

NGHIÊN CỨU THIẾT KẾ, CHẾ TẠO HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN PHỐI HỢP LUÂN HỒI KHÍ THẢI VÀ BỔ SUNG HYDRO TRONG ĐỘNG CƠ DIESEL

RESEARCH, DESIGN AND MANUFACTURE A CONTROL SYSTEM THAT COORDINATES EXHAUST GAS RECIRCULATION AND HYDROGEN ADDITION IN DIESEL ENGINES

TRỊNH XUÂN PHONG*, HOÀNG ĐÌNH LONG, NGUYỄN ĐỨC KHÁNH

Viện Cơ khí động lực, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

*Email liên hệ: txphong@nute.edu.vn

Tóm tắt

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu thiết kế, chế tạo hệ thống điện điều khiển phối hợp hệ thống luân hồi khí thải và bổ sung hydro cho động cơ diesel R180. Code điều khiển được viết trên phần mềm Labview và biên dịch trên phần cứng HDL 9090 để điều khiển các cơ cấu chấp hành như: Van EGR, vòi phun hydro và bơm cao áp. Kết quả thử nghiệm tại tốc độ 1500 vòng/phút cho thấy bộ điều khiển làm việc ổn định, thời gian đáp ứng nhanh, các thành phần khí thải độc hại như NO_x và khói đều giảm so với động cơ nguyên bản trong khi tiêu hao nhiên liệu giảm ở một số chế độ tải.

Từ khóa: Động cơ diesel, bổ sung hydro, luân hồi khí thải, giảm phát thải NO_x , giảm phát thải khói, hệ thống điện điều khiển EGR và hydro.

Abstract

This paper presents the research results of the design and manufacture of an electrical control system that coordinates the exhaust gas recirculation system and hydrogen addition for the diesel engine R180. Control code is written on Labview software and compiled on HDL 9090 to control actuators such as EGR valve, hydrogen injector, high-pressure pump. The test results at 1500rpm show that the electrical control system operates stably with a rapid response, the toxic emissions components such as NO_x and smoke are reduced compared to the original engine, while fuel consumption is reduced at some load conditions.

Keywords: Diesel engine, hydrogen addition, reduction EGR, NO_x , reduction smoke, electrical control system EGR and hydrogen.

1. Đặt vấn đề

Động cơ diesel là loại động cơ được ứng dụng rất nhiều trên các phương tiện giao thông vận tải, máy phát điện,... do tính tiết kiệm nhiên liệu, độ tin cậy và

độ bền nhưng động cơ này lại phát thải nhiều các chất độc hại NO_x và khói bụi (PM) [1]. Theo một thống kê thì lượng khí thải độc hại của động cơ diesel chiếm tỉ trọng lớn của phát thải trên thế giới, cụ thể là NO_x 60%, PM 10% và CO 30% [2]. Với số lượng lớn động cơ diesel đang hoạt động, đây là sự đe dọa với môi trường bởi vì sự phát thải độc hại của nó và nguy cơ cạn kiệt nguồn nhiên liệu hóa thạch toàn cầu. Điều này dẫn đến thúc đẩy việc phải tìm ra các phương pháp giảm phát thải độc hại và tìm nguồn nhiên liệu thay thế cho động cơ diesel.

Phương pháp luân hồi khí thải EGR (Exhaust Gas Recirculation) được xem là một phương pháp hiệu quả để giảm phát thải NO_x của động cơ diesel và đã được sử dụng từ lâu. Tuy nhiên, công nghệ này lại làm giảm hiệu suất động cơ và tăng hàm lượng CO, HC và PM trong khí thải nên cần được sử dụng kết hợp với các biện pháp xử lý khác.

Việc ứng dụng hydro cho động cơ diesel được nghiên cứu nhiều trong những năm gần đây. Hydro được xem như là một nguồn nhiên liệu thay thế đầy tiềm năng vì phát thải không ô nhiễm và trữ lượng lớn. Tuy nhiên việc sử dụng nhiên liệu hydro như một loại nhiên liệu chính còn nhiều bất cập vì thế việc sử dụng nhiên liệu hydro như là một loại nhiên liệu bổ sung hỗ trợ cho nhiên liệu chính là một cách tiếp cận thực tế nhất đối với nhiều nhà khoa học [3]. Khi bổ sung hydro cho nhiên liệu diesel thì đặc tính của hai loại nhiên liệu này khác phục nhược điểm của nhau. Hydro được phun vào đường ống nạp và hòa trộn với không khí sạch làm cho hỗn hợp không khí đồng nhất nhờ sự khuếch tán của nhiên liệu này, diesel phun vào buồng đốt sẽ tự cháy và trở thành nguồn lửa để đốt cháy hỗn hợp hòa khí diesel - hydro giúp quá trình cháy của nhiên liệu diesel triệt để hơn. Chính vì vậy, để kiểm soát đồng thời tất cả các thành phần phát thải của động cơ diesel và đặc biệt là NO_x và khói bụi với giá thành thấp có thể sử dụng phương pháp kết hợp luân hồi khí thải với bổ sung khí hydro hoặc khí giàu hydro vào động cơ (được viết tắt là EHSy). Với phương pháp này, NO_x giảm được đáng kể nhờ luân hồi khí thải, còn CO,

