

THIẾT KẾ CHẾ TẠO BẢNG THỬ VỎI PHUN XĂNG

DESIGN AND DEVELOPMENT OF GASOLINE INJECTOR TEST BENCH

Lê Minh Tiến¹, Phạm Quốc Thái¹, Huỳnh Tấn Tiến¹, Võ Anh Vũ²

¹Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng; lmtien@ac.dut.udn.vn

²Nghiên cứu sinh Khóa 33, ngành Kỹ thuật Cơ khí động lực

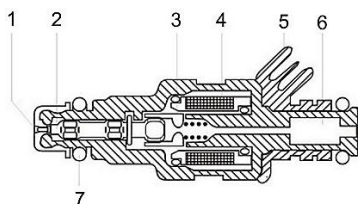
Tóm tắt - Vòi phun là một bộ phận rất quan trọng trong hệ thống phun xăng điện tử trên động cơ đốt trong. Việc xác định các thông số chính xác của một vòi phun giúp cho chúng ta có thể sử dụng vòi phun đó một cách hiệu quả hơn, ví dụ như xây dựng một hệ thống phun xăng điện tử. Bài báo trình bày về kết quả nghiên cứu thiết kế, chế tạo bảng thử vòi phun xăng điện trở cao. Mạch điều khiển sử dụng loại Arduino Uno R3, lượng nhiên liệu phun được đo bằng loadcell, áp suất nhiên liệu thay đổi nhờ một van điều chỉnh và điều áp. Kết quả nghiên cứu cho thấy đã chế tạo thành công bảng thử vòi phun động cơ xăng; xây dựng được phương pháp sử dụng bảng thử để xác định bộ thông số của vòi phun, từ đó có thể tính toán lượng xăng phun theo thời gian xung điều khiển vòi phun.

Từ khóa - vòi phun xăng; hệ thống phun xăng điện tử; động cơ đốt trong; Arduino; bảng thử vòi phun.

1. Giới thiệu

Sau hơn một thế kỷ từ khi được phát minh, lịch sử của ngành công nghiệp ô tô sử dụng động cơ đốt trong đã trải qua những bước phát triển lớn. Từ bộ chế hòa khí đơn giản và hệ thống đánh lửa magneto ban đầu, đến nay đã được thay thế bằng hệ thống phun xăng và đánh lửa điện tử với đặc tính làm việc tối ưu gần với đặc tính lý thuyết, nhằm tăng hiệu suất làm việc, giảm mức tiêu thụ nhiên liệu và ô nhiễm môi trường.

Hệ thống phun xăng điều khiển điện tử có 2 loại: gián tiếp và trực tiếp. Với hệ thống phun xăng gián tiếp, nhiên liệu được phun vào đường ống nạp thông qua vòi phun được điều khiển bằng ECU (Electronic Control Unit) để tạo hòa khí bên ngoài trước khi được hút vào bên trong xi lanh. Lượng nhiên liệu được phun bởi vòi phun đóng vai trò quan trọng ảnh hưởng đến hiệu năng và mức phát thải ô nhiễm của động cơ.



Hình 1. Vòi phun động cơ xăng

1- Lỗ vòi phun; 2- Ti kim; 3- Lõi từ; 4- Cuộn dây điện từ;
5- Đầu nối điện; 6- Lưới lọc; 7- Đệm làm kín

Vòi phun xăng thực chất là một van điện từ. Sơ đồ cấu tạo của vòi phun xăng được thể hiện trên Hình 1. Khi ECU đưa dòng điện qua cuộn dây điện từ của vòi phun, từ trường do cuộn dây sinh ra hút lõi từ làm ti kim nhấc lên và nhiên liệu được phun ra. Độ nâng của ti kim khoảng 0,05 mm đến 0,10 mm tùy theo từng loại vòi phun. Sau khoảng thời gian từ 1,5 ms đến 18 ms tùy theo tình trạng vận hành, ECU ngắt điện qua cuộn dây điện từ làm mất từ trường hút lõi từ và

Abstract - Gasoline injectors are very important parts of gasoline injection system on internal combustion engines. Accurately identifying the parameters of a gasoline injector allows us to use it more efficiently, for example, building a custom electronic fuel injection. This research presents the results of the development of a gasoline injector test bench. The control circuit uses the Arduino Uno R3, the gasoline injection amount is determined by load cell, the gasoline pressure in the injector is changed by a pressure regulator. The research results show that a high resistance gasoline injector test bench has been successfully developed and a method of determining the parameters of the injector is built so that the gasoline injection amount can be calculated according to the injection time.

