

ĐIỀU CHỈNH HỆ SỐ TƯƠNG ĐƯƠNG CỦA ĐỘNG CƠ CHẠY BẰNG HỖN HỢP BIOGAS-SYNGAS-HYDROGEN TRONG HỆ THỐNG NĂNG LƯỢNG TÁI TẠO HYBRID

EQUIVALENCE RATIO ADJUSTMENT FOR ENGINE FUELED WITH BIOGAS-SYNGAS-HYDROGEN IN HYBRID RENEWABLE ENERGY SYSTEM

Bùi Văn Ga¹, Bùi Thị Minh Tú¹, Nguyễn Văn Đông¹, Bùi Văn Hùng², Phùng Minh Tùng^{2*}

¹Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng

²Trường Đại học Sư phạm kỹ thuật - Đại học Đà Nẵng

*Tác giả liên hệ: pmtung@ute.udn.vn

(Nhận bài: 23/12/2021; Chấp nhận đăng: 15/02/2022)

Tóm tắt - Tỷ lệ nhiên liệu/ không khí cung cấp cho động cơ làm việc trong hệ thống năng lượng tái tạo hybrid phải linh hoạt để giữ cho hệ số tương đương của hỗn hợp nằm trong vùng tối ưu. Khi cố định thành phần biogas và thay đổi thành phần syngas hay hydrogen thì tỉ lệ nhiên liệu/ không khí ít thay đổi, nhưng khi cố định thành phần syngas hay hydrogen và thay đổi thành phần biogas thì tỉ lệ nhiên liệu/ không khí thay đổi đáng kể. Khi tăng thành phần hydrogen trong hỗn hợp nhiên liệu thì chất lượng quá trình cháy được cải thiện. Động cơ đánh lửa cưỡng bức truyền thống có thể chuyển thành động cơ sử dụng nhiên liệu khí có thành phần nhiên liệu thay đổi bằng hệ thống phun nhiên liệu đơn giản, sử dụng vi điều khiển Arduino, cảm biến Hall và servo motor. Mối quan hệ giữa độ mở bướm ga và thời gian phun đối với động cơ tĩnh tại có thể được xác định trên đường đặc tính điều tốc và được cài đặt vào vi điều khiển để tự động điều chỉnh độ mở bướm ga theo tải cần.

Từ khóa - Nhiên liệu tái tạo; hệ thống năng lượng lai; Hydrogen; Biogas; Syngas

1. Giới thiệu

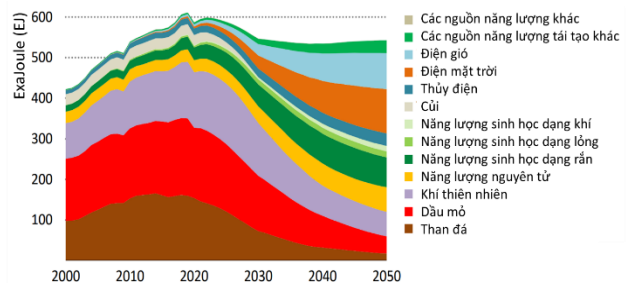
Để đảm bảo mức tăng nhiệt độ bầu khí quyển trung bình 2°C hoặc dưới ngưỡng 1,5°C so với thời kỳ tiền công nghiệp [1] theo thỏa thuận Paris 2015 thì lượng phát thải CO₂ hàng năm trên toàn cầu phải giảm xuống mức bằng 0 hoặc âm ròng vào giữa thế kỷ này [2, 3]. Mức độ gia tăng nhiệt độ bầu khí quyển tỷ lệ thuận với lượng khí thải CO₂ tích lũy. Vì vậy, xây dựng chiến lược để đạt được mục tiêu mức phát thải ròng bằng 0 ngày càng trở bức bách của các quốc gia trên khắp thế giới [2, 4, 5, 6]. Trọng tâm của các chiến lược này là chuyển đổi nhanh chóng và sâu rộng các hệ thống năng lượng, bao gồm giảm mạnh việc sử dụng nhiên liệu hóa thạch, cải thiện hiệu quả sử dụng năng lượng, điện khí hóa rộng rãi các lĩnh vực sử dụng năng lượng đầu cuối và khống chế mức phát thải carbon [7, 8, 9]. Sự chuyển đổi hệ thống năng lượng này phải được hài hòa với cả các mục tiêu phát triển bền vững [10, 11] cũng như tiềm lực kinh tế để thay thế cơ sở hạ tầng năng lượng hóa thạch hiện có [12].

Tại Hội nghị Thượng đỉnh về biến đổi khí hậu COP26 diễn ra ở Glasgow mới đây, Việt Nam đã cam kết thực hiện các cơ chế theo Thỏa thuận Paris, để đạt mức phát thải ròng bằng 0 (Net Zero) vào năm 2050 [13]. Đến nay đã có

Abstract - The fuel/ air ratio supplied to the engine operating in a hybrid renewable energy system must be flexibly adjusted to keep the equivalence ratio of the air-fuel mixture within the optimum range. The fuel/ air ratio is slightly changed with the variation of syngas or hydrogen composition in the mixture with a given biogas composition, but it is changed significantly with biogas composition in the fuel mixture with fixed syngas and hydrogen compositions. The combustion process is improved with the increase in hydrogen component in the fuel mixture. Traditional spark ignition engines can be converted into stationary engines fueled with variable compositions fuel mixture by a simple fuel injection system using an Arduino microcontroller, aHall sensor, and a servo motor. The relationship between throttle opening and fuel injection duration for stationary engines can be determined based on the governor characteristic curve. This relationship was installed in the microcontroller to automatically adjust the throttle opening according to the load resistance.

Key words - Renewable fuels; Hybrid energy system; Hydrogen; Biogas; Syngas

74 quốc gia và vùng lãnh thổ cam kết thực hiện lộ trình Net Zero tương tự. Có khoảng 10 quốc gia cam kết thực hiện lộ trình Net Zero trước ngưỡng thời gian đó. Sử dụng năng lượng tái tạo đóng vai trò then chốt trong các chiến lược Net Zero.



Hình 1. Cơ cấu các nguồn năng lượng đến năm 2050 [14]

Mặc dù, dân số thế giới gia tăng nhưng Cơ quan Năng lượng quốc tế (IEA) dự báo tổng cung cấp năng lượng giảm xuống 550 exajoules (EJ) vào năm 2030, thấp hơn 7% so với năm 2020 (Hình 1) [14]. Năm 2020, dầu mỏ cung cấp 30% tổng nguồn cung năng lượng, trong khi than đá cung cấp 26% và khí thiên nhiên cung cấp 23%. Vào năm 2050, năng lượng tái tạo cung cấp 2/3 năng lượng sử dụng. Cơ

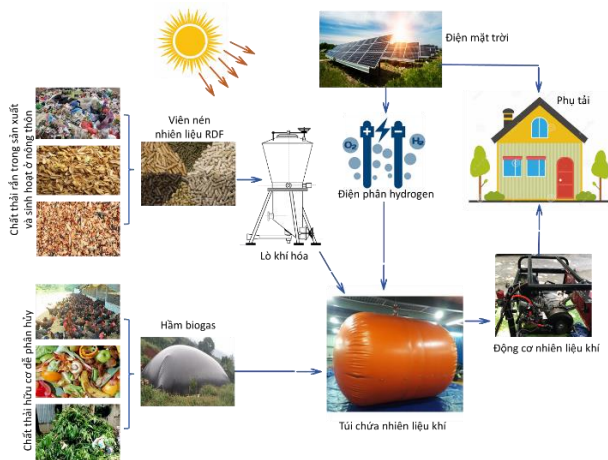
¹ The University of Danang - University of Science and Technology (Bui Van Ga, Bui Thi Minh Tu, Nguyen Van Dong)

² The University of Danang - University of Technology and Education (Bui Van Hung, Phung Minh Tung)

cấu năng lượng toàn cầu từ nay đến 2050 như Hình 1. Năng lượng hạt nhân năm 2050 tăng lên gần gấp đôi so với năm 2020. Năng lượng hóa thạch giảm từ 80% hiện nay xuống chỉ còn hơn 20% vào năm 2050. Điều này có nghĩa là vẫn còn một lượng đáng kể nhiên liệu hóa thạch được sử dụng sau năm 2050 trong sản xuất hàng hóa và vận tải đường dài. Sự phát thải CO₂ của chúng sẽ được bù trừ bởi những hoạt động phát thải CO₂ âm.

