

A Study on Establishment of Powertrain Control Module Tester by Using Powertrain Sensor Signal Simulator

Quang Vu Le^{ORCID}

Ho Chi Minh City University of Technology and Education, Vietnam

Corresponding author. Email: vulq@hcmute.edu.com

ARTICLE INFO

Received: 16/07/2024
Revised: 27/08/2024
Accepted: 09/09/2024
Published: 28/10/2024

KEYWORDS

Power Train Module;
LabVIEW;
Engine Control System;
Simulate Signal;
Kia Morning.

ABSTRACT

This paper presents the results of a study on setting up a system that uses emulated signals to activate the PCM (Powertrain Control Module) control process. Simulated signals are identified and set based on information about the specific vehicle model. From there, the emulator system creates similar signals that input the PCM. The output control signals are collected and measured by the Ni-CompacRio and displayed on the computer interface via LabVIEW software. In addition, the system includes an OBD2 (On-board Diagnostics) connector to read diagnostic codes and operating data. The study tested the PCM of the 2nd generation Kia Morning vehicle successfully. The results show that the emulator system can activate and measure the same as specific control modes. The study helps to check operating parameters and evaluate control programs and algorithms. Furthermore, the diagnostic device's displayed parameters and data can aid in training the engine control system.

Thiết Lập Hệ Thống Thử Nghiệm Mô-Đun Điều Khiển Động Cơ Bằng Phương Pháp Giả Lập Tín Hiệu Cảm Biến

Lê Quang Vũ^{ORCID}

Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

Tác giả liên hệ. Email: vulq@hcmute.edu.vn

THÔNG TIN BÀI BÁO

Ngày nhận bài: 16/07/2024
Ngày hoàn thiện: 27/08/2024
Ngày chấp nhận đăng: 09/09/2024
Ngày đăng: 28/10/2024

TỪ KHÓA

Mô-đun điều khiển động cơ;
Phần mềm LabVIEW;
Hệ thống điều khiển động cơ;
Tín hiệu giả lập;
Xe Kia morning.

TÓM TẮT

Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu thiết lập hệ thống giả lập tín hiệu động cơ kích hoạt quá trình hoạt động điều khiển của PCM (Powertrain Control Module). Các tín hiệu và giá trị giả lập được nhận diện, thiết lập dựa vào thông số kỹ thuật của dòng xe cụ thể. Từ đó hệ thống sẽ giả lập các thông số tương đồng với thực tế gửi tới các ngõ vào của PCM. Các tín hiệu điều khiển ngõ ra được hệ thống Ni-CompacRio kèm với Card chuyên dụng thu thập, đo lường và đưa ra thông số hiển thị trên giao diện máy tính lập trình bằng phần mềm LabVIEW nhằm hiển thị thông số quá trình điều khiển các bộ chấp hành tương ứng với chế độ cài đặt ngõ vào. Bên cạnh đó, hệ thống có cổng kết nối OBD2 (On-board Diagnostics) cho phép một máy chẩn đoán thông thường kết nối với PCM đọc các mã lỗi và dữ liệu hoạt động. Nghiên cứu bước đầu thử nghiệm thành công bộ PCM trên xe Kia Morning thế hệ thứ 2. Kết quả cho thấy hệ thống giả lập có thể kích hoạt và đo lường được một số chế độ điều khiển cụ thể để kiểm tra các thông số hoạt động đồng thời đánh giá chương trình và thuật toán điều khiển. Hơn thế nữa, các thông số hiển thị và dữ liệu từ máy chẩn đoán có thể phục vụ cho công tác đào tạo về hệ thống điều khiển động cơ.

Doi: <https://doi.org/10.54644/jte.2024.1620>

Copyright © JTE. This is an open access article distributed under the terms and conditions of the [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium for non-commercial purpose, provided the original work is properly cited.