Key words - gasoline injectors; electronic gasoline injection system; internal combustion engine; Arduino; injector test bench.

ti kim bị lò xo đẩy về đóng chặt để lỗ phun. Quá trình phun nhiên liệu như vậy kết thúc [1]. Khối lượng nhiên liệu được phun phụ thuộc vào:

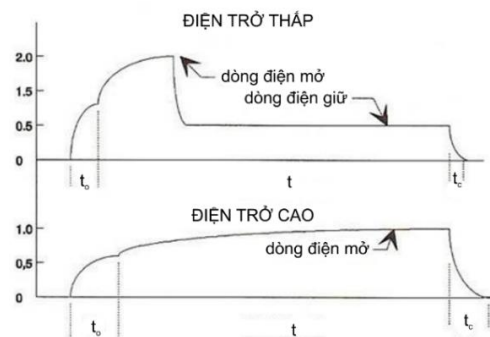
- Thời gian điều khiển mở vòi phun $t_1 = t_o + t$ (ms) và thời gian mở của vòi phun $t_2 = t_o + t + t_c$ (ms) (t_o (ms): thời gian từ lúc ECU cấp điện đến khi vòi phun mở hoàn toàn; t (ms): thời gian từ lúc vòi phun mở hoàn toàn đến khi ECU ngắt điện; t_c (ms): thời gian từ khi ECU ngắt điện đến khi vòi phun đóng hoàn toàn).

- Lượng phun trong một đơn vị thời gian (phụ thuộc vào đặc điểm của từng loại vòi phun – hằng số vòi phun).

- Khối lượng riêng của nhiên liệu.

- Độ chênh áp giữa áp suất nhiên liệu với áp suất phía trước lỗ vòi phun.

Thời gian t_o được gọi là thời gian chết. Khi điện áp điều khiển mở vòi phun càng cao thì t_o càng nhỏ (không tuyến tính), vòi phun mở nhanh hơn. Với một thời gian mở cơ bản cho trước, áp suất nhiên liệu và nhiệt độ không đổi, điện áp cao hơn thì lượng nhiên liệu được phun nhiều hơn. Với loại vòi phun điện trở cao, thời gian $t_o = 1 - 1,5$ ms và $t_c \approx t_o/2$ [2], [3].



Hình 2. Quan hệ giữa dòng điện và thời gian t_o , t , t_c

Trong quá trình giảng dạy và nghiên cứu khoa học tại

Khoa Cơ khí Giao thông, Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng, việc xác định đặc tính của vòi phun có sẵn không thể thực hiện được do nhà trường không có thiết bị để xác định thông số vòi phun, đồng thời trên thị trường cũng không có sẵn thiết bị này. Vì vậy, việc chế tạo một băng thử có thể mô phỏng điều khiển hoạt động vòi phun tương tự như trên động cơ thật là cần thiết, với một số tính năng như:

- Có thể thay đổi thời gian phun theo mili giây (ms);
- Có thể thay đổi áp suất nhiên liệu;
- Xác định được lưu lượng nhiên liệu phun.

Việc sử dụng băng thử giúp cho chúng ta có thể:

- Xây dựng được công thức xác định lượng nhiên liệu phun theo thời gian điều khiển phun;
- Kiểm tra hư hỏng vòi phun.

Với thiết bị này, hiệu quả nghiên cứu khoa học của sinh viên, học viên cao học cũng như cán bộ giảng viên Khoa Cơ khí Giao thông, Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng sẽ tăng lên. Đồng thời thiết bị này là cơ sở giúp các sinh viên đang tham gia cuộc thi “Lái xe sinh thái tiết kiệm nhiên liệu” của Honda, cũng như cuộc thi “Shell Echo-marathon” có thể tự thiết kế hệ thống phun xăng điện tử cho động cơ nhằm giảm tối đa tiêu hao nhiên liệu.

