

CHUYỂN ĐỔI ĐỘNG CƠ TĨNH TẠI TRUYỀN THỐNG THÀNH ĐỘNG CƠ PHUN XĂNG TRÊN ĐƯỜNG NẠP

CONVERSION OF A TRADITIONAL GASOLINE STATIONARY ENGINE INTO A PI ENGINE

Bùi Văn Ga, Lê Minh Tiến, Bùi Văn Hùng, Lê Minh Triết

Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng; buivanga@ac.udn.vn

Tóm tắt - Dựa trên mô phỏng giản đồ phun nhiên liệu và đánh lửa, hệ thống điều khiển điện tử gồm ECU APITech mở cùng với bộ cảm biến của xe gắn máy EFI được lắp đặt để chuyển động cơ xăng truyền thống thành động cơ phun xăng. Mô phỏng cho thấy ở tốc độ thấp, hệ số tương đương ổn định ngay trong kỳ nạp nhưng ở tốc độ cao, hệ số tương đương tăng nhẹ và đạt giá trị ổn định vào cuối kỳ nén. Công suất chu trình giảm khi tăng tốc độ động cơ và đạt giá trị cực đại tại góc đánh lửa sớm tối ưu. Góc đánh lửa sớm tối ưu tăng tuyến tính theo tốc độ động cơ ở một chế độ tải cho trước tuy nhiên ứng với một tốc độ cho trước, góc đánh lửa sớm chỉ giảm nhẹ theo tải động cơ. Cùng chế độ tải, khi tăng tốc độ động cơ thì góc phun tăng nhưng không tuyến tính. Động cơ sau khi cải tạo có mức độ ổn định tốc độ và khả năng đáp ứng tải được cải thiện so với động cơ nguyên thủy.

Từ khóa - Động cơ phun xăng; Giản đồ phun nhiên liệu; Giản đồ đánh lửa; Hệ số tương đương; Phun nhiên liệu vào đường nạp

1. Giới thiệu

Phần lớn các động cơ xăng tĩnh tại hay động cơ lắp trên các máy móc nông nghiệp hiện nay đều sử dụng công nghệ cấp nhiên liệu truyền thống bằng phương pháp hút qua bộ chế hòa khí và có định góc đánh lửa sớm. Vì thế khi chế độ tải của động cơ thay đổi thì hiệu quả công tác của động cơ giảm dẫn đến tăng suất tiêu hao nhiên liệu và tăng mức độ phát thải ô nhiễm môi trường. Việc tìm kiếm các giải pháp kỹ thuật để nâng cao hiệu quả công tác, giảm tiêu hao nhiên liệu và giảm phát thải ô nhiễm môi trường cho các loại động cơ này vì thế có ý nghĩa rất thiết thực.

Có nhiều giải pháp cải thiện hiệu quả công tác của động cơ đã được áp dụng trên động cơ hiện đại. Tổ chức quá trình cháy phân lớp giúp cải thiện đáng kể chất lượng công tác của động cơ [1-6]. Giải pháp này đi kèm việc cải tạo buồng cháy và bố trí vòi phun để đảm bảo cho khi đánh lửa, khu vực quanh bu-gi có thành phần hỗn hợp tối ưu. Sau khi cháy bộ phận hỗn hợp này, do nhiệt độ tăng cao nên phần hỗn hợp nghèo còn lại có thể bốc cháy. Một số giải pháp tổ chức quá trình cháy tổ ưu khác đã được áp dụng trên những động cơ thể hệ mới. Giải pháp HCCI [7-9] có thể được xem là kỹ thuật trung gian giữa động cơ diesel và động cơ xăng. Hỗn hợp được chuẩn bị trước và bốc cháy từ nhiều điểm khác nhau trong buồng cháy thay vì chỉ một điểm như động cơ đánh lửa truyền thống. Tuy nhiên giải pháp này rất khó kiểm soát được thời điểm đánh lửa khi áp dụng trên động cơ có chế độ tải thay đổi. Công nghệ RCCI [10-12] sử dụng nhiên liệu nhiều thành phần khác nhau cho phép kiểm soát được phản ứng cháy từ đó điều khiển được quá trình tỏa nhiệt, nâng cao hiệu suất nhiệt và giảm phát thải ô nhiễm. Những công nghệ này đòi hỏi thay đổi căn bản buồng cháy, phương pháp cung cấp nhiên liệu nên chỉ có thể được áp dụng trên

Abstract - Based on the simulation of the fuel injection and advance ignition maps, an electronic control system consisting of an open ECU APITech along with the sensors of the EFI motorcycle have been installed to convert the traditional gasoline engine into the port injection engine. Simulation results show that at low engine speed, the equivalence ratio reaches stable value during the intake process but at high speed, the equivalence ratio increases slightly and reaches stable value at the end of the compression process. The indicated engine cycle work decreases with an increase of engine speed and reaches peak value at the optimal advance ignition angle which decreases slightly with the load regime. At a given load regime, the advance ignition angle increases almost linearly but the injection angle non-linearly increases according to the engine speed. The speed stability and the load-response capacity of the engine are improved with the retrofitted electronic control system.

