

THIẾT KẾ, CHẾ TẠO HỆ THỐNG ĐÁNH LỬA ĐIỆN TỬ CHO ĐỘNG CƠ SỬ DỤNG LPG KÉO MÁY PHÁT ĐIỆN CỖ NHỎ

DESIGN AND MANUFACTURE ELECTRONIC IGNITION SYSTEM FOR SMALL LPG ENGINE-GENERATOR

Trần Thanh Hải Tùng¹, Phan Minh Đức¹, Trương Lê Hoàn Vũ², Hồ Văn Phú²

¹*Đại học Đà Nẵng; haitungdng@gmail.com*

²*Học viên Cao học khóa 24, 25 ngành Động cơ Nhiệt, Đại học Đà Nẵng*

Tóm tắt - Hiện nay, các nhà khoa học và các hãng sản xuất động cơ đốt trong đang quan tâm đến sử dụng LPG làm nhiên liệu, đặc biệt phải kể đến động cơ cỡ nhỏ kéo máy phát điện vì mang lại được nhiều lợi ích thiết thực. Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu xác định góc đánh lửa sớm tối ưu theo tiêu chí tiêu hao nhiên liệu thấp, phát thải ô nhiễm thấp và động cơ làm việc ổn định đối với cụm động cơ-máy phát 168F dùng LPG và ứng dụng hệ thống đánh lửa được thiết kế để điều khiển thay đổi góc đánh lửa sớm. Quy luật thay đổi góc đánh lửa sớm (Y, độ) theo phụ tải điện của cụm động cơ-máy phát (X, kW) là $Y = -5,3982 \cdot X + 24,681$. Khi khởi động, góc đánh lửa sớm mặc định là 25 độ trước ĐCT. Suất tiêu hao nhiên liệu có ích giảm ở tất cả phạm vi công suất thử nghiệm, giảm lớn nhất đến 4,9%. Hệ thống đánh lửa thiết kế này có thể áp dụng cho các động cơ tương tự, khi có sự điều chỉnh phù hợp dữ liệu.

Từ khóa - máy phát điện cỡ nhỏ; LPG; hệ thống đánh lửa điện tử; tiêu hao nhiên liệu; ô nhiễm khí thải.

1. Đặt vấn đề

Sử dụng khí dầu mỏ hóa lỏng (liquified petroleum gas - LPG) làm nhiên liệu cho các động cơ kéo máy phát điện thật sự rất cần thiết và có ý nghĩa rất lớn, đặc biệt là các máy phát điện gia dụng khi nhu cầu của người dân đang tăng cao. Tuy nhiên, đến nay những nghiên cứu trong nước chỉ mới dừng lại ở việc hoàn thiện hệ thống cung cấp, còn nghiên cứu về hệ thống đánh lửa cho động cơ LPG thì rất hạn chế, hầu hết chỉ sử dụng hệ thống đánh lửa thường với góc đánh lửa cố định ở các mức tải. Vì vậy, việc thiết kế và chế tạo hệ thống tự động điều chỉnh góc đánh lửa sớm cho động cơ dùng nhiên liệu LPG kéo máy phát điện cỡ nhỏ nhằm nâng cao các tính năng kinh tế kỹ thuật của động cơ LPG và góp phần đưa LPG vào sử dụng rộng rãi trên động cơ máy phát điện là một việc làm cần thiết.

2. Cơ sở thiết kế

2.1. Cơ sở lý thuyết

Hệ thống đánh lửa (HTĐL) có nhiệm vụ phát tia lửa điện trong buồng cháy động cơ để đốt cháy hỗn hợp nhiên liệu không khí đúng thời điểm và đúng thứ tự làm việc của các xy lanh đối với động cơ nhiều xy lanh. Góc đánh lửa tối ưu, tương ứng với động cơ được đánh lửa đúng thời điểm, sẽ cho hiệu suất chuyển đổi năng lượng của động cơ là cao nhất, tiêu hao nhiên liệu thấp nhất và ô nhiễm thấp nhất. Góc đánh lửa tối ưu phụ thuộc vào điều kiện vận hành (tốc độ động cơ, mức tải của động cơ, hệ số dư lượng không khí, loại nhiên liệu,...) và thông số kết cấu động cơ (tỷ số nén,...) [1], [10], [11]

2.1.1. Số vòng quay động cơ

Khi tốc độ động cơ tăng lên hay giảm xuống thời gian dành cho quá trình cháy thay đổi do đó cần phải điều chỉnh

Abstract - Currently, scientists and manufacturers of internal combustion engines are interested in the use of LPG as fuel, especially for small motor-generator due to much practical benefits. This paper presents the results of research on determining the optimum ignition timing according to the criteria of low fuel consumption, low pollution emissions and stable operation of engine-generator 168F fuelled with LPG and the applications of designed automatic ignition system to this engine. Ignition timing (Y, before top dead center) relates with load of the engine-generator (X, kW) by equation $Y = -5,3982 \cdot X + 24,681$. On startup, the ignition timing is set default as 25 degree before top dead center. Brake specific fuel consumption of the engine decreased at all test load range, down to 4.9%. The designed ignition system can be applied to similar engines, with minor adjustments to data.