2. Thiết kế chế tạo băng thử

2.1. Mục đích sử dụng băng thử

Quá trình điều khiển phun lượng xăng G_{nl} vào đường nạp trên hệ thống phun xăng điện tử thực chất là điều khiển thời gian mở vòi phun t_1 . Nếu không có sự điều chỉnh, tại một vị trí tải và tốc độ, thời gian mở vòi phun khác nhau sẽ tạo ra hỗn hợp không khí nhiên liệu với tỉ lệ khác nhau.

Gọi p (kg/cm²) là chênh áp giữa áp suất nhiên liệu và áp suất sau vòi phun. Vì áp suất sau vòi phun trên băng thử là áp suất khí trời nên p chính là áp suất nhiên liệu được tạo ra trong quá trình thử nghiệm. Lượng xăng phun trong một chu trình G_{nl} (g) được xác định như sau:

$$G_{nl} = G_o + G + G_c \quad (1)$$

Với G_o (g): lượng xăng phun thời gian t_o ; G (g): lượng xăng phun thời gian t ; G_c (g): lượng xăng phun thời gian t_c ;

Gọi K (g/ms) là hệ số phụ thuộc vào cấu tạo vòi phun, loại nhiên liệu.

Ta có, lượng xăng phun trong thời gian t là:

$$G = K.t \quad (2)$$

Dựa vào **Hình 2** ta thấy rằng lượng nhiên liệu phun trong thời gian t_o và t_c :

$$G_o + G_c < K.t_o \quad (3)$$

Như vậy, từ (1), (2) và (3) ta suy ra:

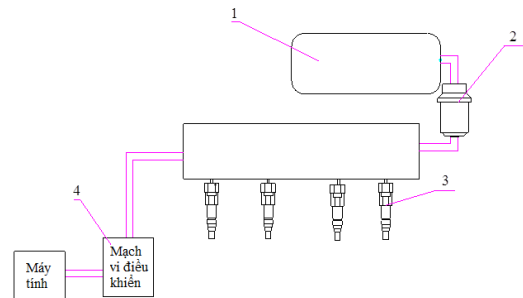
$$G_{nl} = x.K.t_o + K.t \quad (g), \text{ với } 0 < x < 1 \quad (4)$$

Công thức (4) cho thấy rằng, cùng một vòi phun và loại nhiên liệu sử dụng, chênh áp giữa áp suất nhiên liệu và áp suất trước vòi phun không thay đổi thì lượng nhiên liệu phun vào một xylanh G_{nl} chỉ phụ thuộc vào thời gian t . Như vậy, với một vòi phun cần khảo sát đặc tính, ta sẽ tìm ra một bộ thông số (loại nhiên liệu, p , t_o , K). Với bộ thông số này, ta có thể hoàn toàn xác định chính xác lượng nhiên liệu phun qua vòi phun bằng thời gian phun t_1 .

2.2. Thiết kế băng thử

2.2.1. Phương án điều khiển vòi phun

Vì sử dụng bơm nhiên liệu không thể thay đổi áp suất phun, phương án nhóm tác giả sử dụng là dùng khí nén có thể thay đổi áp suất để nén trực tiếp bình nhiên liệu. Để điều khiển vòi phun, sử dụng chân digital của vi điều khiển kết hợp với mô-đun điều khiển công suất để điều khiển vòi phun. Thời gian đóng mở vòi phun tương ứng với thời gian chân digital ở mức logic 1.

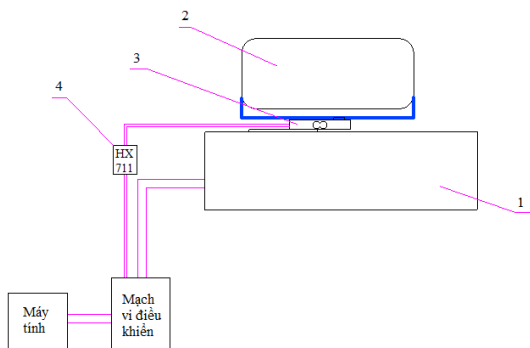


Hình 3. Sơ đồ phương án điều khiển vòi phun

1- Bình nhiên liệu; 2- Ống dẫn nhiên liệu; 3- Vòi phun

2.2.2. Phương án xác định lượng nhiên liệu phun

Để xác định lượng nhiên liệu tiêu thụ, ta sử dụng phương án dùng cảm biến lực (loadcell) để xác định lượng nhiên liệu tiêu thụ, vì cảm biến lực phổ biến có giá thành phù hợp và độ chính xác cao.