Key words - SI engine; Fuel Injection Map; Advance Ignition Map; Equivalence Ratio; Port Fuel Injection

những động cơ thiết kế chế tạo mới.

Đối với động cơ thông thường lắp trên phương tiện giao thông cơ giới, công nghệ phun xăng điều khiển điện tử cùng với kiểm soát thời điểm đánh lửa tối ưu đã tạo nên một bước phát triển dài so với công nghệ cung cấp xăng qua bộ chế hòa khí và đánh lửa truyền thống. Công nghệ này đã cho phép kiểm soát được hệ số tương đương của hỗn hợp khí động cơ hoạt động ở các chế độ tải khác nhau. Nhờ đó người ta có thể bố trí bộ xúc tác 3 chức năng trên đường thải để xử lý triệt để các chất ô nhiễm. Các động cơ này có thể đạt được tiêu chuẩn EURO 4 hay cao hơn nhờ cài đặt hợp lý giản đồ phun nhiên liệu và giản đồ đánh lửa [13-15].

Đối với động cơ tĩnh tại đánh lửa cưỡng bức do chế độ công tác ít thay đổi nên việc nghiên cứu áp dụng các công nghệ tổ chức quá trình cháy hiện đại như HCCI hay RCCI thực sự không cần thiết. Tuy nhiên việc cải tạo, nâng cấp hệ thống cung cấp nhiên liệu và đánh lửa của các động cơ này sẽ mang lại lợi ích rất thiết thực để nâng cao độ tin cậy và hiệu quả sử dụng nhiên liệu cũng như giảm phát thải ô nhiễm môi trường. Bước chuyển đổi công nghệ này cũng tương tự như chuyển đổi thể hệ xe gắn máy cũ sử dụng bộ chế hòa khí sang xe gắn máy thể hệ mới phun nhiên liệu.

Trong công trình này chúng tôi sẽ tập trung nghiên cứu mô phỏng giản đồ phun nhiên liệu và giản đồ đánh lửa. Trên cơ sở đó chúng tôi tiến hành cải tạo một động cơ tĩnh tại chạy xăng truyền thống kéo máy phát điện thành động cơ phun xăng điều khiển điện tử nhờ các thiết bị tương thích đã được thương mại hóa rộng rãi.

2. Nghiên cứu mô phỏng

2.1. Thiết lập mô hình

Mô phỏng được thực hiện trên động cơ 168FB kéo

máy phát điện SAMDI S3600B-1. Động cơ này có tính năng tương đương động cơ Honda GX200. Thông số kỹ thuật của động cơ cho trên Bảng 1.

Bảng 1. Thông số kỹ thuật của động cơ 168FB

Loại động cơ	4 kỳ, 1 xilanh
Công suất cực đại	4,8 kW/3600 vòng/phút
Momen cực đại	12,4 N.m/2500 vòng/phút
Dung tích xi lanh	196 cm ³
Đường kính x hành trình piston	68 x 54 mm
Góc đánh lửa sớm	20°
Tỷ số nén	8,5: 1

Động cơ nguyên thủy được cung cấp xăng qua bộ chế hòa khí, góc đánh lửa sớm cố định. Trong nghiên cứu này chúng tôi cải tạo hệ thống cung cấp nhiên liệu và đánh lửa của động cơ sang điều khiển điện tử. Bộ chế hòa khí được thay thế bằng hệ thống phun xăng. Góc đánh lửa sớm của động cơ được thay đổi theo chế độ công tác. Hoạt động của động cơ được điều khiển bởi ECU với các thông số do các cảm biến cung cấp.

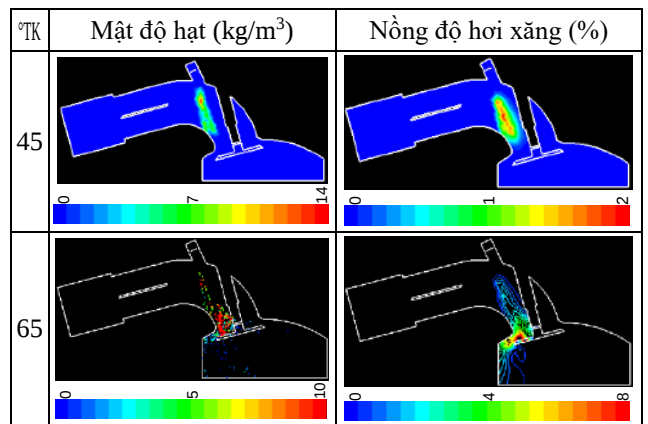
Không gian tính toán bao gồm đường nạp, buồng cháy và xi lanh động cơ. Lưới động (Dynamic Mesh) được áp dụng cho không gian xi lanh động cơ. Các vùng còn lại của không gian tính toán được giữ lưới cố định. Khi bắt đầu kỳ nén, không gian đường nạp được tách rời (Deactive) để giảm thời gian tính toán.