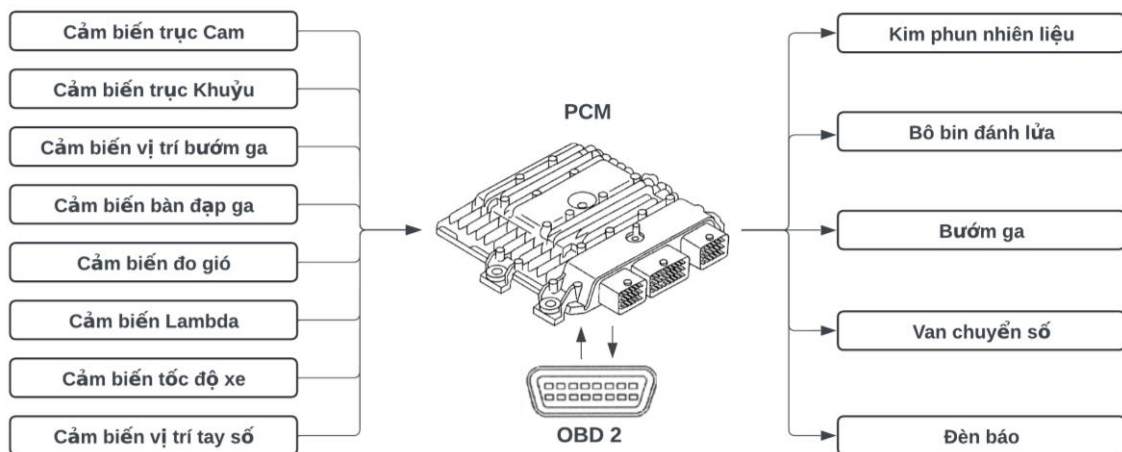
1. Giới thiệu

Ngày nay, với sự phát triển nhanh về công nghệ điều khiển dẫn tới các tín hiệu phản hồi hoạt động từ động cơ ngày càng đa dạng và đòi hỏi độ chính xác cao. Trong khi đó phần cứng các bộ điều khiển – ECU (Electronic Control Unit) được các nhà phát triển thiết kế chung cho nhiều dòng xe và có xu hướng mở, cho phép bên thứ ba can thiệp vào phần mềm để thích ứng với từng loại động cơ và điều kiện ngoại cảnh cụ thể. Vì thế nên rất nhiều nhà phát triển phần mềm thiết lập các hệ thống giả lập để phục vụ gia công phần mềm [1], [2], [3]. Hệ thống giả lập này tạo ra các tín hiệu vật lý như trên động cơ thực tế và có thể tạo lỗi trong khi hoạt động ở mọi chế độ khác nhau [8] để kích hoạt các quá trình điều khiển phức tạp trong cấu trúc của các mô-đun điều khiển động cơ [9]. Thậm chí, để linh hoạt trong quá trình giả lập, hệ thống nhúng đã được một số nghiên cứu sử dụng [3], [4], [12], [13]. Từ đó các thuật toán điều khiển động cơ được kiểm tra dễ dàng hơn. Bên cạnh đó, các phần mềm về toán học và mô phỏng thông dụng trên thế giới như Matlab, LabVIEW thường kết hợp với phần cứng chuyên dụng cung cấp các tín hiệu vật lý theo thời gian thực tương đối chính xác và linh động từ phần mềm [4], [13]. Ở Việt Nam, với điều kiện khí hậu là vùng nhiệt đới ẩm, nguồn nhiên liệu thay thế tự nhiên nhiều nên gần đây có nhiều công trình nghiên cứu về bio-gas, nhiên liệu kép cung cấp cho động cơ để giảm mức tiêu hao nhiên liệu hóa thạch và làm thay đổi đặc tính động cơ. Từ đó dẫn tới quá trình cháy và các thông số hoạt động khác như thời điểm đánh lửa, thời gian phun nhiên liệu sẽ thay đổi [5], [6], [7]. Vì thế nên cần phải gia công một phần mềm điều khiển thích hợp nhất cho ECU để tối ưu hóa quá trình cung cấp nhiên liệu. Với một động cơ có sự thay đổi đặc tính đang được điều khiển bởi một ECU đang trong quá trình xây dựng sẽ rất khó cho việc thử nghiệm thực tế. Một giải pháp được áp dụng khá nhiều hiện nay là sử dụng phần cứng kiểm tra vòng lặp điều khiển – HIL (Hardware-in-the-loop) [1], [2], [10], [11]. HIL thường được sử dụng ở khâu gần cuối trong chu trình thiết kế chữ V [1], [11], ở đó phần mềm được kiểm tra trên nền phần cứng trước khi thử nghiệm trên xe hay động cơ thực tế. Phương pháp này cho phép kiểm tra các chức năng điều khiển của ECU trong môi trường giả lập trước khi đưa lên động cơ để thực nghiệm nhằm giảm thiểu các sai số điều khiển. Chính vì thế việc khảo sát các tín hiệu vật lý cho từng loại động cơ cụ thể khi hoạt động, mô hình hóa thành một bộ giả lập để cung cấp cho ECU khi gia công chỉnh sửa phần mềm điều khiển, kiểm tra chức năng của ECU là rất cần thiết hiện nay.

Nội dung nghiên cứu bao gồm nhận diện và giả lập tín hiệu hệ thống cảm biến động cơ, thiết lập hệ thống thu thập phân tích tín hiệu và dữ liệu hoạt động của bộ truyền lực. Hệ thống giả lập được thử nghiệm và đánh giá cho PCM xe Kia Morning thế hệ thứ 2 trang bị hộp số tự động sử dụng dòng PCM MG798 của BOSCH. Qua đó thu thập dữ liệu các thông số hoạt động để đối chiếu với thông số nhà chế tạo nhằm thu thập dữ liệu nguyên bản và kiểm tra các dữ liệu chỉnh sửa. Đồng thời bộ giả lập có thể kích hoạt các chức năng của PCM nhằm phục vụ cho các cơ sở đào tạo về bộ điều khiển động cơ trên ô tô.

2. Thiết lập hệ thống tín hiệu

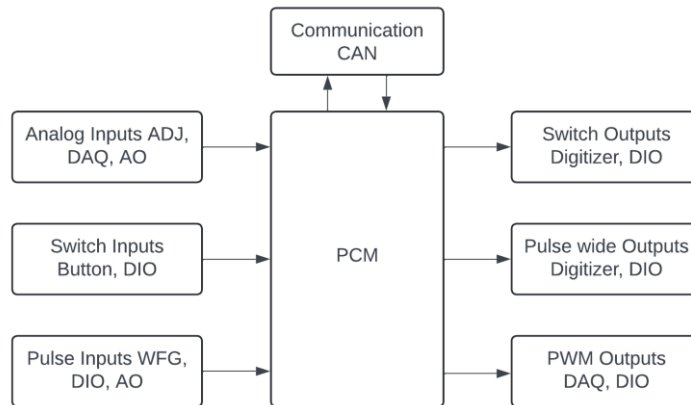
2.1. Nhận dạng các tín hiệu ngõ vào



Hình 1. Sơ đồ hệ thống điều khiển động cơ

Hệ thống điều khiển động cơ bằng PCM bao gồm một hệ khép kín được chia làm ba khối cơ bản [14] bao gồm khối tín hiệu ngõ vào, bộ xử lý điều khiển trung tâm – PCM và khối chấp hành ngõ ra. Sơ đồ khối hệ thống được mô tả như **Hình 1**.