Hình 4. Phương án xác định lượng nhiên liệu phun

1- Vòi phun; 2- Bình nhiên liệu; 3- Loadcell; 4- Mô-đun ADC

2.2.3. Thông số các thành phần chính

a. Mạch vi điều khiển Arduino Uno R3 [4]

Đặc điểm nổi bật của các mạch Arduino là môi trường phát triển ứng dụng vi điều khiển cực kỳ dễ sử dụng, với một ngôn ngữ lập trình có thể học một cách nhanh chóng ngay cả với người ít am hiểu về điện tử và lập trình. Arduino Uno R3 sử dụng chip Atmega328. Nó có 14 chân digital I/O, 6 chân đầu vào analog, thạch anh dao động 16Mhz (**Bảng 1**).



Hình 5. Mạch Arduino Uno R3 (trái) và Sensor Shield (phải)

Bảng 1. Thông số kỹ thuật Arduino UNO R3

Thông số	Giá trị
Vi điều khiển	ATmega328
Điện áp hoạt động	5 V
Điện áp vào khuyên dùng	7 V – 12 V
Điện áp vào giới hạn	6 – 20 V
Digital/Opin	14 (chân 0 - 13)
Analog input pins	6 (Chân A0 – A5)
Cường độ dòng điện trên mỗi I/Opin	20 mA
Cường độ dòng điện trên mỗi 3,3Vpin	50 mA
Flash Memory	32 KB
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Tốc độ	16 MHz

Để giúp mạch Arduino Uno R3 kết nối với các cảm biến, giao tiếp cổng COM và giao tiếp I2C một cách đơn giản tại mọi thời điểm (như là shield LCD) hoặc các mô-đun giao tiếp I2C, ta sử dụng Arduino Sensor Shield.

b. Vòi phun

Có 2 loại vòi phun: loại điện trở thấp (<3 Ω) và loại điện trở cao (>10 Ω). Vòi phun thường có 2 chân: một chân nối nguồn 12 V, chân còn lại nối ECU để điều khiển thông mass nhờ transistor. Vòi phun điện trở cao rất dễ điều khiển, chỉ cần cấp điện 12 V trực tiếp cho vòi phun. Vòi phun điện trở thấp lắp vào mạch phải qua điện trở phụ và khó điều khiển hơn bởi vì cần phải tạo một dòng điện “đỉnh” đủ cao để mở vòi phun (~ 4 A) và sau đó là dòng điện “giữ” thấp hơn, đủ để vòi phun vẫn mở mà không làm cháy vòi phun (~ 1 A). Để thuận tiện trong việc thiết kế và thi công thiết bị, ta ưu tiên chọn loại vòi phun điện trở cao. Vòi phun được chọn sử dụng là loại điện trở cao sử dụng trên động cơ 1.8L 4 xi lanh thẳng hàng 1ZZ-FE (Hình 6). Bộ thông số như đã đề cập ở đề mục (2.1) của vòi phun sẽ được xác định sau khi chạy thử nghiệm trên băng thử.



Hình 6. Vòi phun điện trở cao sử dụng trên động cơ 1ZZ-FE

c. Loadcell

Loadcell là thiết bị cảm biến dùng để chuyển đổi lực hoặc trọng lượng điện thành tín hiệu điện. Loadcell được cấu tạo bởi hai thành phần, thành phần thứ nhất là “Strain gage” và thành phần còn lại là “Load”. Strain gage là một điện trở đặc biệt chỉ nhỏ bằng móng tay, có điện trở thay đổi khi bị nén hay kéo giãn và được nuôi bằng một nguồn điện ổn định, được dán chết lên “Load”- một thanh kim loại chịu tải có tính đàn hồi.