Mô phỏng được thực hiện từ đầu quá trình nạp đến cuối quá trình dẫn nở. Hiện tượng rối của dòng khí được mô tả qua mô hình k- ϵ . Quá trình phun xăng và bốc hơi hạt nhiên liệu lỏng được biểu diễn thông qua mô hình Break up như đã được mô tả trong các công trình đã công bố trước đây [16-17]. Hệ số tương đương được xác lập cục bộ trong buồng cháy trong quá trình trao đổi chất giữa không khí và hơi nhiên liệu [18-19]. Tính toán thông số nhiệt động học của hỗn hợp và quá trình cháy được sử dụng mô hình Partially Premixed [20].

2.2. Mô phỏng gián đồ phun nhiên liệu

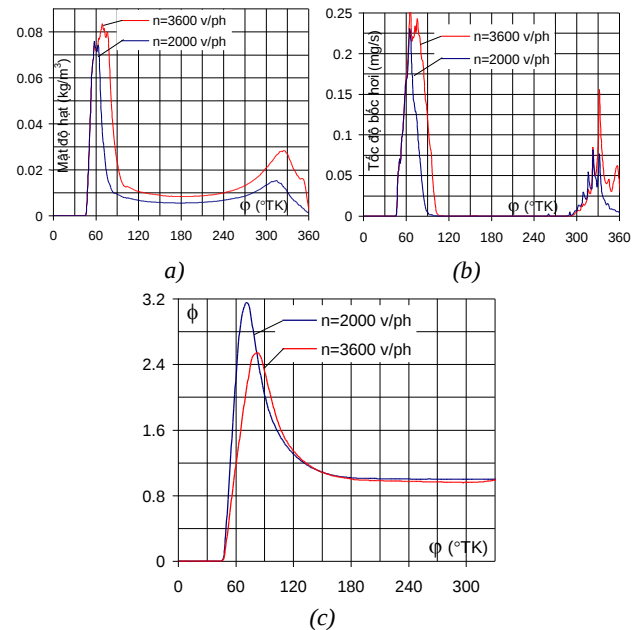
Điều kiện lý tưởng là giữ hệ số tương đương của hỗn hợp ở giá trị cháy hoàn toàn lý thuyết ở bất kỳ chế độ công tác nào của động cơ. Vì thể lượng nhiên liệu phun ra khỏi vòi phun phải tỉ lệ với lượng không khí nạp vào xi lanh động cơ. Lượng không khí này phụ thuộc vào các thông số chính là độ mở bướm ga, tốc độ động cơ, áp suất và nhiệt độ khí nạp. Trong điều kiện động cơ không tăng áp, chúng ta có thể xem áp suất và nhiệt độ khí nạp ổn định. Do đó lượng nhiên liệu cung cấp cho mỗi chu trình phụ thuộc vào tốc độ động cơ và độ mở bướm ga.

Trong mô phỏng này chúng tôi sử dụng vòi phun xăng gồm 6 lỗ phun đường kính 0,1mm. Lưu lượng xăng phun ra mỗi lỗ phun là 2mg/s. Sau khi thoát ra khỏi vòi phun, hạt nhiên liệu bốc hơi nhanh chóng và hòa trộn với không khí đi vào xi lanh. Hình 1 giới thiệu biến thiên mật độ hạt nhiên liệu và nồng độ hơi xăng tại vị trí 45°TK và 65°TK (°TK là độ tính theo góc quay trục khuỷu). Nhiên liệu bắt đầu phun ở 40°TK và kết thúc ở 70°TK. Chúng ta thấy một bộ phận hạt nhiên liệu chưa kịp bốc hơi bị dòng khí nạp kéo vào xi lanh và tiếp tục bốc hơi cho đến cuối kỳ nén.



Hình 1. Đường đồng mức mật độ hạt nhiên liệu lỏng và nồng độ hơi xăng ($n=3600$ vòng/phút, 100% tải, bắt đầu phun 40°TK)

Hình 2a và Hình 2b so sánh biến thiên mật độ hạt nhiên liệu và tốc độ bốc hơi hạt nhiên liệu lỏng trong xi lanh theo góc quay trục khuỷu động cơ. Ở tốc độ thấp, do thời gian nạp kéo dài nên hạt nhiên liệu hầu như bốc hơi hoàn toàn trong kỳ nạp làm cho hệ số tương đương đạt giá trị ổn định sớm. Khi tăng tốc độ động cơ, thời gian kỳ nạp giảm, thời gian bốc hơi hạt nhiên liệu lỏng kéo dài. Đến cuối quá trình nén, khi nhiệt độ hỗn hợp tăng, bộ phận hạt nhiên liệu cuối cùng bốc hơi hoàn toàn. Đường cong hệ số tương đương tăng nhẹ cuối quá trình nén khi động cơ chạy ở tốc độ cao (Hình 2c).