Trong đó, khối tín hiệu ngõ vào bao gồm các cảm biến trang bị trên động cơ để thu thập các dữ liệu hoạt động báo về cho PCM. Sau khi xử lý dữ liệu bằng các thuật toán lập trình, PCM đưa ra các tín hiệu điều khiển bộ chấp hành đồng thời kết nối truyền dữ liệu hoạt động trên mạng CAN (Control Area Network) qua cổng OBD2. Những tín hiệu từ cảm biến và điều khiển bộ chấp hành đều là các tín hiệu vật lý theo thời gian thực có thể phân loại nhận dạng như **Hình 2**.



Hình 2. Sơ đồ khối hệ thống tín hiệu [15]

Trong **Hình 2**, các tín hiệu ngõ vào bao gồm dạng tuyến tính như cảm biến bàn đạp ga, cảm biến vị trí bướm ga, cảm biến nhiệt độ, cảm biến tỷ lệ hòa khí. Cảm biến dạng xung theo thời gian thực bao gồm các cảm biến tốc độ, đường truyền dữ liệu nối tiếp. Cảm biến dạng đóng ngắt bao gồm các công tắc. Những tín hiệu cảm biến này khi giả lập bằng ngõ vào ra của các bộ DAQ (Data Acquisition) đều được PCM nhận và xử lý như tín hiệu cảm biến thực tế [15]. Các tín hiệu điều khiển bộ chấp hành từ PCM cũng được phân loại bao gồm dạng đóng ngắt như tín hiệu điều khiển kim phun nhiên liệu, dạng chu kỳ xung như tín hiệu điều khiển van áp suất và tín hiệu tương tự như điện áp điều khiển bộ chấp hành. Những tín hiệu này có thể nhận dạng đo kiểm các thông số thông qua các ngõ vào thu thập dữ liệu DAQ.

1.2. Giả lập tín hiệu ngõ vào

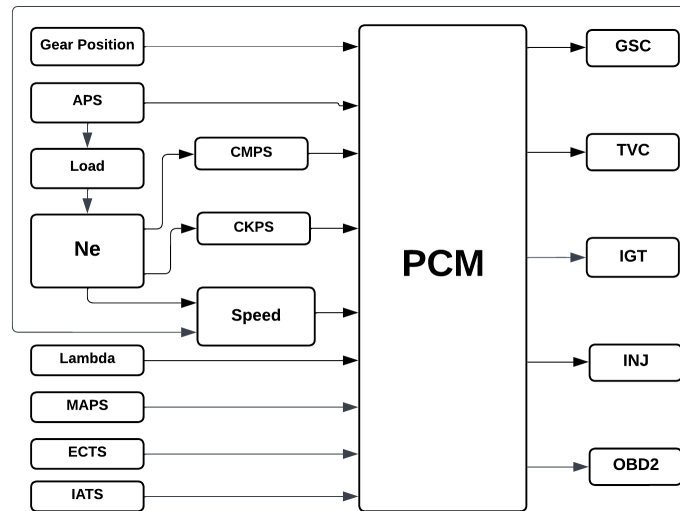
Hệ thống giả lập tiến hành tạo dữ liệu và xử lý tín hiệu phức tạp cho xe Kia Morning thế hệ thứ 2, là loại xe dạng nhỏ thông dụng có thông số động lực cơ bản như **Bảng 2**. [17]

Bảng 1. Thông số cơ bản động cơ Kia morning thế hệ thứ 2

TT	Thông số kỹ thuật	Đặc điểm và tính chất
1	PCM	Bosch MG798
2	Dung tích xy lanh	1.2 [L]
3	Hộp số	AT 4 cấp, tỷ số truyền: 2.92; 1.55; 1.00; 0.71
4	Cảm biến trục cam	Hall - 1 xung lệch 37
5	Cảm biến trục khuỷu	Điện từ - 58 khuyết 2
6	Cảm biến tốc độ xe (ISS-OSS)	Hall
7	Kiểu bướm ga	Bướm ga điện từ

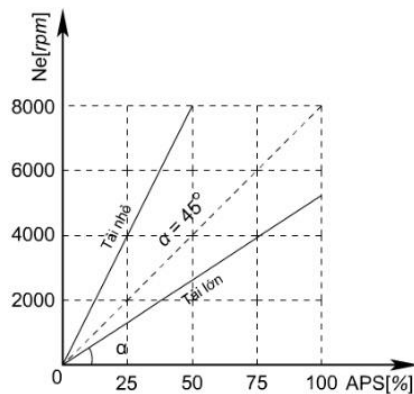
Với mục đích hệ thống giả lập tín hiệu kích hoạt các chức năng điều khiển cơ bản của PCM để từ đó phân tích, kiểm tra các vòng lặp và các dữ liệu điều khiển. Nên các tín hiệu điều khiển dạng xung như điều khiển đánh lửa, điều khiển kim phun, điều khiển bướm ga vừa được hiển thị vừa được đo bề rộng

xung. Các tín hiệu điều khiển bật tắt như van chuyển số được đọc trạng thái tổ hợp. Đồng thời các dữ liệu và thông số điều khiển được hiển thị trên thiết bị chẩn đoán thông qua cổng OBD2. Sơ đồ khối giả lập được thiết lập như **Hình 3**.



