

# MỞ ĐẦU

## 1. Giới thiệu

Đã có hơn 90 triệu chiếc xe hơi được sản xuất trên toàn Thế giới trong năm 2019, xe hơi sản xuất tăng 5% mỗi năm [95]. Sự phát triển của thị trường ô tô mang lại nhiều khía cạnh tiêu cực cần được xem xét nghiêm túc của ngành công nghiệp ô tô. Thứ nhất, động cơ xăng đã trở thành một trong những đối tượng gây ô nhiễm lớn cho môi trường. Thứ hai, giá nhiên liệu tăng cao, buộc các nhà sản xuất động cơ ứng dụng công nghệ mới cho phép ít gây ô nhiễm và hiệu quả.

Với mục tiêu giảm thiểu ô nhiễm khí thải cũng như bảo toàn các nguồn tài nguyên thiên nhiên, tiết kiệm năng lượng trở thành một chủ đề mang tính toàn cầu. Cùng với đó là sự nảy sinh nhu cầu đối với các loại phương tiện giao thông đặc biệt là các xe ô tô thân thiện với môi trường, áp dụng các loại động cơ tiết kiệm nhiên liệu, ít khí thải độc hại, các hãng xe thế giới như Honda, Toyota, Nissan, GMC, Ford nỗ lực áp dụng các thành tựu khoa học trong phát triển các loại động cơ xăng.

## 2. Tính cấp thiết

Trong các phương pháp điều khiển tiết kiệm nhiên liệu cho động cơ xăng phải kể đến phương pháp điều khiển trực tiếp mô-men của động cơ xăng [55] đến [70]. Đối với quá trình phi tuyến mạnh đặc biệt là vừa phi tuyến vừa có nhiễu như động cơ xăng và hệ cơ giới sử dụng động cơ xăng (xe hơi, xe ô tô tải,...) thì các phương pháp điều khiển PID, FLC chưa mang đến hiệu quả tối ưu.

Từ các phân tích ở trên, ta thấy đối với điều khiển hệ phi tuyến tham số bất định, điều khiển mô-men của động cơ xăng áp dụng thuật toán hiện đại còn rất nhiều vấn đề cần được tiếp tục nghiên cứu, hoàn thiện.

## 3. Mục đích nghiên cứu

Mục tiêu của luận án là nghiên cứu giải quyết bài toán điều khiển ổn định tốc độ động cơ xăng sử dụng trên xe ô tô, bám mô-men cần đặt vào trục động cơ xăng khi ô tô hoạt động trong chế độ điều khiển hành trình, để giảm lượng nhiên liệu bằng phương pháp LQIT tự chỉnh cho đối tượng là động cơ xăng.

- Đề xuất thuật toán mới điều khiển ổn định tốc độ, bám theo các giá trị mô-men cần cho trước tác động vào động cơ xăng sử dụng trên xe ô tô trong chế độ điều khiển hành trình.

- Khảo sát và cài đặt thuật toán điều khiển mô-men theo phương pháp điều khiển mới cho đối tượng cụ thể là động cơ xăng,

nhằm mục tiêu tiết kiệm lượng nhiên liệu tiêu thụ, mô phỏng hệ thống và kiểm chứng bằng thực nghiệm.

#### **4. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu**

*Đối tượng nghiên cứu:* động cơ xăng được sử dụng cho xe ô tô hoạt động trong chế độ điều khiển hành trình với đầu vào điều khiển bằng góc mở bướm ga  $\alpha$  (bướm gió), đáp ứng đầu ra là tốc độ và mô-men trên trục động cơ.

*Phạm vi nghiên cứu:* Nghiên cứu, thiết kế bộ điều khiển hiện đại LQIT tự chỉnh cho hệ phi tuyến tham số bất định bám theo tín hiệu đầu vào mẫu để điều khiển ổn định tốc độ và bám mô-men cản tác động vào động cơ xăng hoạt động trên xe ô tô trong chế độ điều khiển hành trình. Mô phỏng và thực nghiệm kiểm chứng kết quả nghiên cứu lý thuyết bằng phương pháp (HIL) sử dụng KIT Arduino Mega2560 với Matlab – Simulink.

#### **5. Phương pháp nghiên cứu**

+ Phân tích, đánh giá các nghiên cứu đã được công bố trên các bài báo, tạp chí, các tài liệu tham khảo về điều khiển động cơ đốt trong đặc biệt là các phương pháp điều khiển hiện đại cho động cơ xăng. Nghiên cứu, thiết kế bộ điều khiển LQIT tự chỉnh bám ổn định tín hiệu mẫu cho hệ phi tuyến liên tục.

+ Mô phỏng trên Matlab – Simulink để nhận lại kết quả nghiên cứu trên lý thuyết.

+ Xây dựng mô hình kiểm chứng kết quả lý thuyết bằng Hardware-in-the-loop (HIL) sử dụng KIT Arduino Mega2560 ghép nối trực tuyến với phần mềm Matlab – Simulink.

#### **6. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn**

- Luận án đưa ra phương pháp luận và đề xuất áp dụng một mô hình điều khiển mới, kết hợp thuật toán của bộ điều khiển hiện đại LQIT với nhận dạng hệ thống trực tuyến tạo thành hệ thống điều khiển bám tối ưu tự chỉnh cho động cơ xăng.

- Thuật toán mới đề xuất đã được kiểm nghiệm qua mô phỏng và thực nghiệm điều khiển động cơ xăng bằng phương pháp HIL, qua đó khẳng định tính khả thi của thuật toán mà luận án đề xuất.

- Kết quả nghiên cứu của luận án đã đáp ứng thời gian thực khi điều khiển hệ phi tuyến, mang lại tính khả thi cao cho việc tiết kiệm nhiên liệu.

#### **7. Bố cục của luận án**

Ngoài phần mở đầu và kết luận, nội dung chính của luận án được trình bày trong 4 chương:

**Chương 1: Tổng quan về các phương pháp điều khiển cho động cơ xăng:** Nội dung này tổng hợp các nghiên cứu về điều khiển tiết

kiệm nhiên liệu cho động cơ xăng. Trước tiên, nêu ra các nghiên cứu mà các tác giả đã xây dựng các thuật toán điều khiển tiết kiệm nhiên liệu cho động cơ xăng khác nhau, nhận xét và đánh giá kết quả của các nghiên cứu. Phân tích, nhận định và rút ra ý nghĩa về lý luận, thực tiễn của các công trình đó, đưa ra các vấn đề cần tiếp tục nghiên cứu và đề xuất hướng nghiên cứu của luận án.