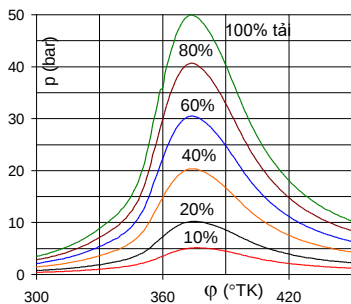


Hình 2. Biến thiên mật độ hạt (a), tốc độ bốc hơi nhiên liệu (b) lỏng và hệ số tương đương (c) theo góc quay trục khuỷu

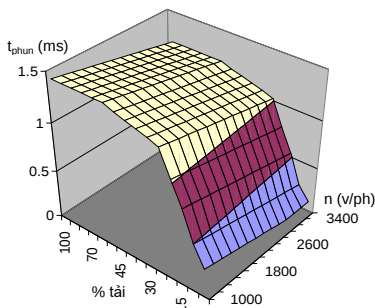
Khi tốc độ động cơ tăng thì góc phun cũng tăng để đảm bảo cùng một lượng nhiên liệu cho trước cung cấp vào động cơ. Tuy nhiên góc phun không tỉ lệ với tốc độ động cơ vì khi tốc độ động cơ tăng thì hệ số nạp giảm làm lượng không khí nạp vào xi lanh giảm. Do đó với cùng độ mở bướm ga, lượng nhiên liệu cung cấp cho chu trình khi động cơ chạy ở tốc độ cao nhỏ hơn lượng nhiên liệu cung cấp cho chu trình khi động cơ chạy ở tốc độ thấp. Với vòi phun 6 lỗ sử dụng trong tính toán này thì thời gian phun ở tốc độ động cơ 2000, 2400, 2800, 3200 và 3600 vòng/phút theo thứ tự là 17, 20, 23, 27 và 30ms.

Khi giảm tải động cơ (bướm ga đóng nhỏ) thì áp suất trong xi lanh giảm, nghĩa là lượng không khí nạp vào xi lanh giảm (Hình 3). Do đó lượng nhiên liệu cung cấp cho mỗi chu trình cũng giảm theo tải động cơ ứng với tốc độ động cơ cho trước. Áp suất của hỗn hợp tại thời điểm 330°TK trước khi đánh lửa theo tính toán lần lượt là 1, 1,8, 3,5, 5, 6,5 và 8,5 bar tương ứng với tải động cơ là 10, 20, 40, 60, 80 và 100%. Như vậy cùng tốc độ động cơ cho trước khi tải động cơ thay đổi thì thời gian phun cũng thay đổi theo tỉ lệ với áp suất trên đây.

Trong mô phỏng này, bướm ga quay từ 0° (bướm ga mở hoàn toàn) đến 60° (bướm ga đóng kín). Khi bướm ga đóng dần từ 0° đến khoảng 30° , tải động cơ hầu như không thay đổi nhiều. Sau đó, khi bướm ga tiếp tục đóng thì tải thay đổi mạnh. Hình 4 giới thiệu kết quả mô phỏng giảm đồ phun nhiên liệu dựa vào tính toán thời gian phun theo tốc độ động cơ và chế độ tải đã mô tả trên đây.



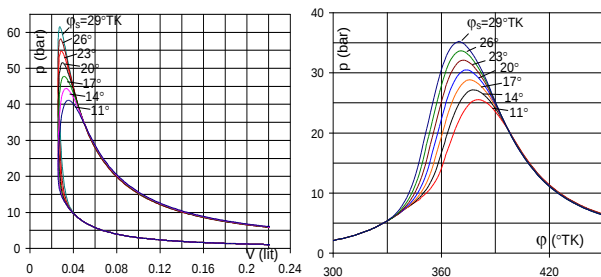
Hình 3. Ảnh hưởng của chế độ tải đến biến thiên áp suất trong xi lanh ($n=3000$ vòng/phút)



Hình 4. Giảm đồ phun nhiên liệu

2.3. Mô phỏng giảm đồ đánh lửa

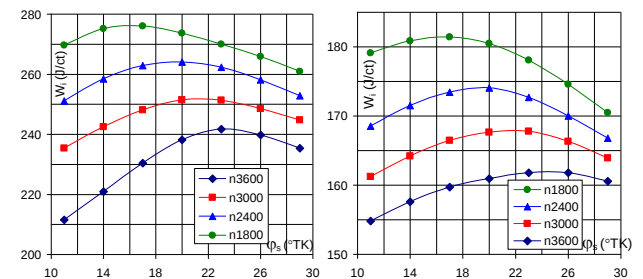
Hình 5a giới thiệu ảnh hưởng của góc đánh lửa sớm đến đồ thị công của động cơ với tốc độ 3600 vòng/phút ở chế độ toàn tải. Chúng ta thấy khi tăng góc đánh lửa sớm thì áp suất cực đại trong xi lanh tăng và điểm cực đại áp suất tiến dần về ĐCT. Do áp suất bắt đầu tăng sớm nên đánh lửa sớm làm tăng phần công âm trước ĐCT, công chỉ thị chu trình vì thế không tỉ lệ thuận với áp suất cực đại.



