006.
- [4] GS.TS. Nguyễn Đắc Lộc, Lưu Văn Nhàn; “Hướng dẫn thiết kế đồ án công nghệ chế tạo máy”, NXB Khoa học và Kỹ thuật, 2006.

- [5] Trần Thế San, “*Hướng dẫn thiết kế mạch, lập trình*”, Trường Đại học Sư phạm Thành phố Hồ Chí Minh, 2010.
- [6] Nguyễn Văn Hòa, Bùi Đăng Thành, Hoàng Sỹ Hồn, “*Giáo trình đo lường điện và cảm biến đo lường*”, NXB Giáo dục, 2009.
- [7] Lâm Quang Chuyên, “*Giáo trình vi điều khiển*”, Trường Cao đẳng Công Thương Thành phố Hồ Chí Minh, 2012.

Thông tin liên hệ: **Trần Văn Hoàng**

Điện thoại: 0919068913 - Email: tvhoang@uneti.edu.vn

Khoa Cơ khí, Trường Đại học Kinh tế - Kỹ thuật Công nghiệp.