Để đạt mục tiêu phát thải ròng bằng 0, các nước cần dừng triển khai các dự án than mới, cũng như đưa ra lộ trình tiến tới loại bỏ các dự án điện than hiện tại và thay vào đó là phát triển các dự án điện tái tạo. Việt Nam là nước thuộc vùng nhiệt đới, tiềm năng về điện mặt trời, điện gió và sinh khối rất dồi dào. Tuy nhiên, nhược điểm chính của năng lượng tái tạo nói chung là không ổn định, công suất nguồn phát năng lượng thay đổi theo thời gian trong ngành hay thay đổi ngẫu nhiên theo điều kiện khí hậu, thời tiết. Vì vậy, để đảm bảo tính ổn định của hệ thống năng lượng, chúng ta cần phối hợp sử dụng nhiều nguồn năng lượng tái tạo khác nhau, gọi là hệ thống năng lượng tái tạo hybrid HRES [15, 16, 17, 18, 19].

Hình 2 trình bày hệ thống năng lượng tái tạo hybrid phối hợp năng lượng mặt trời và năng lượng sinh khối.



Hình 2. Sơ đồ hệ thống năng lượng tái tạo hybrid năng lượng mặt trời - năng lượng sinh khối

Nguyên lý làm việc của hệ thống năng lượng tái tạo hybrid như sau: Các chất thải rắn khó phân hủy trong sinh hoạt và sản xuất ở nông thôn được chế biến thành viên nén nhiên liệu RDF. Từ đó, RDF được chuyển thành khí tổng hợp syngas qua lò khí hóa. Các chất thải hữu cơ dễ phân hủy được sử dụng để sản xuất biogas. Khi công suất của điện mặt trời cao hơn công suất phụ tải thì phần công suất dư được sử dụng để sản xuất hydrogen qua hệ thống điện phân. Syngas, biogas và hydrogen được lưu trữ chung trong tủ chứa nhiên liệu khí. Khi công suất tải yêu cầu lớn hơn công suất của hệ thống điện mặt trời thì cụm máy phát điện do động cơ chạy bằng nhiên liệu khí hoạt động để cung cấp năng lượng. Do tính ngẫu nhiên của nguyên liệu sản xuất nhiên liệu khí nên thành phần của hỗn hợp khí biogas-syngas-hydrogen thay đổi. Vì vậy, hệ thống cung cấp nhiên liệu cho động cơ sử dụng nhiên liệu khí cũng phải được điều chỉnh linh hoạt để nâng cao hiệu quả quá trình cháy và giảm phát thải ô nhiễm.

Trong các công trình [20, 21, 22], nhóm tác giả đã nhận mạnh chất lượng quá trình cháy được cải thiện đáng kể khi

bổ sung hydrogen vào biogas. Hệ số tương đương tối ưu của hỗn hợp nhiên liệu biogas-hydrogen thấp hơn hệ số tương đương khi chạy bằng biogas hoàn toàn nên mức độ phát thải các chất ô nhiễm CO, HC giảm so với khi động cơ chạy bằng biogas. Tuy nhiên, khi tăng hàm lượng hydrogen thì phát thải NO_x tăng do tăng nhiệt độ cháy [20]. Cùng chế độ vận hành và hàm lượng hydrogen trong hỗn hợp nhiên liệu, khi thành phần biogas thay đổi thì qui luật cung cấp nhiên liệu cũng cần được điều chỉnh [22, 23, 24]. Do đó, khi động cơ chạy bằng hỗn hợp biogas-syngas-hydrogen với thành phần thay đổi trong phạm vi rộng như trong hệ thống năng lượng tái tạo hybrid, việc cung cấp nhiên liệu cần được điều chỉnh để đảm bảo hệ số tương đương nằm trong giới hạn tối ưu. Việc điều chỉnh linh hoạt quá trình cung cấp nhiên liệu như vậy khó có thể được thực hiện bằng bộ chế hòa khí thông thường. Trong công trình này nhóm tác giả sẽ trình bày hệ thống điều chỉnh thời gian phun bằng vi điều khiển để cải tạo động cơ tĩnh tại đánh lửa cưỡng bức truyền thống thành động cơ có thể sử dụng phù hợp trong hệ thống năng lượng tái tạo hybrid.

2. Nghiên cứu mô phỏng

2.1. Biến thiên tỉ lệ nhiên liệu/ không khí theo thành phần hỗn hợp

Thành phần biogas, syngas và hỗn hợp nhiên liệu F1, F2, F3 sử dụng trong mô phỏng được trình bày trên Bảng 1.

Bảng 1. Thành phần nhiên liệu

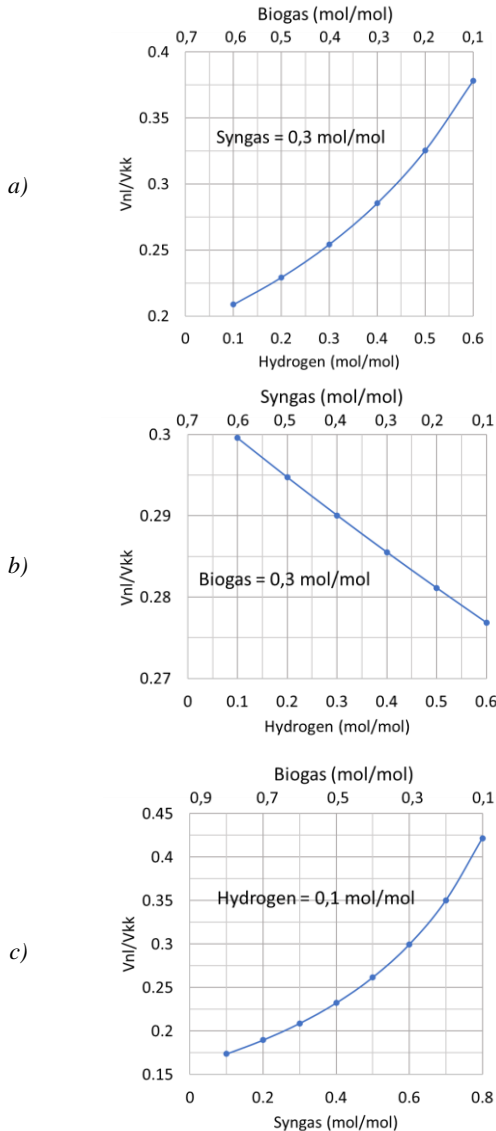
| Nhiên liệu | Thành phần (mol/mol) | | | | |
|--|----------------------|----------------|-------|-----------------|----------------|
| | CH ₄ | H ₂ | CO | CO ₂ | N ₂ |
| Biogas | 0,7 | 0 | 0 | 0,3 | 0 |
| Syngas | 0,1 | 0,12 | 0,25 | 0,2 | 0,33 |
| Hydrogen | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| F1 (60% Biogas + 30% Syngas + 10% Hydrogen) | 0,450 | 0,136 | 0,075 | 0,240 | 0,099 |
| F2 (80% Biogas + 10% Syngas + 10% Hydrogen) | 0,570 | 0,112 | 0,025 | 0,260 | 0,033 |
| F3 (60% Biogas + 10% Syngas + 30% Hydrogen) | 0,430 | 0,312 | 0,025 | 0,200 | 0,033 |

Nhiệt trị thấp của nhiên liệu: CH₄ (33,906 MJ/m³), H₂ (10,246 MJ/m³) và CO (12,035 MJ/m³).

