

RESEARCH AND ASSESSMENT OF TECHNICAL AND EMISSIONS OF GASOLINE-POWERED CARS WHEN SWITCHING TO ADAPTIVE FUELS

Luong Quang Huy*, Tran Van Dung, Trinh Thuy Ha

TNU - University of Information and Communication Technology

ARTICLE INFO		ABSTRACT
Received:	11/5/2023	Nowadays, concerns about the dwindling supply of fossil fuels and the environmental impact of emissions from fossil-fueled vehicles have prompted research into the economic, technical, and emissions of gasoline-powered cars when switching to adaptive fuels with high real-world applicability. Transportation biofuels encompass various forms of biodiesel and bioethanol. This article outlines the methodology for developing and producing the supplementary ECU controller hardware, which works in conjunction with the ethanol sensor and primary ECU of the existing electronic fuel injection system on the Toyota 1NZ-FE engine, to create a flexible fuel conversion system. Experiments conducted on vehicles equipped with the auxiliary ECU revealed that their acceleration time was faster than when using RON 92 gasoline. Engine power and fuel consumption generally increased with the use of bioethanol gasoline, with power rising from 6.56% to 23.46% and fuel consumption increasing from 2.98% to 32.76%, depending on the ethanol content in the fuel. CO and HC emissions typically decreased, whereas NO _x increased up to 15% when the ethanol content reached 50% (E50). However, with ethanol contents exceeding 50% such as E85 and E100, the rise in NO _x tended to be lower compared to when using RON 92 gasoline.
Revised:	13/6/2023	
Published:	13/6/2023	
KEYWORDS		
Biofuels		
RON 92 Gasoline		
Ethanol		
Supplementary ECU		
Adaptive fuel utilization transformation		

NGHIÊN CỨU ĐÁNH GIÁ TÍNH NĂNG KỸ THUẬT VÀ PHÁT THẢI CỦA Ô TÔ XĂNG KHI CHUYỂN ĐỔI SỬ DỤNG NHIÊN LIỆU LINH HOẠT

Lương Quang Huy*, Trần Văn Dũng, Trịnh Thúy Hà

Trường Đại học Công nghệ Thông tin và Truyền thông – ĐH Thái Nguyên

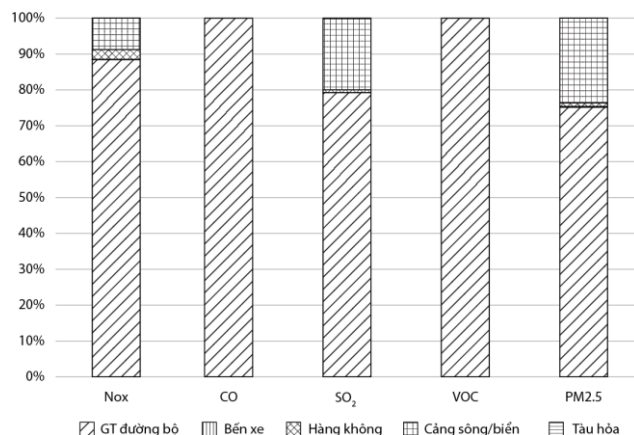
THÔNG TIN BÀI BÁO		TÓM TẮT
Ngày nhận bài:	11/5/2023	Hiện nay, đứng trước nguy cơ cạn kiệt nguồn nhiên liệu hóa thạch và sự phát thải gây ô nhiễm môi trường của ô tô sử dụng nhiên liệu hóa thạch, việc nghiên cứu để đánh giá tính năng kinh tế, kỹ thuật và phát thải của ô tô xăng đang lưu hành khi chuyển đổi sang sử dụng nhiên liệu linh hoạt có tính ứng dụng thực tiễn cao. Các loại nhiên liệu sinh học dùng cho giao thông vận tải gồm các loại diesel sinh học, xăng sinh học. Nội dung bài báo trình bày về quy trình nghiên cứu thiết kế chế tạo phần cứng bộ điều khiển ECU phụ, phối hợp với cảm biến tỷ lệ cồn ethanol và ECU chính của hệ thống phun xăng điện tử có sẵn trên động cơ Toyota 1NZ FE để tạo thành hệ thống chuyển đổi sử dụng nhiên liệu linh hoạt. Kết quả thực nghiệm trên xe ô tô khi lắp ECU phụ cho thấy: thời gian gia tốc của ô tô ngắn hơn so với khi sử dụng xăng RON 92. Công suất động cơ và suất tiêu hao nhiên liệu có xu hướng tăng khi sử dụng xăng sinh học, mức tăng công suất từ 6,56% đến 23,46%, mức tăng suất tiêu hao nhiên liệu từ 2,98% đến 32,76% tùy vào tỷ lệ cồn ethanol trong nhiên liệu. Thành phần phát thải CO và HC có xu hướng giảm, trong khi NO _x tăng đến 15% khi tỷ lệ cồn ethanol tới 50% (E50). Với tỷ lệ cồn lớn hơn 50% như E85 và E100 thì mức tăng NO _x có xu hướng giảm xuống so với khi sử dụng nhiên liệu xăng RON92.
Ngày hoàn thiện:	13/6/2023	
Ngày đăng:	13/6/2023	
TỪ KHÓA		
Nhiên liệu sinh học		
Xăng RON 92		
Ethanol		
ECU phụ		
Chuyển đổi sử dụng nhiên liệu linh hoạt		