**Chương 2. Mô hình hóa và nhận dạng động cơ xăng:** Trong nội dung này tác giả đã đưa ra cấu trúc và nguyên lý làm việc, mô hình toán tổng quát của động cơ xăng. Từ đó, chỉ ra các tín hiệu điều khiển, phương pháp điều khiển khác nhau cho động cơ xăng, xây dựng mô phỏng cho hệ phi tuyến là động cơ xăng có đầu ra điều khiển là tốc độ và mô-men của động cơ xăng. Trong nội dung này tác giả áp dụng phương pháp nhận dạng hồi quy tuyến tính để nhận dạng trực tuyến mô hình toán tuyến tính từ mô hình phi tuyến của động cơ xăng, đây là nội dung cơ sở để đưa vào áp dụng bộ điều khiển LQIT tự chỉnh cho động cơ xăng.

**Chương 3. Điều khiển mô-men động cơ xăng bằng thuật toán điều khiển bám tối ưu LQIT tự chỉnh:** Trong nội dung chương này tác giả đã đưa ra cấu trúc và nguyên lý làm việc của bộ điều khiển là LQIT áp dụng cho điều khiển ổn định tốc độ và bám theo mô-men cần của động cơ xăng. Xây dựng phương pháp luận về thiết kế bộ điều khiển LQIT kết hợp với phương pháp nhận dạng trực tuyến cho hệ phi tuyến là động cơ xăng, đảm bảo cho hệ ổn định toàn cục và cải thiện đáng kể lượng nhiên liệu tiêu thụ.

**Chương 4: Thực nghiệm kiểm chứng chất lượng của thuật toán đã đề xuất bằng phương pháp HIL:** Trên cơ sở lý luận đã đề xuất ở chương 2 và chương 3, để kiểm chứng các kết quả nghiên cứu lý thuyết, tác giả đã thiết kế điều khiển LQIT tự chỉnh cho động cơ xăng thông qua mô phỏng kiểm chứng bằng phương pháp HIL qua hai KIT Arduino Mega 2560. Luận án đưa ra ở chương này các kết quả thực nghiệm khẳng định thuật toán đề xuất hoàn toàn đúng đắn khi điều khiển đối tượng động cơ xăng ảo trên mô phỏng HIL.

Phản kết luận: Đã nêu bật những đóng góp mới của luận án và những kiến nghị, đề xuất hướng nghiên cứu tiếp theo.

## CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN VỀ CÁC PHƯƠNG PHÁP ĐIỀU KHIỂN ĐỘNG CƠ XĂNG

**Đặt vấn đề:** Điều khiển động cơ xăng đánh lửa trực tiếp (SI) trong thời gian qua đã thu hút nhiều tác giả trong và ngoài nước nghiên cứu và đề cập trong tài liệu từ [13 - 71]. Ngày nay, các nghiên cứu về điều khiển tiết kiệm nhiên liệu cho động cơ xăng tập trung chính vào điều khiển tối ưu từng thành phần của động cơ như: tỷ lệ hòa khí nhiên liệu cung cấp đầu vào của động cơ, tối ưu góc đánh lửa hay thời điểm đánh lửa, tối ưu thời gian phun nhiên liệu. Để phân tích bài toán điều khiển cho động cơ xăng, việc phân tích một quá trình phi tuyến của thành phần con (đường ống nạp, ống xả, động học mô-men, đánh lửa, van biến thiên,...) bên trong cấu trúc của động cơ xăng dẫn đến các bài toán tối ưu cục bộ cho đối tượng, được nhiều công trình nghiên cứu.

### 1.1. Tổng quan các công trình nghiên cứu về điều khiển tiết kiệm nhiên liệu cho động cơ xăng trên thế giới

Để phân tích bài toán điều khiển cho động cơ xăng, việc phân tích một quá trình phi tuyến của thành phần con (đường ống nạp, ống xả, động học mô-men, đánh lửa, van biến thiên,...) bên trong cấu trúc của động cơ xăng dẫn đến các bài toán tối ưu cục bộ cho đối tượng, được nhiều công trình nghiên cứu, đề cập:

- Điều khiển tốc độ không tải được đề cập trong [19 - 31]: là điều khiển giữ cho động cơ ổn định tốc độ mà không ảnh hưởng bởi tác động của các nhiễu mô-men cản trên trục động cơ.
- Điều khiển tối ưu tỷ lệ hòa khí được nghiên cứu trong [32 - 43]: bằng cách phân tích quá trình động học chất khí trên đường nạp của động cơ từ đó đưa ra luật điều khiển giữ cho tỷ lệ hòa khí ổn định khi động cơ hoạt động.
- Điều khiển tối ưu góc đánh lửa được đề cập trong [44 - 49]: là điều khiển thời điểm đánh lửa bằng cách phân tích chu kỳ nén của động cơ, với tín hiệu đo được là áp suất cực đại của quá trình nén từ đó đưa ra tín hiệu điều khiển đánh lửa đúng thời điểm sẽ làm tăng hiệu suất của động cơ.
- Điều khiển thời gian phun nhiên liệu được nghiên cứu trong [50 - 54]: là phương pháp tối ưu nhiên liệu dựa vào động lực học của chất khí bên trong xi lanh và tốc độ của động cơ từ đó tính toán thời gian phun nhiên liệu phù hợp.
- Điều khiển mô-men được nghiên cứu trong [55 - 70]: là điều khiển động cơ phải cung cấp mô-men xoắn cần thiết, nhiệm vụ quan trọng

nhất của động cơ là đáp ứng được mô-men xoắn yêu cầu thường được xác định bởi người lái xe, động học xe.

## **1.2. Các công trình nghiên cứu ở trong nước về điều khiển tiết kiệm nhiên liệu cho động cơ đốt trong**

Trên thế giới điều khiển tiết kiệm nhiên liệu cho động cơ đốt trong đã được rất nhiều các tác giả quan tâm nghiên cứu. Ở Việt Nam, vấn đề này cũng đã được một số nhà khoa học tiếp cận, nghiên cứu trong khoảng hơn một thập niên trở lại đây. Các nghiên cứu chủ yếu theo hai hướng: Một là, áp dụng các thuật toán điều khiển động cơ Diesel [11], [13], [14]. Hai là, áp dụng thuật toán điều khiển cho điều khiển tỷ lệ nhiên liệu hoặc góc đánh lửa cho động cơ xăng [12], [15].

