

# NGHIÊN CỨU XÁC ĐỊNH CÁC KỲ LÀM VIỆC CỦA ĐỘNG CƠ PHUN XĂNG XE MÁY DÙNG CẢM BIẾN ÁP SUẤT ĐƯỜNG NẠP

RESEARCH AND DETERMINATION STROKE OF GASOLINE ELECTRONIC FUEL INJECTION ENGINE ON MOTORCYCLES BY MANIFOLD ABSOLUTE PRESSURE SENSOR

Lê Đăng Đông, Phạm Minh Tuấn,  
Trần Anh Trung, Lê Anh Tuấn

## TÓM TẮT

Khác với động cơ phun xăng ô tô thường dùng cảm biến vị trí trục cam để điều khiển phun xăng và đánh lửa, hệ thống nhiên liệu phun xăng xe máy thường sử dụng cảm biến áp suất đường nạp do đơn giản về kết cấu với giá thành thấp. Bài báo này trình bày thuật toán xác định các kỳ làm việc của động cơ thông qua tín hiệu áp suất đường nạp để điều khiển thời điểm phun và đánh lửa trên động cơ phun xăng một xi lanh cỡ nhỏ.

**Từ khóa:** Động cơ phun xăng cỡ nhỏ, phun xăng xe máy, điều khiển phun xăng và đánh lửa.

## ABSTRACT

Unlike gasoline injection engine used automobile camshaft position sensor to control fuel injection and ignition, fuel injection fuel system often used motorbikes pressure sensor manifold structural simplicity due to low price. This paper presents the algorithm determines the working period of the engine through manifold pressure signal to control injection and ignition point on fuel injection engine a compact cylinder.

**Keywords:** Small gasoline engines, EFI motorbike, control fuel injection and ignition.

Lê Đăng Đông, Phạm Minh Tuấn,  
Trần Anh Trung, Lê Anh Tuấn

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

Email: ledangdongutehy@gmail.com

Ngày nhận bài: 01/08/2017

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 15/09/2017

Ngày chấp nhận đăng: 15/10/2017

## 1. GIỚI THIỆU CHUNG

Trong những năm gần đây, số lượng xe máy gia tăng rất nhanh, đây là loại phương tiện giao thông rất phổ biến tại các nước đang phát triển có mức tiêu hao nhiên liệu và ô nhiễm khí thải lớn. Mặt khác, để giảm phát thải độc hại ảnh hưởng đến môi trường đồng thời tăng tính kinh tế nhiên liệu khi sử dụng thì đa phần động cơ xăng lắp trên xe máy hiện nay đều được trang bị hệ thống phun xăng và đánh lửa điều khiển bằng điện tử, do các hệ thống này điều khiển chính xác được từng chế độ hoạt động của động cơ.

Tuy nhiên, để điều khiển chính xác hoạt động của động cơ thì các hệ thống trên cần phải xác định được từng kỳ hoạt động hiện tại cũng như vị trí chính xác của pittông thông qua việc sử dụng kết hợp giữa cảm biến vị trí trục cam và tốc độ trục khuỷu. Nếu các kỳ trong một chu trình hoạt động của động cơ không được xác định chính xác sẽ không thể tối ưu hoá được quá trình chuẩn bị hỗn hợp có chất lượng tốt nhất, đáp ứng yêu cầu hiện tại của động cơ do quá trình hoà trộn hỗn hợp không tận dụng được các yếu tố về động lực học của dòng khí nạp; nhiệt độ của xu páp nạp và không đủ thời gian để sấy nóng, hoá hơi hoàn toàn lượng nhiên liệu phun. Mặt khác, đối với hệ thống đánh lửa khi đó sẽ phải đánh lửa 2 lần trong một chu trình làm việc gây tiêu hao, lãng phí năng lượng đánh lửa, đồng thời làm giảm tuổi thọ hệ thống đánh lửa do phải làm việc nhiều.

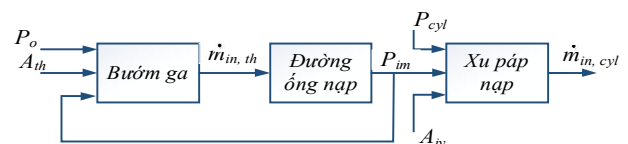
Khác với động cơ ô tô thường dùng cảm biến vị trí trục cam kết hợp với cảm biến góc quay trục khuỷu để xác định kỳ làm căn cứ để điều khiển phun xăng và đánh lửa. Hệ thống phun xăng và đánh lửa xe máy để đơn giản hoá về kết cấu và giảm giá thành sản xuất thông thường không được trang bị cảm biến vị trí trục cam.