DOI: <https://doi.org/10.34238/tnu-jst.7916>

* Corresponding author. Email: lqhuy@ictu.edu.vn

1. Giới thiệu

Những năm gần đây, việc các phương tiện giao thông sử dụng ngày càng nhiều các nhiên liệu hóa thạch như xăng, dầu... đang làm tăng nguy cơ về sự cạn kiệt tài nguyên thiên nhiên. Cùng với đó là sự tăng lên của dân số và số lượng phương tiện giao thông đường bộ đã góp phần gia tăng khí thải, gây ra ô nhiễm môi trường ngày càng nghiêm trọng. Ở các thành phố lớn, phương tiện giao thông cơ giới đường bộ là một trong những nguồn phát thải lớn nhất. Hình 1 thể hiện tỷ lệ đóng góp khí thải SO_2 , NO_x , CO và bụi ($\text{PM}_{2.5}$) của các loại hình giao thông tại Thành phố Hồ Chí Minh.



Hình 1. Kết quả tính toán phát thải từ các loại hình giao thông tại Thành phố Hồ Chí Minh [1]

Có thể thấy, nguồn phát thải từ các phương tiện giao thông đường bộ, đặc biệt là khí thải từ ô tô đang chiếm phần lớn tỷ lệ phát thải so với các loại hình giao thông khác. Khí thải từ xe hơi có những ảnh hưởng rất xấu đến sức khỏe con người và môi trường [2]. Nhận thấy được các nguy cơ về cạn kiệt nguồn tài nguyên thiên nhiên, cũng như những ảnh hưởng xấu của khí thải xe ô tô đến sức khỏe con người và môi trường, các nhà khoa học và Chính phủ đã đưa ra các nghiên cứu và đề án về việc sử dụng các nhiên liệu sinh học thay thế cho nhiên liệu hóa thạch trên xe ô tô [3] - [5].

Nhiên liệu sinh học có nguồn gốc từ động, thực vật có thể kể đến như diesel sinh học, cồn ethanol sinh học, khí sinh học... Trong đó cồn ethanol đến nay đã được ứng dụng khá phổ biến làm nhiên liệu cho phương tiện giao thông. Cồn ethanol được chế biến chủ yếu từ ngô, sắn, mía, xenluloza, khi sử dụng thường được trộn với xăng khoáng theo một tỷ lệ nhất định tạo ra hỗn hợp gọi là xăng sinh học. Các nghiên cứu cho thấy sử dụng xăng sinh học có hiệu quả làm giảm đáng kể các thành phần độc hại trong khí thải như HC, CO và CO_2 [6] - [9].

Chính vì vậy, việc nghiên cứu về hệ thống chuyển đổi sử dụng nhiên liệu linh hoạt là rất cần thiết. Bài báo này sẽ trình bày về quy trình nghiên cứu thiết kế chế tạo phần cứng bộ điều khiển ECU phụ, phối hợp với cảm biến tỷ lệ cồn ethanol và ECU chính của hệ thống phun xăng điện tử có sẵn trên động cơ Toyota 1NZ FE để tạo thành hệ thống chuyển đổi sử dụng nhiên liệu linh hoạt.

2. Thiết kế chế tạo phần cứng bộ chuyển đổi sử dụng nhiên liệu linh hoạt

2.1. Nghiên cứu thiết lập bộ thông số chuẩn

Mục đích của việc thử nghiệm này là xây dựng bộ thông số điều khiển lượng nhiên liệu phun và thời điểm đánh lửa để nạp vào bộ điều khiển ECU động cơ, do đó khi xây dựng bộ thông số này thì tất cả các thông số ảnh hưởng khác như nhiệt độ động cơ, nhiệt độ khí nạp phải được giữ là hằng số để đảm bảo quá trình thử nghiệm diễn ra chính xác. Các bước thử nghiệm của động cơ ô tô bao gồm:

- Thử nghiệm với động cơ sử dụng ECU nguyên bản dùng nhiên liệu xăng RON92. Tại mỗi điểm đo sử dụng oscilloscope đo thời gian phun của 1 xy lanh, sử dụng máy chẩn đoán để xác

định thời điểm đánh lửa, hệ số dư lượng không khí, lưu lượng khí nạp, độ mở bướm ga; sử dụng cân nhiên liệu để xác định khối lượng nhiên liệu phun.