HC và khói bụi sẽ giảm nhờ sự cải thiện quá trình cháy của nhiên liệu hydro bổ sung [4, 5]. Nhưng một vấn đề đáng quan tâm là với động cơ diesel trang bị bộ điều tốc cơ khí khi chuyển đổi sang lượng nhiên liệu diesel-hydro thường mất ổn định khi tải thay đổi, đặc biệt là tải cao và xuất hiện tiếng gõ [6 - 8]. Vì vậy cần có hệ thống điều khiển hợp lý và chính xác để tránh hiện tượng này. Đây là một vấn đề mới do đó cũng chưa có các bộ kit thương mại để chuyển đổi động cơ diesel sang động cơ lưỡng nhiên liệu diesel - hydro có luân hồi khí thải. Chính vì thế bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu thiết kế chế tạo hệ thống điều khiển phối hợp hệ thống luân hồi khí thải và bổ sung khí hydro trong động cơ diesel. Hệ thống này hoạt động đảm bảo tự động điều chỉnh lượng cung cấp diesel, hydro và tỷ lệ luân hồi khí tốc độ động cơ thay đổi ở các tải trọng khác nhau để động cơ có thể làm việc ổn định. Đồng thời hệ thống này cũng giúp việc vận hành động cơ được linh hoạt với các chế độ làm việc khác nhau như thuần diesel, thuần diesel có EGR, lưỡng nhiên liệu diesel - hydro, lưỡng nhiên liệu diesel-hydro có EGR.

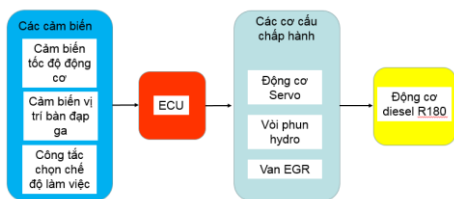
2. Thiết kế chế tạo

2.1. Phần cứng của hệ thống

Hệ thống EHSy bao gồm 3 khối chính: Khối cảm biến, khối ECU và khối cơ cấu chấp hành. Sơ đồ cấu tạo được thể hiện ở Hình 1, sơ đồ bố trí thực tế được trình bày ở Hình 2.

2.1.1. Hệ thống các cảm biến và công tắc

a) Cảm biến tốc độ động cơ và thời điểm phun nhiên liệu hydro.



Hình 2. Sơ đồ cấu tạo hệ thống EHSy

Cảm biến này có nhiệm vụ gửi tín hiệu tốc độ động cơ và thời điểm phun nhiên liệu hydro cho ECU. Cảm biến này là loại cảm biến phân tử Hall, tín hiệu ra của cảm biến là tín hiệu xung vuông.

b) Cảm biến vị trí chân ga

Cảm biến vị trí chân ga có chức năng nhận biết góc xoay của chân ga của người vận hành. Cảm biến là loại biến trở, tín hiệu ra của cảm biến này dựa trên sự biến đổi điện áp đầu ra của cảm biến theo góc quay của chân ga. Tín hiệu điện áp này được gửi về ECU

và từ đó ECU sẽ tính toán được tốc độ mong muốn của người vận hành.

c) Công tắc chọn chế độ làm việc

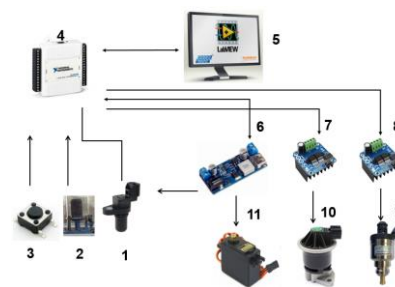


Hình 1. Sơ đồ bố trí trong thực tế

1. Van EGR; 2. Vòi phun hydro; 3. Động cơ Servo; 4. Cảm biến tốc độ động cơ; 5. Động cơ R180; 6. Bộ thử công suất; 7. ECU; 8. Máy tính cài đặt Labview.

Công tắc chọn chế độ làm việc là tín hiệu đầu vào cho ECU. Tùy thuộc vào trạng thái của công tắc, ECU sẽ điều khiển động cơ làm việc ở các chế độ mong muốn như: Động cơ thuần diesel, động cơ thuần diesel có luân hồi khí thải, động cơ lưỡng nhiên liệu diesel - hydro, động cơ lưỡng nhiên liệu diesel - hydro có luân hồi khí thải.

2.1.2. Các cơ cấu chấp hành



Hình 3. Sơ đồ cấu tạo của hệ thống EHSy

1. Cảm biến tốc độ và thời điểm phun nhiên liệu hydro; 2. Cảm biến vị trí chân ga; 3. Công tắc chọn chế độ làm việc; 4. Card HDL 9090; 5. Phần mềm Labview; 6,7,8. Mạch công suất; 9. Vòi phun hydro; 10. Van EGR; 11. Động cơ Servo.

