

NGHIÊN CỨU XÂY DỰNG MÔ HÌNH ĐIỀU KHIỂN CỦA ĐỘNG CƠ DIESEL SỬ DỤNG LƯỢNG NHIÊN LIỆU DIESEL-ETHANOL

THE STUDY OF THE CONSTRUCTION CONTROL MODEL OF DIESEL ENGINES USING DUAL FUEL DIESEL-ETHANOL

Nguyễn Thành Bắc^{1,*}, Trần Anh Trung²

TÓM TẮT

Để chuyển đổi động cơ diesel sang sử dụng lượng nhiên liệu diesel-ethanol phải thiết kế cải tiến hệ thống nhiên liệu, trang bị thêm bộ phận cung cấp ethanol song song với cung cấp diesel và phải thiết kế mô hình điều khiển. Mô hình này dùng để điều khiển phối hợp lượng nhiên liệu diesel-ethanol cung cấp cho động cơ theo các tỷ lệ ethanol thay thế yêu cầu. Đã có nhiều công trình nghiên cứu về điều khiển động cơ diesel sử dụng lượng nhiên liệu, tuy nhiên các công trình này tập trung nghiên cứu cho khí CNG ở dạng mô hình điều khiển [5, 6] hoặc ở dạng bộ điều khiển phụ hoặc là tích hợp cả điều khiển phun nhiên liệu diesel và nhiên liệu CNG cho động cơ diesel điều khiển điện tử [1, 4]. Cho đến nay vẫn chưa có công trình nào công bố về điều khiển động cơ lượng nhiên liệu diesel-ethanol sử dụng loại bơm cao áp truyền thống dùng bộ điều tốc đa chế độ. Vì vậy nhóm tác giả nghiên cứu xây dựng mô hình bộ điều khiển phối hợp lượng nhiên liệu diesel-ethanol. Kết quả cho thấy bộ điều khiển đảm bảo điều khiển được mô men động cơ yêu cầu, lượng phun diesel, lượng phun ethanol, giới hạn hệ số dư lượng không khí λ , xác định vị trí tay ga và thời gian phun ethanol phù hợp với các chế độ làm việc của động cơ theo yêu cầu đặt ra, đảm bảo cho động cơ làm việc ổn định ở các chế độ làm việc.

Từ khóa: Lượng nhiên liệu diesel-ethanol; lượng nhiên liệu; mô hình điều khiển; mô hình điều khiển lượng nhiên liệu diesel-ethanol; mô hình động cơ diesel-ethanol.

ABSTRACT

In order to convert diesel engines to use diesel-ethanol fuel, designers must refine the fuel system, equip the ethanol supply unit in parallel with the diesel supply and design the control model. This model is used to control the combination of diesel fuel and ethanol supplied to the engine at the required replacement ethanol rates. There have been many studies on the use of dual fuel diesel engines, but these studies focus on CNG as a control model [5, 6] or as a secondary controller. It also incorporates both diesel fuel injection and CNG fuel injection for electronically controlled diesel engines [1, 4]. So far, no research has been published on diesel-ethanol dual fuel engine control using traditional high-pressure fuel pump with variable-speed governor. Therefore, the research team developed a model of dual-fuel diesel-ethanol controllers. The results show that the controller ensures control of the required motor torque, mass of diesel injection, mass of ethanol injection, limited λ coefficient, control lever position of high pressure fuel pump and ethanol injection time is accordance with the working mode of the engine as required, ensuring the engine to work stably in the working mode.

Keywords: Dual fuel diesel-ethanol; dual fuel; control model; model of dual-fuel diesel-ethanol controllers; diesel-ethanol engine model.