- Thử nghiệm với động cơ sử dụng ECU nguyên bản dùng nhiên liệu xăng pha ethanol với các tỷ lệ pha trộn 30, 50, 85 và 100%. Trong thử nghiệm này ECU được lập trình đo lại và hiển thị các thông tin bao gồm tốc độ động cơ, độ mở bướm ga, lưu lượng khí nạp, nhiệt độ động cơ, nhiệt độ khí nạp. Các thông tin điều khiển đầu ra là lượng nhiên liệu phun và thời điểm đánh lửa, trong đó điều khiển thời điểm đánh lửa được đặt trực tiếp thông qua máy tính, lượng nhiên liệu phun được điều khiển bằng bộ điều khiển vòng kín PI với sai số hệ số dư lượng không khí (λ) < 0,01, tín hiệu đầu vào bộ điều khiển là cảm biến λ cùng với giá trị λ yêu cầu, lượng nhiên liệu phun hiển thị trên máy tính. Tại mỗi điểm đo, lượng nhiên liệu phun được tự động hiệu chỉnh để đạt λ bằng giá trị λ yêu cầu ($\lambda=1$), thời điểm đánh lửa ban đầu được lựa chọn là giá trị của góc đánh lửa sớm, sau đó góc đánh lửa này được hiệu chỉnh từng độ một để tìm được thời điểm đánh lửa đạt công suất lớn nhất ($M_{\max}$), tại các điểm thử không có số liệu mô phỏng thì góc đánh lửa ban đầu sẽ sử dụng góc mô phỏng lân cận điểm thử đó.

Kết quả bộ thông số chuẩn bao gồm lượng phun nhiên liệu và góc đánh lửa sớm của các loại xăng sinh học E30, E50, E85 và E100 được cho trong bảng 1.

Bảng 1. Bộ thông số chuẩn điều chỉnh lượng phun nhiên liệu (g_{ct}) và góc đánh lửa (φ_s) để $\lambda=1$ và $M_{\max}$

Tốc độ (Vòng/phút)	E30		E50		E85		E100	
	g_{ct}	φ_s	g_{ct}	φ_s	g_{ct}	φ_s	g_{ct}	φ_s
20% tải								
1000	0,00667	32	0,00729	44	0,00878	45	0,02751	39
2000	0,00668	38	0,00732	48	0,0087	51	0,02723	45
3000	0,00696	43	0,00762	56	0,00912	55	0,02869	50
4000	0,00715	47	0,00783	60	0,00928	56	0,02972	54
5000	0,00735	51	0,00805	61	0,00952	60	0,03085	55
6000	0,00759	53	0,00831	63	0,00984	62	0,03118	57
60% tải								
1000	0,01971	20	0,02205	22	0,02536	25	0,02747	26
2000	0,01969	25	0,02236	33	0,02547	33	0,02720	34
3000	0,02054	32	0,0232	34	0,02654	40	0,02866	41
4000	0,02106	34	0,02377	39	0,02729	45	0,02969	46
5000	0,02174	37	0,02448	45	0,02801	51	0,03082	52
6000	0,02247	41	0,02527	49	0,02893	52	0,03115	52
100% tải								
1000	0,034349	22	0,037542	23	0,044821	24	0,047394	25
2000	0,035136	27	0,03779	28	0,045927	29	0,048235	30
3000	0,037328	30	0,040682	31	0,05027	32	0,051547	33
4000	0,038468	33	0,04079	34	0,050323	35	0,053102	36
5000	0,039285	33	0,042958	34	0,051657	36	0,05429	36
6000	0,040354	35	0,043098	36	0,052753	37	0,055218	38

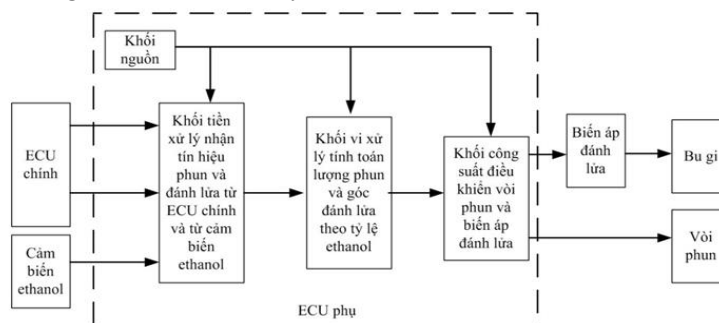
2.2. Thiết kế chế tạo bộ điều khiển ECU phụ