Hình 3. Mô hình giả lập kiểm tra PCM [3]

Trong **Hình 3**, Công tắc vị trí tay số - *Gear Possition* được xác định từ tổ hợp DIO (Digital Input Output) của *DAQ*, kết quả gửi tới *PCM* là vị trí các số P, R, N, D, 2, L thông qua chân giắc hộp. Các tín hiệu dạng tương tự như tín hiệu bàn đạp ga - *APS*, tỷ lệ hòa khí - *Lambda*, áp suất đường ống nạp - *MAPS*, cảm biến nhiệt độ nước làm mát - *ECTS* và cảm biến nhiệt độ khí nạp - *IATS* được tính toán giả lập từ chân AO (Analog Output) của *DAQ*. Tải động cơ - *Load* là thông số giả định đặc trưng cho mỗi qua hệ giữ vị trí bàn đạp ga và tốc độ động cơ - *Ne[rpm]*. Bản chất tải động cơ được quy đổi là hệ số góc α của đường đặc tuyến giữa tỷ lệ góc mở bàn đạp ga lấy từ tín hiệu *APS* [%] và tốc độ động cơ *Ne[rpm]* có đặc điểm như **Hình 4**.



Hình 4. Đặc tuyến tốc độ động cơ theo độ mở bàn đạp ga

Theo đặc tuyến tải như **Hình 4** ta thấy *Ne* được xác định theo công thức (1).

$$Ne = \frac{\tan(\alpha)}{k.APS} \quad (1)$$

Trong công thức (1), *k* là hệ số chuyển đổi đơn vị đo, với điều kiện tỷ lệ quy ước của nghiên cứu này là ở góc $\alpha=45^\circ$ độ mở bàn đạp ga 100% tương ứng tốc độ động cơ đạt cực đại 8000 rpm như trên thì hệ số chuyển đổi là 80. Tải động cơ tăng tương ứng α từ 90° về 0° . Góc α càng lớn động cơ càng nhẹ tải.

Xung *Ne* là tín hiệu chuyển đổi dạng tần số tương ứng 60 xung cho một vòng quay động cơ dựa theo biên dạng bánh răng khuỷu 58 răng khuyết 2 đánh dấu điểm chết trên máy số 1[17]. Từ đó thời gian một chu kỳ xung - $T_{Ne}[\mu S]$ tương ứng tốc độ động cơ *Ne*[RPM] được xác định bằng công thức (2).

$$T_{Ne} = \frac{60 \cdot 10^6}{N_e} \quad (2)$$

Kết hợp công thức (1) và (2) với $k = 80$ ta có:

$$T_{Ne} = \frac{4.8 \cdot 10^9}{\tan(\alpha)} \quad (3)$$

Khởi giả lập tốc độ lấy đầu vào là tốc độ động cơ và tổ hợp trạng thái van chuyên số để tính giá trị tốc độ bao gồm tốc độ trục đầu vào hộp số - ISS [rad/s], tốc độ trục đầu ra hộp số - OSS [rad/s]. Ở một cấp số có tỷ số truyền i_x . Mỗi quan hệ giữa tốc độ đầu vào và đầu ra xác định theo công thức (4).

$$OSS = \frac{ISS}{i_x} \quad (4)$$

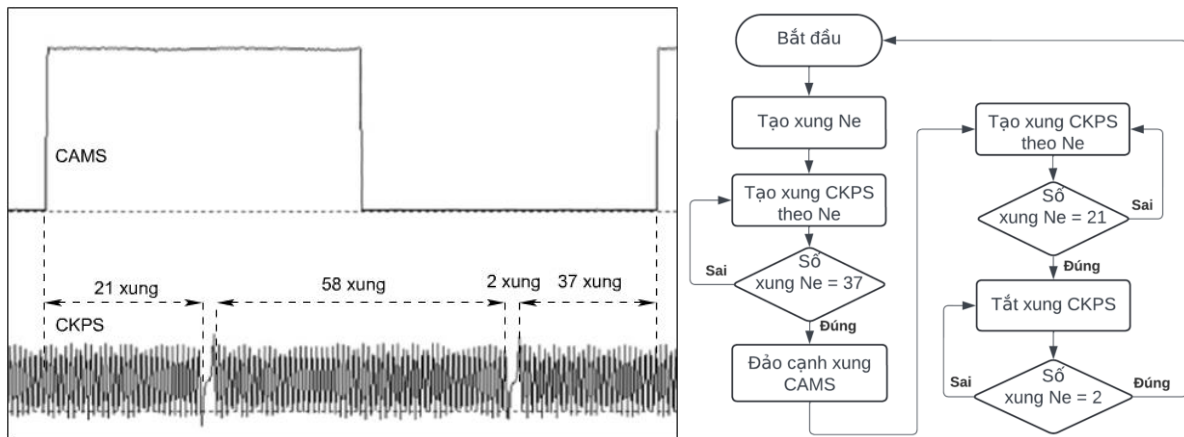
Khi đó tốc độ xe - VSS [km/h] được xác định theo công thức (5).

$$VSS = \frac{3.6 \cdot \rho \cdot N_e \cdot \pi \cdot r_w}{30 \cdot i_x \cdot i_0} \quad (5)$$

Trong đó:

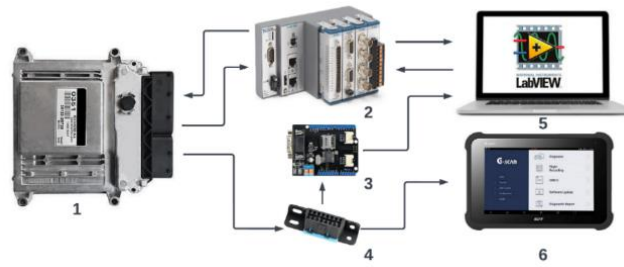
- ρ là hệ số trượt ở biên mô
- r_w [m] là bán kính bánh xe
- i_0 là tỉ số truyền bộ vi sai

Dựa vào cấu trúc biên dạng và vị trí tương quan giữa bánh răng trục khuỷu và trục cam được mô tả như **Bảng 1**, tín hiệu cảm biến trục khuỷu - $CKPS$ dạng xung của cảm biến điện tử được giả lập bằng cách xuất dữ liệu AO từ bộ DAQ dựa trên kết quả đếm số xung N_e , sau 58 xung đếm được sẽ bỏ 2 xung không xuất tín hiệu để đánh dấu điểm chết trên máy số 1. Đồng thời tín hiệu cảm biến trục cam - $CMPS$ được giả lập dạng xung vuông từ DIO của DAQ có cạnh xung lệch 37 xung so với dấu điểm chết trên máy số 1. Biên dạng xung và lưu đồ giải thuật giả lập cảm biến trục cam và trục khuỷu mô tả như **Hình 5**.