Key words - Small engine-generator; LPG; electronic ignition system; fuel consumption; pollution exhaust.

góc đánh lửa sớm cho phù hợp. Thông thường khi tốc độ động cơ tăng góc đánh lửa sớm cũng tăng theo.

2.1.2. Hệ số dư lượng không khí α

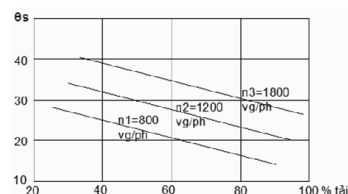
Ảnh hưởng tới tốc độ cháy của hỗn hợp. Khi thành phần hỗn hợp quá đậm hay quá nhạt cũng ảnh hưởng đến quá trình bốc cháy. Thành phần hỗn hợp ảnh hưởng lớn đến việc chọn góc đánh lửa sớm tối ưu. Khi tăng hay giảm hệ số α thì giá trị góc đánh lửa sớm tối ưu tăng lên.

Hỗn hợp LPG - không khí là hỗn hợp hòa khí đồng nhất. Ở vùng tỷ lệ hỗn hợp loãng, tốc độ cháy của hỗn hợp LPG-không khí so với hỗn hợp xăng-không khí nhưng ở vùng tỷ lệ hỗn hợp đậm, tốc độ cháy của hỗn hợp xăng-không khí lại có tốc độ cháy cao hơn. Tốc độ cháy hỗn hợp LPG-không khí lớn nhất khi hệ số dư lượng không khí bằng 0,95 [11]. Do đó, việc thay đổi góc đánh lửa theo độ đậm hỗn hợp hay theo mức tải của động cơ là cần thiết nhằm đảm bảo quá trình cháy tốt nhất, nâng cao công suất động cơ, giảm tiêu hao nhiên liệu cũng như ô nhiễm môi trường.

2.1.3. Tỷ số nén ϵ

Khi tăng tỷ số nén sẽ làm tăng áp suất và nhiệt độ cuối kỳ nén do đó làm tăng tốc độ cháy của hỗn hợp hòa khí, như vậy khi tăng tỷ số nén thì góc đánh lửa sớm phải giảm.

2.1.4. Tải của động cơ



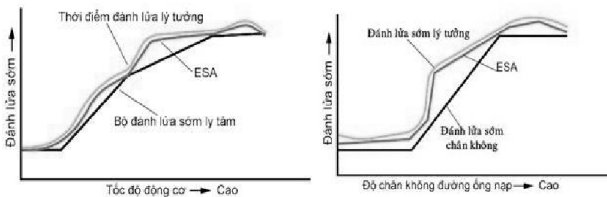
Hình 1. Quan hệ giữa góc đánh lửa sớm và tải ở các số vòng quay khác nhau

Khi tăng tải động cơ thì góc đánh lửa sớm phải giảm xuống và ngược lại (Hình 1).

2.1.5. Nhiên liệu

Khí dầu mỏ hóa lỏng LPG có nhiều ưu điểm như hàm lượng lưu huỳnh rất thấp, không chứa chì, chỉ số octane, nhiệt trị khối lượng, tốc độ cháy của hỗn hợp LPG-không khí lớn hơn tốc độ cháy của hỗn hợp xăng-không khí, do vậy xu hướng cần giảm góc đánh lửa sớm.

- So sánh các phương án điều khiển góc đánh lửa sớm



Hình 2. So sánh đặc tính điều chỉnh góc đánh lửa sớm kiểu cơ khí và điện tử

Với những ưu điểm nổi bật, HTĐL điều khiển góc đánh lửa sớm điện tử đã thay thế hoàn toàn hệ thống điều khiển góc đánh lửa sớm cơ khí, giải quyết các yêu cầu ngày càng cao về chất lượng quá trình đánh lửa.

2.2. Cơ sở thiết kế, chế tạo hệ thống đánh lửa điện tử cho động cơ 168F dùng LPG

Quan hệ giữa góc đánh lửa tối ưu với các tham số vận hành của động cơ 168F sử dụng bộ chế hòa khí LPG được xác định qua 2 bước:

a. Thực nghiệm để xác định góc đánh lửa sớm tối ưu tương ứng với một số chế độ làm việc của động cơ. Trong các thực nghiệm này, tốc độ động cơ không đổi (3000v/p) do động cơ kéo máy phát điện, vị trí bướm ga và do đó là hệ số dư lượng không khí thay đổi theo mức phụ tải, nhiệt độ khí nạp được cố gắng duy trì không đổi ở các lần thử;

b. Xác định hàm toán học biểu thị quan hệ giữa góc đánh lửa tối ưu với sự thay đổi về chế độ tải của động cơ trong toàn dải phụ tải.