¹Khoa Công nghệ Ô tô, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

²Viện Cơ khí Động lực, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

*Email: ntbac.hau.hust@gmail.com

Ngày nhận bài: 08/01/2018

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 03/04/2018

Ngày chấp nhận đăng: 25/04/2018

KÝ HIỆU					
Ký hiệu	Đơn vị	Ý nghĩa			
A	-	Tín hiệu vào	I_{exp}	-	Hệ số dư lượng không khí thực nghiệm
B	-	Tín hiệu ra	I_{model}	-	Hệ số dư lượng không khí trên mô hình
I	-	Hệ số dư lượng không khí	n_e	vg/ph	Tốc độ động cơ
			T_{b_exp}	N.m	Mô men động cơ thực nghiệm
			T_{b_model}	N.m	Mô men động cơ trên mô hình

CHỮ VIẾT TẮT

APA 100	Bảng thử động lực học cao
AVL 553	Thiết bị cung cấp và điều chỉnh nhiệt độ nước làm mát
AVL 733S	Thiết bị đo tiêu hao nhiên liệu
AVL 735S	Thiết bị điều chỉnh nhiệt độ nhiên liệu
CNG	Khí thiên nhiên (Compressed Natural Gas)
D4BB	Động cơ diesel 4 kỳ 4 xy lanh
DME	Dimethyl Ether
ECU	Bộ điều khiển điện tử
IDI	Buồng cháy ngăn cách (Indirect Injection)
LPG	Khí hóa lỏng (Liquefied Petroleum Gas)
PID	Bộ điều khiển PID (Proportional Integral Derivative)
PWM	Xung điều khiển (Pulse Width Modulation)
QC33C	Cảm biến áp suất xy lanh

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Cho đến nay một số nhiên liệu tiềm năng và có khả năng thay thế cho nhiên liệu truyền thống của động cơ đốt trong đã được tìm ra như biogas, dầu thực vật, cồn, khí thiên nhiên CNG, khí hóa lỏng LPG, DME và hydrô.

Trong đó cồn êtylic thường được gọi ethanol là nhiên liệu sinh học có thể sử dụng thay thế cho nhiên liệu của động cơ diesel [3]. Đã có nhiều công trình trong và ngoài nước nghiên cứu xây dựng mô hình điều khiển của động cơ diesel sử dụng lượng nhiên liệu như diesel-LPG, diesel-CNG. Tuy nhiên chưa có nghiên cứu nào xây dựng mô hình điều khiển của động cơ diesel sử dụng lượng nhiên liệu diesel-ethanol có đặc tính lý hóa khác với các nhiên liệu trên.

Trong khuôn khổ bài báo này, nhóm tác giả trình bày phương pháp xây dựng mô hình điều khiển của động cơ diesel sử dụng lượng nhiên liệu diesel-ethanol, đây là một mô hình phức tạp ảnh hưởng nhiều đến độ chính xác của mô hình động cơ.

2. ĐỐI TƯỢNG NGHIÊN CỨU VÀ CHẾ ĐỘ THỰC NGHIỆM

Nghiên cứu sử dụng hai loại nhiên liệu là diesel và ethanol với một số tính chất cơ bản được trình bày trong bảng 1.

Động cơ thử nghiệm được lựa chọn là loại động cơ diesel D4BB 4 xy lanh, 4 kỳ, buồng cháy phân chia IDI (Indirect Injection), sử dụng bơm phân phối lắp trên xe tải 1,25 tấn của hãng Hyundai, các thông số cơ bản của động cơ được trình bày trong bảng 2. Động cơ được đặt trên bảng thử động lực học cao APA 100 thuộc Phòng thí nghiệm Động cơ đốt trong, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội. Đi kèm là các thiết bị đo kiểm bao gồm: thiết bị đo tiêu hao và điều chỉnh nhiệt độ nhiên liệu kiểu khối lượng AVL 733S và 735S; cảm biến áp suất xy lanh QC33C và thiết bị thu nhận dữ liệu Indicating với

phần mềm Indiwin có chức năng đo diễn biến áp suất trong xy lanh theo góc quay trục khuỷu; thiết bị cung cấp và điều chỉnh nhiệt độ nước làm mát AVL 553; vòi phun ethanol được điều khiển bởi ECU MotoHawk ECM-0565-128-0702-C [8] của hãng Woodward, đặc tính mối quan hệ giữa thời gian phun và lượng phun được xây dựng trước khi lắp lên động cơ. Các thông số đầu vào của ECU, hệ thống cung cấp và vị trí lắp vòi phun ethanol được giới thiệu trên hình 1.