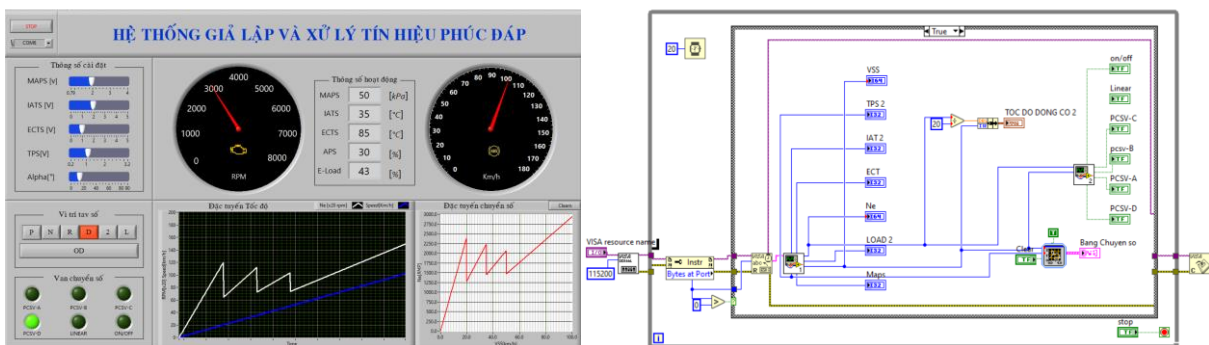
Hình 5. Tín hiệu và lưu đồ giải thuật giả lập cảm biến trục cam và trục khuỷu

Hệ thống giả lập sử dụng bộ CompacRio kết hợp card $Ni-9381$ của hãng National Instrument giao tiếp với máy tính qua giao diện lập trình bằng phần mềm LabVIEW. $Ni-9381$ với đặc điểm có 6 kênh AO và 8 kênh AI (Analog Input) với độ phân giải 12 bit có thể sử dụng như DIO . Đồng thời $Ni-9381$ còn trang bị 4 kênh DIO có chức năng phân tích xung tín hiệu[16]. Các tín hiệu cơ bản được giả lập qua các chân vào ra của card $Ni-9381$ gửi tới PCM đồng thời các tín hiệu điều khiển từ PCM được gửi về máy tính để phân tích. Ngoài ra dữ liệu trên mạng CAN được kết nối qua cổng OBD2 để đọc dữ liệu bằng máy chẩn đoán. Dữ liệu này cũng được bộ giải mã đọc và gửi về giao diện trên máy tính để kiểm tra các dữ liệu cài đặt gửi tới PCM . Hệ thống kết nối được mô tả như **Hình 6**.



Hình 6. Hình ảnh và sơ đồ hệ thống kết nối

Trong Hình 6, 1 – PCM Kia Morning, 2 – Bộ thu thập dữ liệu và điều khiển CompacRio, 3 – Bộ giải mã mạng CAN, 4 – Cổng OBD2, 5 – Máy tính chạy phần mềm LabVIEW, 6 – Máy chẩn đoán G-Scan3. Giao diện thu thập xử lý dữ liệu trên máy tính được lập trình bằng phần mềm LabVIEW có giao diện và khối chương trình như Hình 7.



Hình 7. Giao diện máy tính và chương trình trên nền LabVIEW

3. Thử nghiệm hệ thống

3.1. Thử nghiệm kiểm tra góc đánh lửa sớm và thời gian mở kim phun

Mục đích của thử nghiệm là kiểm tra quá trình thu thập, xử lý và truy xuất dữ liệu của chương trình điều khiển so với dữ liệu nhập vào. Qua đó đánh giá khả năng đáp ứng của thuật toán điều khiển trong PCM so với yêu cầu thực tế. Để thử nghiệm hệ thống, nghiên cứu này tiến hành tra cứu bản đồ phun phun xăng và đánh lửa trong bộ nhớ của PCM [17]. Thử nghiệm chỉ sử dụng các dữ liệu đầu vào tại một điểm trên bản đồ và so sánh dữ liệu góc đánh lửa sớm - $\theta [^\circ]$ và thời gian phun nhiên liệu - $T_f [mS]$ trong bản đồ với kết quả ở ngõ ra PCM. Điểm truy cập trên bản đồ có thông số như Bảng 3.