Trong tài liệu [12], tác giả Nguyễn Tiến Hán, Nguyễn Xuân Khoa (2011), đã đề xuất ứng dụng thuật toán điều khiển PID vào điều khiển góc đánh lửa của động cơ xăng. Nội dung của luận án này đã có những đóng góp cơ bản: Xây dựng và phân tích đồ thị áp suất bằng thực nghiệm của động cơ xăng. Tìm được góc đánh lửa tối ưu cho từng vùng làm việc, theo áp suất buồng đốt của động cơ. Xây dựng thuật toán điều khiển PID bám theo giá trị đặt của góc đánh lửa mong muốn với đầu ra phản hồi là áp suất của động cơ. Mục đích điều khiển góc đánh lửa nhanh chóng tiệm cận tới góc đánh lửa mong muốn.

Trong tài liệu [15], các tác giả Lê Hoài Đức, Nguyễn Thìn Quỳnh (2013), đã thực hiện xây dựng mô hình động học nhiên liệu trên cửa hút của động cơ xăng. Xây dựng thuật toán điều khiển PID cho điều khiển tỷ lệ hòa khí nhiên liệu. Trong nghiên cứu này, các tác giả cũng không nghiên cứu sự ảnh hưởng của mô-men động cơ động cơ xăng đến tỷ lệ hòa khí nhiên liệu. Trong tài liệu [17], tác giả đã thiết kế và chế tạo thành công 01 hệ thống phun nhiên liệu điện tử cung cấp xăng sinh học có tỷ lệ cồn etanol lớn tới 100% cho động cơ xe máy và ô tô. Nghiên cứu mang tính cục bộ, làm thay đổi kết cấu hệ thống cung cấp nhiên liệu cho động cơ xăng để nâng cao hiệu quả quá trình đốt cháy của nhiên liệu cho xăng có tỷ lệ cồn etanol. Trong tài liệu [18], tác giả nghiên cứu chế tạo hệ thống cung cấp nhiên liệu và điều khiển động cơ nén cháy kiểm soát hoạt tính nhiên liệu (RCCI). Nghiên cứu cũng mang tính cục bộ, làm thay đổi kết cấu của động cơ xăng, điều khiển nhiên liệu tự phát cháy mà không cần đến bugi đánh lửa, phương pháp này có ưu điểm là không xảy ra hiện tượng trễ do cháy lan mà các điểm phát cháy xuất hiện đồng đều trong buồng đốt, tăng hiệu quả đốt cháy nhiên liệu.

## **1.3. Những vấn đề cần tiếp tục nghiên cứu về điều khiển tiết kiệm nhiên liệu cho động cơ xăng và hướng nghiên cứu của luận án**

Thông qua việc giới thiệu và đánh giá về các công trình đã nghiên cứu về điều khiển tiết kiệm nhiên liệu cho động cơ xăng, đưa ra các phương pháp giải bài toán giảm nhiên liệu, mỗi phương pháp điều khiển có ưu nhược điểm riêng. Mặc dù đã đạt được những kết quả đáng kể cả trong lý thuyết và ứng dụng thực tiễn, song điều khiển tiết kiệm nhiên liệu bằng việc điều khiển mô-men của động cơ xăng vẫn còn một số vấn đề tồn tại, cần được tiếp tục nghiên cứu hoàn thiện đó là: trong thực tế khi các động cơ xăng hoạt động trong thời gian dài, thường xuất hiện hiện tượng lão hóa do sự chuyển động của các chi tiết cơ khí, do giãn nở vì nhiệt, do chất lượng của nhiên liệu, chất lượng của chất bôi trơn, mô chất làm mát,... làm cho các thông số của động cơ bị thay đổi, nên các tham số của mô hình toán cũng thay đổi theo. Nếu sử dụng các phương pháp thông thường như tuyến tính hóa mô hình, hoặc ước lượng mô hình bằng phương pháp nhận dạng từ quá trình thử nghiệm đo đạc các số liệu động cơ trên băng thử thì dẫn tới hiện tượng tham số mô hình toán của động cơ có thể đúng vào lúc thử nghiệm, nhưng khi hoạt động các tham số mô hình toán động cơ bị sai khác. Vì vậy, cần đưa ra một phương pháp mới để vừa điều khiển và vừa có thể cập nhật lại các tham số mô hình toán của động cơ xăng tại thời điểm điều khiển, nâng cao chất lượng của hệ điều khiển, đáp ứng được những đặc tính động học, bám chính xác giá trị đặt.

### **Hướng nghiên cứu của luận án**

Trong nội dung của luận án này, tác giả đề xuất phương pháp mới sử dụng thuật toán nhận dạng trực tuyến từ đối tượng phi tuyến, sử dụng mô hình toán đã nhận dạng áp dụng lý thuyết điều khiển hiện đại LQIT, tính toán trực tuyến bộ điều khiển cho đối tượng và hướng nghiên cứu của luận án là:

*Nghiên cứu điều khiển tối ưu ổn định tốc độ, bám mô-men cho động cơ xăng để giảm lượng nhiên liệu tiêu thụ. Trong nghiên cứu áp dụng thuật toán mới để xây dựng điều khiển LQIT tự chỉnh, bộ điều khiển này là sự kết hợp thuật toán nhận dạng liên tục trực tuyến từ đối tượng điều khiển với phương pháp điều khiển hiện đại nhằm điều khiển ổn định tốc độ, mô-men của động cơ xăng bám theo mô-men cần để giảm lượng tiêu thụ nhiên liệu.*

### **1.4. Kết luận chương 1**

Chương 1 của luận án đã tập trung nghiên cứu vấn đề tổng quan, phân tích các công trình, bài báo của các tác giả trong và ngoài nước về điều khiển tiết kiệm nhiên liệu động cơ xăng. Trong chương này, tác giả đã chỉ ra các phương pháp điều khiển động cơ xăng như: điều khiển tốc độ không tải, điều khiển tỷ lệ hòa khí nhiên liệu, điều khiển góc đánh lửa, điều khiển thời điểm phun nhiên liệu đều là những

điều khiển mang tính cục bộ, là sự cải thiện kết cấu để nâng cao hiệu quả làm việc của động cơ xăng, không phải là giải pháp tối ưu khi có mô-men tải lớn và sự thay đổi mô-men nhanh. Tuy nhiên, phương pháp điều khiển ổn định tốc độ bám theo mô-men cần cho động cơ xăng là phương pháp điều khiển mang tính toàn cục, là phương pháp đã chứng minh hiệu quả hơn các phương pháp khác, làm tăng hiệu suất động cơ xăng, tiết kiệm nhiên liệu.