Bảng 1. Các thông số kỹ thuật của nhiên liệu diesel và ethanol [7]

Thông số	Diesel	Ethanol
Khối lượng riêng ở 20°C (kg/m ³)	856	785
Hệ số không khí lý thuyết (kg _{kk} /kg _{nl})	14,7	8,96
Nhiệt trị thấp (MJ/kg)	41,66	26,8
Nhiệt hóa hơi (kJ/kg)	270	840
Nhiệt độ tự cháy (K)	500	665
Trị số xê tan	45 ÷ 50	5 ÷ 8

Bảng 2. Những thông số cơ bản của động cơ D4BB

Thông số	Giá trị
Kiểu động cơ	Động cơ diesel 4 kỳ, 4 xy lanh thẳng hàng, 8 xupáp, buồng cháy ngăn cách.
Đường kính/hành trình D/S (mm)	91,1/100
Dung tích xy lanh (cm ³)	2607
Công suất lớn nhất (kW - vg/ph)	59 – 4000
Mô men lớn nhất (N.m - vg/ph)	165 – 2200
Tỷ số nén ε	22

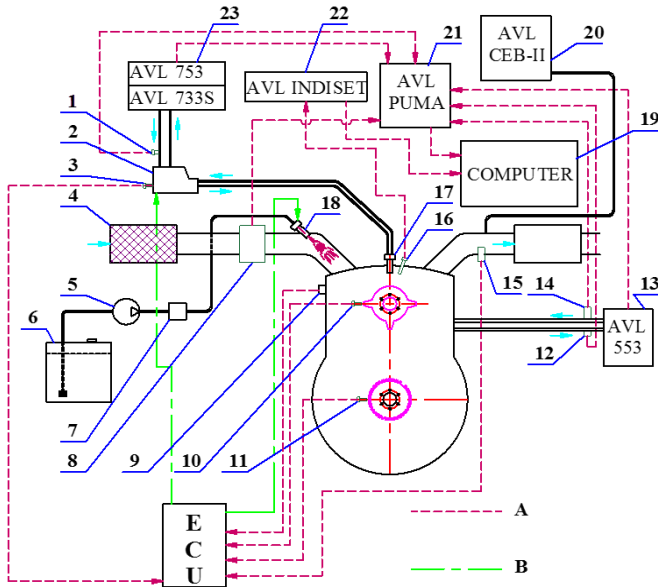
Chế độ thực nghiệm:

Thứ nhất: tải của động cơ được lựa chọn ở 100% của giá trị mô men lớn nhất khi thực nghiệm động cơ sử dụng nhiên liệu diesel gốc và tốc độ động cơ thay đổi từ 1000 ÷ 3500 vg/ph với bước nhảy 500 vg/ph.

Thứ hai: thời điểm bắt đầu phun ethanol của từng vòi phun được điều khiển độc lập tại vị trí cuối nén đầu cháy của mỗi xy lanh và phun lên xupáp nạp nhằm tận dụng nhiệt của xupáp giúp ethanol bay hơi tốt hơn.

Thứ ba: lượng ethanol thay thế được điều khiển tăng lên bao nhiêu thì lượng diesel được điều khiển giảm đi tương ứng và ngược lại bằng cách điều khiển ga để đảm bảo cố định mô men ở chế độ 100% tải. Đồng thời lượng ethanol thay thế lớn nhất được giới hạn tại hệ số λ lớn hơn hoặc bằng 1,2 và hiện tượng kích nổ xác định từ cảm biến kích nổ gắn trên động cơ. Góc phun sớm diesel bằng 15 (độ) trước điểm chết trên.