2.2.1. Thiết kế sơ đồ nguyên lý bộ điều khiển ECU phụ

ECU phụ là một bộ điều khiển có nhiệm vụ thay đổi thời gian phun t_p (tương ứng với g_{ct}) và góc đánh lửa sớm của động cơ xăng thông thường để phù hợp với xăng sinh học có tỷ lệ cồn ethanol khác nhau từ 0 đến 100% nhằm đảm bảo tính năng kỹ thuật của động cơ. Sơ đồ khối của hệ thống nhiên liệu chuyển đổi gồm ECU phụ kết hợp cùng với ECU chính cùng với hệ thống phun xăng điện tử sẵn có trên động cơ. ECU phụ sử dụng vi điều khiển ATxmega 128A có vai trò nhận và xử lý tín hiệu lượng phun nhiên liệu (FI), thời điểm đánh lửa (IGT) từ ECU chính, tín hiệu tỷ lệ cồn ethanol trong nhiên liệu thành các tín hiệu đầu ra lượng phun nhiên liệu đã hiệu

chính (FI') và thời điểm đánh lửa đã hiệu chỉnh (IGT'). Tín hiệu này sẽ được đi qua khối công suất nhằm đảm bảo khả năng chịu dòng và chịu áp cao của tín hiệu và được đưa tới cơ cấu chấp hành là vòi phun và bộ bin đánh lửa.

Sơ đồ nguyên lý bộ điều khiển ECU phụ của động cơ ô tô được thể hiện trên hình 2 bao gồm các khối nguồn, khối nhận tín hiệu phun xăng và đánh lửa, tín hiệu tỷ lệ ethanol, khối vi xử lý tính toán lượng phun và góc đánh lửa theo tỷ lệ ethanol, khối công suất điều khiển vòi phun và biến áp đánh lửa, khối điều khiển đánh lửa và vòi phun.

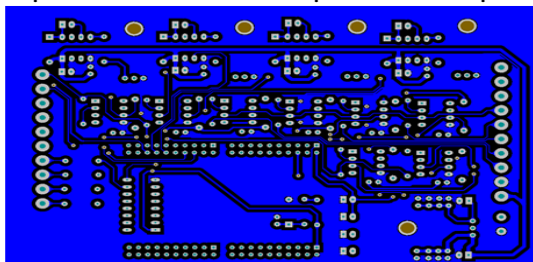


Hình 2. Sơ đồ nguyên lý bộ điều khiển ECU phụ [4]

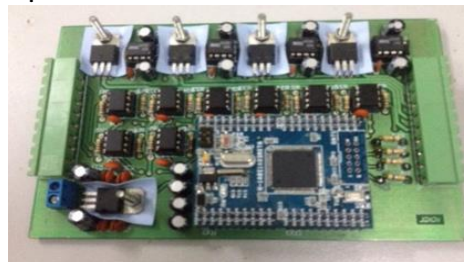
2.2.2. Chế tạo mạch điều khiển ECU phụ

Trên cơ sở lý thuyết chuyển đổi hệ thống phun xăng điện tử thông thường sử dụng xăng sinh học có tỷ lệ cồn ethanol lớn từ đó ta thực hiện thiết kế chế tạo mạch điều khiển ECU phụ. Sơ đồ mạch in được thể hiện trên hình 3. Mạch ECU phụ phải đảm bảo khả năng chống nhiễu tốt, khoảng cách các chân và vùng hàn thiếc không quá gần nhau.

Mạch điều khiển sau chế tạo và hoàn thiện được thể hiện như trên hình 4.



Hình 3. Sơ đồ mạch in



Hình 4. Mạch điều khiển ECU phụ sau khi được chế tạo hoàn thiện

2.2.3. Nạp bộ thông số chuẩn lên ECU phụ

- *Phần cứng nạp chương trình:* phần cứng gồm một bo mạch nạp MKII-ISP và bộ nạp của vi xử lý Atxmega 128A

- *Phần mềm nạp chương trình:* phần mềm được sử dụng để nạp chương trình là phần mềm CodeVisionAVR [10].

Bộ điều khiển ECU phụ sau khi được nạp thông số chuẩn sẽ được dùng để hỗ trợ quá trình điều khiển của động cơ ô tô khi chuyển sang sử dụng xăng sinh học có tỷ lệ cồn ethanol lớn.

3. Thử nghiệm đánh giá

3.1. Đối tượng, mục tiêu, phương pháp và chế độ thử nghiệm

3.1.1. Đối tượng và mục tiêu thử nghiệm

- *Đối tượng thử nghiệm:*

Đối tượng thử nghiệm là xe ô tô Toyota Vios 1.5 sử dụng động cơ Toyota 1NZ FE với trạng thái nguyên bản và sau khi lắp thêm bộ ECU phụ.