Cơ cấu chấp hành của hệ thống EHSy gồm ba cơ cấu: Động cơ Servo, vòi phun hydro và van EGR. Tất

cả các cơ cấu chấp hành đều có mạch công suất để điều khiển.

a) Động cơ Servo

Động cơ Servo dùng để điều khiển góc xoay của bơm cao áp để thay đổi lượng nhiên liệu cung cấp trong một chu trình. Động cơ Servo được kết nối với thước nhiên liệu thông qua cơ cấu dẫn động đảm bảo góc quay động cơ tỷ lệ với góc xoay bơm cao áp (góc quay động cơ Servo đã được khuếch đại để đảm bảo điều khiển với độ phân giải mịn hơn). Vì vậy để điều khiển thay đổi lượng diesel cung cấp chỉ cần thay đổi góc quay của động cơ Servo. Để đảm bảo mô-men kéo động cơ Servo được chọn là động cơ MG995.

b) Vòi phun hydro

Vòi phun hydro dùng để cấp nhiên liệu hydro vào đường nạp của động cơ, lượng hydro cấp cho một chu trình làm việc của động cơ được thay đổi dựa trên thời gian mở vòi phun. Để đảm bảo lượng hydro cung cấp chỉ phụ thuộc vào thời gian mở vòi phun thì độ chênh áp trước và sau vòi phun được duy trì ổn định là 3 bar. Vòi phun hydro là vòi phun khí thương mại kiểu van điện từ đảm bảo đóng cắt dứt khoát, thời gian tác động nhanh, làm việc ổn định.

c) Van EGR

Van EGR có nhiệm vụ luân hồi một phần khí thải quay lại đường nạp của động cơ. Để tránh muội than trong khí luân hồi có thể là nguồn lửa đốt cháy nhiên liệu hydro trên đường ống nạp, khí luân hồi sẽ được làm mát trước khi đưa vào van EGR. Van EGR là van thương mại do Honda sản xuất. Độ mở được điều khiển bằng xung PWM, ngoài ra trong van còn tích hợp luôn cảm biến vị trí độ mở của van.

2.1.3. ECU điều khiển

ECU liên tục đọc các tín hiệu gửi về từ các cảm biến để phân tích và tính toán ra tốc độ thực của trục khuỷu và tốc độ mong muốn. Từ các thông số này ECU sẽ tính toán ra góc quay cho động cơ Servo, thời gian mở vòi phun, độ mở van EGR theo thuật toán đã được lập trình trong ECU để điều khiển các bộ chấp hành. Để đảm bảo nhiệm vụ trên thì kết cấu phần cứng của ECU bao gồm các khối chính như sau:

Khối nguồn: Có nhiệm vụ tạo ra các mức điện áp khác nhau cung cấp cho ECU. Khối nguồn được lấy từ mạch cấp nguồn đã được thương mại hóa LM2596

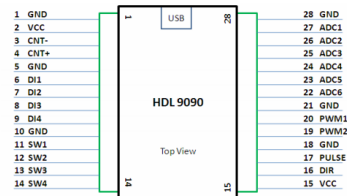
Khối vi điều khiển: Là card HDL 9090 đã được thương mại hóa. Khối vi điều khiển dùng để nhận xử lý các tín hiệu của cảm biến, tính toán và xuất các xung điều khiển bộ chấp hành theo code được lập trình. Code lập trình được nạp vào Card HDL 9090 thông qua phần mềm Labview.

Mạch công suất: có nhiệm vụ nhận các tín hiệu từ ECU, khuếch đại để điều khiển các cơ cấu chấp hành có dòng tiêu thụ lớn. Mạch công suất gồm LM2596 để điều khiển động cơ servo. Hai bộ BTS7960 dòng 43A để điều khiển vòi phun và van luân hồi khí thải.

Khối hiển thị: Dùng để hiển thị các thông số làm việc của động cơ trên màn hình máy tính thông qua phần mềm Labview. Các thông số bao gồm: tốc độ động cơ, vị trí chân ga, công tắc chọn chế độ làm việc, thời gian mở vòi phun, độ mở van EGR.

Công tắc chọn chế độ làm việc: tùy thuộc vào trạng thái công tắc này mà ECU sẽ điều khiển 1 trong bốn chế độ làm việc: thuần diesel, thuần diesel có EGR, lưỡng nhiên liệu diesel-hydro, lưỡng nhiên liệu diesel có EGR. Hình 4 trình bày sơ đồ khối của hệ thống EHSy.

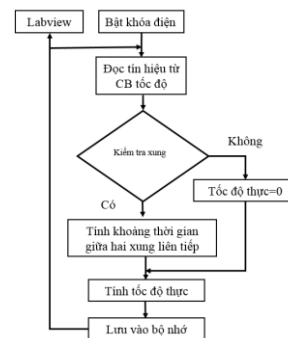
2.2. Xây dựng code chương trình



Hình 4. Sơ đồ mô tả các tín hiệu của card 9090

2.2.1. Thuật toán xác định tốc độ thực, tốc độ đặt và vị trí van EGR của động cơ

a) Thuật toán xác định tốc độ thực:



Hình 5. Sơ đồ thuật toán xác định tốc độ thực

Tốc độ của động cơ được đo thông qua đo chu kỳ của một xung tín hiệu gửi về từ cảm biến tốc độ của động cơ. Thuật toán này cho kết quả tính toán tốc độ vòng quay với độ chính xác cao và dễ dàng lắp đặt cảm biến cũng như chế tạo vấu từ trên trục khởi động của động cơ một cách dễ dàng. Cảm biến tốc độ của động cơ gửi tín hiệu dạng xung vuông về ECU. Xung đó được tạo ra khi vấu từ quét qua đầu cảm biến. Chu kỳ xung được xác định bằng cách sử dụng chức năng

ngắt ngoài của vi điều khiển.