Quan hệ trên được nạp vào vi điều khiển của HTĐL. Khi động cơ hoạt động, vi điều khiển sẽ tính toán nội suy để xác định góc đánh lửa phù hợp với phụ tải thực tế của động cơ và điều khiển đánh lửa.

3. Kết quả thiết kế chế tạo hệ thống đánh lửa cho động cơ 168F

3.1. Yêu cầu của hệ thống đánh lửa

+ HTĐL phải sinh ra điện áp thứ cấp đủ lớn để phóng điện qua khe hở giữa các điện cực bugi, tia lửa sinh ra giữa các điện cực bugi phải đủ năng lượng và kéo dài đủ lâu để đốt cháy hỗn hợp nhiên liệu-không khí trong mọi điều kiện làm việc của động cơ.

+ Góc đánh lửa sớm phải thay đổi phù hợp mọi chế độ tải của động cơ.

+ Động cơ dễ dàng khởi động lạnh.

+ Độ tin cậy làm việc của HTĐL phải tương ứng với độ tin cậy làm việc của động cơ.

+ Đơn giản; dễ lắp đặt, sửa chữa và bảo dưỡng, thay thế.

3.2. Phương án thiết kế HTĐL động cơ 168F

Nhờ có nhiều ưu điểm trong quá trình nạp xả của tụ điện, đặc biệt là ở tốc độ cao nên hệ thống đánh lửa DC-CDI là phương án phù hợp để thiết kế cho động cơ 168F [9], [8].

3.2.1. Thiết kế và chế tạo mạch điều khiển [7]

Mạch nguồn: tạo ra nguồn 5V cung cấp cho các modul khác.

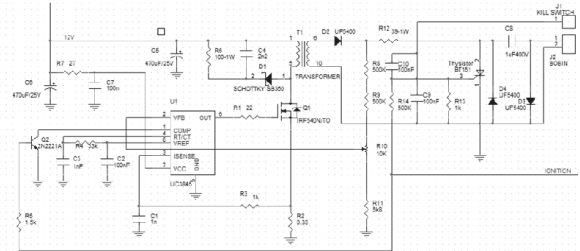
Mạch vi điều khiển: thu nhận và xử lý tín hiệu, đưa ra các tín hiệu điều khiển.

Mạch xử lý tín hiệu cảm biến tốc độ: chuyển đổi tín hiệu tốc độ động cơ gửi về VDK.

Mạch xử lý tín hiệu cảm biến vị trí ga: thu nhận tín hiệu cảm biến vị trí bướm ga gửi về VDK.

Mạch khuếch đại điện áp và điều khiển đánh lửa:

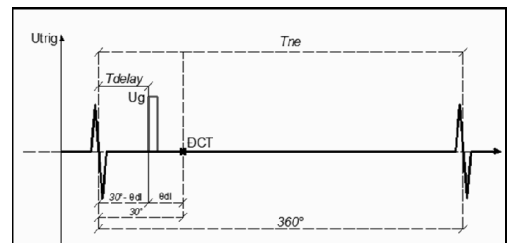
Các điện trở R8, R9, R10, R11 hồi tiếp điện áp về chân 2 của U1. Các điện trở R2, R3 hồi tiếp cường độ dòng điện cường độ cực đại qua mosfet về chân số 3 của U1. Điện trở R4 và C3 tạo tần số hoạt động cho U1. Tụ C1, C2, C4, C7, C9, C10 chống nhiễu cho mạch. Tụ C5, C6 san phẳng nhấp nhô điện áp nguồn.



Hình 3. Mạch khuếch đại điện áp và điều khiển đánh lửa

3.2.2. Xây dựng thuật toán điều khiển [2]

+ Trong mỗi vòng quay của trục khuỷu, cảm biến tốc độ động cơ phát ra 1 xung kích ở 30° trước điểm chết trên. Việc đo thời gian giữa 2 lần có xung kích $T_{ne}(s)$ sẽ tính được tốc độ làm việc của động cơ và giúp điều khiển chính xác góc đánh lửa sớm θ_s từ 0÷30° trước điểm chết trên.