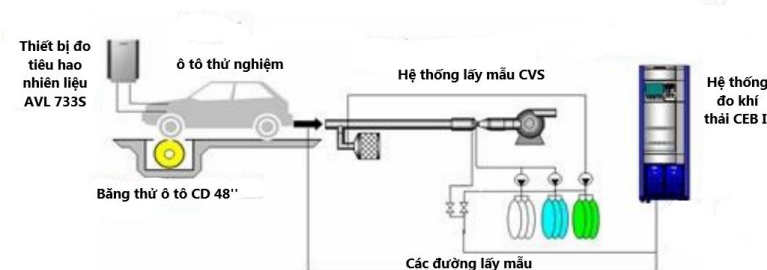
- Mục tiêu thử nghiệm:

Thử nghiệm này được thực hiện nhằm đánh giá tính năng kinh tế, kỹ thuật và phát thải của xe ô tô với động cơ phun xăng điện tử trước và sau khi được lắp đặt bộ ECU phụ sử dụng xăng sinh học có tỷ lệ cồn ethanol lớn tới 100% trên băng thử ô tô. Mục đích thử nghiệm trên ô tô cũng để đánh giá tính khả thi và khả năng áp dụng thực tiễn của bộ ECU phụ khi được sử dụng trên các phương tiện đang được lưu hành.

3.1.2. Phương pháp và chế độ thử nghiệm

- Phương pháp thử nghiệm:

Thử nghiệm ô tô được thực hiện theo phương pháp đối chứng trên hệ thống thử nghiệm ô tô hạng nhẹ. Trang thiết bị của hệ thống này được bố trí như trên hình 5.



Hình 5. Hệ thống đo đặc tính kinh tế kỹ thuật và phát thải ô tô [4]

Ô tô sẽ được thử nghiệm ở 2 trạng thái như sau:

+ Động cơ ô tô nguyên bản (không lắp thêm bộ ECU phụ) sử dụng các loại xăng sinh học có tỷ lệ cồn ethanol lớn gồm E30, E50, E85, E100. Thông số đánh giá gồm công suất, lượng tiêu hao nhiên liệu, các thành phần phát thải, khả năng tăng tốc.

+ Động cơ ô tô được lắp thêm bộ ECU phụ sử dụng các loại xăng sinh học có tỷ lệ cồn ethanol lớn gồm E30, E50, E85, E100. Thông số đánh giá gồm công suất, lượng tiêu hao nhiên liệu, các thành phần phát thải, khả năng tăng tốc.

- Chế độ thử nghiệm

Chế độ thử nghiệm gồm 2 chế độ như sau:

+ Chế độ ổn định: 100% ga, ở vị trí tay số 3 (tốc độ từ 40km/h đến 70km/h, bước thay đổi: 10km/h), ở vị trí tay số 4 (tốc độ từ 60km/h đến 90km/h, bước thay đổi: 10km/h).

+ Chế độ chuyển tiếp gồm chu trình thử tiêu chuẩn Euro 2, chế độ khởi động và tăng tốc.

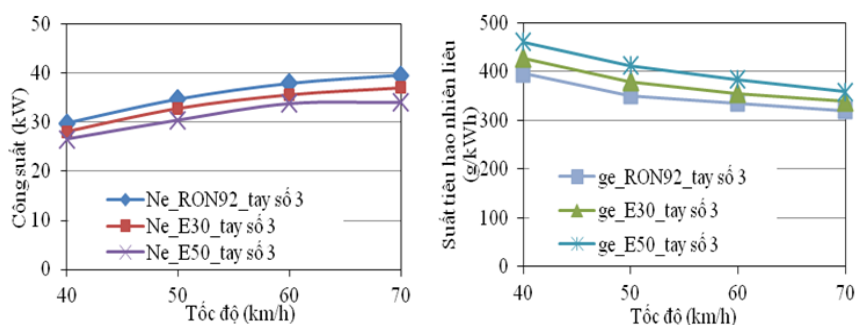
Để quá trình thử nghiệm được diễn ra chính xác và ít sai lệch, thì trong suốt quá trình thử nghiệm tăng tốc đều được thực hiện trên phương tiện thử nghiệm bởi một người lái duy nhất. Trong quá trình thử nghiệm, xe ô tô được khởi động ở điều kiện môi trường có nhiệt độ là 20°C và được khởi động lạnh nên nhiệt độ động cơ bằng nhiệt độ môi trường.

3.2. Kết quả thử nghiệm với ô tô nguyên bản chưa lắp bộ ECU phụ

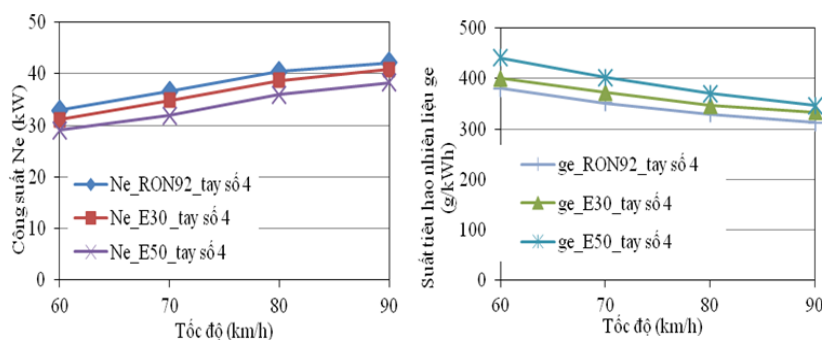
Trong quá trình thử nghiệm các loại nhiên liệu trên ô tô nguyên bản chưa lắp bộ chuyển đổi ECU phụ, xe ô tô chỉ hoạt động ổn định với RON 92, E30 và E50. Với xăng E85 và E100, xe ô tô không hoạt động được ở chế độ toàn tải và hoạt động không ổn định ở chế độ chạy theo chu trình thử tiêu chuẩn Euro 2. Công suất và suất tiêu hao nhiên liệu của xe ô tô nguyên bản tại 100% ga, tay số 3 và tay số 4 được thể hiện trên hình 6 và hình 7.