Bằng những phép tính đại số được lập trình trong vi điều khiển, có thể tính được chu kỳ của tín hiệu xung μs /vòng và từ đó tính ra tốc độ vòng quay của động cơ vòng/phút theo công thức:

$$n = \frac{60.10^6}{T} \text{ (vòng/phút)} \quad (1)$$

Trong đó: n là tốc độ vòng quay của động cơ;

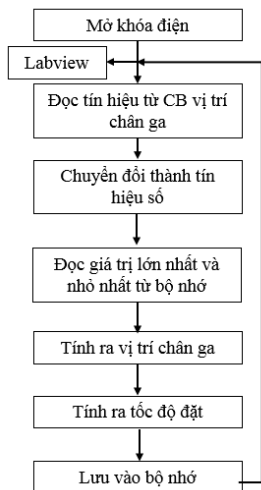
T là chu kỳ xung tính toán được, (μs).

b) Thuật toán xác định vị trí chân ga và tốc độ mong muốn của động cơ

Sau khi mở khóa điện tín hiệu điện áp từ cảm biến vị trí chân ga (0V-5V) liên tục được đọc sau đó đưa vào bộ biến đổi từ tín hiệu tương tự sang tín hiệu số (ADC) của vi điều khiển để chuyển đổi mức điện áp đọc được thành giá trị số (0-1024). Giá trị nhận được kết hợp với giá trị ứng với vị trí chân ga 0% và 100% được lưu trong bộ nhớ thì vi điều khiển sẽ tính toán ra phần trăm vị trí chân ga theo công thức:

$$b = \frac{a - \text{min}}{\text{max} - \text{min}} \cdot 100 \quad (2)$$

Trong đó: b là phần trăm vị trí chân ga (%); a là giá trị số sau khi chuyển đổi; min là giá trị lưu trong bộ nhớ ứng với vị trí chân ga 0%; max giá trị lưu trong bộ nhớ ứng với vị trí chân ga 100%.



Hình 6. Sơ đồ thuật toán xác định vị trí chân ga

Tốc độ đặt của động cơ được tính từ giá trị vị trí chân ga. Với hạn chế tốc độ tối đa của động cơ là 2600 (v/ph). Vì vậy có công thức tuyến tính đơn giản xác định tốc độ đặt của động cơ như sau:

$$n = 26.b \text{ (vòng/phút)} \quad (3)$$

c) Thuật toán xác định vị trí van EGR

Thuật toán xác định vị trí van EGR tương tự xác

định vị trí chân ga.

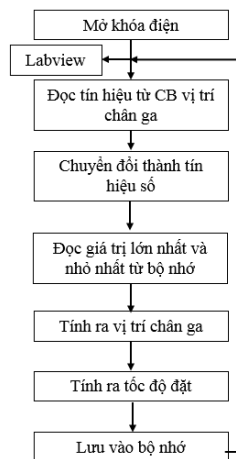
2.2.2. Thuật toán điều khiển góc quay servo, thời gian mở vòi phun, van EGR

Sau khi tính toán được góc quay của servo và thời gian mở vòi phun, độ mở van EGR cần có các thuật toán để tạo tín hiệu thích hợp gửi các cơ cấu chấp hành để thay đổi lượng diesel, lượng hydro và độ mở van EGR tương ứng.

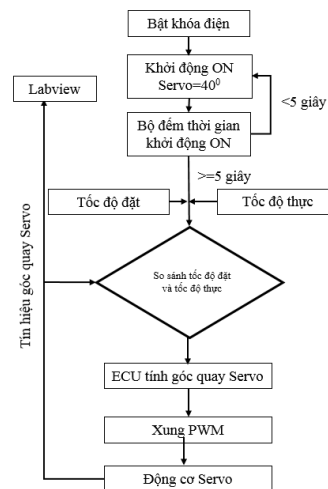
a) Thuật toán điều khiển góc quay servo

Góc quay mong muốn của động cơ servo đã được VĐK tính toán và lưu vào bộ nhớ, sao đó ECU sẽ đọc giá trị này và tạo ra xung vuông có độ rộng xung tương ứng với góc quay động cơ mong muốn. Sau đó tín hiệu xung vuông này được gửi đến động cơ servo để quay đến góc mong muốn theo giá trị ECU đã tính toán. Đồng thời giá trị này cũng được gửi lên hiển thị trên máy tính.