Hình 4. Giản đồ mô tả nguyên lý đo tốc độ động cơ và điều khiển thời điểm đánh lửa

+ Timer 1 được sử dụng để đo thời gian $T_{ne}(s)$, qua đó tốc độ động cơ được xác định theo công thức sau:

$$n_e = \frac{60}{T_{ne}} \text{ (vòng / phút)} \quad (1)$$

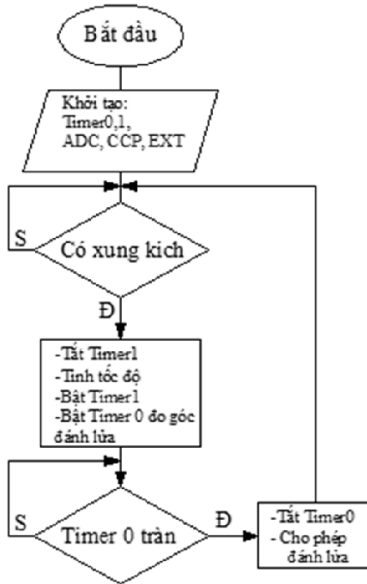
+ Timer 0 được sử dụng để định thời gian chờ từ khi có xung kích đến thời điểm đánh lửa θ_{dl} thời gian chờ được xác định như sau:

$$T_{delay} = \frac{(30^\circ - \theta_{dl})}{360^\circ} \times T_{ne}(s) \quad (2)$$

Trong đó góc đánh lửa sớm θ_{dl} được xác định là $\theta_{dl} = f(\% \text{ ga})$.

Mỗi khi xuất hiện một xung kích mới vì điều khiển sẽ chờ một khoảng thời gian T_{delay} rồi mới tiến hành điều khiển Thyristor chuyển sang trạng thái dẫn để tụ điện C phóng qua cuộn sơ cấp của biến áp đánh lửa.

3.2.3. Lưu đồ thuật toán [3]



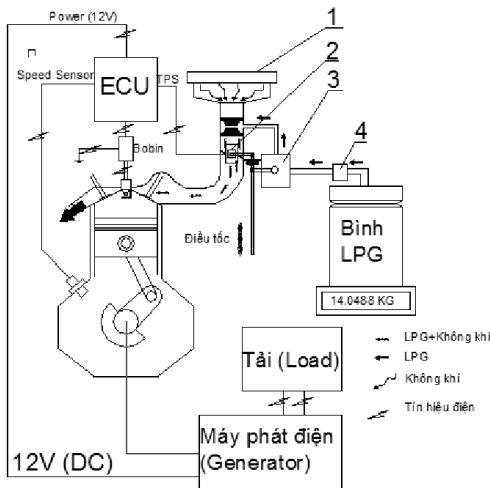
Hình 5. Lưu đồ thuật toán điều khiển

3.2.4. Thử nghiệm lựa chọn góc đánh lửa

a. Thí nghiệm và đánh giá

Việc thí nghiệm động cơ-máy phát 168F hoạt động với HTĐL thiết kế mới nhằm:

- + Xây dựng đường đặc tính điều chỉnh góc đánh lửa sớm khi phụ tải thay đổi.
- + Đánh giá chất lượng quá trình cháy khi góc đánh lửa sớm thay đổi thông qua đánh giá lượng nhiên liệu tiêu hao và thành phần các chất ô nhiễm trong khí thải.
- + Đánh giá khả năng làm việc của HTĐL mới.



Hình 6. Sơ đồ bố trí thí nghiệm

1. Bồn lọc gió; 2. Cảm biến vị trí bướm ga;
3. Bộ điều chỉnh cung cấp LPG; 4. Van điều áp

b. Các thông số cần đo

+ Góc đánh lửa; Tốc độ động cơ; Vị trí bướm ga; Tiêu hao nhiên liệu; Công suất phụ tải điện; Thành phần khí thải.

Quan hệ giữa công suất phụ tải điện (P_G) và công suất có ích của động cơ (N_e):

$$P = U \cdot I \cos \varphi = N_e \cdot \eta_M \cdot \eta_G \quad (3)$$

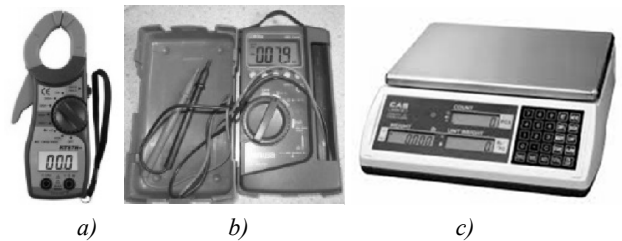
Trong đó: η_M, η_G là hiệu suất truyền động cơ khí từ động cơ sang máy phát và hiệu suất máy điện; U, I là điện áp máy phát và cường độ dòng điện phụ tải.