Hình 7. Loadcell

Loadcell hoạt động trên nguyên lý cầu điện trở cân bằng Wheatstone. Giá trị lực tác dụng tỉ lệ với sự thay đổi điện trở cảm ứng trong cầu điện trở và do đó tỉ lệ với tín hiệu điện áp đầu ra. Loadcell thường được sử dụng để cảm ứng các lực lớn, tính hay các lực biến thiên chậm.

Để phù hợp với việc cân nhiên liệu trên băng thử, chọn loadcell YZC-133 có thang đo 10 kg (Bảng 2).

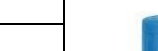
Bảng 2. Bảng thông số kỹ thuật của cảm biến lực Loadcell

Thông số	Giá trị
Model	YZC – 133
Tải trọng	10 (Kg)
Độ nhạy	1,0±1,5 (mV/V)
Độ lệch tuyến tính	0,05 (%)
Ảnh hưởng nhiệt độ tới độ nhạy	0,003 (%RO/°C)
Ảnh hưởng nhiệt độ tới điểm không	0,02 (%RO/°C)
Độ cân bằng điểm không	±0,1 (%RO)
Trở kháng đầu vào	1.066 ± 20 (Ω)
Trở kháng ngõ ra	1.000 ± 20 (Ω)
Trở kháng cách li 50V	2.000 (mΩ)
Điện áp hoạt động	5 (V)
Nhiệt độ hoạt động	-20 ~ 65 (°C)
Chất liệu cảm biến	Nhôm

d. Bộ điều chỉnh áp suất xăng

Chọn bộ điều chỉnh áp suất khí nén STNC TR2000-02 (Bảng 3) để thay đổi áp suất nhiên liệu theo yêu cầu trong quá trình thực hiện thí nghiệm. Đây là bộ điều chỉnh kiểu dẫn khí cân bằng, kèm cơ cấu tràn, nên có những đặc tính ưu việt như: ổn áp có độ nhạy cao, phản ứng nhanh, khóa chặn chắc chắn, đồng thời có khả năng lắp ráp tương ứng với các sản phẩm khác.

Bảng 3. Thông số kỹ thuật bộ điều áp STNC TR2000-02

Quy cách	TR2000-02	
Môi trường làm việc	Không khí	
Lưu lượng	500 (L/mm)	
Áp lực sử dụng	0,05 - 1 (MPa)	
Nhiệt độ	0 - 60 (°C)	
Kiểu van	Kiểu van tràn	
Kiểu ren đồng hồ	G1/8	
Hãng sản xuất	STNC	

e. Đồng hồ hiển thị áp suất

Ta sử dụng đồng hồ đo áp suất dùng để hiển thị áp suất của nhiên liệu trong quá trình thực hiện thí nghiệm kết hợp với bộ điều áp để điều chỉnh áp suất theo yêu cầu.



Hình 8. Đồng hồ hiển thị áp suất

f. Module ADC 24bit HX711

Module ADC 24bit HX711 (Bảng 4) là mạch đọc giá trị của loadcell có độ phân giải 24bit với tốc độ lấy mẫu là 12 lần/giây. Mô-đun giao tiếp với vi điều khiển qua 2 dây (clock và data).

Bảng 4. Thông số kỹ thuật của ADC 24bit HX711

Điện áp làm việc	2,7 ÷ 5 (V)	
Dòng tiêu thụ	< 1,5 (mA)	
Tốc độ lấy mẫu	12 (SPS)	
Độ phân giải	24 bit ADC	
Độ phân giải điều áp	40 (mV)	

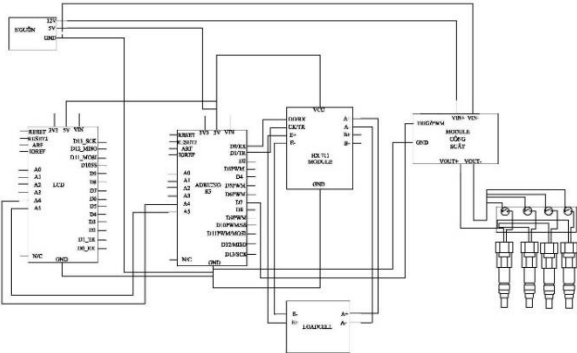
g. Bình chứa nhiên liệu

Bình chứa nhiên liệu có áp suất làm việc an toàn dưới 10 kg/cm².