Thứ tư: Giá trị mô men và công suất động cơ được đo bằng bảng thử tính năng động lực học cao AVL APA 100. Tín hiệu λ được gửi về bộ điều khiển ECU.



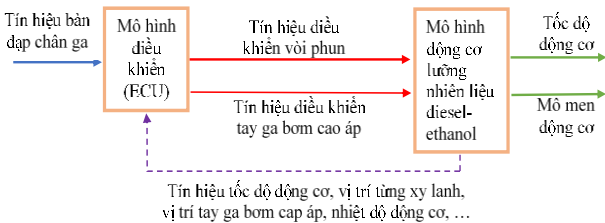
Hình 1. Sơ đồ bố trí thiết bị thực nghiệm

1- Cảm biến nhiệt độ nhiên liệu diesel; 2-Bơm cao áp; 3- Cảm biến vị trí ga; 4- Lọc không khí; 5- Bơm ethanol; 6- Thùng chứa ethanol; 7- Lọc ethanol; 8- Cảm biến lưu lượng không khí; 9- Cảm biến kích nổ; 10- Cảm biến truccam; 11- Cảm biến tốc độ động cơ; 12- Cảm biến nhiệt độ dung dịch làm mát ra khỏi động cơ; 13- Thiết bị cung cấp và điều khiển nhiệt độ dung dịch làm mát động cơ; 14- Cảm biến nhiệt độ dung dịch làm mát vào động cơ; 15- Cảm biến λ ; 16- Cảm biến áp suất xy lanh; 17- Vòi phun diesel; 18- Vòi phun ethanol; 19- Máy tính; 20- Thiết bị phân tích khí xả; 21- Thiết bị xử lý trung tâm; 22- Thiết bị đo áp suất xy lanh; 23- Thiết bị cung cấp, đo tiêu hao và điều chỉnh nhiệt độ nhiên liệu; A-Tín hiệu vào; B-Tín hiệu ra; ECU- Bộ điều khiển điện tử.

3. MÔ HÌNH BỘ ĐIỀU KHIỂN

3.1. Phương pháp xây dựng mô hình bộ điều khiển

Sơ đồ tổng quan mô hình điều khiển được thể hiện trên hình 2, trong đó tín hiệu chân ga người lái thay vì điều khiển trực tiếp bơm cao áp như trên động cơ nguyên bản thì ở đây chân ga sẽ điều khiển cảm biến chân ga và tín hiệu này được đưa vào mô hình điều khiển, tín hiệu này kết hợp với các tín hiệu từ các cảm biến trên động cơ bao gồm tốc độ trục khuỷu, vị trí trục cam, vị trí tay ga bơm cao áp, nhiệt độ động cơ (trường hợp trên động cơ thực) mô hình điều khiển sẽ tính toán xác định vị trí tay ga bơm cao áp yêu cầu và lượng phun ethanol yêu cầu rồi gửi tín hiệu này tới động cơ để điều khiển vị trí tay ga bơm cao áp và thời gian phun nhiên liệu ethanol.



Hình 2. Sơ đồ tổng quan về thiết kế mô hình điều khiển dựa trên mô hình động cơ sử dụng lưỡng nhiên liệu diesel-ethanol

Đặc điểm bộ điều khiển động cơ lưỡng nhiên liệu diesel-ethanol như sau:

- Thời điểm phun ethanol của từng xy lanh được lựa chọn ở giữa quá trình nén khí xupáp nạp đã đóng nhằm tận dụng nhiệt từ xupáp để hóa hơi ethanol nhanh hơn đồng thời cần hiệu chỉnh lượng ethanol phun vào theo nhiệt độ động cơ để tránh ethanol không bay hơi kịp chảy vào trong xy lanh.