b) Thuật toán điều khiển thời gian mở vòi phun hydro



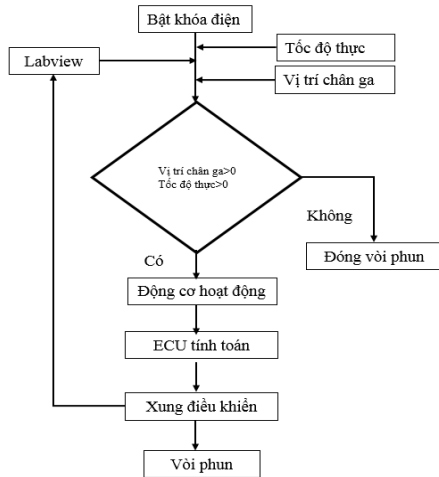
Hình 7. Thuật toán xác định vị trí van EGR



Hình 8. Thuật toán điều khiển góc quay động cơ Servo

Từ giá trị tốc độ thực của động cơ ECU sẽ tính toán thời gian một chu trình làm việc theo công thức:

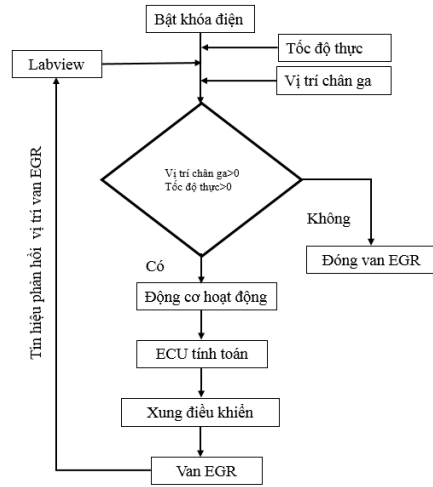
$$t_{ck} = \frac{30.10^6}{n}$$



Hình 9. Thuật toán điều khiển thời gian phun hydro

Từ giá trị thời gian mở vòi phun hydro trong mỗi chu trình được tính toán và lưu trong ECU, ECU sẽ tạo ra xung vuông có chu kỳ và độ rộng xung cao đúng bằng hai khoảng thời gian trên. Tín hiệu xung vuông này sau đó được gửi ra để điều khiển đóng mở vòi phun tạo thời gian như mong muốn.

c) Thuật toán điều khiển độ mở van EGR



Hình 10. Thuật toán điều khiển van EGR

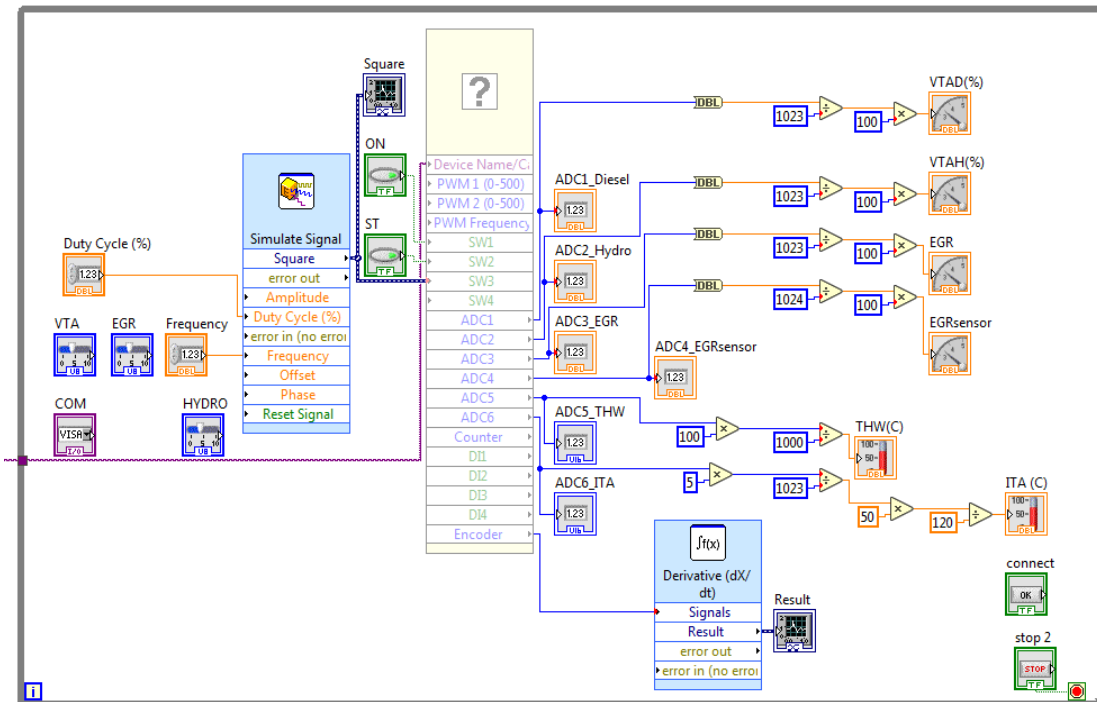
2.3. Code lập trình trên Labview

Hình 11 trình bày ngôn ngữ lập trình thu thập các tín hiệu cảm biến, hiển thị giá trị trên máy tính và điều khiển các cơ cấu chấp hành.