Tác giả đã đề xuất được hướng nghiên cứu là điều khiển ổn định tốc độ và bám mô-men cần để giảm lượng nhiên liệu tiêu thụ khi xe ô tô hoạt động ở chế độ điều khiển hành trình.

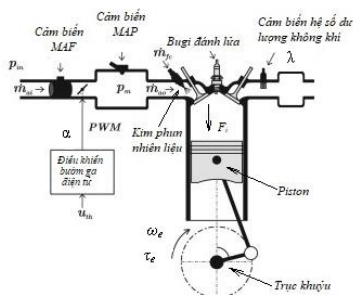
## CHƯƠNG 2. MÔ HÌNH HÓA VÀ NHẬN DẠNG ĐỘNG CƠ XĂNG

**Đặt vấn đề:** Động cơ xăng là động cơ nhiệt, nhiệt lượng do xăng được đốt cháy tạo ra được chuyển thành công có ích. Động cơ xăng là nguồn động lực không thể thiếu trên các loại phương tiện giao thông ngày nay như: ô tô, xe máy, máy bay, máy phát điện, máy bơm, các máy công tác khác. Đối với bài toán thiết kế, để thiết kế bộ điều khiển cho động cơ xăng thì cần phải có mô hình toán, mô hình toán càng chính xác thì chất lượng điều khiển càng cao.

Một mô hình toán đầy đủ động cơ xăng gồm các phương trình vi phân thể hiện mối tương quan của dòng chảy hỗn hợp không khí-nhiên liệu bao gồm: áp suất, nhiệt độ trên các đường ống lưu thông và tốc độ chuyển động, mô-men của trục khuỷ động cơ [9].

### 2.1. Chu trình công tác và mô hình hóa động cơ xăng

Trong hình 2.2 trình bày một mô hình hóa động cơ xăng SI hoàn chỉnh khi xét đến các thành phần bên trong cho thấy một chuỗi các thành phần kết nối với nhau qua các ống và các khối điều khiển [9].



Hình 2.2. Mô hình động cơ đốt trong SI

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{dm_a}{dt} &= m_{\max} (1 - \cos(1,14459 \cdot \alpha - 1,06)) \left( 1 - \exp \left( 9 \left( \frac{P_m}{P_{atm}} - 1 \right) \right) \right) - \frac{V_e}{4\pi V_m} \eta_{vol} \omega_e \frac{M_a P_m V_m}{R T_m} \\ \frac{d\dot{m}_{fi}}{dt} &= \left( \dot{m}_{fc} - \dot{m}_{fi} \right) \left( 0,05 + \frac{1,5\pi \dot{m}_{fc} (A/F)}{\omega_e m_{\max}} \right)^{-1} \\ \frac{d\omega_e}{dt} &= \frac{1}{J_e} \left( C_M \frac{m_{ao}(t - \Delta t_{it})}{\omega_e(t - \Delta t_{it})} AFI(t - \Delta t_{it}) SI(t - \Delta t_{st}) - 0,1056 \cdot \omega_e^{-15,1} - \tau_c \right) \end{aligned} \right. \quad (2.22)$$

8



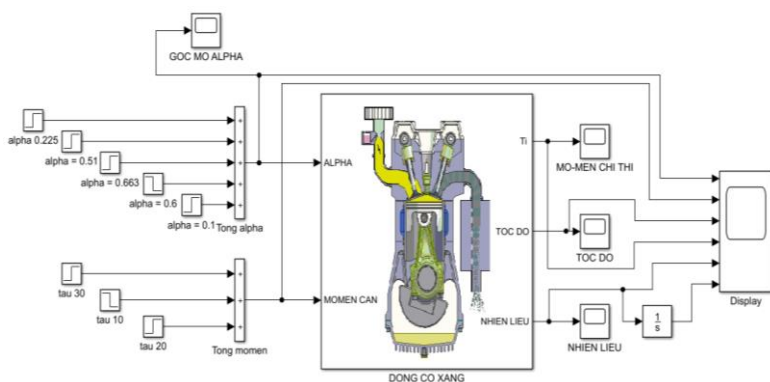
Để đơn giản cho việc điều khiển trong nghiên cứu này, tác giả lựa chọn tín hiệu đầu vào tác động tới động cơ xăng (hình 2.17): tín hiệu góc mở bướm ga  $\alpha$  và các mô-men cản  $\tau_c$ , tín hiệu đầu ra của động cơ xăng là tốc độ quay  $\omega_e$ , mô-men  $\tau_i$  và lượng nhiên liệu tiêu thụ  $f_i$ .