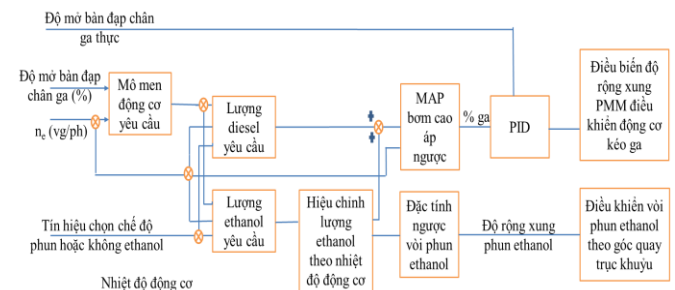
- Chân ga người lái kết nối với cảm biến vị trí và đưa tín hiệu về ECU để xác định mô men yêu cầu, tay ga của bơm cao áp được điều khiển bằng động cơ điện nhằm đảm bảo chính xác lượng phun diesel yêu cầu.

- Lượng diesel và ethanol yêu cầu phụ thuộc vào mô men yêu cầu của người lái và tốc độ động cơ, mối quan hệ này được xác định sơ bộ thông qua mô phỏng và hiệu chỉnh trên băng thử công suất với tiêu chí lượng thay thế lớn nhất với các ràng buộc: $\lambda > 1,2$ (giới hạn khói đen của động cơ buồng cháy ngăn cách); không có hiện tượng kích nổ (xác định thông qua cảm biến kích nổ); đảm bảo giữ nguyên mô men và công suất giống như động cơ nguyên bản.

- Ở chế độ không phun ethanol, tín hiệu chân ga điều khiển trực tiếp bộ điều khiển tay ga bơm cao áp.

3.2. Thuật toán điều khiển

Khác với nguyên lý điều khiển bơm cao áp điều tốc đa chế là chân ga quyết định tốc độ động cơ yêu cầu, khi tốc độ thay đổi thì điều tốc hiệu chỉnh lại lượng nhiên liệu để đạt tới tốc độ yêu cầu của chân ga, thì ở trong các bộ điều khiển động cơ diesel, tín hiệu chân ga lại mang thông tin về mô men người lái yêu cầu giống như trường hợp điều tốc hai chế độ, việc điều khiển này được áp dụng trên tất cả các bộ điều khiển động cơ diesel dành cho phương tiện cơ giới đường bộ [2]. Dựa vào tín hiệu đầu vào là mô men yêu cầu, bộ điều khiển sẽ điều khiển lượng nhiên liệu phun hoặc áp suất tăng áp (nếu trang bị) để đạt được mô men yêu cầu đó, ngoài ra trong điều khiển các thông số khác như lượng khí thải luân hồi, áp suất phun trên động cơ Common-Rail đều là các hàm phụ thuộc vào tốc độ động cơ và mô men động cơ. Trong thiết kế bộ điều khiển phun ethanol, kết quả thí nghiệm cho thấy lượng phun ethanol lớn nhất không những phụ thuộc vào tốc độ động cơ mà còn phụ thuộc mô men động cơ, do đó nhóm tác giả lựa chọn phương pháp điều khiển theo mô men động cơ. Sơ đồ điều khiển được giới thiệu trên hình 3.