Bảng 2. Thông số cơ bản ngõ vào thử nghiệm

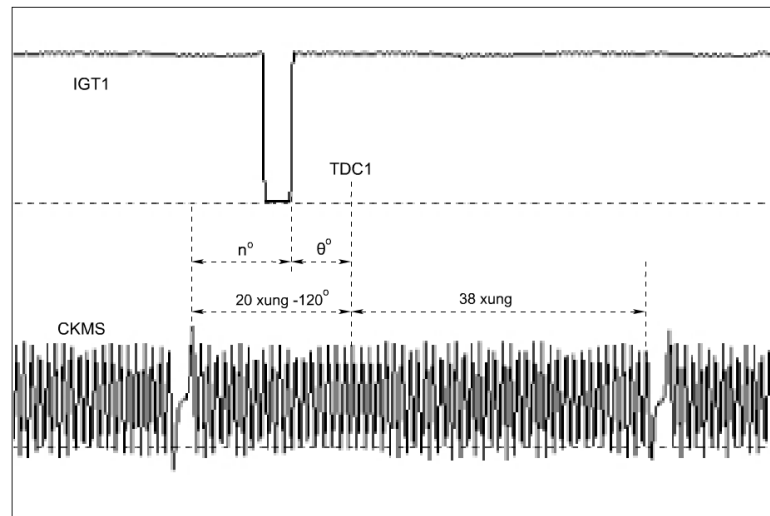
TT	Thông số hoạt động	Giá trị [Đơn vị đo]
1	Tốc độ động cơ	1600 [RPM]
2	Nhiệt độ động cơ	87[$^\circ C$]
3	Nhiệt độ khí nạp	35[$^\circ C$]
4	Vị trí bướm ga	20[%]
5	Áp suất đường ống nạp	50[kPa]

Hệ thống giả lập tiến hành gửi các tín hiệu cơ bản của động cơ như trong Bảng 3 để PCM xuất dữ liệu điều khiển kim phun nhiên liệu và bộ bin đánh lửa. Thời gian mở kim phun và góc đánh lửa sớm được thu thập bằng hai cách độc lập với nhau. Cách thứ nhất sử dụng máy chẩn đoán đọc dữ liệu trên hệ thống mạng CAN qua cổng OBD2. Đây là dữ liệu được chương trình truy xuất từ bản đồ trong bộ nhớ. Cách thứ hai nghiên cứu này sử dụng phương pháp phân tích xung điều khiển để xác định thời

điểm. Đối với thông số thời gian mở kim phun, hệ thống sử dụng DIO để đo bề rộng xung điều khiển, với góc đánh lửa sớm, nghiên cứu tạo bộ đếm đo góc đánh lửa máy số 1 và xác định thời điểm đánh lửa là sườn dương xung kích *IGT1* (Ignition Timing No1) ngay khi kết thúc góc ngậm điện. Một vòng quay trục khuỷu tương ứng 360° hệ thống tạo ra 360 xung vuông tương ứng mỗi xung 1° . Từ kết cấu răng bánh đà có 60 răng bộ 2 ta có mỗi xung *CKMS* tương ứng 6° . Kết hợp công thức (3) ta có chu kỳ tạo xung đếm đo góc quay trục khuỷu - $t[\mu S]$ được tính theo công thức sau.

$$t = \frac{T}{6} = \frac{0,8.10^9}{\tan(\alpha)} \quad (6)$$

Vị trí điểm chết trên máy số 1 theo kết cấu bánh răng trục khuỷu là răng thứ 20 sau vị trí 2 răng không phay [17]. Từ đó ta xác định được trên giản đồ xung vị trí kết thúc xung lớn là 120° trước điểm chết trên máy số 1. Giản đồ xung xác định thời điểm đánh lửa được minh họa như **Hình 8**.



Hình 8. Giản đồ xung xác định góc đánh lửa sớm

Theo **Hình 8**, góc đánh lửa sớm θ [$^\circ BTDC$] được xác định thông qua công thức (7)

$$\theta = 120 - n \quad (7)$$

Trong đó $n[^\circ]$ là giá trị đếm xung với tần số được tạo ra có chu kỳ xung xác định ở (6). Chương trình máy tính sẽ khởi đếm xung n khi kết thúc xung lớn tương ứng 2 răng bộ trống của *CKMS* cho tới khi xuất hiện cạnh dương xung điều khiển đánh lửa - *IGT1*. Tiến hành lấy mẫu thử nghiệm độc lập bằng cách điều chỉnh các thông số từ giá trị khởi đầu tới khi đạt đến giá trị đầu vào ở **bảng 3** sau đó đọc kết quả phân tích. Sau khi thu thập dữ liệu với số mẫu là 10, kết quả trung bình như **bảng 4**.

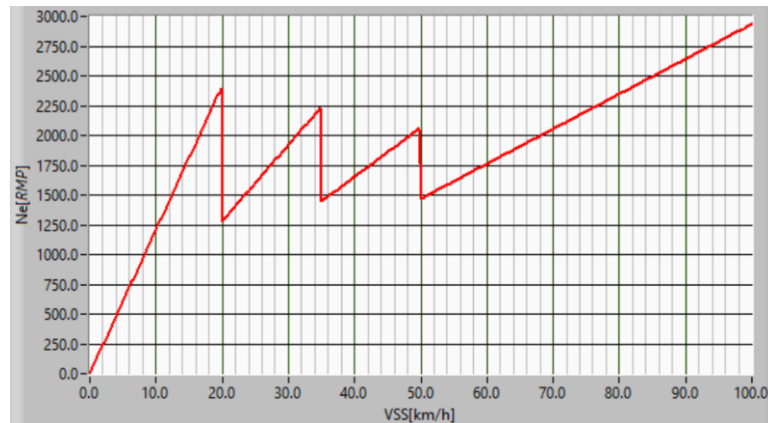
Bảng 3. Kết quả thử nghiệm phun nhiên liệu và góc đánh lửa sớm

TT	Thông số thử nghiệm	Tra cứu bản đồ	Từ máy chẩn đoán		Từ xung điều khiển (2)	
			Giá trị đo	Độ lệch chuẩn	Giá trị đo	Độ lệch chuẩn
1	$T_f [mS]$	5	5,09	0,15	5,12	0,08
2	$\theta [^\circ]$	31	30,60	0,48	31,10	0,90