Trên cơ sở thành phần hỗn hợp nhiên liệu chúng ta có thể tính toán được tỉ lệ nhiên liệu/ không khí theo hệ số tương đương cũng như biến thiên năng lượng do nhiên liệu cung cấp cho mỗi chu trình của động cơ.

Hình 3a giới thiệu biến thiên tỉ lệ nhiên liệu/ không khí trong cùng điều kiện áp suất và nhiệt độ để đảm bảo hệ số tương đương $\phi=1$ khi cố định hàm lượng syngas trong hỗn hợp là 0,3 mol/mol. Để đốt cháy hoàn toàn 1 mol CH₄ thì cần 2 mol oxygen, trong khi đó để đốt cháy hoàn toàn 1 mol hydrogen thì chỉ cần 0,5 mol oxygen nên khi tăng hàm lượng hydrogen trong hỗn hợp thì lượng không khí cung cấp vào giảm xuống dẫn đến tỉ lệ nhiên liệu/ không khí tăng. Hình 3b giới thiệu biến thiên tỉ lệ nhiên liệu/ không khí theo hàm lượng hydrogen khi hàm lượng biogas trong hỗn hợp được cố định ở 0,3 mol/mol. Chúng ta thấy, để đảm bảo hệ số

tương đương $\phi=1$, khi tăng hàm lượng hydrogen (hay giảm hàm lượng syngas) thì tỉ lệ nhiên liệu/ không khí giảm nhẹ. Điều này là do thành phần nhiên liệu chủ yếu trong syngas là CO và H₂. Để đốt cháy hoàn toàn 1 mol các chất này đều chỉ cần 0,5 mol oxygen. Sự thay đổi tỉ lệ nhiên liệu/ không khí trong trường hợp này là do sự thay đổi thành phần CH₄ trong syngas gây ra. Hình 3c giới thiệu biến thiên tỉ lệ nhiên liệu/ không khí theo thành phần syngas khi cố định hàm lượng hydrogen là 0,1 mol/mol trong hỗn hợp nhiên liệu. Cũng như trường hợp Hình 3a, do chỉ cần 0,5 mol oxygen để đốt cháy hoàn toàn 1 mol CO hay H₂ nên khi tăng thành phần syngas thì lượng không khí cung cấp vào động cơ phải giảm để đảm bảo cho hệ số tương đương không đổi $\phi=1$.



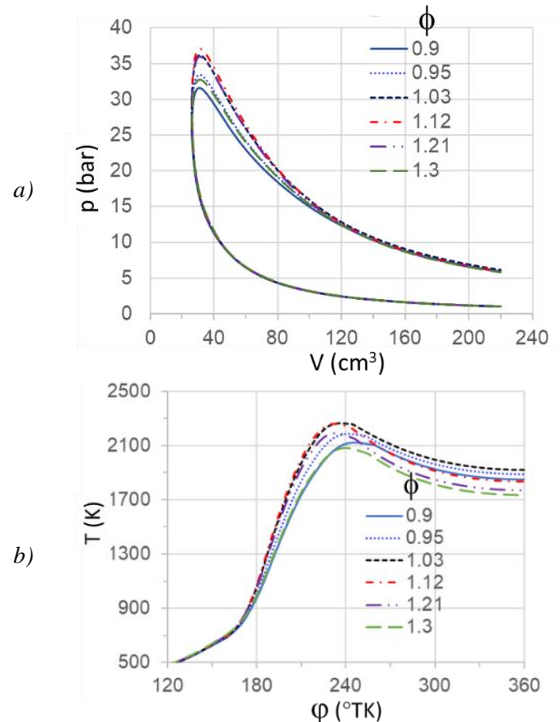
Hình 3. Biến thiên tỉ lệ nhiên liệu/không khí để đảm bảo $\phi=1$ khi thay đổi thành phần nhiên liệu trong hỗn hợp biogas-syngas-hydrogen: a) cố định thành phần syngas; b) cố định thành phần biogas; c) cố định thành phần hydrogen

Kết quả trên đây cho thấy, trong hỗn hợp nhiên liệu biogas-syngas-hydrogen, khi thành phần biogas cố định thì thời gian phun chỉ thay đổi nhẹ, nhưng khi thay đổi thành phần biogas thì thời gian phun thay đổi mạnh để đảm bảo hệ số tương đương của hỗn hợp không thay đổi.

2.2. Mô phỏng ảnh hưởng của hệ số tương đương

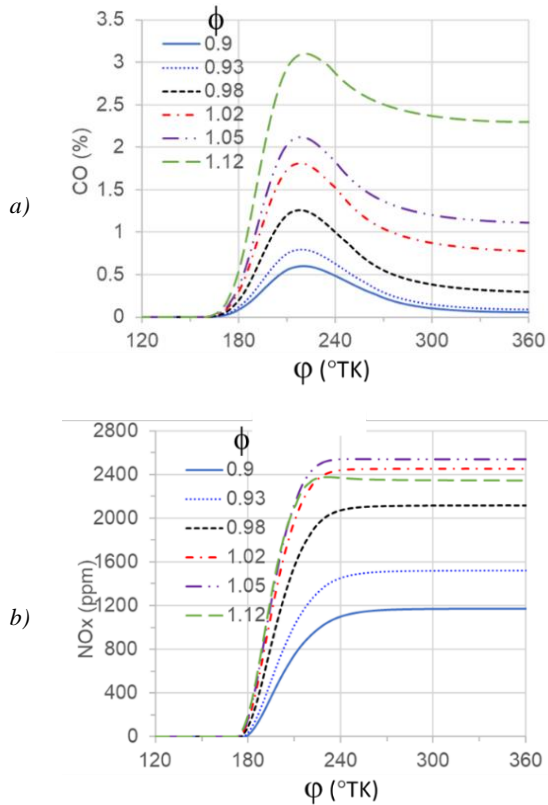
Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả sử dụng động cơ Honda GX200 để tính toán mô phỏng. Động cơ có đường kính xi lanh 68mm, hành trình piston 45mm, tỉ số nén 8,5. Động cơ phát công suất cực đại 4,8kW ở tốc độ 3600 v/ph khi chạy bằng xăng.

Hiệu quả quá trình cháy phụ thuộc vào thành phần hỗn hợp, giới hạn cháy và tốc độ lan tràn màn lửa. Về mặt lý thuyết, hỗn hợp nghèo thì phát thải ô nhiễm thấp nhưng động cơ không phát công suất cực đại. Hỗn hợp giàu thì có thể tăng công suất động cơ nhưng mức độ phát thải ô nhiễm tăng. Hỗn hợp giàu hay nghèo đều có nguy cơ xảy ra cháy không hoàn toàn làm giảm hiệu suất sử dụng nhiên liệu và tăng phát thải ô nhiễm. Vì vậy, phương án tốt nhất là tổ chức quá trình cháy sao cho hỗn hợp có thể cháy với hệ số tương đương thấp nhưng vẫn đảm bảo đạt được công suất tối đa. Điều này phụ thuộc vào giới hạn cháy và tốc độ cháy của hỗn hợp và rất khó thực hiện đối với biogas đơn thuần. Hình 4a giới thiệu ảnh hưởng của hệ số tương đương đến đồ thị công của động cơ khi chạy bằng nhiên liệu F2, $\phi=1$, ở tốc độ 2000 v/ph. Chúng ta thấy, diện tích đồ thị công đạt lớn nhất khi ϕ hơi lớn hơn 1. Tương ứng với giá trị đó của hệ số tương đương, nhiệt độ cực đại và nhiệt độ khí thải cũng đạt giá trị cao nhất (Hình 4b).