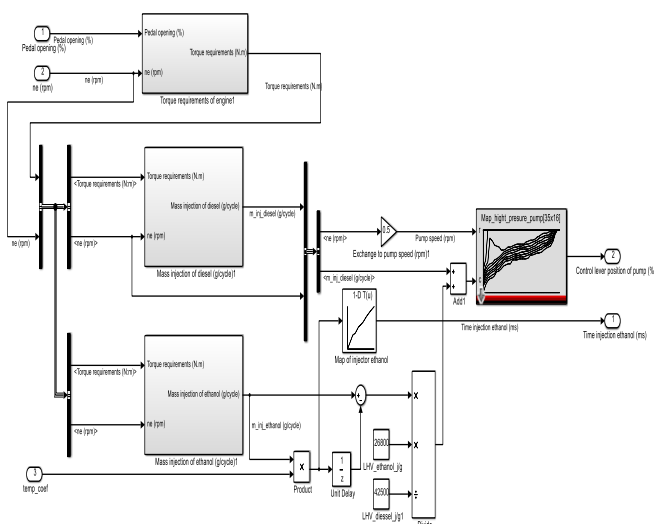
Hình 3. Sơ đồ thuật toán điều khiển

Khi ở chế độ phun ethanol, tín hiệu chân ga người lái và tốc độ động cơ được đưa vào bảng tra để xác định mô men yêu cầu, giá trị mô men này được giới hạn bởi hệ số dư lượng không khí thông qua chương trình giới hạn lambda.

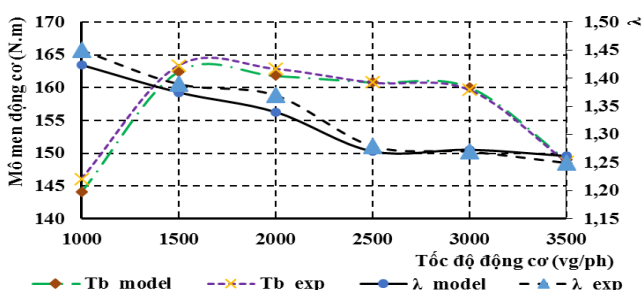
Mô men yêu cầu sau giới hạn được đưa vào khối xác định lượng diesel và ethanol cần thiết, đầu ra lượng ethanol yêu cầu được hiệu chỉnh theo nhiệt độ động cơ nhằm giới hạn lượng ethanol khi nhiệt độ động cơ thấp, lượng giới hạn này sẽ được bù vào lượng diesel nhằm đảm bảo giữ được mô men đầu ra. Lượng ethanol sau đó được đưa tới bảng đặc tính vòi phun để xác định thời gian mở kim phun cũng như hiệu chỉnh lại theo điện áp ắc quy đảm bảo chính xác lượng cung cấp. Lượng nhiên liệu diesel sau khi hiệu chỉnh được đưa tới đặc tính bơm cao áp để xác định vị trí tay ga bơm nhiên liệu yêu cầu. Giá trị tay ga được so sánh với vị trí tay ga thực của bơm và đưa tới đầu vào bộ điều khiển vòng kín PID, đầu ra của bộ điều khiển này là giá trị độ rộng xung PWM (Pulse Width Modulation) để điều khiển động cơ kéo tay ga bơm cao áp. Khi ở chế độ không phun ethanol, tín hiệu độ mở bàn đạp chân ga được gửi trực tiếp đến bộ điều khiển PID và không qua bất kỳ chương trình tính toán nào.

4. KẾT QUẢ VÀ BÀN LUẬN

Trên cơ sở xây dựng được mô hình bộ điều khiển của động cơ diesel D4BB khi sử dụng lưỡng nhiên liệu diesel-ethanol bằng phần mềm Matlab simulink, cụ thể được thể hiện trên hình 4.



Hình 4. Mô hình bộ điều khiển động cơ sử dụng lưỡng nhiên liệu diesel-ethanol



Hình 5. Mô men động cơ và hệ số λ tại chế độ tải 100% với tốc độ động cơ thay đổi trong trường hợp có phun ethanol.

T_{b_model} - Mô men động cơ trên mô hình; T_{b_exp} - Mô men động cơ thực nghiệm; λ_{model} - Hệ số dư lượng không khí trên mô hình; λ_{exp} - Hệ số dư lượng không khí thực nghiệm.