Bảng kết quả thử nghiệm cho thấy giá trị trung bình đọc từ máy chẩn đoán và hệ thống phân tích xung tương đương nhau, sát với giá trị tra cứu từ bản đồ. Với thông số thời gian phun nhiên liệu vì bề rộng xung đủ lớn nên sai số từ xung điều khiển và giá trị truy xuất từ máy chẩn đoán không sai lệch nhiều. Với thông số góc đánh lửa sớm kết quả cho thấy việc đo từ hệ thống tạo xung đếm có sự sai lệch lớn hơn. Nguyên nhân ngoài sai số của phương pháp đo còn có sai số của tốc độ động cơ đầu vào và cách xác định thời điểm đánh lửa trên xung kích bộ bin. Tuy nhiên kết quả nằm trong giới hạn có thể kiểm tra chương trình điều khiển.

3.2. Thử nghiệm kiểm tra thời điểm chuyển số

Mục đích của việc thử nghiệm thời điểm chuyển số là kiểm tra quá trình hoạt động của chương trình điều khiển chuyển số bằng cách xác định thời điểm chuyển số từ trạng thái tổ hợp van điều khiển mạch dầu theo thông số đầu vào. Từ đó so sánh với dữ liệu bản đồ chuyển số trong bộ nhớ PCM để kiểm tra chương trình điều khiển. Thử nghiệm này chỉ kiểm tra quá trình lên số ở một điều kiện nhất định. Thời điểm chuyển số chỉ yêu cầu tương đối ở một khoảng giá trị mà không cần độ chính xác cao nên tác giả xác định bằng đặc tuyến đọc trực tiếp từ bộ thu thập dữ liệu và hiển thị trên giao diện máy tính. Với thông số đầu vào như **bảng 3** kết quả tra cứu theo mức bướm ga mở từ 20% đến 30%. Thời điểm chuyển số từ 1-2-3-4 tương ứng ở tốc độ xe 20-35-50 [km/h] [17]. Tiến hành thiết lập dữ liệu ngõ vào và cho tốc độ xe tăng dần từ 0 đến 100 km/h để thu thập thời điểm lên số. Kết quả đặc tuyến tốc độ xe theo tốc độ động cơ thu thập được như **Hình 9**.



Hình 9. Đặc tuyến vận tốc xe theo tốc độ động cơ ở một chế độ chuyển số

Hình 9 cho thấy, hệ thống chuyển từ số 1 sang số 2 ở tốc độ xe 20 km/h, chuyển từ số 2 lên số 3 ở mức 35 km/h và chuyển từ số 3 lên số 4 ở tốc độ xe 50 km/h. Kết quả thu thập được có thể kiểm tra đánh giá chương trình điều khiển chuyển số của PCM.

4. Kết luận và hướng phát triển

Nghiên cứu đã phân tích đặc điểm của hệ thống điều khiển động cơ, từ đó đưa ra giải pháp giả lập tín hiệu vật lý của các cảm biến cơ bản bằng cách tạo tín hiệu tương tự từ mô-đun Ni-CompactRio kết hợp card Ni-9381. Đồng thời thu thập và phân tích tín hiệu điều khiển bộ chấp hành để xác định thông số và thời điểm điều khiển. Hệ thống tín hiệu giả lập bước đầu áp dụng thử nghiệm trên hệ thống động cơ Kia Morning thế hệ thứ 2 và được bộ điều khiển nhận diện và chấp nhận mà không báo lỗi. Tín hiệu điều khiển bộ chấp hành được đo lường với độ tin cậy cao có thể kiểm tra so sánh với dữ liệu lập trình để đánh giá thuật toán điều khiển. Mặc dù nghiên cứu chỉ mới trình bày kết quả thử nghiệm hai thông số cơ bản trên dòng xe Kia Morning thế hệ thứ 2 để đánh giá phương pháp thử nhưng kết quả bước đầu cho thấy tính độc lập lấy mẫu đa dạng và dễ dàng kích hoạt chế độ hoạt động từng vị trí dữ liệu đơn thuần khi đồng bộ các biến đầu vào. Đây là tính vượt trội của phương pháp này so với việc thử nghiệm động cơ trên băng thử, một phương pháp rất khó tạo được môi trường đa dạng trên băng thử để PCM đưa ra tín hiệu điều khiển khác nhau nhằm kiểm tra tính năng điều khiển. Các thông số đầu vào của động cơ được thiết lập trực tiếp trên giao diện máy tính nên dễ dàng thay đổi khi thử nghiệm các loại hệ thống điều khiển động cơ khác nhau. Bên cạnh đó, dữ liệu được thu thập bằng phần mềm nên có thể cài đặt chế độ thu thập tự động, áp dụng các thuật toán xử lý và đánh giá số liệu tự động để có được kết quả nhanh và khách quan, tránh được yếu tố chủ quan khi thu thập bằng các thí nghiệm độc lập. Thành công bước đầu của hệ thống giả lập mở ra một phương pháp mới trong việc giảng dạy ngành công nghệ kỹ thuật ô tô, các bài học tiên hành bằng giải pháp giả lập nhanh, tiện lợi, hiệu quả mà không sử dụng các mô hình thực tế đắt giá và sớm bị lạc hậu theo thời gian. Tuy nhiên nghiên cứu còn có nhiều hạn chế cần được cải thiện và phát triển. Hệ thống thử nghiệm chưa đánh giá toàn diện, số mẫu thí nghiệm cho một chế độ đơn thuần chưa nhiều. Các chế độ giả lập chưa mô phỏng được quá trình hoạt động của xe như trên thực tế. Trong những nghiên cứu tiếp theo, nhóm tác giả sẽ tiến hành giả lập và

mô phỏng quá trình hoạt động từ tín hiệu điều khiển các thiết bị chấp hành quan trọng như biến mô, bướm ga, quá trình điều áp dầu thủy lực và tiến tới thiết lập chạy các chu trình thử nghiệm để so sánh đánh giá khách quan. Từ đó làm cơ sở phục vụ cho cho việc học tập, nghiên cứu và phát triển các bộ ECU điều khiển trên ô tô hiện đại.