Sự thay đổi thông số kỹ thuật và phát thải CO, CO₂, NO_x, HC của xe ô tô nguyên bản ở 100% tay ga, tay số 3 và tay số 4 được thể hiện như trên hình 8.

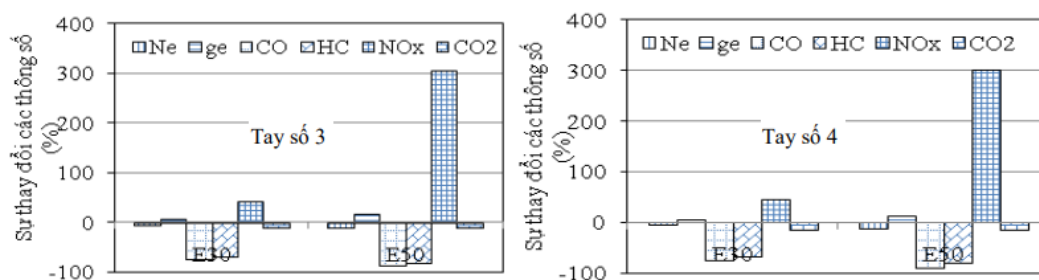
Sự thay đổi về hàm lượng phát thải và tiêu hao nhiên liệu của ô tô theo chu trình thử Euro 2 được thể hiện như trên hình 9.



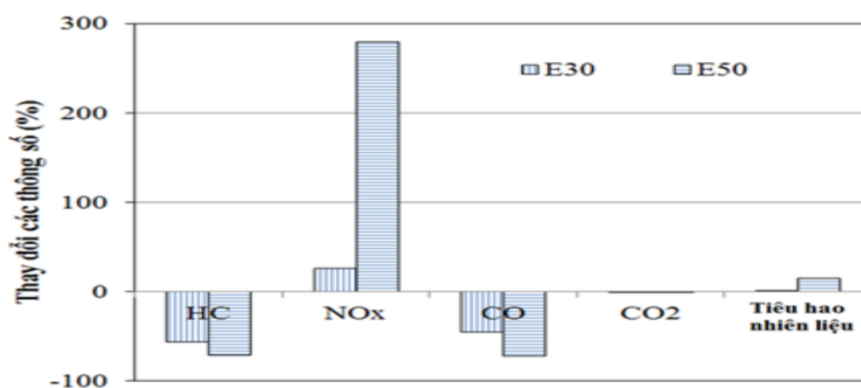
Hình 6. Công suất và suất tiêu hao nhiên liệu trên xe ô tô nguyên bản tại 100% ga, tay số 3



Hình 7. Công suất và suất tiêu hao nhiên liệu trên xe ô tô nguyên bản tại 100% ga, tay số 4



Hình 8. Sự thay đổi thông số kỹ thuật và phát thải của xe ô tô nguyên bản ở 100% ga, tay số 3 và số 4



Hình 9. Thay đổi hàm lượng phát thải và tiêu hao nhiên liệu của ô tô theo chu trình thử Euro2

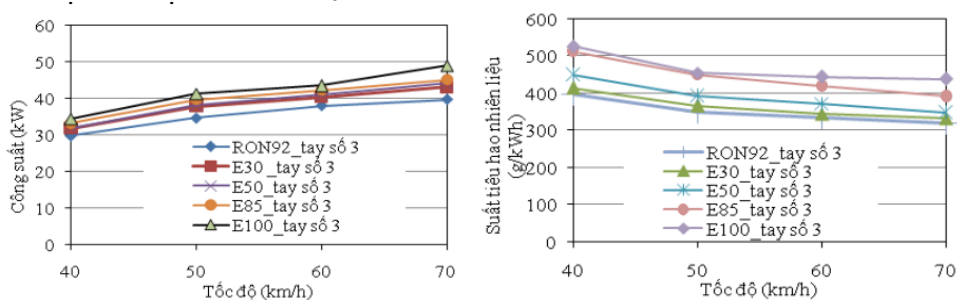
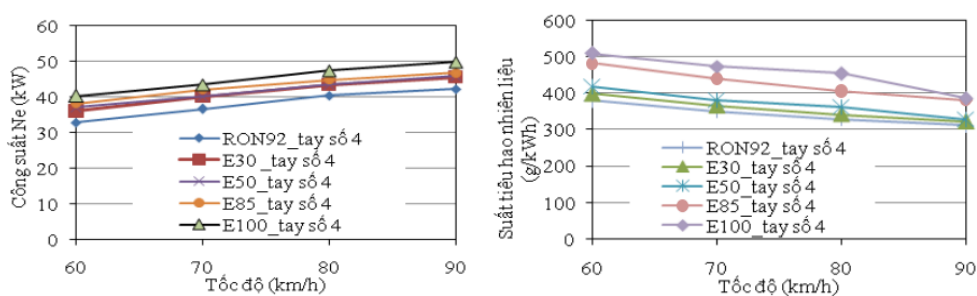
Khả năng tăng tốc của ô tô với các loại nhiên liệu được đánh giá bằng thời gian tăng tốc từ 20km/h đến 100km/h được thể hiện trong bảng 2.