Bài báo này trình bày thuật toán xác định các kỳ làm việc của động cơ thông qua tín hiệu áp suất đường nạp kết hợp với cảm biến góc quay trục khuỷu để điều khiển thời điểm phun xăng và đánh lửa cho động cơ phun xăng một xi lanh cỡ nhỏ lắp trên xe máy. Thuật toán này được xây dựng và mô phỏng trên mô hình động cơ một xi lanh phun xăng điện tử sử dụng phần mềm Matlab/Simulink.

## 2. MÔ TẢ MÔ HÌNH

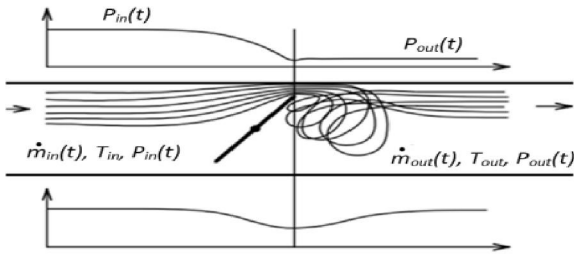
### 2.1. Cơ sở lý thuyết xây dựng mô hình nạp động cơ

Bướm ga, đường ống nạp, xu páp nạp là 3 khối quan trọng trong mô hình động học không khí nạp của động cơ xăng và được mô tả như sơ đồ hình 1.



Hình 1. Sơ đồ mô hình nạp động cơ phun xăng xe máy

Động lực học dòng chảy của lượng không khí nạp lưu động qua đường ống nạp có thể được mô tả bằng mô hình điển đầy [1] trên cơ sở phương trình dòng nén đẳng entropy. Nó bao gồm dòng chảy không bị chặn và bị chặn như trong sơ đồ hình 2 và các phương trình (2); (3). Để xây dựng mô hình mô phỏng, cần phải giả thuyết rằng dòng khí chảy trong hệ thống không có ma sát giữa các phân tử và với thành vách, không có hiệu ứng quán tính dòng chảy và các hệ thống đường ống xung quanh các van nhỏ hơn so với đường ống nạp, đồng thời hệ cô lập hoàn toàn không có sự trao đổi nhiệt với môi trường xung quanh. Ngoài ra, ta có thể giả định chất lỏng là không nén được.



Hình 2. Mô hình dòng khí đi qua bướm ga [2]

Xét mô hình dòng chảy qua bướm ga với một số giả thuyết như không có tổn thất dòng khí khi áp suất giảm, tất cả năng lượng dự trữ trong dòng chảy sẽ được chuyển đổi thành năng lượng động năng. Sau khe hở hẹp, dòng chảy bị hỗn loạn hoàn toàn (chế độ chảy rối) và tất cả năng lượng động năng đều được chuyển đổi thành năng lượng nhiệt, sẽ không xảy ra sự phục hồi áp suất. Khi đó có thể sử dụng phương trình Bernouli để xác định lượng khí đi qua bướm ga (BG) theo biểu thức [2, 3]:

$$\dot{m}(t) = C_d \cdot A(t) \cdot \sqrt{2\rho \cdot \sqrt{p_{in}(t) - p_{out}(t)}} \quad (1)$$

Ở đây,  $C_d$  là hệ số tổn thất dòng khí qua BG;  $A(t)$  diện tích mở BG;  $\rho$  mật độ không khí (giả định là không đổi);  $p_{in}(t)$  áp suất phía trước BG;  $p_{out}(t)$  áp suất phía sau BG.