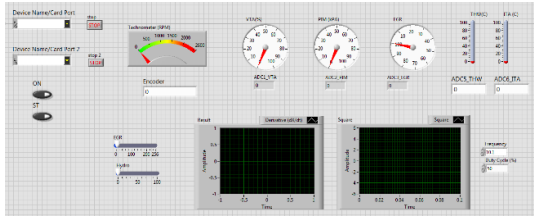
2.4. Giao diện hiển thị trên máy tính

Hình 12 trình bày giao diện hiển thị trên máy tính phục vụ nghiên cứu thử nghiệm hệ thống EHSy.

3. Thử nghiệm xây dựng và đánh giá khả năng làm việc của EHSy



Hình 11. Code lập trình điều khiển EHSy trên Labview



Hình 12. Giao diện điều khiển và hiển thị trên Labview

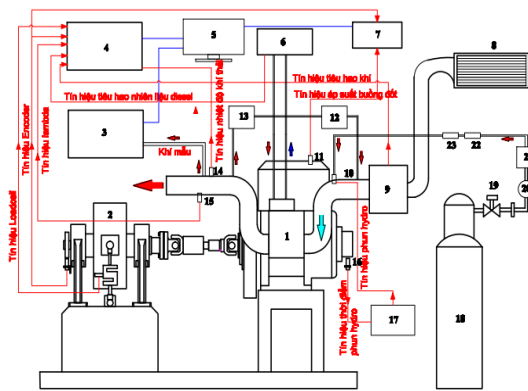
3.1. Hệ thống EHSy

Hình 13 trình bày hệ thống EHSy được lắp đặt trong quá trình thử nghiệm và cũng như vận hành sau này. Động cơ nghiên cứu được trang bị hệ thống EHSy là động cơ diesel bốn kỳ, một xi lanh R180, dung tích 0,402lít có công suất lớn nhất 5,17kW tại 2600 (v/ph). Động cơ sử dụng bơm cao áp kiểu Bosch và bộ điều tốc đa chế độ.

3.2. Trang thiết bị thử nghiệm

Hình 13 trình bày trang thiết bị thử nghiệm hệ thống EHSy trên động cơ R180. Thí nghiệm được thực hiện tại Trung tâm nghiên cứu động cơ, nhiên liệu và khí thải Trường Đại học Bách khoa Hà Nội.

3.3. Quy trình thử nghiệm



Hình 13. Sơ đồ hệ thống EHSy và hệ thống thử nghiệm

1. Động cơ thử nghiệm; 2. Bộ thử công suất; 3. Thiết bị phân tích khí thải; 4. Bộ thu thập dữ liệu; 5. Màn hình hiển thị; 6. Cảm biến đo tiêu hao nhiên liệu diesel; 7. Thiết bị đo áp suất buồng đốt; 8. Lọc khí; 9. Cảm biến lưu lượng khí nạp; 10. Vòi phun hydro; 11. Cảm biến đo áp suất buồng đốt; 12. Van EGR; 13. Bộ làm mát khí luân hồi; 14. Cảm biến nhiệt độ khí thải; 15. Cảm biến lambda; 16. Cảm biến thời điểm phun hydro; 17. ECU; 18. Bình hydro; 19. Van khóa cơ khí; 20. Bộ giảm áp; 21. Cảm biến lưu lượng hydro; 22. Van 1 chiều; 23. Van chống cháy ngược.

Quy trình chạy thử nghiệm bao gồm các giai đoạn như sau:

Giai đoạn 1: Xây dựng hàm số $P=f(d)$ tại 1500 (v/ph) của động cơ nguyên bản, với P là công suất động cơ, d là lượng nhiên liệu diesel tiêu thụ.

Giai đoạn 2: Xây dựng hàm số $P=f(s)$ của động cơ EHSy tại tốc độ 1500 (v/ph) khi tháo bỏ điều tốc cơ khí, với P là công suất động cơ, s là góc quay của động cơ servo.

Giai đoạn 3: Xây dựng hàm số $P=f(s,e,h)$, với P là công suất động cơ; s, e, h lần lượt là trị số góc quay servo, độ mở van EGR, thời gian phun hydro. Thử nghiệm được diễn ra tại các tải trọng với trình tự:

- Điều chỉnh góc quay servo để được tốc độ và công suất ở các tải trọng 1kW; 2kW; 3kW; 4kW. Ở mỗi tải trọng sẽ thu được tiêu hao nhiên liệu thực tế.
- Thực hiện giảm diesel (giảm góc quay servo) với các tỷ lệ là 5% đến 30% ở mỗi tải trọng (lúc này công suất động cơ sẽ giảm). Tỷ lệ nhiên liệu giảm được tính theo công thức (4):

$$= \frac{m_{Dtt}}{m_{Dbd}} \times 100\% \tag{4}$$

- Tính toán lượng hydro thay thế và điều khiển phun vào đường ống nạp. Lượng hydro thay thế được tính gần đúng theo công thức (5):

$$= m_{Dtt} \times \frac{LHV_D}{LHV_H} \tag{5}$$

- Thay đổi vị trí van luân hồi để duy trì được công suất như ban đầu của động cơ thuần diesel. Tại đây ghi nhận tỷ lệ luân hồi. Tỷ lệ luân hồi được xác định theo công thức (6):

$$\% EGR = \frac{V_{exhaust}}{V_{air} + V_{exhaust}} \times 100 \tag{6}$$

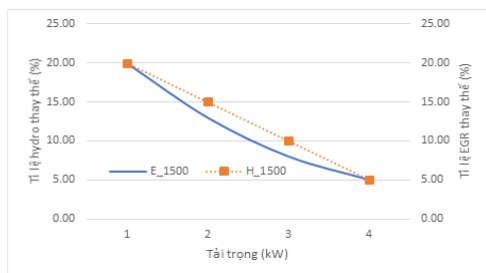
Các số liệu này được dùng để lập trình ECU. Việc thay thế hydro bằng diesel sẽ dừng lại khi xuất hiện kích nổ qua nghe tiếng gõ kim loại trong động cơ.