Hình 9. Bình chứa nhiên liệu

h. Sơ đồ mạch điện



Hình 10. Sơ đồ mạch điện

2.2.4. Chế tạo khung và lắp đặt hoàn thiện bằng thử

Từ bản vẽ thiết kế, chế tạo khung giá đỡ và lắp đặt các thành phần lên bằng thử như Hình 11.



Hình 11. Thiết kế chế tạo khung bằng thử

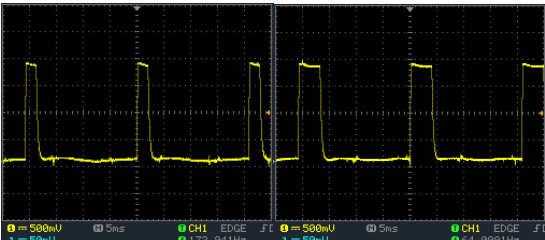
3. Thử nghiệm và đánh giá

3.1. Các thông số chọn

Bảng 5. Bảng thông số chọn

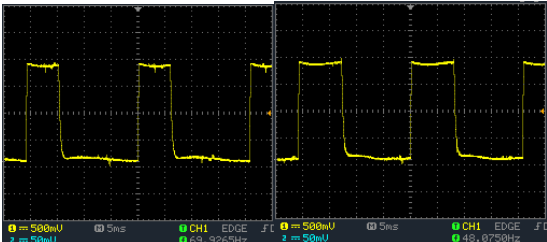
Thời gian xung điều khiển (ms)	2	4	6	8	10
Áp suất nhiên liệu (kg/cm ²)	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0

3.2. Kiểm tra tín hiệu điều khiển vòi phun



Hình 12. Tín hiệu xung điều khiển mở vòi phun $t_1 = 2,4$ ms

Trước khi tiến hành thử nghiệm, kiểm tra xung điều khiển thời gian mở vòi phun t_1 có hoạt động đúng theo yêu cầu hay không. Từ các kết quả kiểm tra, nhận thấy bằng thử hoạt động chính xác ở các thời gian đóng mở vòi phun.



Hình 13. Tín hiệu xung điều khiển mở vòi phun $t_1 = 6,8$ ms

3.3. Xác định thời gian mở nhỏ nhất t_0 của vòi phun

Để xác định t_0 của vòi phun thử nghiệm ở các mức áp suất khác nhau, ta sẽ điều chỉnh thời gian xung điều khiển tăng từ 0,5 ms đến 1,5 ms với bước điều chỉnh là 0,1 ms đến khi nào vòi phun bắt đầu phun thì dừng lại và ghi lại số liệu. Sau quá trình kiểm tra ta có số liệu như Bảng 6.

Bảng 6. Thời gian t_0 của vòi phun

Áp suất nhiên liệu, kg/cm ²	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
Thời gian t_0 , ms	1,0	1,1	1,1	1,2	1,2

3.4. Thử nghiệm phun xăng

3.4.1. Các bước tiến hành thử nghiệm

- Bước 1: Đổ đầy xăng vào bình chứa;
- Bước 2: Điều chỉnh áp suất xăng theo yêu cầu;
- Bước 3: Bắt đầu tiến hành phun nhiên liệu với thời gian t_1 và số lần phun 2.500 ở tốc độ mô phỏng là 3.000 vòng/phút; Số lượng phun 2.500 lần dựa trên khối lượng xăng phun nằm trong vùng làm việc hiệu quả của loadcell và thời gian thực hiện một lần thử nghiệm là nhỏ nhất;
- Bước 4: Ghi lại số liệu kết quả thực hiện.