Do vậy, theo sơ đồ hình 2 kết hợp với phương trình (1) ta thấy lượng không khí đi qua BG được xác định thông qua 2 trường hợp [4]:

\* Trường hợp thứ nhất với  $\frac{p_{in}}{p_{out}} > \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k}{k-1}}$  thì lượng không khí đi qua BG sẽ là:

$$\dot{m}_{in,th} = C_d \cdot A(\theta) \cdot \frac{p_0}{\sqrt{RT_0}} \cdot \left(\frac{p_{in}}{p_0}\right)^{\frac{1}{k}} \cdot \left\{ \frac{2k}{k-1} \left[ 1 - \left(\frac{p_{in}}{p_0}\right)^{\frac{k-1}{k}} \right] \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

\* Trường hợp thứ 2 là khi  $\frac{p_{in}}{p_{out}} \leq \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k}{k-1}}$  ta có:

$$\dot{m}_{in,th} = C_d \cdot A(\theta) \cdot \frac{p_0}{\sqrt{RT_0}} \cdot k^{\frac{1}{2}} \cdot \left(\frac{2k}{k+1}\right)^{\frac{k+1}{2(k-1)}} \quad (3)$$

Theo các biểu thức trên ta thấy lưu lượng không khí qua BG vào đường nạp là một hàm phụ thuộc vào một loạt các thông số và được diễn tả như sau:

$$\dot{m}_{in,th} = f(C_d, A(\theta), T_0, p_0, R, k, p_m) \quad (4)$$

Trong đó,  $\dot{m}_{in,th}$  là lượng không khí đi qua BG;  $C_d$  là hệ số lưu lượng của đường nạp (xác định từ thực nghiệm);  $R$  là hằng số khí lý tưởng;  $k$  là hệ số đoạn nhiệt của không khí ( $k = 1,3$ ) [5];  $T_0, p_0$  là nhiệt độ và áp suất khí quyển;  $A(\theta)$  là tiết diện lưu thông của BG phụ thuộc vào độ mở của BG  $\theta$ . Theo sơ đồ hình 3, tiết diện lưu thông qua BG được tính toán thông qua 2 giai đoạn. [4]

\* Khi BG di chuyển từ vị trí (1) đến vị trí (2) ta sử dụng biểu thức (5):

$$A(\theta) = -\frac{d \cdot D}{2} \cdot \left[ 1 - \left(\frac{d}{D}\right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} + \frac{d \cdot D}{2} \cdot \left[ 1 - \left(\frac{d \cdot \cos(\theta_0)}{D \cdot \cos(\theta_0 + \theta)}\right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} + \frac{D^2}{2} \cdot \sin^{-1} \left\{ \left[ 1 - \left(\frac{d}{D}\right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\} - \frac{D^2}{2} \cdot \frac{\cos(\theta_0 + \theta)}{\cos(\theta_0)} \cdot \sin^{-1} \left\{ \left[ 1 - \left(\frac{d \cdot \cos(\theta_0)}{D \cdot \cos(\theta_0 + \theta)}\right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\} \quad (5)$$

\* Khi BG di chuyển từ vị trí (2) đến vị trí (3), vị trí (2) được xác định qua biểu thức  $\theta \geq \cos^{-1} \left[ \frac{d}{D} \cos(\theta_0) \right] - \theta_0$  và tiết diện BG tại vị trí này được xác định theo biểu thức (6):

$$A(\theta) = \frac{D^2}{2} \cdot \sin^{-1} \left\{ \left[ 1 - \left(\frac{d}{D}\right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\} - \frac{d \cdot D}{2} \cdot \left[ 1 - \left(\frac{d}{D}\right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

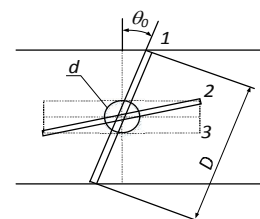
Trong đó,  $D$  là đường kính BG (mm);  $d$  là đường kính trục BG (mm);  $\theta_0$  là góc mở không tải của BG. Áp suất trên đường nạp  $p_{in}$  có thể xác định theo phương pháp trung bình nhờ phương trình cân bằng khí lý tưởng [4]. Coi hệ thống nạp và hệ thống xả là một hệ thu phát như sơ đồ hình 4, các đại lượng đầu vào và đầu ra có thể là các dòng chất và năng lượng, khối lượng và năng lượng nhiệt, áp lực và nhiệt độ. Nếu giả định rằng không có sự thay đổi đáng kể về nhiệt, khối lượng hoặc động năng trong dòng chảy.