Trong đó m_{Dtt} là lượng diesel giảm, m_{Dbd} là lượng diesel ban đầu, LHV_D và LHV_H là nhiệt trị thấp của diesel và hydro (MJ/kg). $LHV_D = 42,8$ (MJ/kg) và $LHV_H = 119,7$ (MJ/kg);

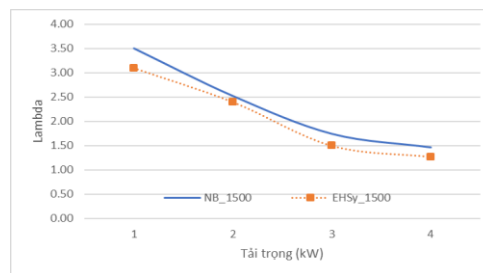
$V_{exhaust}$, V_{air} lần lượt là lưu lượng thể tích của khí thải và khí nạp.

Giai đoạn 4: Từ các dữ liệu đã có ở giai đoạn 2 và giai đoạn 3 sẽ tiến hành lập trình cho ECU.

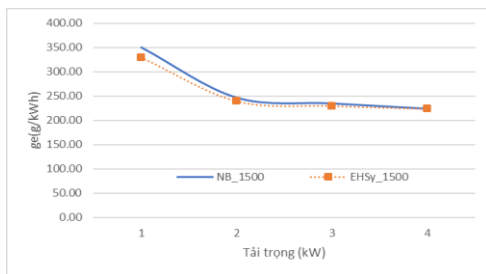
Giai đoạn 5: Thử nghiệm đánh giá khả năng làm việc của hệ thống EHSy khi đã hoàn thiện.



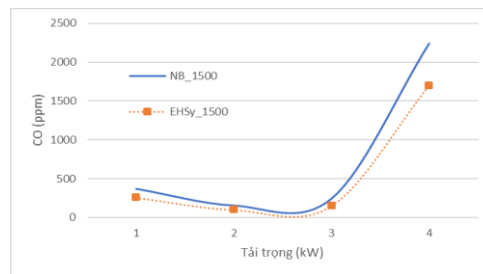
Hình 14. Tỷ lệ hydro và EGR thay thế tối ưu



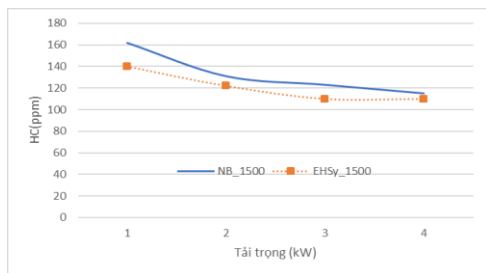
Hình 15. Hệ số lambda của động cơ NB và EHSy



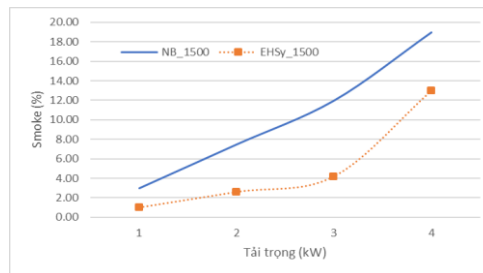
Hình 16. *ge* của động cơ NB và EHSy



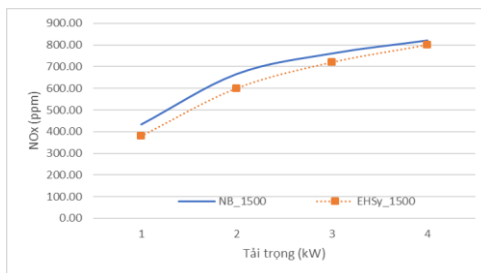
Hình 17. Phát thải CO của động cơ NB và EHSy



Hình 18. Phát thải HC của động cơ NB và EHSy



Hình 19. Phát thải Smoke của động cơ NB và EHSy



Hình 20. Phát thải NOx của động cơ NB và EHSy

4. Kết quả thử nghiệm

Động cơ được trang bị hệ thống EHSy làm việc ổn định ở tốc độ 1500 (v/ph). Các kết quả về tỷ lệ hydro thay thế, tỷ lệ luân hồi, hệ số lambda và suất tiêu hao nhiên liệu thể hiện ở các đồ thị từ Hình 14 đến Hình 16. Công suất và mô men động cơ EHSy được duy trì không đổi so với động cơ nguyên bản. Tỷ lệ hydro thay thế và EGR phụ thuộc vào tải trọng của động cơ. Suất tiêu hao nhiên liệu của động cơ EHSy giảm trung bình 3% so với nguyên bản. Trong nghiên cứu này tiêu hao nhiên liệu hydro được quy đổi ra nhiên liệu diesel.