### 2.3. Mô phỏng động cơ xăng

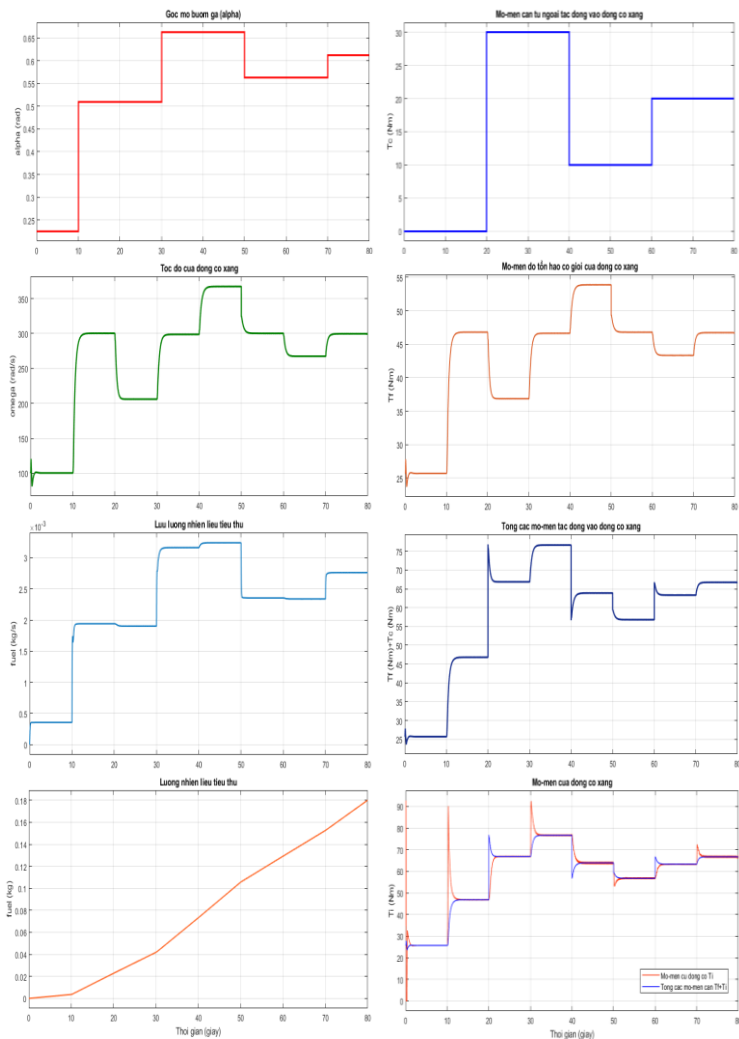
Theo [71], [90] ta có các thông số khảo sát của động cơ xăng như trong bảng 2.1, thay các giá trị trong bảng 2.1 vào phương trình (2.22). Cho chạy mô phỏng hình 2.18 với điều kiện đầu  $\omega_0 = 100[\text{rad/s}]$ , góc mở bướm ga  $\alpha_0 = 0,225(\text{rad})$ , ta có kết quả như trong hình 2.19.

Bảng 2.1. Các thông số khảo sát của động cơ xăng [71]

|                  |                            |                        |                      |
|------------------|----------------------------|------------------------|----------------------|
| $m_{\text{MAX}}$ | 0,1843 (kg/s)              | $\Delta t_{\text{it}}$ | 5,48/ $\omega$ (s)   |
| $V_m$            | 0,0038 ( $\text{m}^3$ )    | $\Delta t_{\text{st}}$ | 1,3/ $\omega$ (s)    |
| $V_e$            | 0,0027 ( $\text{m}^3$ )    | $T_m$                  | 300 (degK)           |
| $J_e$            | 0,1454 ( $\text{kg m}^2$ ) | $M_a$                  | 28,84 (g/mole)       |
| $C_M$            | 498636 N m/ (kg/s)         | R                      | 8314,3(J/mole deg K) |



Hình 2.18. Sơ đồ mô phỏng động cơ xăng trên Simulink



Hình 2.19. Kết quả mô phỏng hoạt động của động cơ xăng

## 2.4. Nhận dạng mô hình động cơ xăng

Trong bài toán điều khiển theo nguyên tắc phản hồi đầu ra, muốn tổng hợp được bộ điều khiển cho đối tượng đề hệ kín có được chất lượng như mong muốn thì trước tiên cần phải hiểu biết về đối tượng, tức là cần phải có một mô hình toán học của đối tượng. Kết quả

tổng hợp bộ điều khiển phụ thuộc rất nhiều vào mô hình mô tả của đối tượng. Người ta thường sử dụng hai phương pháp mô hình hóa đối tượng: phương pháp lý thuyết và phương pháp nhận dạng [4].

a. Nhận dạng mô hình động cơ xăng thành mô hình không gian trạng thái

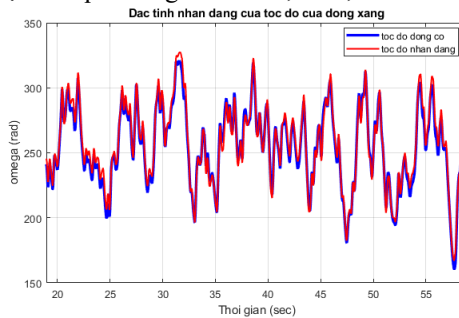
Khi có tập tín hiệu đầu vào  $u(t) = \alpha(t)$  và đầu ra  $y(t) = \omega_e(t)$  ta tiến hành bước chọn cấu trúc của mô hình. Theo (2.24) các biến trạng thái lần lượt là  $x_1 = m_a, x_2 = \dot{m}_f, x_3 = \omega_e$ , tác giả lựa chọn cấu trúc mô hình nhận dạng là mô hình trong không gian trạng thái có dạng:

$$\begin{cases} \dot{x} = A.x + B.u \\ y = C.x + D.u \end{cases} \quad (2.56)$$

Việc ước lượng các tham số do Matlab thực hiện bằng phương pháp hồi quy, mô hình cần nhận dạng là động cơ xăng dạng phi tuyến như phương trình (2.24) nên ta chọn bậc của mô hình là bậc 3. Tiến hành nhận dạng dữ liệu và chạy mô phỏng sơ đồ simulink hình 2.25 ta thu được các ma trận hệ thống trong mô hình không gian trạng thái của động cơ xăng:

$$A = \begin{bmatrix} -1,378 & 1,062 & 0,05822 \\ -5,586 & -3,244 & -32,79 \\ 14,86 & 43,8 & -238,1 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0,005911 \\ -1,807 \\ -24,47 \end{bmatrix}, C = [7267 \quad 19,85 \quad -0,8662], D = [0]$$

Cho chạy mô phỏng hình 2.26, so sánh mô hình trạng thái đã nhận dạng được với mô hình phi tuyến (phương trình 2.22) của động cơ xăng ta nhận được kết quả trong hình 2.27, 2.28, 2.29.



Hình 2.27. Kết quả đánh giá sự trùng hợp tốc độ và mô-men đầu ra của mô hình trạng thái và mô hình phi tuyến của động cơ khi tín hiệu  $\alpha$  là ngẫu nhiên

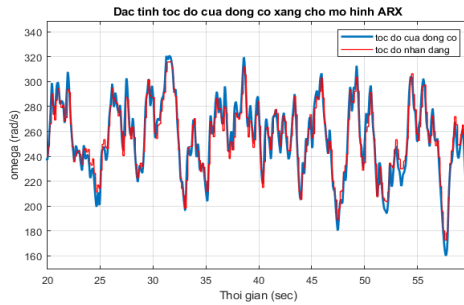
### b. Nhận dạng mô hình động cơ xăng thành mô hình ARX

Tương tự như phương pháp nhận dạng mô hình trạng thái, khi có tập tín hiệu đầu vào  $\alpha$  và đầu ra  $\omega_e$  ta tiến hành bước chọn cấu trúc của mô hình, trong nghiên cứu này, tác giả lựa chọn cấu trúc mô hình nhận dạng là mô hình ARX có dạng:

Việc ước lượng các tham số do Matlab thực hiện bằng phương pháp hồi quy, mô hình cần nhận dạng là động cơ xăng dạng phi tuyến như phương trình (2.24) nên ta chọn bậc ARX331 (bậc của mô hình nb =3, na=3, ni=1 ). Tiến hành nhận dạng dữ liệu và chạy mô phỏng sơ đồ simulink hình 2.25 ta thu được vector tham số của hệ thống trong mô hình ARX của động cơ xăng.

$$\frac{B(z)}{A(z)} = \frac{-0,006393z^{-1} + 0,01103z^{-2} + 0,1154z^{-3}}{1 - 2,661z^{-1} + 2,343z^{-2} - 0,6818z^{-3}} \quad (2.64)$$

Cho chạy mô phỏng hình 2.26, so sánh mô hình ARX đã nhận dạng với mô hình phi tuyến (phương trình 2.22) của động cơ xăng ta nhận được kết quả trong hình 2.31, 2.32, 2.33.



Hình 2.31. Kết quả đánh giá sự trùng hợp tốc độ đầu ra của mô hình ARX và mô hình phi tuyến của động cơ khi tín hiệu  $\alpha$  là ngẫu nhiên

### c. Nhận dạng mô hình động cơ xăng trực tuyến theo thời gian thực

Việc tiến hành nhận dạng offline cho động cơ xăng tồn tại nhược điểm như sau: do đã được xấp xỉ thành mô hình tuyến tính nên không phản ánh đúng tính chất phi tuyến của mô hình đối tượng theo thời gian, dẫn đến hiện tượng đầu ra của mô hình nhận dạng vẫn tồn tại sai lệch so với mô hình phi tuyến của đối tượng như thể hiện trong hình 2.28, 2.29, 2.32, 2.33. Vì vậy, để nâng cao độ chính xác mô hình toán của hệ thống cần phải tiến hành nhận dạng trực tuyến mô hình động cơ xăng theo thời gian thực.

Theo mục 2.4.3 đối tượng là động cơ xăng sau khi nhận dạng thành mô hình tuyến tính ARX có dạng (2.64), khi nhận dạng động cơ

xăng có dạng bậc 3 với hàm truyền (2.65), ta thấy hàm truyền bậc 3 tổng quát cần nhận dạng như sau:

$$G(z) = \frac{b_1 z^2 + b_2 z + b_3}{z^3 + a_1 z^2 + a_2 z + a_3} \quad (2.64)$$

trong đó:  $b_1, b_2, b_3$  và  $a_1, a_2, a_3$  là các thông số chưa biết cần nhận dạng Vector tham số cần nhận dạng:

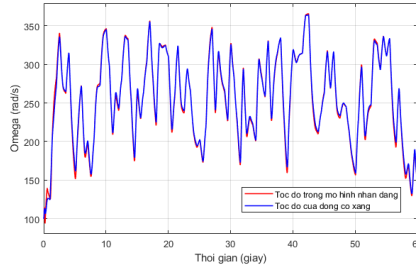
$$\theta(k) = [a_1 \quad a_2 \quad a_3 \quad b_1 \quad b_2 \quad b_3]^T \quad (2.68)$$

Bộ dự báo tham số của động cơ xăng có dạng:

$$y(k) = \varphi^T(k) \theta(k) \quad (2.69)$$

Thuật toán ước lượng đệ quy không tính nghịch đảo ma trận là:

$$\hat{\theta}(k) = \hat{\theta}(k-1) + L(k) \varepsilon(k) \quad (2.77)$$



Hình 2.37. Kết quả đánh giá sự trùng hợp tốc độ đầu ra của mô hình ARX nhận dạng online và mô hình phi tuyến của động cơ khi tín hiệu  $a$  là ngẫu nhiên

## 2.5. Kết luận chương 2

Chương 2 của luận án đã giải quyết được những vấn đề sau:

Một là, phân tích và nghiên cứu chu trình làm việc của động cơ xăng, tiến hành xây dựng mô hình toán các khối chức năng riêng biệt của động cơ: cung cấp không khí, cung cấp nhiên liệu, phương trình mô-men chỉ thị,....

Hai là, đưa ra được phương án lựa chọn tín hiệu vào/ra để điều khiển động cơ xăng, tiến hành mô phỏng động cơ xăng ảo trên Simulink, kết quả mô phỏng động cơ xăng ảo cho thấy mối quan hệ giữa tín hiệu vào góc mở  $\alpha$  và mô-men cản với mô-men chỉ thị  $\tau_i$ , và

mô-men  $\tau_e$  trên trục động cơ, để ổn định tốc độ  $\omega_e$ . Đây cũng là cơ sở để nghiên cứu các phương pháp điều khiển trong các chương tiếp theo được áp dụng trên động cơ xăng ảo mô phỏng.

Ba là, áp dụng thuật toán nhận dạng hồi quy tuyến tính để tiến hành nhận dạng trực tuyến mô hình tuyến tính của động cơ xăng trên cơ sở tập tín hiệu vào là góc mở  $\alpha$  và tín hiệu ra tốc độ  $\omega_e$  là trên trục động cơ. Việc nhận dạng trực tuyến được mô hình tuyến tính của động cơ xăng là giải pháp quan trọng xác định các thông số của bộ điều khiển được trình bày trong các Chương 3.