Qua tính toán có phương trình trạng thái như sau:

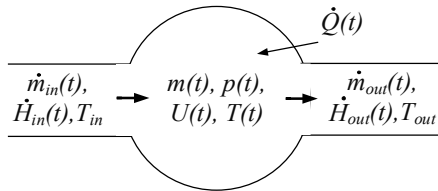
$$\frac{d}{dt} T = \frac{T \cdot R}{p \cdot V \cdot C_v} \left[ C_p \cdot \dot{m}_{in} \cdot T_{in} - C_p \cdot \dot{m}_{out} \cdot T - C_v (\dot{m}_{in} - \dot{m}_{out}) \cdot T \right] \quad (7)$$

Trong đó,  $C_p$  - nhiệt dung riêng đẳng áp;  $C_v$  - nhiệt dung riêng đẳng tích và hệ số tỷ nhiệt  $k = \frac{C_p}{C_v}$ ,  $R = C_p - C_v$

hằng số khí lý tưởng.



Hình 3. Sơ đồ hoạt động của bướm ga



Hình 4. Mô hình hệ thu phát năng lượng

Áp suất trên đường nạp  $p_{im}$  ở chế độ ổn định được xác định như sau:

$$P_{im} = \frac{R \cdot T_{im}}{V_{im}} \cdot (\dot{m}_{in,th} - \dot{m}_{in,cyl}) \quad (8)$$

Trong đó,  $T_{im}$  - nhiệt độ bên trong đường ống nạp;  $V_{im}$  - thể tích đường ống nạp và  $\dot{m}_{in,cyl}$  - lưu lượng không khí từ đường ống nạp vào bên trong xi lanh.

Để xác định lượng khí đi vào xi lanh động cơ ta xác định tương tự như trên:

$$\frac{p_{cyl}}{p_{im}} > \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k}{k-1}} \text{ và}$$

$$\dot{m}_{in,cyl} = \frac{p_{im}}{\sqrt{R_{im} T_{im}}} \cdot C_{f,iv} \cdot A_{iv} \cdot \left(\frac{p_{cyl}}{p_{im}}\right)^{\frac{1}{k}} \left\{ \frac{2}{k-1} \left[ 1 - \left(\frac{p_{cyl}}{p_{im}}\right)^{\frac{k-1}{k}} \right] \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (9)$$

$$\frac{p_{cyl}}{p_{im}} \leq \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k}{k-1}} \text{ và}$$

$$\dot{m}_{in,cyl} = \frac{p_{im}}{\sqrt{R_{im} T_{im}}} \cdot C_{f,iv} \cdot A_{iv} \cdot \sqrt{k} \left(\frac{2}{k-1}\right)^{\frac{k+1}{2(k-1)}} \quad (10)$$

Hàm xác định  $\dot{m}_{in,cyl}$  phụ thuộc các thông số sau:

$$\dot{m}_{in,cyl} = f(C_{f,iv}, A_{iv}, T_{im}, p_{im}, R_{im}, k, p_{cyl}) \quad (11)$$

Trong đó,  $C_{f,iv}$  - hệ số lưu lượng của xu páp nạp (xác định từ thực nghiệm);  $A_{iv}$  - tiết diện ngang của xu páp (tính tại tiết diện tiếp xúc với miệng đường ống nạp trên nắp xi lanh);  $k$  - hệ số đoạn nhiệt của không khí;  $T_{im}$ ,  $p_{im}$  - nhiệt độ và áp suất đường ống nạp.

**2.2. Xác định các thông số nạp và xây dựng mô hình mô phỏng trên Matlab/Simulink**

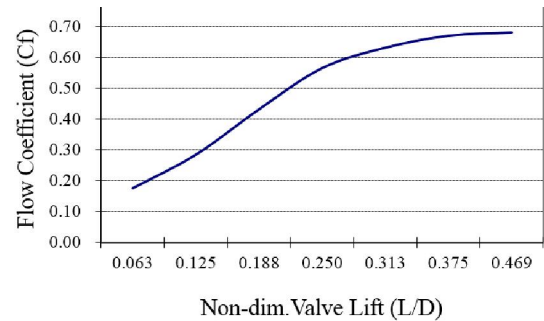
Đối tượng nghiên cứu để xây dựng mô hình là động cơ phun xăng 3 xu páp, phun xăng trên đường ống nạp, 4 kỳ, 1 xi lanh lắp trên xe máy của hãng Piaggio. Các thông số cơ bản của động cơ được trình bày trong bảng 1.