Kết quả thử nghiệm đánh giá phát thải của động cơ EHSy được thể hiện từ Hình 17 đến Hình 20. Kết quả cho thấy các phát thải giảm trung bình so với nguyên bản lần lượt là: CO là 7%; HC là 13,5%; khói là 61%; NO_x là 4%.

Các kết quả ở trên có thể được giải thích như sau: khi thay thế nhiên liệu diesel (có gốc các-bon) bằng nhiên liệu hydro (không có gốc các-bon) tức là hàm lượng nhiên liệu tiêu thụ có nguồn gốc hóa thạch giảm, điều này sẽ làm cho lượng phát thải sẽ giảm. Thêm nữa hydro có nhiệt trị cao hơn diesel, khả năng khuếch tán tốt, tốc độ cháy nhanh sẽ làm cho hòa khí

diesel - hydro đồng đều hơn, điều này dẫn tới quá trình cháy triệt để nhiên liệu tại các vùng xa nguồn lửa trung tâm. Các lý do trên sẽ làm cho phát thải khói, HC, CO giảm. Mặc dù hydro có xu hướng làm giảm lượng không khí nạp và gia tăng sự hình thành NO_x nhưng với tỷ lệ hydro và EGR tối ưu thì quá trình cháy vẫn được duy trì ổn định và phát thải NO_x giảm so với động cơ NB (nguyên bản).

5. Kết luận

Từ các kết quả nghiên cứu trong bài báo, có thể rút ra một số kết luận như sau:

Đã nghiên cứu, thiết kế và chế tạo thành công hệ thống EHSy cho động cơ diesel R180 với khả năng làm việc ổn định, đáp ứng nhanh, hoạt động linh hoạt, chính xác cùng với việc lắp đặt thay thế đơn giản mà không mất nhiều chi phí cho việc chuyển đổi động cơ.

Việc sử dụng EHSy vẫn đảm bảo được công suất và mô men cho động cơ đồng thời tối ưu được lượng nhiên liệu hydro và diesel cung cấp cho các chế độ tải ở tốc độ 1500 (v/ph). Kết quả nghiên cứu cho thấy động cơ EHSy tại tốc độ 1500 (v/ph) và sẽ cho tiêu hao nhiên liệu và phát thải thấp hơn so với động cơ nguyên bản. Cụ thể suất tiêu hao nhiên liệu giảm 3%; CO là 7%; HC là 13,5%; khói là 61%; NO_x là 4%.

Có thể khẳng định việc sử dụng hệ thống EHSy là giải pháp hữu hiệu khi chuyển đổi động cơ thuần diesel sang lưỡng nhiên liệu diesel-hydro có trang bị hệ thống luân hồi khí thải.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] R. Banerjee, S. Roy, and P. K. Bose, *Hydrogen-EGR synergy as a promising pathway to meet the PM-NO_x-BSFC trade-off contingencies of the diesel engine: A comprehensive review*, International Journal of Hydrogen Energy, Vol.40, pp.12824-12847, 2015.
- [2] I. OECD, *Energy and Air Pollution: World Energy Outlook Special Report 2016*, 2016.

- [3] P. Sharma and A. Dhar, *Effect of hydrogen supplementation on engine performance and emissions*, International Journal of Hydrogen Energy, Vol.43, pp.7570-7580, 2018.
- [4] S. Nag, P. Sharma, A. Gupta, and A. Dhar, *Experimental study of engine performance and emissions for hydrogen diesel dual fuel engine with exhaust gas recirculation*, International Journal of Hydrogen Energy, Vol.44, pp.12163-12175, 2019.
- [5] M. Talibi, P. Hellier, R. Morgan, C. Lenartowicz, and N. Ladommatos, *Hydrogen-diesel fuel co-combustion strategies in light duty and heavy duty CI engines*, International Journal of Hydrogen Energy, Vol.43, pp.9046-9058, 2018.
- [6] H.-W. Wu and Z.-Y. Wu, *Investigation on combustion characteristics and emissions of diesel/hydrogen mixtures by using energy-share method in a diesel engine*, Applied Thermal Engineering, Vol.42, pp.154-162, 2012.
- [7] V. SinghYadav, S. L. Soni, and D. Sharma, *Performance and emission studies of direct injection C.I. engine in dual fuel mode (hydrogen-diesel) with EGR*, International Journal of Hydrogen Energy, Vol.37, pp.3807-3817, 2012.
- [8] P. K. Bose and D. Maji, *An experimental investigation on engine performance and emissions of a single cylinder diesel engine using hydrogen as inducted fuel and diesel as injected fuel with exhaust gas recirculation*, International Journal of Hydrogen Energy, Vol.34, pp.4847-4854, 2009.

Ngày nhận bài:	27/6/2021
Ngày nhận bản sửa:	05/8/2021
Ngày duyệt đăng:	15/8/2021