Hình 4. Ảnh hưởng của thành phần hỗn hợp đến đồ thị công (a) và nhiệt độ cháy (b) (nhiên liệu F2, $\phi=1$)

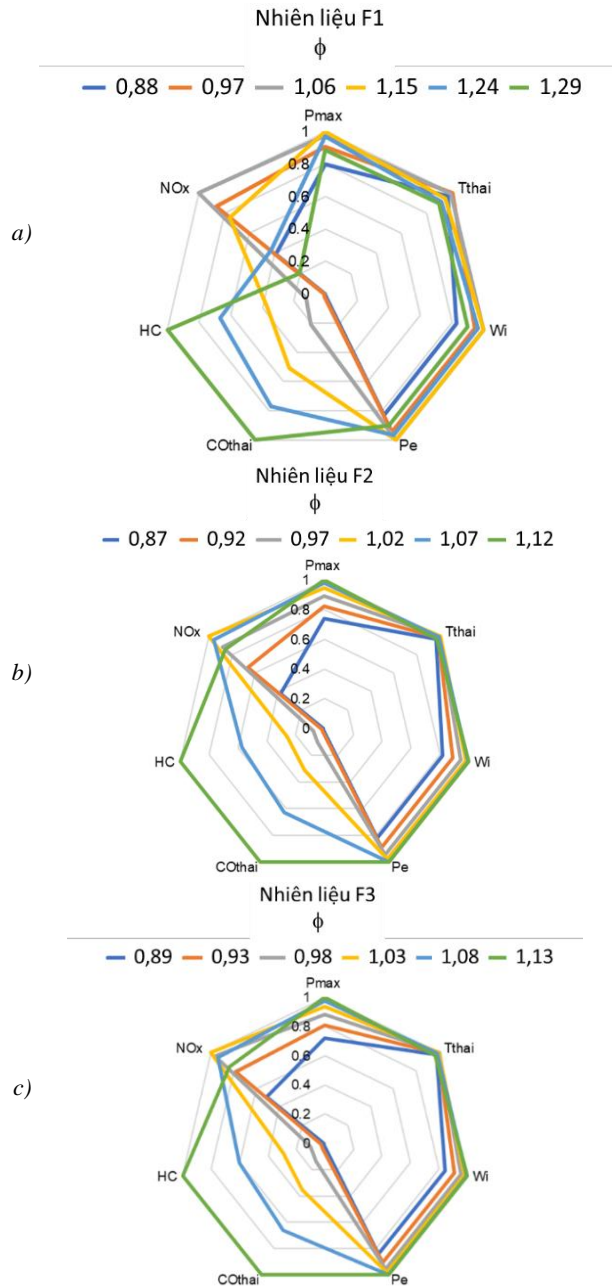
Khi hệ số tương đương lớn hơn 1 thì phát thải ô nhiễm tăng rất mạnh. Hình 5a cho thấy khi động cơ chạy bằng hỗn hợp nhiên liệu F2, phát thải CO tăng gần 10 lần khi ϕ tăng từ 0,98 lên 1,12. Điều này là do quá trình cháy diễn ra không hoàn toàn khi hỗn hợp giàu. Cũng trong phạm vi biến thiên đó của hệ số tương đương, nồng độ NO_x tăng 2 lần. Tuy nhiên, khi ϕ nằm trong khoảng 0,98-1,2 thì phát thải NO_x hầu như không biến động nhiều do nhiệt độ cháy ít thay đổi trong phạm vi này.



Hình 5. Ảnh hưởng của hệ số tương đương đến phát thải CO (a) và NO_x (b)

Các Hình 6a, Hình 6b và Hình 6c biểu diễn ảnh hưởng của hệ số tương đương đến tính năng công tác và mức độ phát thải ô nhiễm khí động cơ chạy bằng hỗn hợp nhiên liệu F1, F2 và F3. Chúng ta thấy, trong các điều kiện cung cấp nhiên liệu đó, khi thay đổi hệ số tương đương thì nhiệt độ khí thải ít thay đổi, công suất chu trình và công suất có ích của động cơ thay đổi trong phạm vi hẹp, áp suất cực đại của động cơ biến thiên đáng kể, trong khi đó mức độ phát thải các chất ô nhiễm thay đổi trong phạm vi rất rộng. Hỗn hợp càng giàu thì càng bất lợi trong việc kiểm soát ô nhiễm. Lợi ích của việc phối hợp sử dụng nhiều loại nhiên liệu khác nhau là giúp cho quá trình cháy có thể đạt được hiệu quả cao nhất với hỗn hợp nghèo.

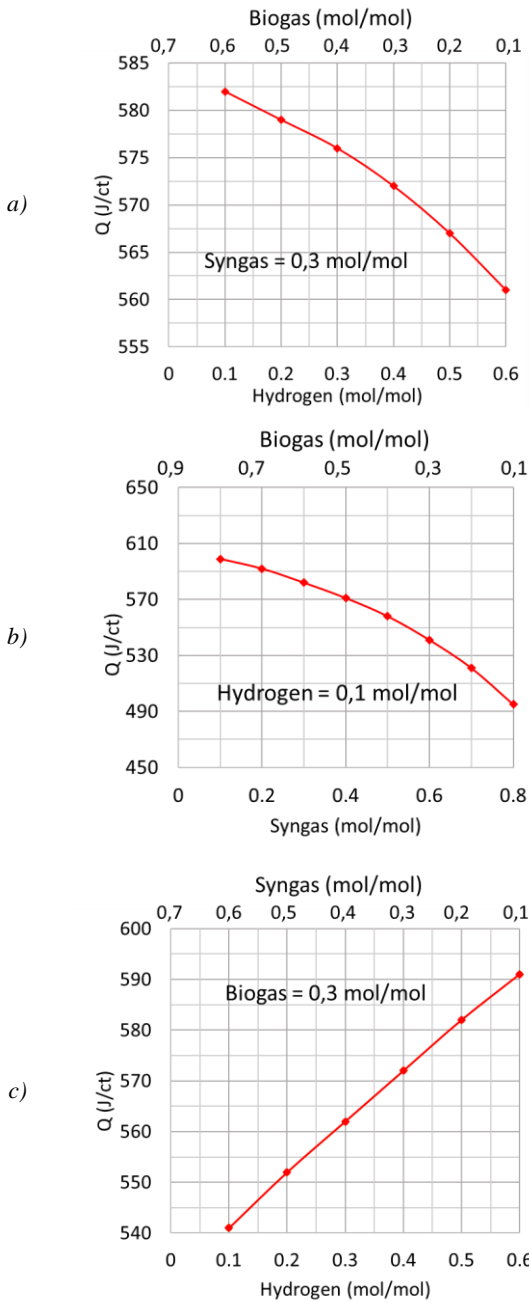
Do hỗn hợp nhiên liệu biogas-syngas-hydrogen ở thể khí nên khi nạp vào động cơ chúng chiếm một thể tích đáng kể trên đường nạp, dẫn đến giảm lượng không khí nạp vào xi lanh. Năng lượng do nhiên liệu mang vào động cơ tương ứng với lượng không khí tối đa có thể nạp vào động cơ để đảm bảo cháy hoàn toàn. Hình 7a và Hình 7b cho thấy, khi cố định thành phần syngas hay thành phần hydrogen thì năng lượng do nhiên liệu mang vào xi lanh giảm khi giảm thành phần biogas. Như giải thích ở trên, do H₂ và CO cần ít không khí hơn CH₄ để cháy hoàn toàn do đó chúng chiếm chỗ trong quá trình nạp nhiều hơn. Mặt khác, nhiệt trị thể tích của hydrogen và CO đều nhỏ hơn CH₄. Những điều này làm giảm năng lượng chu trình khi giảm thành phần biogas. Hình 7c cho thấy, khi hàm lượng biogas cố định, nếu tăng hàm lượng hydrogen (giảm thành phần syngas) thì năng lượng chu trình tăng. Điều này là do syngas chứa nhiều khí trơ (CO₂, N₂) nên khi thay syngas bằng biogas thì năng lượng chu trình tăng.