Bảng 1. Những thông số cơ bản của động cơ 3V i.e

Thông số	Ký hiệu	Giá trị
Dung tích xi lanh (cc)	Vh	154,8
Hành trình pittông (mm)	S	58,6
Đường kính xi lanh (mm)	D	58
Số xu páp (-)	i	3 (2 nạp, 1 thải)

Công suất cực đại (kW)	Ne max	8,7/7500 v/ph
Mô men cực đại (Nm)	Me max	12/5000 v/ph
Suất tiêu hao nhiên liệu nhỏ nhất (g/kWh)	ge min	320
Tỷ số nén (-)	$\epsilon$	10,5:1

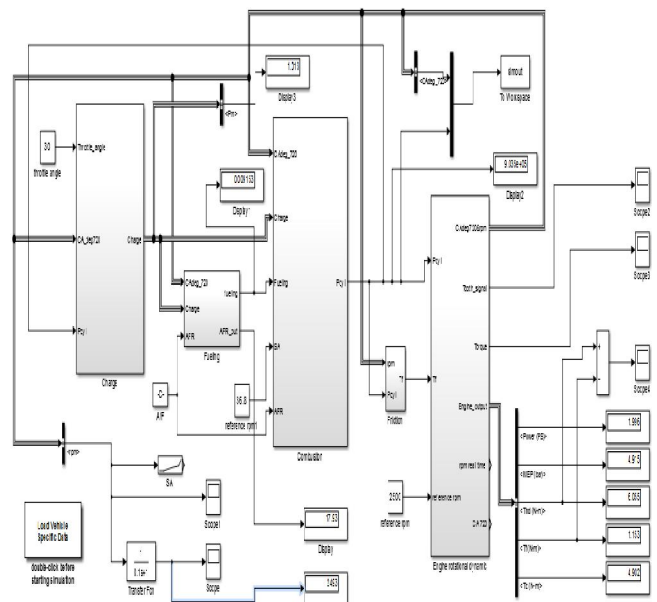
Ngoài ra, để xây dựng mô hình nạp thì hệ số lưu lượng của xu páp nạp  $C_{f,iv}$  trình bày ở hình 5 được xác định bằng thực nghiệm. Thể tích đường ống nạp được tính từ bướm ga đến xu páp nạp cũng được xác định bằng thực nghiệm đo kiểm với giá trị là  $V_m = 97.10^{-6} m^3$ .



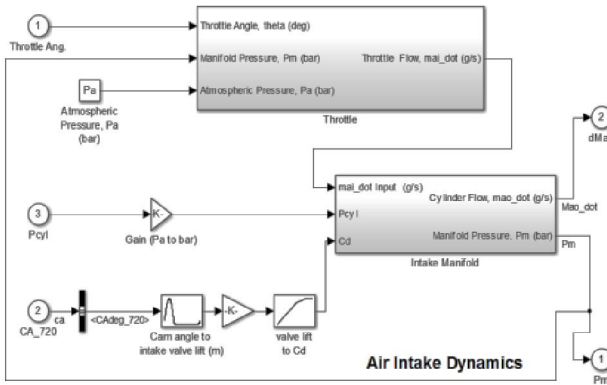
Hình 5. Quan hệ giữa hệ số lưu lượng và độ nâng của xu páp nạp

Sau khi xác định được cơ sở lý thuyết, các thông số thực nghiệm cần thiết để xây dựng mô hình nạp, kết hợp với thí nghiệm động cơ trên băng thử để xác định thêm một số thông số cần thiết cho việc xây dựng các mô hình khác trong mô hình động cơ như mô hình cháy, mô hình ma sát, mô hình động học. Kết quả mô hình động cơ Piaggio 3Vi.e đã được xây dựng trên phần mềm Matlab/Simulink hình 6 trong đó có chứa mô hình nạp hình 7.