Quan hệ giữa suất tiêu hao nhiên liệu có ích (g_e) của động cơ với công suất có ích của động cơ (P_E) và lượng nhiên liệu tiêu hao mỗi giờ (G_{NL}):

$$g_e = \frac{G_{NL}}{P_E} \quad (4)$$

3.3. Trang thiết bị thí nghiệm

3.3.1. Các thiết bị đo lường

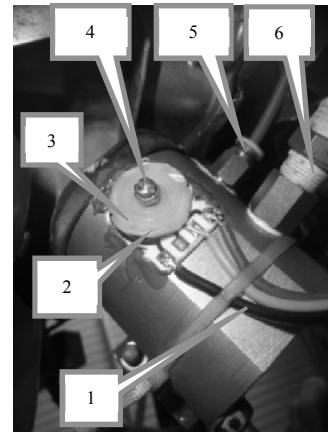


Hình 7. Các thiết bị đo lường

- Đồng hồ đo dòng điện; b) Đồng hồ V.O.M CD 800A;
- c) Cân điện tử 30Kg

3.3.2. Cảm biến và mạch xử lý tín hiệu

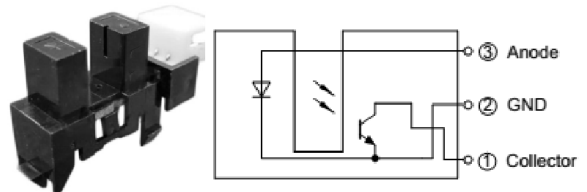
+ Cảm biến vị trí bướm ga: để xác định chính xác vị trí bướm ga trong quá trình thí nghiệm.



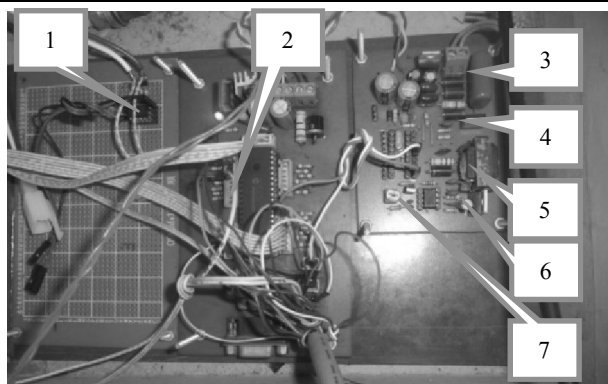
Hình 8. Gá lắp cảm biến vị trí ga

- 1- Bồn lọc gió; 2- Điện trở; 3- Con trượt; 4- Trục bướm ga; 5- Đường cấp không tải; 6- Đường cấp chính

+ Cảm biến tốc độ: Xác định tốc độ động cơ



Hình 9. Cảm biến tốc độ và sơ đồ mạch

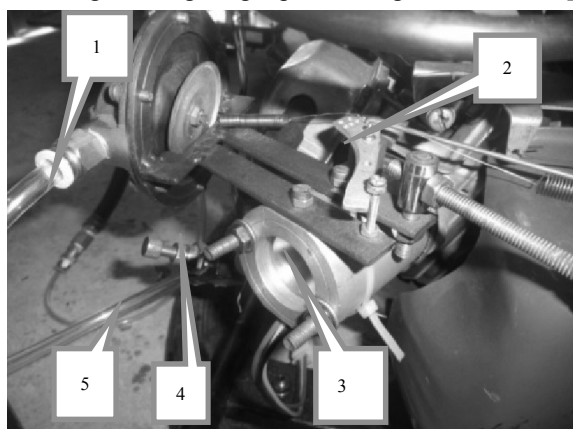


Hình 10. Mạch xử lý tín hiệu và điều khiển đánh lửa

1- IC LM358; 2- VDK PIC18F4431; 3- Tụ 1uF/400V; 4- Thyristor; 5- Biến áp xung; 6- Mosfet; 7- IC UC3845.

3.3.3. Hệ thống cung cấp nhiên liệu

Sử dụng hệ thống cung cấp LPG bằng bộ chế hòa khí [4].



Hình 11. Gá lắp hệ thống cung cấp LPG

1- Van cấp chính; 2- Cần bướm ga; 3- Họng Venturi; 4- Van tiết lưu; 5- Ống dẫn LPG

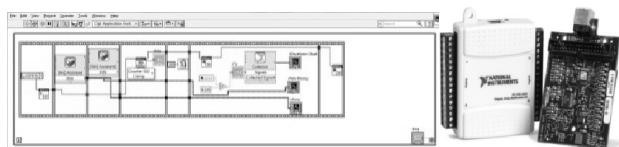
3.3.4. Thiết bị gây tải: sử dụng các bóng sợi đốt.

3.3.5. Thiết bị phân tích, xử lý:

Thiết bị đo góc đánh lửa sớm DG86 để kiểm tra góc đánh lửa của HTĐL;

Máy phân tích khí thải QRO-401 để kiểm tra, so sánh nồng độ chất thải ô nhiễm khi sử dụng HTĐL nguyên thủy và HTĐL mới;

Thu thập xử lý tín hiệu từ các cảm biến dùng Card NI6009 và phần mềm LabVIEW.