| | Hệ số | | |
|-------------------------|-------|------|------|
| Nhiên liệu | F1 | F2 | F3 |
| P _{max} (bar) | 34 | 38 | 41 |
| T _{thai} (K) | 1900 | 1867 | 1880 |
| W _i (J/ct) | 215 | 224 | 230 |
| P _e (kW) | 3.57 | 3.95 | 4.13 |
| CO _{thai} (%V) | 5.63 | 2.51 | 2.18 |
| HC (%V) | 4.15 | 1.23 | 1.54 |
| NO _x (ppm) | 1602 | 2418 | 2886 |

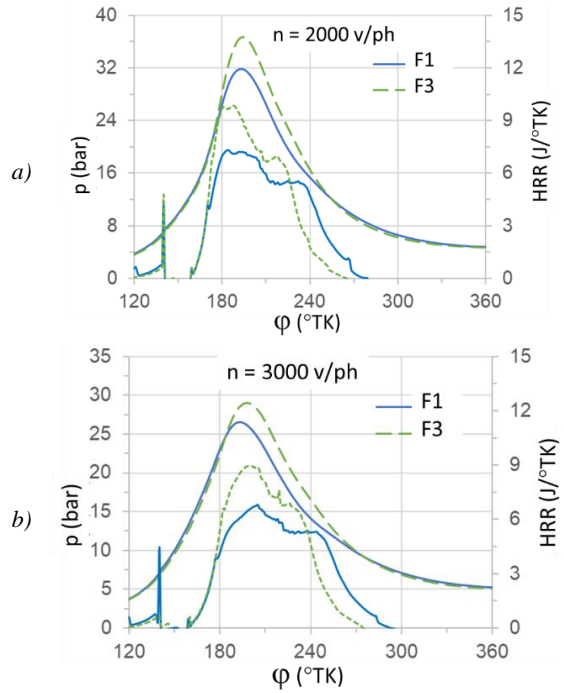
Hình 6. Ảnh hưởng của hệ số tương đương đến tính năng công tác và mức độ phát thải ô nhiễm khí động cơ chạy ở tốc độ 2000 v/ph với nhiên liệu

Mặc dù, năng lượng chu trình khi tăng hàm lượng hydrogen giảm nhưng do sự hiệu điện của hydrogen trong hỗn hợp làm tăng tốc độ cháy, do đó nâng cao chất lượng quá trình cháy giúp cho công suất chu trình của động cơ được cải thiện.



Hình 7. Biến thiên năng lượng chu trình của động cơ theo thành phần nhiên liệu: (a) khi cố định thành phần syngas 0,3 mol/mol, (b) khi cố định thành phần hydrogen 0,1 mol/mol và (c) khi cố định thành phần biogas 0,3mol/mol

Hình 8a và Hình 8b giới thiệu biến thiên áp suất và tốc độ tỏa nhiệt khi động cơ chạy bằng hỗn hợp nhiên liệu F2 và F3 ở tốc độ 2100 v/ph và 3600 v/ph. Kết quả cho thấy khi tăng hàm lượng hydrogen trong hỗn hợp thì tốc độ tỏa nhiệt tăng và đỉnh cực đại tiến về gần ĐCT trên. Điều này dẫn đến tăng áp suất cực đại của động cơ. Cùng một chế độ cung cấp nhiên liệu, khi tốc độ động cơ tăng thì đỉnh đường cong tỏa nhiệt dịch ra xa ĐCT khiến cho áp suất cực đại giảm. Sự gia tăng công suất chỉ thị chu trình theo hàm lượng hydrogen là do chất lượng quá trình cháy được cải thiện, tốc độ cháy tăng làm tăng hiệu quả sử dụng nhiệt.



Hình 8. Ảnh hưởng của hàm lượng hydrogen pha vào biogas M7C3 đến biến thiên tốc độ tỏa nhiệt và áp suất trong xi lanh khi động cơ chạy ở tốc độ 2100 v/ph (a) và 3600 v/ph (b)

3. Nghiên cứu thực nghiệm

3.1. Nguyên lý điều chỉnh hệ số tương đương

Trên động cơ tĩnh tại đánh lửa cưỡng bức truyền thống, tạo hỗn hợp được thực hiện thông qua bộ chế hòa khí. Môi quan hệ giữa lượng không khí và lượng nhiên liệu được khống chế bởi qui luật khí động học Bernouilli. Điều này có nghĩa là hệ số tương đương của hỗn hợp ứng với một chế độ công tác của động cơ đã được xác lập với một loại nhiên liệu cho trước, không thay đổi được khi thay đổi thành phần nhiên liệu.

Như đã giải thích ở phần giới thiệu, nhiên liệu cung cấp cho động cơ trong hệ thống nhiên liệu hybrid năng lượng mặt trời-sinh khối có thành phần thay đổi thường xuyên. Vì vậy, hệ thống điều chỉnh thành phần nhiên liệu phải linh hoạt để đảm bảo hiệu quả quá trình cháy. Cũng như hệ thống đánh lửa, hệ thống cung cấp nhiên liệu của động cơ cũng cần được chuyển đổi sang hệ thống phun nhiên liệu điều khiển điện tử. Việc cải tạo này cần được thực hiện một cách đơn giản nhất và có tính vạn năng cao để có thể áp dụng trên nhiều chủng loại động cơ.

Trên động cơ thực, thời gian thực hiện quá trình nạp-nén dài hơn thời gian thực hiện quá trình giãn nở-thải do áp suất nén tăng, làm chậm lại tốc độ quay của trục khuỷu. Trên mô hình thí nghiệm, sự chênh lệch thời gian này được thực hiện bằng cách bố trí các nam châm lệch một góc 5 độ so với đường đối xứng tâm. Nhờ vậy chúng ta có thể lập trình vi điều khiển để vòi phun chỉ nhận được tín hiệu phun trong kỳ nạp.

Đối với một loại nhiên liệu cho trước, để đảm bảo cho hệ số tương đương dao động trong phạm vi cho phép, lượng nhiên liệu phun vào động cơ tỉ lệ với lưu lượng không khí. Lưu lượng không khí được thể hiện qua độ mở bướm ga.