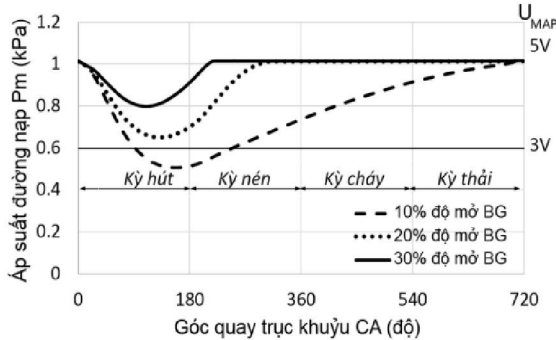
Sau khi xây dựng và kiểm chứng mô hình động cơ 3Vi.e trên Matlab/Simulink đảm bảo độ tin cậy, chạy thử nghiệm mô hình tại tốc độ 2500 v/ph ở các vị trí 10; 20 và 30% độ mở của bướm ga, kết quả được trình bày trên đồ thị hình 8.



Hình 6. Mô hình động cơ Piaggio 3Vi.e trên Matlab/Simulink



Hình 7. Mô hình nạp của động cơ Piaggio 3Vi.e trên Matlab/simulink



Hình 8. Mối quan hệ giữa Pm và CA tại tốc độ 2500 v/ph

**2.3. Thuật toán xác định các kỳ làm việc của động cơ**

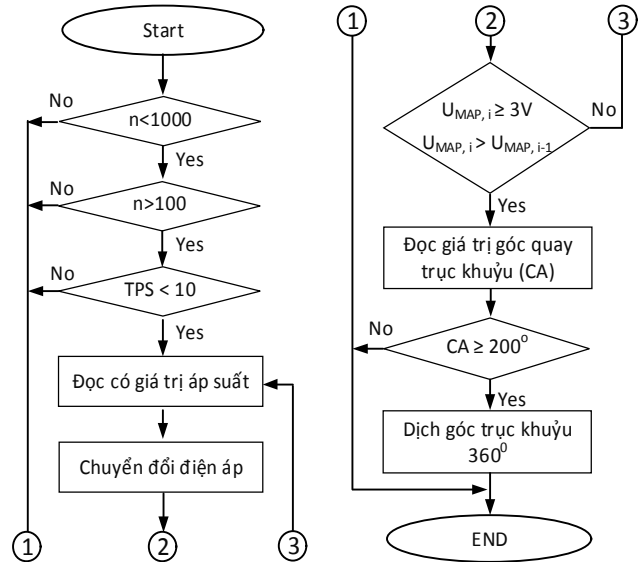
Đồ thị hình 8 cho thấy, tại thời kỳ nạp của xilanh động cơ ứng với góc từ 0 ÷ 180° xu páp nạp mở làm cho áp suất trong đường ống nạp giảm xuống và đạt giá trị thấp nhất so với các kỳ khác. So sánh giữa các vị trí mở của bướm ga cho thấy bướm ga mở càng nhỏ thì độ chân không càng lớn, đồng thời điểm đạt độ chân không lớn nhất ứng với các vị trí mở của bướm ga dịch chuyển dần về phía cuối quá trình nạp khi đóng nhỏ dần bướm ga. Vì vậy có thể kết luận rằng, để đảm bảo xác định đúng kỳ nạp của động cơ làm căn cứ để tìm ra các kỳ làm việc khác với độ chính xác cao thì nên chọn và bắt điểm trong quá trình khởi động động cơ. Khi động cơ khởi động, bướm ga mở trong khoảng nhỏ hơn 10° và tốc độ động cơ khoảng một vài trăm vòng phút, độ chân không trong đường nạp đạt giá trị rất cao.

Hình 9 mô tả sơ đồ thuật toán xác định kỳ của động cơ phun xăng một xi lanh dùng cảm biến áp suất đường nạp. Khi khởi động động cơ, chương trình sẽ so sánh và phải đảm bảo 3 yếu tố xác định chính xác động cơ đang trong quá trình khởi động là tốc độ động cơ lớn hơn 100 và nhỏ hơn 1000 v/ph đồng thời bướm ga phải mở ở vị trí nhỏ hơn 10°.