Hình 12. Sơ đồ xử lý tín hiệu và card LabVIEW NI6009

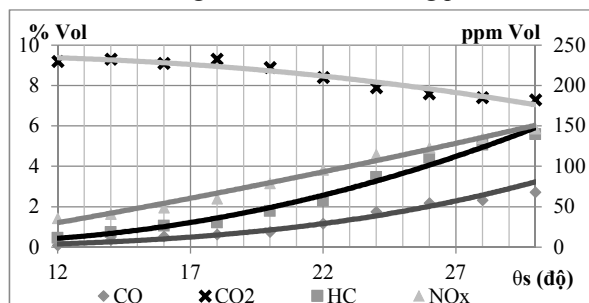
3.4. Kết quả thí nghiệm và phân tích lựa chọn góc đánh lửa

Bảng 1. Công suất phụ tải điện P và có ích của động cơ Ne

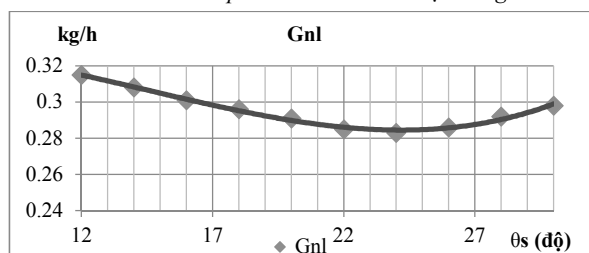
Mức tải	U(V)	I(A)	Mức tải P (kW)	Ne (kW)	% bướm ga
1 bóng	230	2,3	0,53	0,588	36
2 bóng	230	4,9	1,13	1,252	55
3 bóng	230	7,1	1,63	1,814	83

Để xây dựng đường đặc tính điều chỉnh góc đánh lửa sớm theo tải, góc đánh lửa sớm được lựa chọn dựa trên cơ sở phân tích suất tiêu hao nhiên liệu và chất lượng quá trình cháy trong xilanh động cơ ([5], [6]) khi thay đổi góc đánh lửa ở các mức tải khác nhau như Bảng 1.

3.4.1. Chế độ không tải, tốc độ 3000 vòng/phút



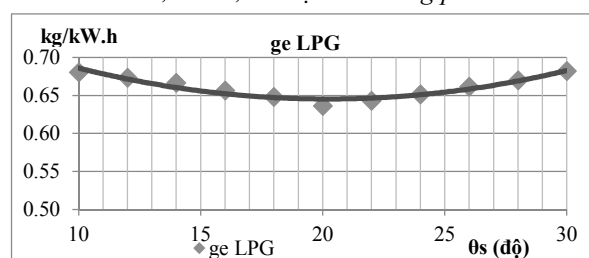
Hình 13. Thành phần khí thải ở chế độ không tải



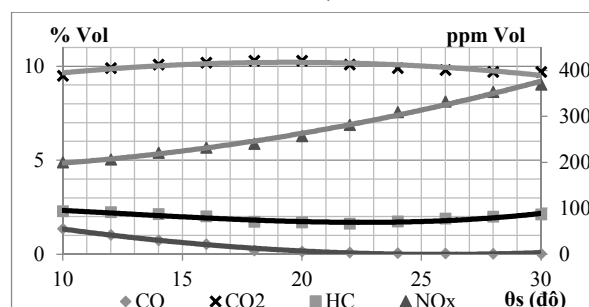
Hình 14. Mức tiêu thụ nhiên liệu theo góc đánh lửa sớm chế độ không tải

Với hệ số dư lượng không khí khoảng 1,3 thì các chất thải ô nhiễm tương đối ít, do quá trình hòa trộn của LPG tốt hơn rất nhiều so với các nhiên liệu lỏng làm cho hòa khí đều hơn, quá trình cháy diễn ra tốt hơn dù hỗn hợp loãng. Theo mức tiêu hao nhiên liệu cũng như theo dõi quá trình làm việc ổn định ở từng góc đánh lửa, nhóm tác giả chọn góc đánh lửa 25° là góc đánh lửa sớm ở chế độ không tải để xây dựng đường đặc tính đánh lửa và cơ sở cho việc lập trình điều khiển.