Bảng 2. Kết quả đo khả năng tăng tốc của ô tô

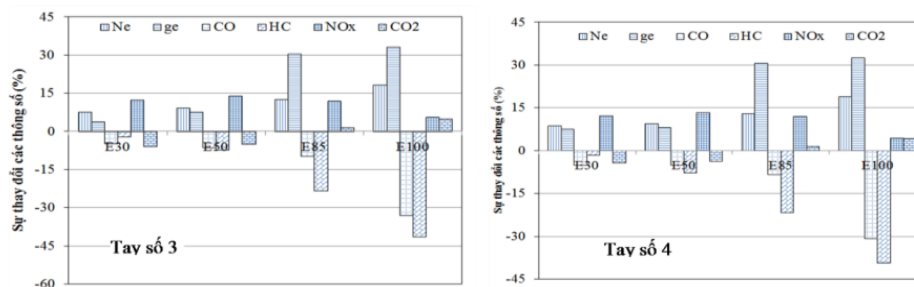
Thông số	RON 92	E30	E50
Thời gian tăng tốc từ 20km/h đến 100km/h (s)	19,5	22,2	23,7

3.3. Kết quả thử nghiệm với ô tô khi lắp thêm bộ ECU phụ

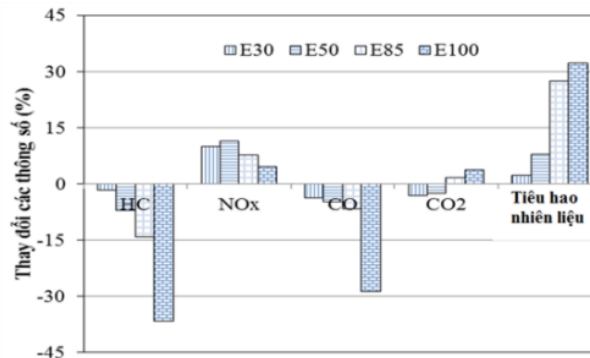
Trong quá trình thử nghiệm các loại nhiên liệu trên ô tô lắp thêm bộ chuyển đổi ECU phụ, xe ô tô hoạt động ổn định với tất cả các loại nhiên liệu thử nghiệm gồm: RON 92, E30, E50, E85 và E100. Công suất và suất tiêu hao nhiên liệu của xe ô tô lắp thêm ECU phụ tại 100% ga, tay số 3 và tay số 4 được thể hiện trên hình 10 và hình 11.

**Hình 10.** Công suất và suất tiêu hao nhiên liệu trên xe ô tô khi lắp ECU phụ tại 100% ga, số 3**Hình 11.** Công suất và suất tiêu hao nhiên liệu trên xe ô tô khi lắp ECU phụ tại 100% ga, số 4

Sự thay đổi về thông số kỹ thuật và phát thải CO, CO₂, NO_x, HC của xe ô tô khi lắp thêm ECU phụ ở 100% tay ga, tay số 3 và tay số 4 được thể hiện như trên hình 12.

**Hình 12.** Sự thay đổi về thông số kỹ thuật và phát thải của xe ô tô khi lắp thêm ECU phụ ở 100% ga, tay số 3 và số 4

Sự thay đổi về hàm lượng phát thải và tiêu hao nhiên liệu của ô tô khi lắp thêm ECU phụ theo chu trình thử Euro 2 được thể hiện như trên hình 13.



Hình 13. Thay đổi lượng phát thải và tiêu hao nhiên liệu của ô tô khi lắp thêm ECU phụ theo chu trình thử Euro2

Khả năng tăng tốc của ô tô khi lắp thêm ECU phụ với các loại nhiên liệu được đánh giá bằng thời gian tăng tốc từ 20km/h đến 100km/h được thể hiện trong bảng 3.