Nếu động cơ đang khởi động thì giá trị áp suất đường ống nạp sẽ được đo và chuyển thành tín hiệu điện áp. Giá trị điện áp của cảm biến áp suất được kiểm tra với hai điều kiện là điện áp cảm biến tại thời điểm thứ i lớn hơn 3V (U<sub>MAP, i</sub> ≥ 3V) và đồng thời điện áp tại thời điểm thứ i phải lớn hơn điện áp tại thời điểm thứ i-1 (U<sub>MAP, i</sub> > U<sub>MAP, i-1</sub>) khi thỏa mãn hai điều kiện trên thì sẽ đọc giá

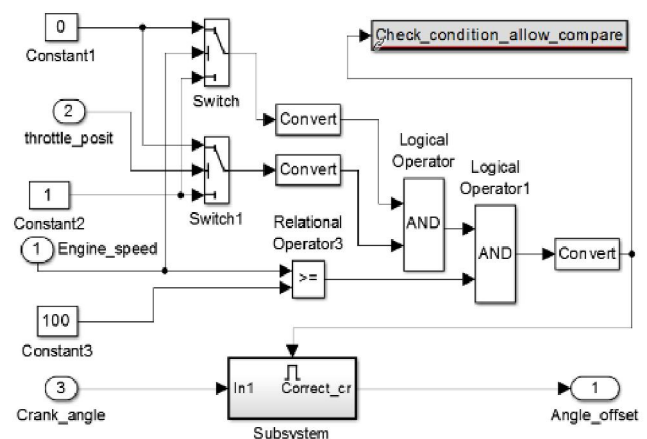
trị góc quay của trục khuỷu. Nếu giá trị điện áp của cảm biến áp suất không thỏa mãn yêu cầu thì quá trình đọc giá trị áp suất vẫn tiếp tục được thực hiện.

Do chu trình làm việc của động cơ 4 kỳ xảy ra trong 2 vòng quay trục khuỷu (720°) nên khi có giá trị góc quay trục khuỷu CA cần phải được phân tích xác định hiện tại trục khuỷu đang ở vòng quay nào của chu trình công tác tại thời điểm cuối nạp dựa vào tín hiệu áp suất của đường ống nạp.

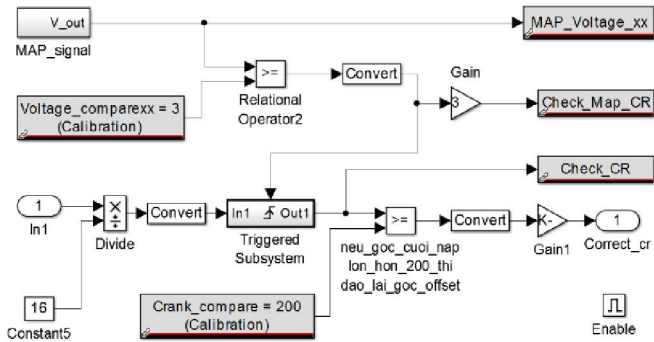


Hình 9. Sơ đồ thuật toán xác định kỳ của động cơ

Vậy, nếu CA ≥ 200° thì đồng nghĩa động cơ đang ở vòng quay thứ hai của chu trình công tác và như vậy phải dịch góc quay trục khuỷu đi 360°. Ngược lại, CA ≤ 200° thì đó chính là kỳ nạp của động cơ. Theo các điều kiện như trên, chương trình thuật toán có thể xác định được chính xác các kỳ làm việc của động cơ như trên đồ thị hình 8. Tuy nhiên, nếu bướm ga mở quá lớn sẽ không thể xác định được chính xác các kỳ của động cơ do độ chân không trong đường nạp quá thấp. Mô hình điều khiển xác định thời kỳ khởi động; góc quay trục khuỷu tại thời điểm cuối nạp của động cơ trên Matlab/Simulink thể hiện trên hình 10 và 11.



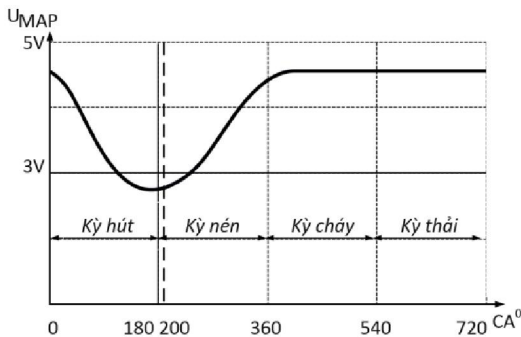
Hình 10. Mô hình xác định thời kỳ khởi động trên Matlab/Simulink



Hình 11. Mô hình xác định góc quay trục khuỷu tại thời điểm cuối nạp trên Matlab/Simulink