3.4.2. Mức tải 0,53 kW, tốc độ 3000 vòng/phút



Hình 15. Suất tiêu hao nhiên liệu theo góc đánh lửa sớm ở mức tải 0,53 kW

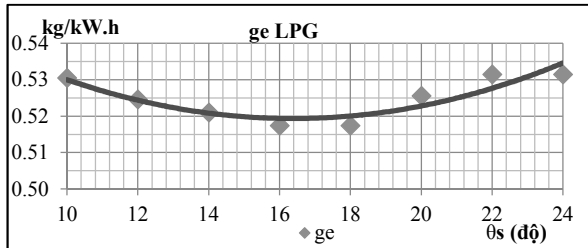


Hình 16. Thành phần các khí thải theo góc đánh lửa sớm ở mức tải 0,53 kW

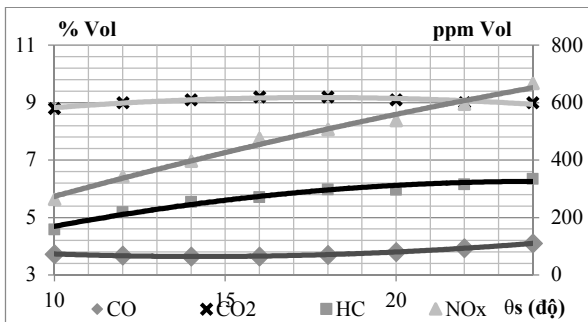
Kết hợp phân tích về khí thải và mức tiêu hao nhiên liệu như Hình 15 và Hình 16, chọn góc 21° làm cơ sở xây dựng đặc tính điều chỉnh góc đánh lửa và lập trình điều khiển cho hệ thống đánh lửa với mức tải nằm trong khoảng 0,53 kW.

3.4.3. Mức tải 1,13 kW, tốc độ 3000 vòng/phút

Từ đồ thị ở Hình 17 và 18, nhóm tác giả chọn góc đánh lửa sớm 18° làm cơ sở xây dựng đặc tính điều chỉnh góc đánh lửa và lập trình điều khiển hệ thống đánh lửa mới ứng với mức tải 1,13 kW.

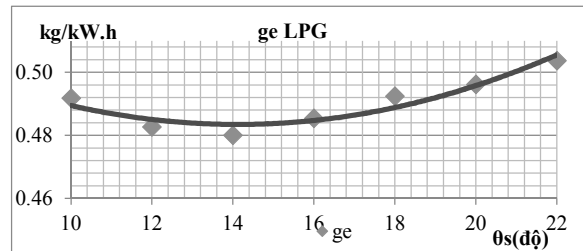


Hình 17. Suất tiêu hao nhiên liệu theo góc đánh lửa sớm ở mức tải 1,13 kW

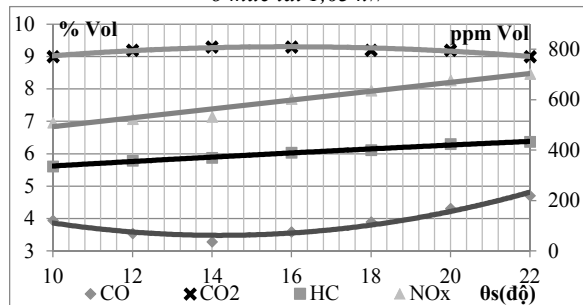


Hình 18. Thành phần các khí thải theo góc đánh lửa sớm ở mức tải 1,13 kW

3.4.4. Mức tải 1,63 kW, tốc độ 3000 vòng/phút



Hình 19. Suất tiêu hao nhiên liệu theo góc đánh lửa sớm ở mức tải 1,63 kW

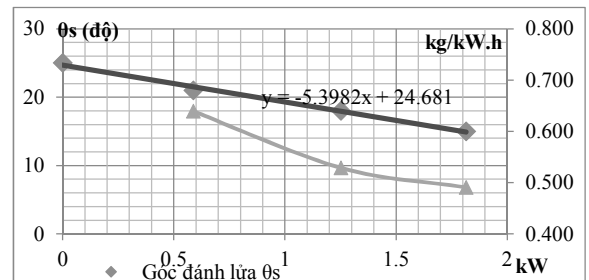


Hình 20. Thành phần các khí thải theo góc đánh lửa sớm ở mức tải 1,63 kW

Từ đồ thị ở Hình 19 và 20, nhóm tác giả chọn góc đánh lửa sớm 15° làm cơ sở xây dựng đặc tính điều chỉnh góc

đánh lửa và lập trình điều khiển hệ thống đánh lửa mới ứng với mức tải 1,63 kW.

3.4.5. Xây dựng đường đặc tính điều chỉnh góc đánh lửa sớm theo tải



Hình 21. Đặc tính điều chỉnh góc đánh lửa theo tải

Từ kết quả thí nghiệm và việc chọn góc đánh lửa phù hợp với các chế độ tải ở trên, nhóm tác giả đã xây dựng được hàm biểu diễn mối quan hệ của góc đánh lửa phù hợp theo công suất phụ tải điện như sau:

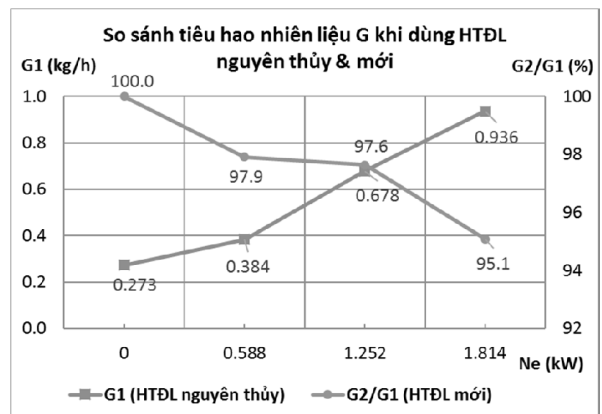
$$Y = -5,3982.X + 24,681$$

Với Y: Góc đánh lửa sớm (độ)

X: Công suất phụ tải điện (kW)

Xu hướng thay đổi của góc đánh lửa gần như tuyến tính khi thay đổi tải và góc đánh lửa có xu hướng giảm khi tải tăng, điều này hoàn toàn đúng so với lý thuyết đã được nghiên cứu; đây cũng là cơ sở lập trình cho HTĐL điện tử tự động thay đổi góc đánh lửa theo các mức tải khác nhau.