Lời cảm ơn

Tác giả xin cảm ơn phòng thí nghiệm Cơ Điện Tử Ô tô, Khoa Cơ Khí Động Lực, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Thành Phố Hồ Chí Minh đã hỗ trợ thiết bị thí nghiệm.


Xung đột lợi ích

Tác giả tuyên bố không có xung đột lợi ích trong bài báo này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] P. J. King, "Hardware in the loop for automotive vehicle control systems development and testing," *Engineering Center, Whitley, Coventry, Measurement + Control*, vol. 39, no. 1, pp. 34-39, Feb. 2006.
- [2] A. Mouzakitis, D. Copp, R. Parker, and K. Burnham, "Hardware in the loop system for testing automotive ECU diagnostic software," *Measurement + Control*, vol. 42, no. 8, pp. 239-244, Oct. 2009.
- [3] T. Koç, D. Karayel, B. Boru, V. Ayhan, E. Cesur, and A. Parlak, "Design and implementation of the control system of an internal combustion engine test unit," *Advances in Mechanical Engineering*, vol. 2014, pp. 1-7, 2014.
- [4] J. Sobota, M. Goubey, J. Königsmarková, and M. Cech, "Raspberry Pi-based HIL simulators for control education," in *Proc. Int. Fed. Autom. Control (IFAC)*, 2019, pp. 130-135.
- [5] D. V. Dung, N. V. Long Giang, and H. P. Son, "Researching and installing dual fuel system to Ford Ranger diesel engine," *Vietnam Fluid Mechanics Conf.*, 2011.
- [6] V. X. Thanh, D. V. Dung, and H. A. Quoc, "Theory of fuel control on dual-fuel systems of gasoline engines using hydrogen from water electrolysis by solar energy," *Journal of Technical Education*, vol. 34, pp. 48-57, 2015.
- [7] B. V. Ga, B. T. M. Tu, N. V. Dong, B. V. Hung, and P. M. Tung, "Equivalence ratio adjustment for engine fueled with biogas-syngas-hydrogen in hybrid renewable energy system," *Journal of Science and Technology – The University of Danang*, vol. 20, no. 4, pp. 72-78, 2022.
- [8] S. Sekulić, D. Davidović, M. Marijan, and V. Ilić, "Software signal generator as a testing tool for automotive applications," in *IcETRAN Conf.*, 2018, Palic, Serbia.
- [9] B. Ashok, S. D. Ashok, and C. R. Kumar, "A review on control system architecture of a SI engine management system," *Annual Reviews in Control*, vol. 41, pp. 94-118, 2016.
- [10] A. V. Tumasov, A. S. Vashurin, Y. P. Trusov, E. I. Toropov, P. S. Moshkov, V. S. Kryaskov, and A. S. Vasilyev, "The application of hardware-in-the-loop (HIL) simulation for evaluation of active safety of vehicles equipped with electronic stability control (ESC) systems," *Procedia Computer Science*, vol. 150, pp. 309-315, 2019.
- [11] P. C. Nissimagoudar, V. Mane, G. H. M., and N. C. Iyer, "Hardware-in-the-loop (HIL) simulation technique for an automotive electronics course," *9th World Engineering Education Forum (WEEF), Procedia Computer Science*, vol. 172, pp. 1047-1052, 2020.
- [12] Q. Nie, Y. Yang, J. Zhang, Y. Zhang, F. Luo, and K. Sheng, "CSFA-50 simulation test program based on hardware-in-the-loop," *IFAC PapersOnLine*, vol. 54, no. 10, pp. 520-525, 2021.
- [13] S. Desai and Y. Bhatshvar, "Development of unified diagnostic services on CAN using MATLAB and Arduino," *Materials Today: Proceedings*, vol. 72, pp. 1935-1942, 2023.
- [14] B. M. A. Dias, A. A. M. Laganà, J. F. Justo, L. R. Yoshioka, M. M. D. Santos, and Z. Gu, "Model-based development of an engine control module for a spark ignition engine," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 35021-35028, 2018.
- [15] S. V. Williams, P. Appiah-Kubi, I. Atuahene, and N. Park, "Systems analysis and remanufacturing: Testing of automotive electronics," in *Industrial and Systems Engineering Research Conf.*, 2014.
- [16] *National Instrument, Ni-Cards Manual Service*, 2020.
- [17] *Kia Picanto Workshop Repair Manual*, 2020.



Le Quang Vu: 2007, Engineer Degree, major Vehicle Engineering in HCMC University of Technology and Education, Vietnam. 2014, Master Degree, major Vehicle Engineering in HCMC University of Technology and Education, Vietnam. From 2007 to present, Lecturer in Department of Automotive Electronic, Faculty of Vehicle and Energy Engineering, HCMC University of Technology and Education, Vietnam. Fields of Expertise and Research Interests : Automotive Electronic and Electrical systems; Application control systems on automotive. Thông tin liên hệ:
ThS Lê Quang Vũ; ĐT: 0973777077; Email: vulq@hcmute.edu.vn. ORCID:  <https://orcid.org/0009-0005-0293-4880>