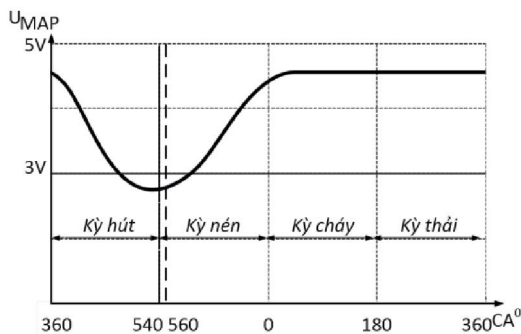
**3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN**

Hình 12 cho thấy kết quả biến thiên áp suất đường nạp theo góc quay trục khuỷu trong trường hợp này độ chân không đạt giá trị cực đại tại góc quay 180° và đây là thời điểm lấy mẫu bắt điểm để so sánh với mốc 0° đã được định nghĩa trước đó. Nếu góc quay trục khuỷu tại thời điểm cuối nạp nhỏ hơn hoặc bằng 200° thì có nghĩa là góc quay hiện tại của trục khuỷu đang ở thời kỳ nạp của động cơ và căn cứ vào đó thì các góc quay tiếp theo tuần tự là 360, 540 và 720° lần lượt tương ứng là các quá trình nén, cháy sinh công và thải.



Hình 12. Biến thiên áp suất trong trường hợp góc quay trục khuỷu đúng

Hình 13 cho thấy kết quả biến thiên áp suất đường nạp theo góc quay trục khuỷu trong trường hợp này độ chân không cuối quá trình nạp đạt giá trị cực đại tại góc quay 540°. Như vậy, so với mốc 0° đã được định nghĩa ban đầu thì cần phải dịch góc quay trục khuỷu CA lại một góc 360° để trùng với quá trình nạp, căn cứ vào đó sẽ xác định được các kỳ tiếp theo.



Hình 13. Biến thiên áp suất trong trường hợp góc quay trục khuỷu lệch 360°

Như vậy, theo chu trình làm việc của động cơ nếu góc quay trục khuỷu nào mà có chứa thời điểm giá trị áp suất đường nạp đạt thấp nhất đó là quá trình nạp và khi đó sẽ ứng với góc quay trục khuỷu từ 0 đến 180° và cứ tuần tự sau 180° tiếp theo là các quá trình nén, cháy sinh công và thải tương ứng với chu trình làm việc của động cơ đốt trong.

**4. KẾT LUẬN**

Bài báo này trình bày thuật toán xác định các kỳ làm việc của động cơ thông qua tín hiệu áp suất đường nạp để điều khiển thời điểm phun và đánh lửa trên động cơ phun xăng một xi lanh cỡ nhỏ kết quả có thể tóm tắt như sau:

- Để xác định đúng thời điểm, với độ chính xác cao thì điều kiện khi lấy mẫu bắt thời điểm phải thực hiện khi động cơ đang trong quá trình khởi động với điều kiện bướm ga mở trong khoảng nhỏ hơn 10°.
- Do động cơ là 4 kỳ nên khi lấy mẫu góc quay trục khuỷu CA tại thời điểm giá trị áp suất đường nạp thấp nhất cần phải thỏa mãn điều kiện  $CA \leq 200^\circ$  thì không phải dịch góc quay trục khuỷu, ngược lại phải dịch góc quay trục khuỷu đi một vòng để định nghĩa đúng kỳ nạp từ 0 đến 180° làm căn cứ xác định các kỳ tiếp theo.

**TÀI LIỆU THAM KHẢO**

- [1]. J. J. Moskwa and J. K. Hedrick, Modeling and Validation of Automotive Engines for Control Algorithm Development, Transactions of the ASME, Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control, 1992, Vol. 114, pp. 278-285.
- [2]. L. Guzzella and C.H. Onder, Introduction to Modeling and Control of Internal Combustion Engine systems, Berlin: Springer, 2004, pp. 30-37.
- [3]. J.B. Heywood, Internal Combustion Engine Fundamentals, McGraw-Hill, 1988, pp. 288-290.
- [4]. Y.-Y. Wu, Y. Shiao, and B.-C. Chen (2002), Motorcycle Engine Modeling for Real Time Control, International Symposium on Advanced Vehicle Control, 2002 6th, Hiroshima, Japan.
- [5]. Bùi Hải, Trần Thế Sơn (2004), Kỹ thuật nhiệt, NXB Khoa học và Kỹ thuật, 8/2004.