3.5. So sánh với góc đánh lửa nguyên thủy



Hình 22. So sánh lượng nhiên liệu tiêu thụ của HTĐL nguyên thủy và HTĐL thiết kế

Khi sử dụng HTĐL thiết kế, suất tiêu hao nhiên liệu có ích giảm ở tất cả phạm vi công suất, nhất là ở vùng trên 1 kW.

4. Kết luận

Nghiên cứu phân tích lý thuyết và thực nghiệm với cụm động cơ-máy phát điện 168F, nhóm tác giả đã có những kết luận sau:

- Quy luật điều chỉnh góc đánh lửa tối ưu theo phụ tải của cụm động cơ-máy phát 168F dùng nhiên liệu LPG là $Y = -5,3982.X + 24,681$, khi đó động cơ làm việc êm dịu, phát thải ô nhiễm thấp và tiêu hao nhiên liệu thấp.
- HTĐL điện tử tự động cho phép thay đổi góc đánh lửa theo mức tải cho động cơ 168F kéo máy phát điện cỡ nhỏ sử dụng nhiên liệu LPG đã được thiết kế và hoạt động với

quy luật điều chỉnh nói trên, đảm bảo cho động cơ tiết kiệm nhiên liệu, giảm ô nhiễm khí thải, có khả năng khởi động lạnh tốt hơn nhiều so với hệ thống đánh lửa thông thường.

3. HTĐL này có thể áp dụng cho các động cơ cùng chủng loại sử dụng nhiên liệu LPG, CNG, biogas,... sau khi chỉ cần thay đổi dữ liệu quy luật điều chỉnh góc đánh lửa tối ưu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Nguyễn Tất Tiến (2010), *Nguyên lý động cơ đốt trong*, NXB Giáo dục, Hà Nội.
- [2] Đỗ Văn Dũng, Lê Quang Vũ, Nguyễn Lê Duy, Chế tạo ECU điều khiển phun xăng đánh lửa cho xe gắn máy và giới thiệu mạch điện xe Shi, Đại học Sư phạm Kỹ thuật Tp. Hồ Chí Minh.
- [3] Đỗ Văn Dũng (2004), *Hệ thống điện và điện tử trên ô tô hiện đại*, Nhà xuất bản ĐHQG, Tp. Hồ Chí Minh.
- [4] Trương Lê Hoàn Vũ (2013), *Thiết kế sử dụng LPG cho động cơ đánh lửa cưỡng bức kéo máy phát điện*, Luận văn thạc sĩ Kỹ thuật động cơ nhiệt, Đại học Đà Nẵng.
- [5] Bùi Văn Ga (2002), *Quá trình cháy trong động cơ đốt trong*, NXB. Khoa học kỹ thuật.
- [6] Bùi Văn Ga, Văn Thị Bông, Trần Văn Nam, Trần Thanh Hải Tùng (1999), *Ô tô và ô nhiễm môi trường*, NXB. Giáo dục, Đà Nẵng.
- [7] PGS.TS. Nguyễn Hữu Công (2011), *Bài giảng vi xử lý - vi điều khiển*, Trường Đại học Kỹ Thuật Công nghiệp Thái Nguyên, Lưu hành nội bộ.
- [8] Nguyễn Văn Chát (2006), *Giáo trình trang bị điện ô tô*, NXB Giáo dục, Hà Nội.
- [9] Trần Đăng Long, Vũ Việt Thắng, Đinh Quốc Trí (2009), *"Một giải pháp tăng cường hiệu quả làm việc cho hệ thống đánh lửa kiểu CDI-AC trên xe gắn máy"*, Trường Đại học Bách khoa - Đại học Quốc gia Tp. Hồ Chí Minh.
- [10] J.B. HEYWOOD (1988), *Internal Combustion Engine Fundamentals*, McGraw-Hill Book Company, New York.
- [11] Mohammad Akram and Sudarshan Kumar (2012) "Measurement of Laminar Burning Velocity of Liquified Petroleum Gas Air Mixtures at Elevated Temperatures", *Indian Institute of Technology Bombay*, Powai, Mumbai, India.

(BBT nhận bài: 10/05/2016, phản biện xong: 25/05/2016)