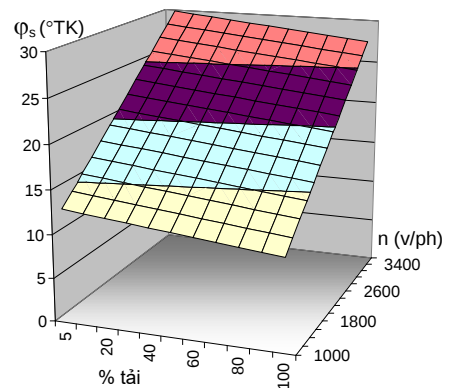
Hình 5. Ảnh hưởng của góc đánh lửa sớm đến biến thiên áp suất trong xi lanh: động cơ chạy toàn tải (a); chạy 60% tải (b)

Hình 5b giới thiệu ảnh hưởng góc đánh lửa sớm đến biến thiên áp suất trong xi lanh khi động cơ chạy ở tốc độ 3000 vòng/phút, 60% tải. So với Hình 5a chúng ta thấy áp suất cực đại trong xi lanh giảm mạnh khi giảm độ mở bướm ga. Tương tự như trên, đánh lửa muộn dẫn đến giảm áp suất cực đại và đỉnh áp suất dịch ra xa ĐCT.

Hình 6a và Hình 6b biểu diễn biến thiên công chỉ thị chu trình (W_i) theo góc đánh lửa sớm (ϕ_s) khi động cơ chạy ở các tốc độ khác nhau ở chế độ 100% tải và 60% tải. Chúng ta thấy rõ ràng ở một chế độ tải và chế độ tốc độ cho trước, đường cong $W_i(\phi_s)$ có một điểm cực đại tương ứng với góc đánh lửa sớm tối ưu. Trên thực tế khi tốc độ động cơ tăng thì thời gian dành cho quá trình cháy giảm xuống nên góc đánh lửa sớm phải tăng lên để đảm bảo hỗn hợp cháy hoàn toàn. Hình 6a, Hình 6b cho thấy góc đánh lửa sớm tối ưu giảm khi giảm tốc độ động cơ. Ở một tốc độ động cơ cho trước, khi đóng nhỏ bướm ga thì góc đánh lửa sớm tối ưu tăng nhẹ. Góc đánh lửa sớm tối ưu phụ thuộc vào tốc độ cháy cơ bản của hỗn hợp. Tốc độ cháy cơ bản tăng theo nhiệt độ nhưng giảm khi tăng áp suất cháy. Khi giảm tải thì áp suất và nhiệt độ đều giảm. Tác động của nhiệt độ lớn hơn tác động của áp suất đến tốc độ cháy cơ bản nên giá trị của nó giảm nhẹ dẫn đến góc đánh lửa sớm tối ưu tăng nhẹ khi giảm tải.



Hình 6. Biến thiên công chỉ thị chu trình theo góc đánh lửa sớm khi động cơ chạy toàn tải (a) và khi chạy 60% tải (b)

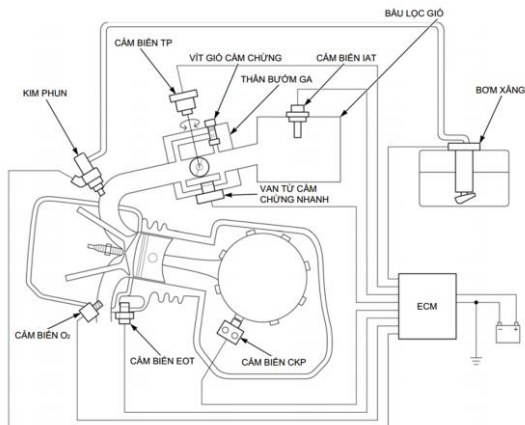


Hình 7. Giảm đồ đánh lửa động cơ 168FB sau khi cải tạo

Các Hình 6a, Hình 6b cũng cho thấy góc đánh lửa sớm tối ưu thay đổi gần như tuyến tính theo tốc độ động cơ. Hình 7 giới thiệu giảm đồ đánh lửa của động cơ dựa trên kết quả tính toán mô phỏng quá trình cháy trên đây. Góc đánh lửa sớm tối ưu có thể biểu diễn bằng mặt phẳng trong tọa độ (ϕ_s , n , L). Mặt phẳng góc đánh lửa sớm tối ưu dốc nhẹ theo trục tải L nhưng dốc mạnh theo trục tốc độ n . Mỗi quan hệ ϕ_s , n , L cho phép chúng ta cài đặt vào bộ nhớ của ECU để điều khiển quá trình đánh lửa động cơ sau khi chuyển đổi.