### CHƯƠNG 3. ĐIỀU KHIỂN MÔ-MEN ĐỘNG CƠ XĂNG BẰNG THUẬT TOÁN ĐIỀU KHIỂN BẮM TỐI ƯU LQIT TỰ CHỈNH

#### 3.1. Điều khiển LQIT trong miền liên tục

Để giảm sai lệch điều khiển ta cần đưa thêm khâu tích phân vào điều khiển tối ưu LQR. Tín hiệu bám sai lệch được xác định [63]:

$$\dot{e} = r(t) - y(t) = r(t) - Cx(t) \quad (3.34)$$

trong đó:  $r(t)$  tín hiệu đặt,  $y(t)$  tín hiệu ra, đặt hai biến trung gian

$\hat{x} = \begin{bmatrix} \tilde{x} \\ e \end{bmatrix}$ , khi đó phương trình trạng thái có dạng:

$$\dot{\hat{x}} = \begin{bmatrix} A & 0 \\ -C & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{x} \\ e \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B \\ 0 \end{bmatrix} \hat{u} = \hat{A}\hat{x} + \hat{B}\hat{u} \quad (3.35)$$

$$\text{Hàm mục tiêu được xác định: } J = \frac{1}{2} \int_0^{\infty} (\hat{x}^T Q \hat{x} + \hat{u}^T R \hat{u}) dt \quad (3.36)$$

Nếu hệ thống được mô tả như trên là điều khiển được, có thể tìm được bộ điều chỉnh trạng thái chọn sao cho  $\tilde{u}$  là hàm của trạng thái  $\hat{x}$  có thể đo được [63]:  $\tilde{u}(t) = -K\hat{x}(t)$  (3.37)

$$\text{trong đó: } K = R^{-1} \hat{B}^T P = \begin{bmatrix} K_x & K_i \end{bmatrix} \quad (3.38)$$

$p$  là nghiệm của phương trình Riccati:

$$P \cdot \hat{A} + \hat{A}^T P - P \cdot \hat{B} \cdot R^{-1} \hat{B}^T \cdot P + Q = 0 \quad (3.39)$$

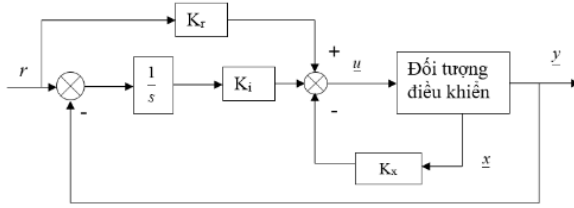
$$u(t) = -K_x \tilde{x} - K_i e + \bar{u} = -K_x (x - \bar{x}) - K_i e + \bar{u} \quad (3.40)$$

$$= -K_x x + K_x A^{-1} (CA^{-1} B)^{-1} r - K_i e - [CA^{-1} B]^{-1} r$$

$$= -K_x x + [K_x A^{-1} B - I] (CA^{-1} B)^{-1} r - K_i e = -K_x x + K_r r - K_i e \quad (3.41)$$

$$\text{với } K_r = [K_x A^{-1} B - I] (CA^{-1} B)^{-1} \quad (3.42)$$

Mô hình điều khiển LQIT được thể hiện trong hình 3.3 [63].



Hình 3.3. Cấu trúc bộ điều khiển bám tối ưu LQIT

### 3.2. Điều khiển LQIT trong miền gián đoạn

Tín hiệu bám sai lệch được xác định:

$$\dot{e}_k = r_k - y_k = r_k - C_d x_k \quad (3.48)$$

trong đó:  $r_k$  tín hiệu đặt,  $y_k$  tín hiệu ra

$$\text{Biến trạng thái rời rạc tiếp theo sẽ là: } \hat{x}_{k+1} = \hat{x}_k + e_k \quad (3.49)$$

$$\text{Thay (3.48) vào (3.49) ta được: } \hat{x}_{k+1} = \hat{x}_k + r_k - C_d \tilde{x}_k \quad (3.50)$$

$$\text{Đặt hai biến trung gian } x_k = \begin{bmatrix} \tilde{x}_k \\ \hat{x}_k \end{bmatrix}, x_{k+1} = \begin{bmatrix} \tilde{x}_{k+1} \\ \hat{x}_{k+1} \end{bmatrix}$$

Khi đó phương trình trạng thái có dạng [5]:

$$\begin{bmatrix} \tilde{x}_{k+1} \\ \hat{x}_{k+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_k & 0 \\ -C_k & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{x}_k \\ \hat{x}_k \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B_k \\ 0 \end{bmatrix} \tilde{u}_k + \begin{bmatrix} 0_{3 \times 1} \\ 1 \end{bmatrix} r_k \quad (3.52)$$

$$\text{Với: } \hat{B} = \begin{bmatrix} B_k \\ 0 \end{bmatrix}, \hat{A} = \begin{bmatrix} A_k & 0 \\ -C_k & 1 \end{bmatrix}$$

Phương trình trạng thái của bộ điều khiển bám tối ưu tích phân là:

$$\begin{cases} x_{k+1} = \hat{A}x_k + \hat{B}u_k + \hat{N}r_k \\ y_k = \hat{C}x_k \end{cases} \quad (3.53)$$

$$\text{Tín hiệu điều khiển: } \tilde{u}_k = -Kx_k + K_r \quad (3.54)$$

Bộ điều khiển được xác định:

$$K = \left( \hat{B}^T P_k \hat{B} + R \right)^{-1} \hat{B}^T P_k \hat{A} = [K_x \quad K_I] \quad (3.55)$$

$$K_r = \left[ K_x \hat{A}^{-1} \hat{B} - I \right] \left( \hat{C} \hat{A}^{-1} \hat{B} \right)^{-1} \quad (3.56)$$

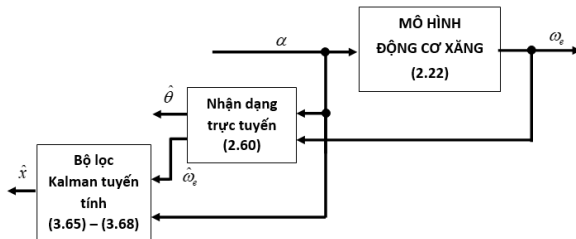
Trong đó  $P_k$  làm nghiệm của phương trình Riccati:

$$Q + \hat{A}^T P_k \hat{A} - \hat{A}^T P_k \hat{B} \left( \hat{B}^T P_k \hat{B} + R^{-1} \right) \hat{B}^T P_k \hat{A} = 0 \quad (3.57)$$

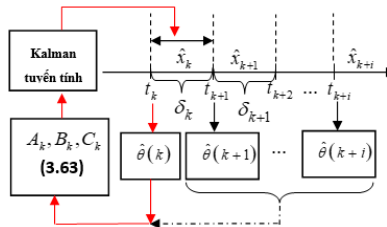
### 3.3. Quan sát trạng thái của đối tượng bằng bộ lọc Kalman

Với đối tượng phi tuyến cần phải sử dụng bộ lọc Kalman mở rộng để quan sát trạng thái của đối tượng. Tuy nhiên, trong tính toán thiết kế bộ lọc Kalman mở rộng tồn tại một số nhược điểm: cần đưa hệ thống về dạng chính tắc (3.71), việc xác định được các ma trận Jacobian A, H của đối tượng là khó thực hiện.