Bảng 3. Kết quả đo khả năng tăng tốc của ô tô khi lắp thêm ECU phụ

Thông số	RON 92	E30	E50	E85	E100
Thời gian tăng tốc từ 20km/h đến 100km/h (s)	19,5	17,5	17,7	18,1	17,3

4. Kết luận

Đối với ô tô lắp thêm ECU phụ được thử nghiệm trên băng thử CD 48'', công suất động cơ và suất tiêu hao nhiên liệu có xu hướng tăng khi sử dụng xăng sinh học, mức tăng công suất từ 6,56% đến 23,46%, mức tăng suất tiêu hao nhiên liệu từ 2,98% đến 32,76% tùy vào tỷ lệ cồn ethanol trong nhiên liệu. Thành phần phát thải CO và HC có xu hướng giảm, trong khi NO_x tăng đến 15% khi tỷ lệ cồn ethanol tới 50% (E50). Với tỷ lệ cồn lớn hơn 50% như E85 và E100 thì mức tăng NO_x có xu hướng giảm xuống so với khi sử dụng nhiên liệu xăng RON92.

Kết quả thử nghiệm cũng cho thấy thời gian tăng tốc của ô tô khi lắp thêm ECU phụ với xăng sinh học là tốt hơn so với xăng RON 92, cụ thể như sau: thời gian tăng tốc của xăng E30 được cải thiện hơn 10,26%, xăng E50 được cải thiện hơn 9,23%, xăng E85 được cải thiện hơn 7,17% và xăng E100 được cải thiện hơn 11,28%.

Các kết quả trên cho thấy xe ô tô lắp thêm bộ chuyển đổi ECU phụ đã cải thiện đáng kể tính năng kỹ thuật của ô tô phun xăng điện tử khi sử dụng xăng sinh học có tỷ lệ cồn ethanol lớn, giúp xe ô tô có thể chuyển đổi sang sử dụng nhiên liệu linh hoạt.

Lời cảm ơn

Tác giả xin gửi lời cảm ơn tới PGS.TS Phạm Hữu Tuyển – Đại học Bách khoa Hà Nội, Thạc sĩ Đào Tất Thắm – Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vinh đã giúp tác giả hoàn thành bài báo này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO/ REFERENCES

- [1] Vietnam Ministry of Natural Resources and Environment, *Environmental assessment report 2021*, (in Vietnamese), 2022.
- [2] E. O. Ogur and S. M. Kariuki, "Effect of car emissions on human health and the environment," *International Journal of Applied Engineering Research*, vol. 9, no. 21, pp.11121-11128, 2014.
- [3] A. T. Le, *Alternative fuel for internal combustion engines*, Bach Khoa Publishing House, Hanoi University of Science and Technology, (in Vietnamese), 2017.
- [4] H. T. Pham, "Research, design and manufacture of electronic fuel injection system providing biofuel with ethanol percentage up to 100% (E100) for car and motorcycle engines using adaptive fuel," Report of project coded ĐT.09.2014/NLSH, (in Vietnamese), Hanoi University of Science and Technology, 2017.

-
- [5] Vietnam Prime Minister, *Decision no. 177/2007/QĐ-TTg approving the Biofuels Development Scheme to 2015, with a vision to 2025*, (in Vietnamese), November 20, 2007.
- [6] O. C. Nwifo, C. F. Nwaiwu, C. J. O. I. Ononogbo, J. O. Igbokwe, O. M. I. Nwafor and E. E. Anyanwu, "Performance, emission and combustion characteristics of a single cylinder spark ignition engine using ethanol-petrol-blended fuels," *International Journal of Ambient Energy*, vol.39, no. 8, pp.792-801, 2018.
- [7] M. A. Alam and A. K. Prasad, "Enhancing diesel engine performance and reducing emissions characteristics using ternary blends of diesel-biodiesel-CH₃NO₂," *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, vol.45, no. 2, pp.5205-5220, 2023.
- [8] M. Keshavarzi, P. Mohammadi, H. Rastegari, S. S. Lam, M. A. Abas, W.W.F. Chong, A. Hajiahmad, W. Peng, M. Aghbashlo, and M. Tabatabaei, "Investigation of ketal-acetin mixture synthesized from glycerol as a renewable additive for gasoline-ethanol fuel blend: Physicochemical characterization and engine combustion, performance, and emission assessment," *Fuel*, vol. 348, 2023, Art. no. 128519.
- [9] P.V. Inbanaathan, D. Balasubramanian, M. Wae-Hayee, R. Ravikumar, I. Veza, N. Yakesh, M. A. Kalam, A. Sonthalia, and E. G. Varuvel, "Comprehensive study on using hydrogen-gasoline-ethanol blends as flexible fuels in an existing variable speed SI engine," *International Journal of Hydrogen Energy*, 2023, doi: 10.1016/j.ijhydene.2023.03.107. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360319923011539>. [Accessed May 02, 2023].
- [10] Pavel Haiduc, "CodeVisionAVR V3.20 User Manual," *HP infotech*, 2015.