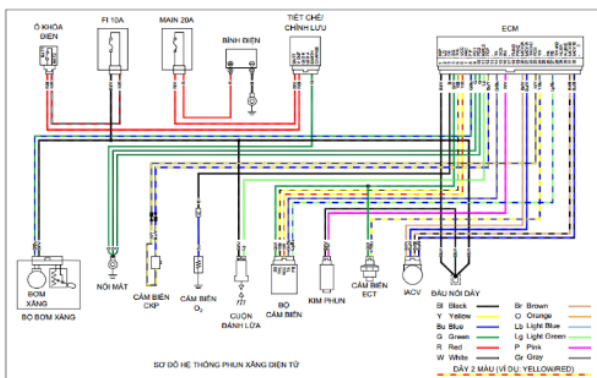
3. Lắp đặt hệ thống điều khiển điện tử cho động cơ

Trên cơ sở giản đồ phun và giản đồ đánh lửa đã trình bày ở phần nghiên cứu mô phỏng trên đây, chúng tôi thực hiện việc lắp đặt hệ thống điện tử để cải tạo động cơ Samdi 168FB. Công suất của động cơ là 6,5HP, tương đương xe gắn máy nên chúng ta có thể chọn hệ thống EFI được lắp trên các loại xe gắn máy phun xăng điện tử để lắp trên động cơ cải tạo. Để điều khiển vòi phun và hệ thống đánh lửa phù hợp với động cơ cải tạo, chúng tôi sử dụng ECU APITech 9.0. Đây là ECU mở, cho phép chúng ta nạp giản đồ điều khiển vòi phun và giản đồ điều khiển hệ thống đánh lửa theo thiết kế.



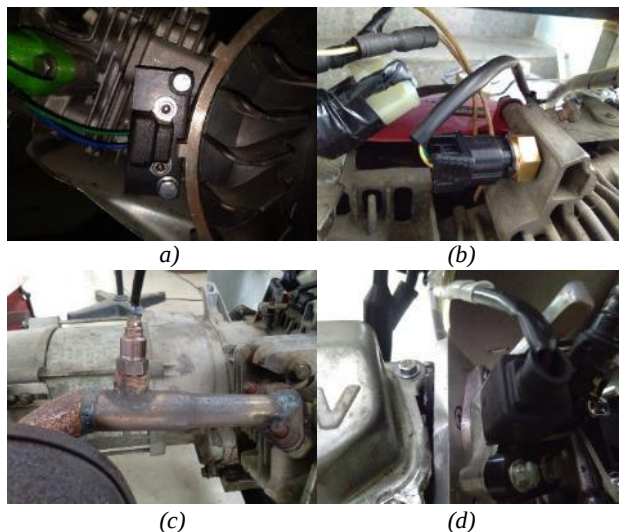
Hình 8. Sơ đồ lắp đặt hệ thống điều khiển phun xăng và đánh lửa động cơ 168FB

Các cảm biến cung cấp dữ liệu điều khiển cho ECU gồm cảm biến tốc độ và ĐCT, cảm biến nhiệt độ, cảm biến vị trí bướm ga, cảm biến lưu lượng khí nạp, cảm biến oxygen được sử dụng là bộ cảm biến của xe gắn máy EFI. Các cảm biến này cung cấp các thông số gồm: vị trí ĐCT, tốc độ động cơ, chế độ tải, lưu lượng khí nạp để ECU tính toán thời gian mở vòi phun và thời điểm bật tia lửa điện. Bên cạnh đó, cảm biến oxygen gửi tín hiệu phản hồi về hệ số dư lượng không khí để ECU điều chỉnh lượng nhiên liệu phun phù hợp, đảm bảo hệ số tương đương luôn luôn xấp xỉ 1. Sơ đồ mạch điện kết nối tín hiệu của các cảm biến và tín hiệu điều khiển vòi phun, điều khiển đánh lửa của động cơ sau khi cải tạo như Hình 9.



Hình 9. Sơ đồ mạch điện điều khiển hệ thống phun xăng và đánh lửa của động cơ 168FB sau khi cải tạo

Vị trí lắp đặt các cảm biến trên động cơ 168FB như các Hình 10a, b, c, d. Một vòng tạo xung được gia công lắp đặt trên bánh đà của động cơ để xác định tốc độ và ĐCT. Một bộ gá đặt được chế tạo để lắp cụm bướm ga-



Hình 10. Lắp đặt cảm biến tốc độ và ĐCT (a), cảm biến nhiệt độ (b), cảm biến oxygen (c) và vòi phun lên động cơ 168FB



Hình 11. Động cơ 168FB sau khi lắp đặt hệ thống điều khiển điện tử

Sau khi lắp đặt xong toàn bộ hệ thống cảm biến và điều khiển, chúng ta tiến hành cài đặt các thông số cho ECU theo tính toán mô phỏng trên đây. ECU APITech hỗ trợ giảm đồ với độ phân giải 30 vị trí bướm ga và 25 tốc độ động cơ. Trước khi cho động cơ hoạt động, ta cần phải thiết lập các thông số ban đầu cho ECU gồm: cài đặt điện áp cảm biến vị trí bướm ga (0,55-0,45 V); cài đặt tốc độ hoạt động tối đa của động cơ (4000 v/ph); cài đặt giảm đồ góc đánh lửa (giá trị góc đánh lửa sớm trên bản đồ tính theo độ); cài đặt thời gian phun xăng (giá trị thời gian phun xăng trên bản đồ bằng thời gian phun thực nhân 10, đơn vị tính bằng ms). Ngoài ra chúng ta có thể cài đặt thêm các thông tin phụ như gia tốc, khởi động, hạn chế nhiệt độ... Khi động cơ hoạt động, các thông số từ các cảm biến sẽ được hiển thị trên phần mềm theo dõi. Trong quá trình hoạt động của động cơ chúng ta theo dõi và điều chỉnh các thông số để đảm bảo cho động cơ hoạt động tối ưu như mong muốn.