3.4.2. Kết quả thử nghiệm

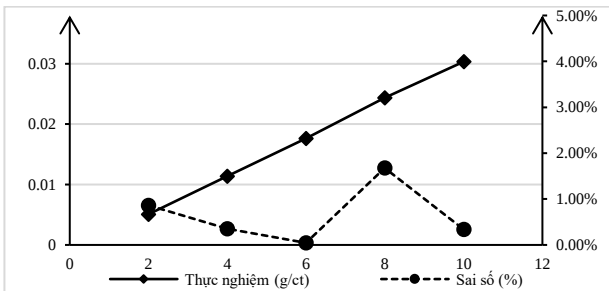
Kết quả thử nghiệm tổng 2.500 lần phun được trình bày trên Bảng 7 và kết quả tính trung bình 1 lần phun được trình bày trên Bảng 8.

Bảng 7. Bảng lượng xăng (g) sau 2.500 lần phun

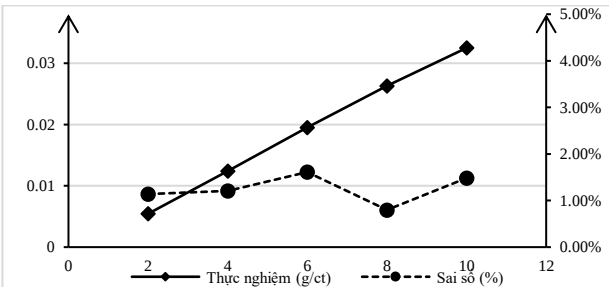
t_1 (ms)	p (kg/cm ²)				
	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
2	12,71	13,61	14,32	15,58	16,18
4	28,45	31,08	33,1	35,55	38,09
6	44,12	48,74	52,05	55,42	59,09
8	60,87	65,73	70,36	75,99	79,75
10	75,86	81,25	90,31	96,54	102,42

Bảng 8. Bảng lượng xăng (g) trung bình 1 lần phun

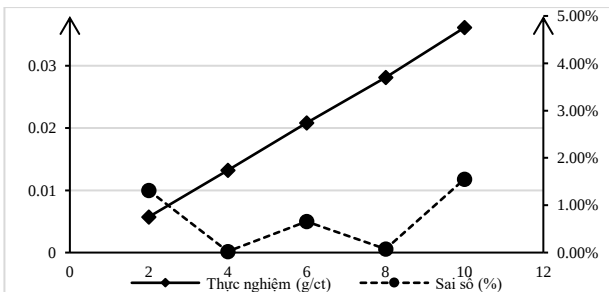
t_1 (ms)	p (kg/cm ²)				
	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
2	0,0051	0,0054	0,0057	0,0062	0,0065
4	0,0114	0,0124	0,0132	0,0142	0,0152
6	0,0176	0,0195	0,0208	0,0222	0,0236
8	0,0243	0,0263	0,0281	0,0304	0,0319
10	0,0303	0,0325	0,0361	0,0386	0,0410



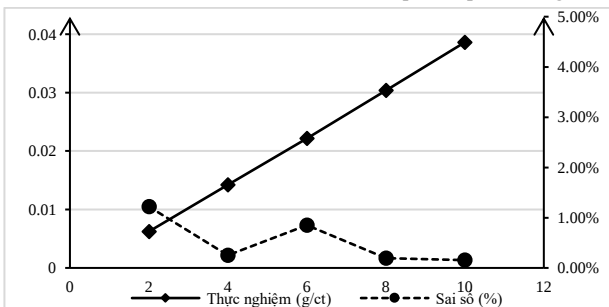
Hình 14. Đồ thị xác định hệ số x, K tại áp suất $p = 2,0 \text{ kg/cm}^2$



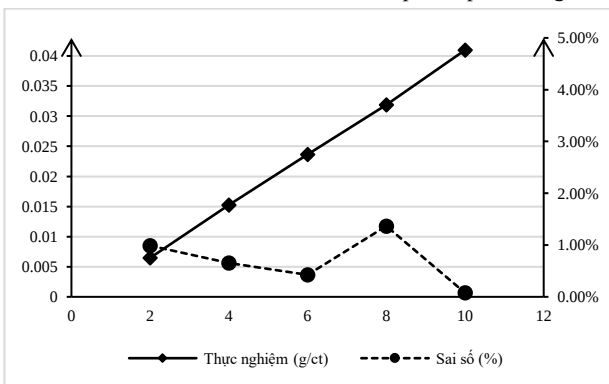
Hình 15. Đồ thị xác định hệ số x, K tại áp suất $p = 2,5 \text{ kg/cm}^2$