Sau khi xây dựng được mô hình điều khiển, sử dụng để điều khiển mô hình động cơ sử dụng lưỡng nhiên liệu diesel-ethanol. Đồng thời biên dịch chương trình trực tiếp từ mô hình điều khiển và nạp vào ECU trắng MotoHawk ECM-0565-128-0702-C của hãng Woodward [8] để tiến hành thực nghiệm động cơ. Kết quả giữa mô hình và thực nghiệm được sử dụng để đánh giá mô hình bộ điều khiển.

Kết quả đánh giá mô hình điều khiển trên mô hình động cơ và thực nghiệm ở chế độ ổn định được lựa chọn tại 100% tải với tốc độ động cơ thay đổi từ 1000 ÷ 3500 vg/ph với bước nhảy 500 vg/ph trong trường hợp có phun ethanol được thể hiện trên hình 5.

Kết quả cho thấy, mô men động cơ và hệ số λ trên mô hình động cơ luôn bám với mô men động cơ và hệ số λ thực nghiệm tại cùng chế độ. Cụ thể là sai lệch mô men lớn nhất giữa mô hình và thực nghiệm là 1,38% tại tốc độ động cơ bằng 1000 vg/ph; sai lệch mô men nhỏ nhất giữa mô hình và thực nghiệm là 0,017% tại tốc độ động cơ bằng 2500 vg/ph; sai lệch mô men trung bình trên toàn dải tốc độ động cơ là 0,51%. Sai lệch hệ số λ lớn nhất giữa mô hình và thực nghiệm là 2,19% tại tốc độ động cơ bằng 2000 vg/ph; sai lệch hệ số λ nhỏ nhất giữa mô hình và thực nghiệm là 0,23% tại tốc độ động cơ bằng 3000 vg/ph; sai lệch hệ số λ trung bình trên toàn dải tốc độ động cơ là 1,17%. Từ đó cho thấy bộ điều khiển đảm bảo yêu cầu.

5. KẾT LUẬN

Xây dựng được mô hình bộ điều khiển đảm bảo điều khiển được mô men động cơ yêu cầu, lượng phun diesel, lượng phun ethanol, giới hạn hệ số dư lượng không khí λ , xác định vị trí tay ga và thời gian phun ethanol phù hợp với các chế độ làm việc của động cơ theo yêu cầu đặt ra, đảm bảo cho động cơ làm việc ổn định ở tất cả các chế độ làm việc..

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Abdulrahman Al-Saadi and Ishak Bin Aris Abdulwahab A.,2015. "CNG-Diesel Dual Fuel Engine". IEEE.
- [2]. I.N. Bishop, 1964. "Effect of design variable on friction and economy". SAE paper 640807 (SAE paper 640807).
- [3]. F. G. Kremer and A. Fachetti, 2000. "Alcohol as automotive Fuel - Brazilian Experience". Presented at CEC/SAE Spring Fuels & Lubricants Meeting & Exposition, France.
- [4]. Talal F. Yusaf and Mushtak Talib, 2003. "Experimental Investigation for the Design of ECU for A Single Cylinder Engine Using Dual-Fuel (CNG-Diesel)". AsiaSENSE.
- [5]. Vladimir Gavrilov Vladimir Zhukov, Sergei Sokolov, Aleksandr Zhelezniak and Aleksandr Bordiug, 2017. "Control System of Gas and Dual Fuel Engines of Generating Units by Way of Accuracy Increasing of Load Allocation". IEEE.
- [6]. ChunHua Zhang and JieChao Jiang Wei Zhao, 2011. "Simulation research on the accuracy control of the mixing ratio of CNG and diesel in CNG/diesel dual-fuel engine based on Proteus". IEEE.
- [7]. Andrzej Kowalewicz, Zbigniew Pajczek, 2003. "Dual fuel engine fuelled with ethanol and diesel fuel". Journal of KONES Internal Combustion Engines, vol.10, No1-2
- [8]. Woodward, 2015. "MotoHawk ECM-0565-128-0702-C". Woodward, ed.