Lưu lượng này chịu ảnh hưởng bởi tốc độ động cơ. Khi thành phần, tính chất nhiên liệu thay đổi thì lượng nhiên liệu chu trình cũng thay đổi để đảm bảo hệ số tương đương cho trước như đã trình bày trên các Hình 3a, b, c. Trên động cơ phun nhiên liệu điều khiển điện tử, việc kiểm soát quá trình phun được thực hiện nhờ thông tin nhận được từ nhiều cảm biến như cảm biến vị trí trục khuỷu, cảm biến vị trí bướm ga, cảm biến áp suất khí nạp, cảm biến nhiệt độ khí nạp, cảm biến lambda. Khi cài tạo động cơ truyền thống thành động cơ phun nhiên liệu điều khiển điện tử, hệ thống phải được đơn giản hóa để đảm bảo tính khả thi. Trong thí nghiệm này nhóm tác giả chỉ sử dụng 2 cảm biến: Cảm biến Hall để xác định vị trí ĐCT và cảm biến kiểu biến trở để xác định vị trí của bướm ga. Thông tin analogue của biến trở được đưa vào vi điều khiển thông qua hàm MAP. Thời gian mở vòi phun có thể xem là một hàm số theo độ mở bướm ga $t_p = k.f(\beta)$. Trong đó, β là độ mở bướm ga, vì động cơ tĩnh tại thường xuyên hoạt động cơ chế độ tốc độ không đổi. Khi nhiên liệu thay đổi, chúng ta điều chỉnh lượng phun thông qua hằng số k.

Trên động cơ thực hàm số $t_p = k.f(\beta)$ được xác định khi xây dựng đường đặc tính điều tốc của động cơ với giả định là hiệu quả quá trình cháy cao nhất khi hỗn hợp có thành phần cháy hoàn toàn lý thuyết. Trong điều kiện đó, với độ mở bướm ga và tốc độ động cơ cho trước, ta điều chỉnh thời gian phun để momen động cơ đo được cao nhất. Trên cơ sở đó chúng ta xác lập được mối quan hệ giữa độ mở bướm ga và thời gian mở vòi phun.

3.2. Nguyên lý điều tốc

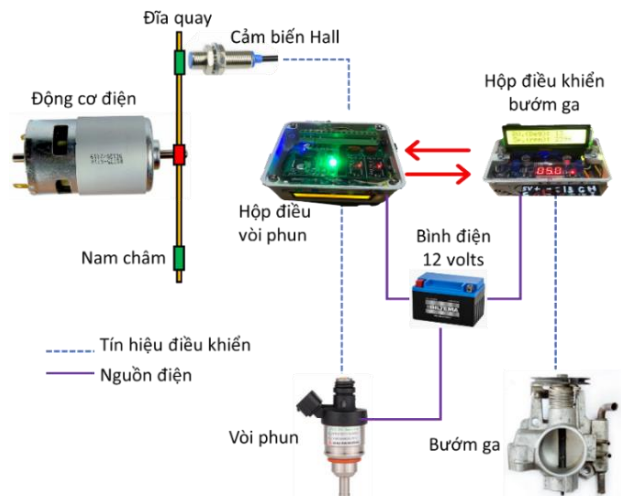
Khác với động cơ lắp trên phương tiện vận chuyển, động cơ tĩnh tại hoạt động ở chế độ tốc độ định mức nên cần có hệ thống điều tốc. Khi cài tạo động cơ tĩnh tại truyền thống thành động cơ tĩnh tại phun nhiên liệu điều khiển điện tử thì bộ điều tốc cơ khí được thay thế bằng servo motor. Độ đóng mở bướm ga, tức chế độ tải của động cơ, được điều chỉnh để đảm bảo tải động cơ cân bằng với tải cần ở tốc độ định mức. Khi vị trí bướm ga thay đổi thì thời gian phun nhiên liệu cũng thay đổi theo phương trình $t_p = k.f(\beta)$.

Khi tốc độ động cơ cao hơn tốc độ định mức, servo motor đóng nhỏ bướm ga một góc $\Delta\beta$, thời gian phun nhiên liệu cũng giảm đi một lượng Δt_p tương ứng cho đến khi tốc độ động cơ trở về giá trị định mức. Ngược lại, khi tốc độ động cơ thấp hơn giá trị định mức thì servo motor mở thêm bướm ga một góc $\Delta\beta$, thời gian phun nhiên liệu cũng tăng lên một lượng tương ứng để đưa tốc độ động cơ về giá trị định mức. Trên nguyên tắc đó, chúng ta có thể viết chương trình cài đặt vào vi điều khiển để tự động điều chỉnh vị trí bướm ga, đảm bảo cho tốc độ động cơ được giữ ổn định.

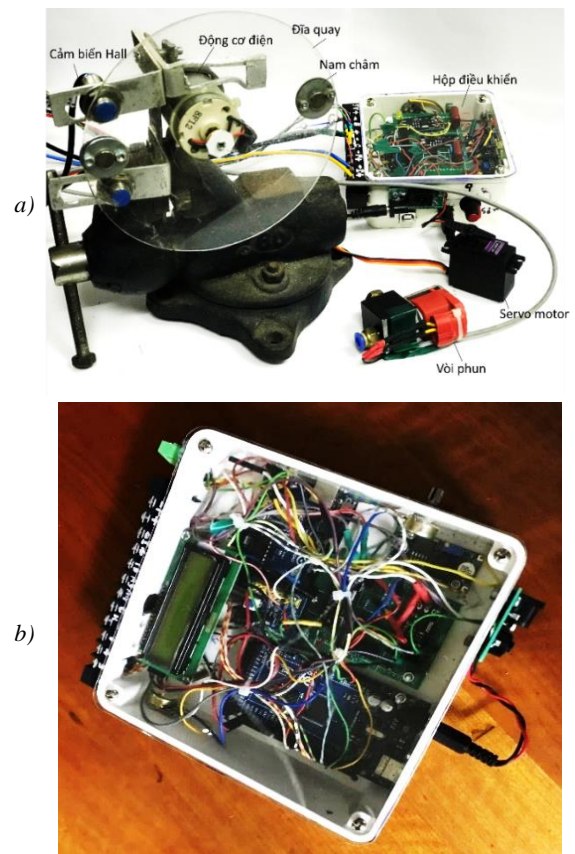
3.3. Thiết lập mô hình thực nghiệm

Trên cơ sở nguyên lý cung cấp nhiên liệu và điều tốc động cơ tĩnh tại điều khiển điện tử trên đây, một mô hình vật lý được xây dựng để thử nghiệm trước khi áp dụng trên động cơ (Hình 9). Mô hình gồm động cơ điện một chiều có tốc độ được điều chỉnh thông qua vi điều khiển. Động cơ quay một đĩa tròn trên đó có gắn hai nam châm vĩnh cửu. Hai nam châm được bố trí lệch một góc 5° so với đường đối xứng tâm để mô phỏng sự lệch pha của các kỳ nạp-nén và nở-thải của động cơ 4 kỳ. Một vòng quay của đĩa tương

ứng với một chu trình của động cơ. Cảm biến từ kiểu Hall được cố định trên giá đỡ. Mỗi khi nam châm quay qua cảm biến thì nó sẽ phát một xung. Bướm ga của động cơ được điều khiển bởi một servo motor bằng một biến trở kép. Một biến trở xác định vị trí bướm ga, biến trở còn lại cung cấp thông tin về độ mở bướm ga để điều chỉnh thời gian phun nhiên liệu. Vòi phun LPG của ô tô được sử dụng trong thí nghiệm. Vòi phun được điều khiển bằng chương trình cài đặt trong vi điều khiển Arduino. Để tránh nhiễu hệ thống điều khiển khi servo motor hoạt động, thí nghiệm sử dụng hai board mạch Arduino riêng biệt.