Hình 16. Đồ thị xác định hệ số x, K tại áp suất $p = 3,0 \text{ kg/cm}^2$



Hình 17. Đồ thị xác định hệ số x, K tại áp suất $p = 3,5 \text{ kg/cm}^2$



Hình 18. Đồ thị xác định hệ số x, K tại áp suất $p = 4,0 \text{ kg/cm}^2$

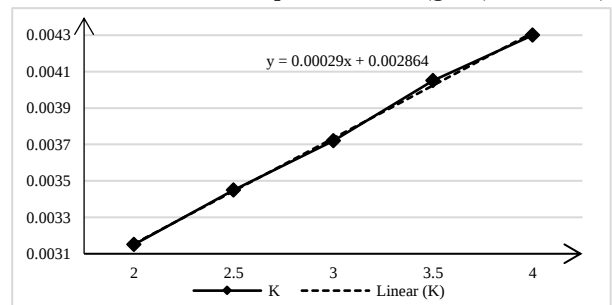
Từ Bảng 8, xây dựng các hàm xấp xỉ theo công thức (4) được các đồ thị (từ Hình 14 đến Hình 18). Ta xác định được bộ thông số (p, x, K) của vòi phun với sai số nhỏ hơn 2%, được trình bày trên Bảng 9. Giá trị $x = 0,6$ không thay đổi khi thay đổi p .

Bảng 9. Bộ thông số (p, x, K) của vòi phun thử nghiệm

STT	$p \text{ (kg/cm}^2\text{)}$	x	$K \text{ (g/ms)}$
1	2,0	0,6	31,5e-4
2	2,5	0,6	34,5e-4
3	3,0	0,6	37,2e-4
4	3,5	0,6	40,5e-4
5	4,0	0,6	43,0e-4

Từ Bảng 9, dùng phương pháp xấp xỉ hàm tuyến tính, xác định được hệ số K theo áp suất nhiên liệu của vòi phun như sau:

$$K = 0,00029.p + 0,002864 \text{ (g/ms)} \quad (5)$$



Hình 19. Xấp xỉ giá trị K theo áp suất p

4. Kết luận

Sau quá trình nghiên cứu, thiết kế, chế tạo băng thử vòi phun động cơ xăng, tiến hành thử nghiệm trên vòi phun mẫu, ta rút ra một số kết luận như sau:

- Đã chế tạo thành công băng thử vòi phun động cơ xăng cho loại vòi phun điện trở cao;
- Bằng cách sử dụng băng thử vòi phun để thử nghiệm vòi phun, ta đã xây dựng được phương pháp xác định công thức tính toán lượng xăng phun G_{nl} qua vòi phun theo thời gian điều khiển mở vòi phun t_1 với áp suất nhiên liệu p bất kỳ.

Để nâng cao hiệu quả của băng thử vòi phun, hướng phát triển trong thời gian đến là:

- Bổ sung phương án điều khiển vòi phun điện trở thấp.
- Thay thế đồng hồ đo áp suất cơ học bằng cảm biến áp suất để tăng độ chính xác của kết quả đo.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Rolf Gscheidle, Stuidiendirektor, Winnenden, *Kỹ thuật ô tô và xe máy hiện đại* (bản dịch tiếng Việt), Europa Lehrmittel, 2013.
- [2] L. Ostrica, M. Gutten, J. Jurcik, "Analysis of gasoline injection system", *Journal of Electrical Engineering*, ISSN 1542-8594, Vol 14, 2014, pp. 248-252.
- [3] Milan Sebok, Jozef Jurcik, Miroslav Gutten, Daniel Korenciak, Jerzy Roj, Pawel Zukowski, "Diagnostics and measurement of the gasoline engines injection system", *Przegląd Elektrotechniczny*, ISSN 0033-2097, r. 91 NR 8/2015, pp. 77 - 80.
- [4] <https://www.arduino.cc/>