Động cơ 168FB sau khi cải tạo được giới thiệu trên

Hình 11. Động cơ được thử nghiệm khi thay đổi tải điện của máy phát. Kết quả cho thấy, với hệ thống phun xăng và đánh lửa điều khiển điện tử động cơ gia tốc nhanh, có độ ổn định tốc độ và khả năng đáp ứng tải tốt hơn động cơ nguyên thủy. Công suất cực đại của động cơ tương đương với mức công suất cực đại như trước khi cải tạo. Việc đo đạc chi tiết các thông số kỹ thuật và mức độ phát thải ô nhiễm của động cơ sau khi cải tạo sẽ được công bố trong những công trình tiếp theo.

4. Kết luận

Kết quả nghiên cứu trên đây cho phép chúng ta rút ra được những kết luận sau:

- Khi tốc độ động cơ tăng, quá trình bốc hơi kéo dài làm cho hệ số tương đương tăng nhẹ theo góc quay trục khuỷu và đạt giá trị ổn định vào cuối kỳ nén; khi động cơ chạy ở tốc độ thấp, hệ số tương đương đạt giá trị ổn định ngay trong kỳ nạp.

- Công chi thị chu trình giảm khi tăng tốc độ động cơ. Ứng với một tốc độ cho trước, công chi thị chu trình biến thiên theo góc đánh lửa sớm và đạt giá trị cực đại tại góc đánh lửa sớm tối ưu.

- Cùng chế độ tải, khi tăng tốc độ động cơ thì góc phun tăng nhưng không tuyến tính. Cùng tốc độ động cơ, góc phun giảm khi giảm độ mở bướm ga; tốc độ giảm góc phun tăng nhanh trong vùng bướm ga đóng nhỏ.

- Góc đánh lửa sớm tối ưu tăng gần như tuyến tính theo tốc độ động cơ ở một chế độ tải cho trước. Ứng với một chế độ tốc độ cho trước, góc đánh lửa sớm giảm nhẹ khi tăng tải động cơ.

- Có thể sử dụng ECU APITech mở cùng với bộ cảm biến và hệ thống phun nhiên liệu của xe gắn máy EFI để cải tạo động cơ xăng truyền thống thành động cơ phun xăng điều khiển điện tử.

- Với hệ thống điều khiển điện tử quá trình phun và đánh lửa, khả năng đáp ứng tải và mức độ ổn định tốc độ của động cơ tốt hơn động cơ nguyên thủy.

Lời cảm ơn: Các tác giả xin cảm ơn Bộ Giáo dục và Đào tạo đã hỗ trợ cho nghiên cứu này thông qua đề tài “Nghiên cứu tính năng kinh tế kỹ thuật và mức độ phát thải ô nhiễm của động cơ cỡ nhỏ sử dụng hỗn hợp nhiên liệu biogas-hydrogen”, mã số: CTB2018-DNA.01.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] U. Spicher, T. Heidenreich: *Stratified-charge combustion in direct injection gasoline engines*. Advanced Direct Injection Combustion Engine Technologies and Development: Gasoline and Gas Engines, 2010, Pages 20-44. <https://doi.org/10.1533/9781845697327.2>
- [2] Seiko Kono: *Study of the stratified charge and stable combustion in DI gasoline engines*. JSAE Review, Volume 16, Issue 4, October 1995, Pages 363-368. [https://doi.org/10.1016/0389-4304\(95\)00032-3](https://doi.org/10.1016/0389-4304(95)00032-3)
- [3] Teruyuki Itoh, Akihiro Iiyama, Shigeo Muranaka, Yasuo Takagi: *Combustion characteristics of a direct-injection stratified charge S.I. engine*. JSAE Review, Volume 19, Issue 3, 1 July 1998, Pages 217-222. [https://doi.org/10.1016/S0389-4304\(98\)00008-3](https://doi.org/10.1016/S0389-4304(98)00008-3)
- [4] Bui Van Ga: *Nghiên cứu kỹ thuật tạo hỗn hợp phân lớp cho động cơ dùng nhiên liệu khí dầu mỏ hóa lỏng LPG*. International Conference on Automotive Technology ICAT'99, pp. 101-107 Hà Nội, October 21-24, 1999.
- [5] Bui Van Ga, Nguyen Ngoc Linh, Nguyen huu Huong: *Tạo hỗn hợp*

phân lớp trong buồng cháy động cơ phun LPG trực tiếp bằng cánh hướng dòng đặt trước xú páp nạp. Tạp chí Giao thông vận tải, số 7/2003, pp. 55-58, 2003.