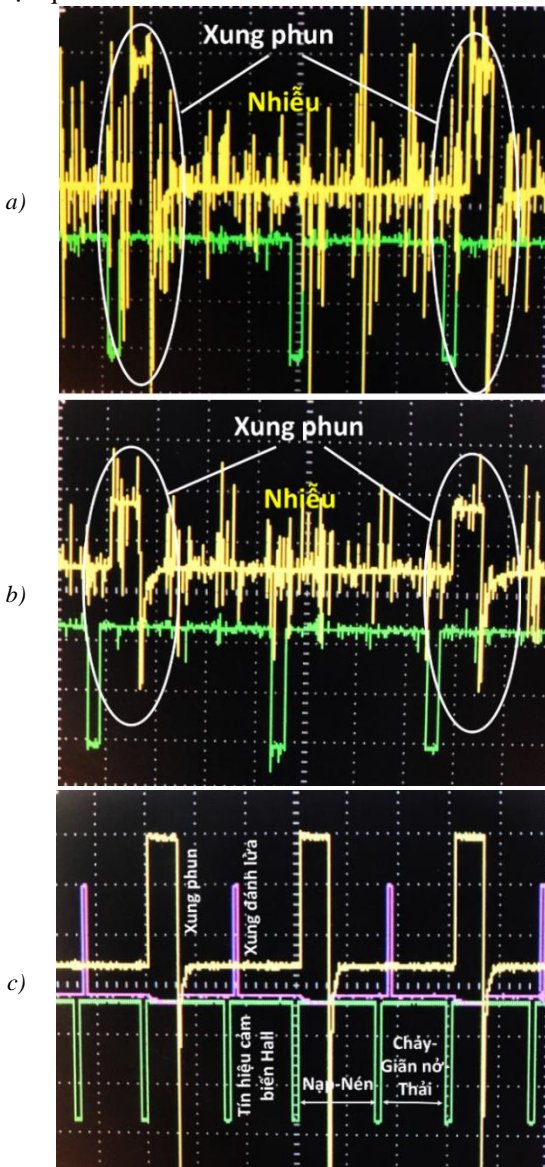
Hình 9. Sơ đồ bố trí hệ thống thí nghiệm thay đổi góc đánh lửa sớm của động cơ tĩnh tại



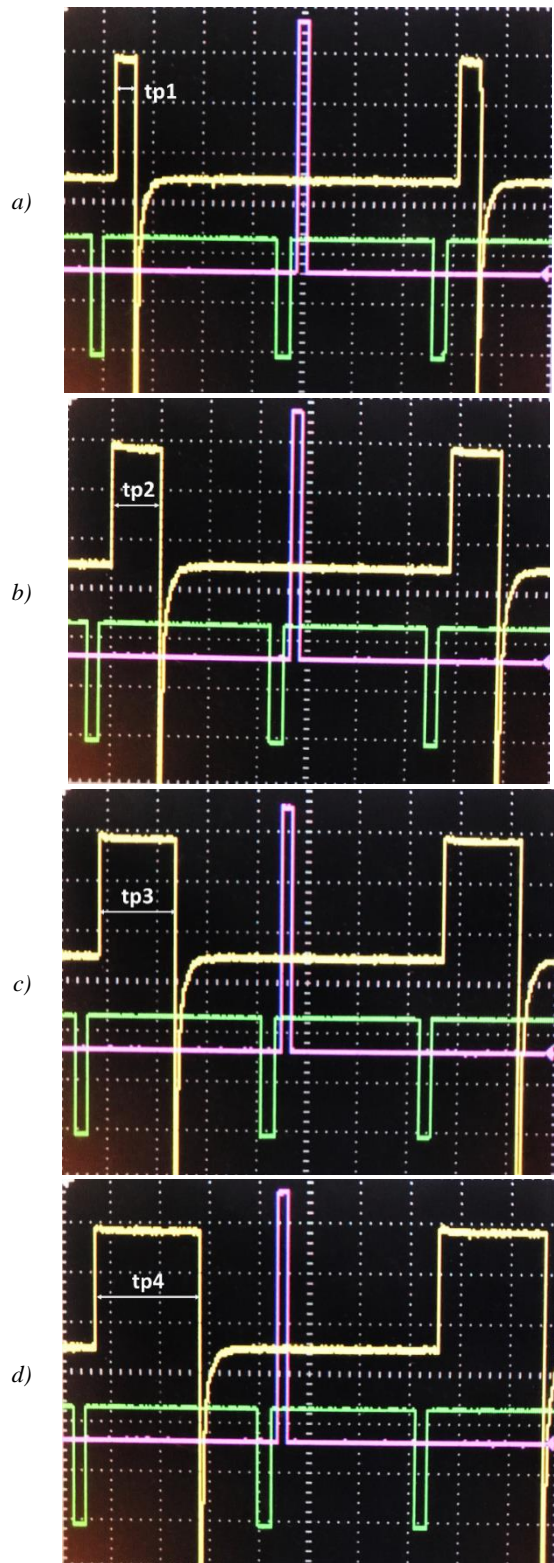
Hình 10. Ảnh chụp mô hình thí nghiệm điều chỉnh góc đánh lửa sớm (a) và hộp điều khiển, hộp công suất (b)

Hình 10a là ảnh chụp thực tế của mô hình thí nghiệm và Hình 10b là ảnh chụp của hộp điều khiển hệ thống phun nhiên liệu linh hoạt. Hộp điều khiển gồm board mạch Arduino Mega để điều khiển vòi phun và board mạch Arduino Uno để điều khiển servo motor, biến trở kép để điều khiển bướm ga và cung cấp thông tin độ mở bướm ga, màn hình LCD để hiển thị các thông số chính và các đèn led báo hiệu tình trạng hoạt động của hệ thống.

Trong quá trình hoạt động, servo motor bị ảnh hưởng rất lớn bởi nhiễu do hệ thống đánh lửa và hệ thống phun nhiên liệu gây ra. Khi servo motor bị nhiễu, nó dao động ngẫu nhiên làm sai lệch cơ cấu điều khiển bướm ga. Trong trường hợp bị nhiễu mạnh, vị điều khiển bị treo làm cho động cơ bị tắt máy. Trong nghiên cứu này, servo motor được điều khiển bởi một board mạch Arduino riêng. Vì điều khiển cung cấp vị trí chính xác của bướm ga để tính toán lượng phun. Hộp điều khiển chính cung cấp tín hiệu xung cảm biến ĐCT để xác định tốc độ động cơ nhằm thực hiện quá trình điều tốc.



Hình 11. Tín hiệu điều khiển vòi phun khi chưa xử lý nhiễu (a, b) và các tín hiệu cảm biến Hall, tín hiệu đánh lửa và tín hiệu phun khi đã xử lý nhiễu (c)



Hình 12. a, b, c, d giới thiệu tín hiệu Hall, tín hiệu đánh lửa và tín hiệu điều khiển vòi phun do chương trình điều tốc thực hiện khi tải cân bằng

Như đã trình bày ở trên, để đảm bảo cho hệ thống hoạt động tin cậy, chúng ta cần xử lý nhiễu. Hình 11a, b giới thiệu tín hiệu phun khi chưa xử lý nhiễu. Khi có nhiễu, vòi phun bị rung, kim phun không đóng kín lên để van. Mặt khác, nhiễu làm cho vòi phun không ngắt điện dứt khoát làm cho cuộn dây bị nóng. Hình 11c trình bày tín hiệu cảm

biến Hall, tín hiệu đánh lửa và tín hiệu vòi phun sau khi đã xử lý nhiễu triệt để. Chúng ta thấy khi ngắt xung điện, cuộn dây điều khiển vòi phun phát sinh một xung cảm ứng ngược chiều với xung điều khiển. Xung phun chỉ xuất hiện trong kỳ nạp và xung đánh lửa chỉ xuất hiện cuối kỳ nén, đúng như trên động cơ thực tế. Độ rộng xung phun cũng như thời điểm đánh lửa có thể được điều chỉnh linh hoạt theo chế độ công tác của động cơ cũng như thành phần nhiên liệu.

Hình 12a, b, c, d giới thiệu tín hiệu Hall, tín hiệu đánh lửa và tín hiệu điều khiển vòi phun do chương trình điều tốc thực hiện khi tải cân bằng. Chúng ta thấy, khi tăng tải cân, tốc độ động cơ giảm, servo motor mở rộng bướm ga, thời gian phun tăng lên một lượng tương ứng để đảm bảo mô men do động cơ phát ra cân bằng với mô men cản, giữ cho tốc độ động cơ dao động trong giới hạn cho phép.

Trong các công trình nghiên cứu tiếp theo nhóm tác giả sẽ trình bày kết quả ứng dụng mô hình vật lý trên động cơ thực.

4. Kết luận

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

- Để đảm bảo hệ số tương đương của động cơ không thay đổi ứng với một chế độ công tác của động cơ cho trước thì thời gian phun nhiên liệu phải thay đổi linh hoạt theo thành phần nhiên liệu. Đối với động cơ chạy bằng hỗn hợp biogas-syngas-hydrogen, khi cố định thành phần biogas và thay đổi thành phần syngas, hydrogen thì tỉ lệ nhiên liệu/không khí ít thay đổi nhưng khi cố định thành phần syngas hay hydrogen và thay đổi thành phần biogas thì tỉ lệ nhiên liệu/ không khí thay đổi đáng kể.

- Khi tăng thành phần hydrogen trong hỗn hợp nhiên liệu thì năng lượng lý thuyết cung cấp cho một chu trình của động cơ giảm nhưng chất lượng quá trình cháy được cải thiện làm tăng công suất chu trình và giảm phát thải CO, HC.

- Động cơ đánh lửa cưỡng bức truyền thống có thể chuyển thành động cơ sử dụng nhiên liệu khí có thành phần nhiên liệu thay đổi bằng hệ thống phun nhiên liệu đơn giản, sử dụng vi điều khiển Arduino, cảm biến Hall và servo motor.

- Mối quan hệ giữa độ mở bướm ga và thời gian phun đối với động cơ tĩnh tại có thể được xác định đơn giản trên đường đặc tính điều tốc của động cơ tĩnh tại. Mối quan hệ này được cài đặt vào vi điều khiển để tự động điều chỉnh độ mở bướm ga theo tải cân.

Lời cảm ơn: Công trình này được thực hiện nhờ tài trợ của Quỹ NAFOSTED thông qua đề tài "Mô-đun sản xuất điện hòa lưới công suất nhỏ từ chất thải sinh hoạt và sản xuất ở nông thôn", Mã số: NCUD.02-2019.22.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] UNFCCC, Adoption of the Paris Agreement, 2015.
- [2] Rogelj J. et al., "Zero emission targets as long-term global goals for climate protection", *Environ. Res. Lett.* 10, 105007, 2015.
- [3] Rogelj, J. et al., "In Special Report on the impacts of global warming

- of 1.5°C", Intergovernmental Panel on Climate Change, 2018.
- [4] Rogelj J., Geden O., Cowie A. & Reisinger A., "Net-zero emissions targets are vague: three ways to fix", *Nature* 591, 2021, pp. 365-368.
- [5] IEA, Clean Energy Innovation (Paris, France), 2020.
- [6] Peker E., In The Wall Street Journal (Brussels), 2019.
- [7] Marcucci A., Kypreos S., Panos E., "The road to achieving the long-term Paris targets: energy transition and the role of direct air capture", *Climatic Change* 144, 2017, pp. 181-193.
- [8] Fuss S. et al., "Betting on negative emissions", *Nat. Clim. Change* 4, 2014, pp. 850-853.
- [9] Sachs J. D., Schmidt-Traub G., Williams J., Pathways to zero emissions, *Nat. Geosci.* 9, 799-801, 2016.
- [10] McCollum D. L. et al., "Energy investment needs for fulfilling the Paris Agreement and achieving the Sustainable Development Goals", *Nat. Energy* 3, 2018, pp. 589-599.
- [11] Fay M. et al., Decarbonizing Development: three steps to a Zero-Carbon Future, World Bank Group, Washington, DC, 2015.
- [12] Tong D. et al., "Committed emissions from existing energy infrastructure jeopardize 1.5°C climate target", *Nature* 572, 2019, pp. 373-377.
- [13] <https://vietnamnews.vn/environment/1071075/viet-nam-strives-to-achieve-net-zero-by-2050-with-international-support-pm.html>
- [14] IEA, Net Zero by 2050: "A roadmap for the global energy system", International Energy Agency Website: www.iea.org, 2021.
- [15] Shaopeng Guo, Qibin Liu, Jie Sun, Hongguang Jin., "A review on the utilization of hybrid renewable energy", *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 91. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.04.105>, 2018, pp. 1121-1147.
- [16] Ifegwu Eziyi, Anjaneyulu Krothapalli, "Sustainable Rural Development: Solar/Biomass Hybrid Renewable Energy System". *Energy Procedia* 57, doi: 10.1016/j.egypro.2014.10.141, 2014, pp. 1492-1501.
- [17] Katharina Bär, Stefanie Wagender, Felix Solka, Abdessamad Saidi, Prof Wilfried Zörner, "Flexibility Potential of Photovoltaic Power Plant and Biogas Plant Hybrid Systems in the Distribution Grid", *Chemical Engineering & Technology*. <https://doi.org/10.1002/ceat.202000025>, 2020, pp. 1-12.
- [18] Y.S. Mohammed, M.W. Mustafa, N. Bashir, "Hybrid renewable energy systems for off-grid electric power: Review of substantial issues", *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 35. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.04.022>, 2014, pp. 527-539.
- [19] Krishna KS, Kumar KS., A review on hybrid renewable energy systems, *Renew Sustain Energy Rev*; 52:907-16, 2015.
- [20] Bui Van Ga, Bui Thi Minh Tu, Nguyen Van Dong, Bui Van Hung, "Analysis of combustion and NOx formation in a SI engine fueled with HHO enriched biogas", *Environmental Engineering and Management Journal*, Vol. 19, No. 5, http://www.eemj.icpm.tuiasi.ro/pdfs/accepted/58_383_Ga_19.pdf, 2020, pp. 317-327.
- [21] Bùi Văn Ga, Trần Thanh Hải Tùng, Lê Minh Tiến, Bùi Thị Minh Tú, Đặng Văn Nghĩa, Tôn Nguyễn Thành Sang, "Tính năng kỹ thuật và phát thải ô nhiễm động cơ phun biogas-HHO trên đường nạp", *Tạp chí Khoa học và Công nghệ - Đại học Đà Nẵng*, Vol. 18, No. 1, 2020, pp. 43-48.
- [22] Van Ga Bui, Van Nam Tran, Anh Tuan Hoang, Thi Minh Tu Bui & Anh Vu Vo, "A simulation study on a port-injection SI engine fueled with hydroxy-enriched biogas", *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, <https://doi.org/10.1080/15567036.2020.1804487>, 2020.
- [23] Bùi Văn Ga, Bùi Thị Minh Tú, Trương Lê Bích Trâm, Nguyễn Đức Hoàng, Phạm Văn Quang, "Thiết lập giàn đo cung cấp nhiên liệu cho động cơ biogas-xăng", *Tạp chí Khoa học và Công nghệ - Đại học Đà Nẵng*, Vol. 17, No. 9, 2019, pp. 33-39.
- [24] Trần Văn Nam, Bùi Văn Ga, Phan Minh Đức, Bùi Thị Minh Tú, "Cung cấp nhiên liệu biogas-hydrogen cho động cơ đánh lửa cưỡng bức kéo máy phát điện trong hệ thống năng lượng tái tạo hybrid", *Tuyển tập Công trình Hội nghị khoa học Cơ học Thủy khí toàn quốc lần thứ 21*, Quy Nhơn 19-21/7/2018, 2018, pp. 448-458.