- [6] Bui Van Ga, Pham Xuan Mai, Nguyen Huu Huong, Nguyen Ngoc Linh: *Động cơ cháy phân lớp sử dụng khí dầu mỏ hóa lỏng LPG*. Hội nghị Nghiên cứu Khoa học, chuyên giao công nghệ môi trường phục vụ đào tạo và bảo vệ môi trường công nghiệp, Thành phố Hồ Chí Minh, ngày 22-23/8/2003, pp. 347-354.
- [7] Harisankar Bendu, S. Murugan: *Homogeneous charge compression ignition (HCCI) combustion: Mixture preparation and control strategies in diesel engines*. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Volume 38, October 2014, Pages 732-746. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.019>
- [8] Kazunobu Kobayashi, Takahiro Sako, Yoshimi Sakaguchiet al.: *Development of HCCI natural gas engines*. Journal of Natural Gas Science and Engineering, Volume 3, Issue 5, October 2011, Pages 651-656.
- [9] Gun WoongBahng, Dongsoon Jang, Youngtae Kim, Misoo Shin: *A new technology to overcome the limits of HCCI engine through fuel modification*. Applied Thermal Engineering, Volume 98, 5 April 2016, Pages 810-815. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2015.12.076>
- [10] Rolf D.Reitz, Ganesh Duraisamy: *Review of high efficiency and clean reactivity controlled compression ignition (RCCI) combustion in internal combustion engines*. Progress in Energy and Combustion Science, Volume 46, February 2015, Pages 12-71. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2014.05.003>
- [11] Chao Zhang, Chunhu Zhanga, Le Xue, Yangyang Lia: *Combustion characteristics and operation range of a RCCI combustion engine fueled with direct injection n-heptane and pipe injection n-butanol*. Energy, Volume 125, 15 April 2017, Pages 439-448. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.02.148>
- [12] Guangfu Xu, Ming Jia, Yaopeng Li et al.: *Potential of reactivity controlled compression ignition (RCCI) combustion coupled with variable valve timing (VVT) strategy for meeting Euro 6 emission regulations and high fuel efficiency in a heavy-duty diesel engine*. Energy Conversion and Management, Volume 171, 1 September 2018, Pages 683-698. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.06.034>
- [13] Yonggyu Lee, Seungmook Oha, Changup Kim et al.: *The dual-port fuel injection system for fuel economy improvement in an automotive spark-ignition gasoline engine*. Applied Thermal Engineering, Volume 138, 25 June 2018, Pages 300-306. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018.04.027>
- [14] Khanh Nguyen Duc, Vinh Nguyen Duy, Long Hoang et al.: *Performance and emission characteristics of a port fuel injected, spark ignition engine fueled by compressed natural gas*. Sustainable Energy Technologies and Assessments, Volume 31, February 2019, Pages 383-389. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2018.12.018>
- [15] Dengquan Feng, Haiqiao Wei, Mingzhang Pan et al.: *Combustion performance of dual-injection using n-butanol direct-injection and gasoline port fuel-injection in a SI engine*. Energy, Volume 160, 1 October 2018, Pages 573-581. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.07.042>
- [16] V.G. Bui, V.N. Tran, V.D. Nguyen, Q.T. Nguyen, T.T. Huynh: *Octane number stratified mixture preparation by gasoline-ethanol dual injection in SI engines*. International Journal of Environmental Science and Technology 16(7), pp. 3021-3034, (2018). <https://doi.org/10.1007/s13762-018-1942-1>, Publisher Springer Berlin Heidelberg.
- [17] Bui Van Ga, Tran Van Nam, Nguyen Quang Trung, Huynh Tan Tien: *Evaporation and mixture formation of gasoline-ethanol sprays in spark ignition engines with pre-blended injection and dual injection: a comparative study*. IET Renewable Power Generation, Volume: 13, Issue: 4, 2019, pp. 539-548, doi: 10.1049/iet-rpg.2018.5106.
- [18] Bui Van Ga, Bui Thi Minh Tu, Truong Le Bích Trâm, Bui Van Hung: *Technique of Biogas-HHO Gas Supply for SI Engine*. International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), Vol. 8 Issue 05, May-2019, pp. 669-674.
- [19] Bùi Văn Ga, Võ Anh Vũ, Bùi Thị Minh Tú, Bùi Văn Hùng, Trương Lê Bích Trâm, Phạm Văn Quang: *Kiểm soát tỉ lệ không khí/nhiên liệu của động cơ đánh lửa cưỡng bức chạy bằng biogas nghèo pha HHO*. Tạp chí Khoa học và Công nghệ-Đại học Đà Nẵng, Vol. 17, No. 3, 2019.
- [20] Bùi Văn Ga, Bùi Thị Minh Tú, Trương Lê Bích Trâm, Võ Như Tùng, Đỗ Xuân Huy: *Cải thiện quá trình cháy động cơ chạy bằng biogas nghèo nhờ cung cấp bổ sung hydroxyl (HHO)*. Tạp chí Khoa học và Công nghệ-Đại học Đà Nẵng, Vol. 17, No. 1.1, 2019, pp. 35-41.