Trong nghiên cứu này, tác giả đề xuất một phương pháp quan sát trạng thái bằng bộ lọc Kalman tuyến tính với tín hiệu đo lường lấy từ mô hình nhận dạng trực tuyến. Trong mục 2.4.3c, tại các thời điểm  $k = 1, 2, \dots$  mô hình động cơ xăng được xấp xỉ thành mô hình nhận dạng ARX trực tuyến theo thời gian thực, phản ánh được tính phi tuyến của hệ, với sai lệch đầu ra nhỏ, độ chính xác đầu ra đạt 98,5%. Trên cơ sở đó, tác giả xây dựng hệ thống quan sát trạng thái của đối tượng là động cơ xăng có cấu trúc như hình 3.6, 3.7.



Hình 3.6. Hệ thống quan sát trạng thái bằng bộ lọc Kalman tuyến tính với tín hiệu đo lường từ mô hình nhận dạng ARX trực tuyến theo thời gian

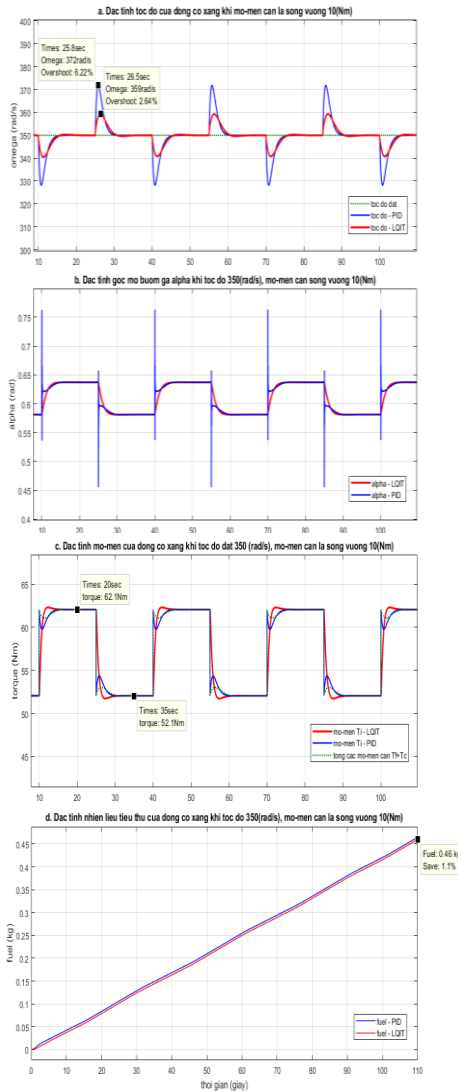


Hình 3.7. Quan sát trạng thái theo mô hình nhận dạng trực tuyến

### 3.4. Tổng hợp bộ điều khiển LQIT sử dụng bộ quan sát Kalman

Sau khi tổng hợp bộ điều khiển LQIT, mô phỏng bằng Simulink khi cài đặt thuật toán điều khiển bám tối ưu LQIT.





**Hình 3.13. Đặc tính khi sử dụng LQIT và PID, mô-men cản là  $\pm 10\text{Nm}$**

Kết quả mô phỏng thể hiện trong các hình 3.13 kết quả mô phỏng này sử dụng điều khiển bám tối ưu LQIT kết hợp với lọc Kalman được so sánh với kết quả khi sử dụng bộ điều khiển PID.

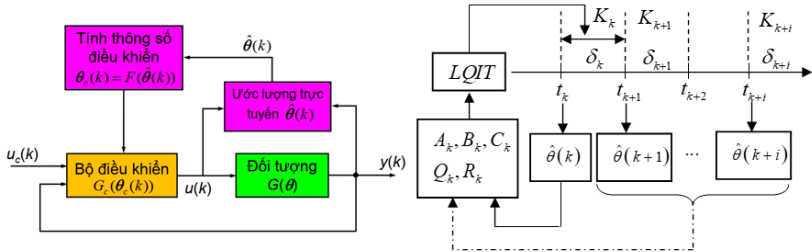
*Nhận xét, đánh giá các kết quả mô phỏng:*

Đặc tính nhiên liệu tiêu thụ khi mô-men cần là 10N thể hiện trong hình 3.13d trong thời gian là 110 giây cho thấy, khi áp dụng bộ điều khiển LQIT lượng nhiên liệu tiêu thụ giảm 1,1% so với khi hệ thống sử dụng bộ điều khiển PID, hình 3.13a cho thấy sai lệch tốc độ Overshoot: 2,64% với điều khiển PID, Overshoot: 6,22% với điều khiển PID, hình 3.13c cho thấy độ bám tổng các mô-men với điều khiển LQIT tốt hơn điều khiển PID. Đặc tính nhiên liệu tiêu thụ khi mô-men cần là 20N thể hiện trong hình 3.14d trong thời gian là 110 giây cho thấy, khi áp dụng bộ điều khiển LQIT lượng nhiên liệu tiêu thụ giảm 1,16% so với khi hệ thống sử dụng bộ điều khiển PID, các đặc tính khác cho thấy khi điều khiển LQIT tốt hơn PID.

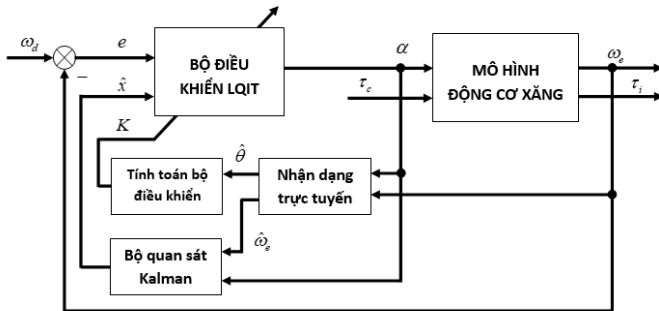
### 3.5. Đề xuất phương pháp mới điều khiển bám tối ưu LQIT tự chỉnh RHC

#### 3.5.1. Tư tưởng của phương pháp điều khiển tự chỉnh RHC

Luận án mở rộng thành đề xuất phương pháp điều khiển bám tối ưu tự chỉnh LQIT, cập nhật tham số trực tuyến từ mô hình phi tuyến đọc thực thời gian RHC (Receding Horizon Control). Cấu trúc của bộ điều khiển LQIT-RHC thể hiện trong hình 3.16, 3.17.

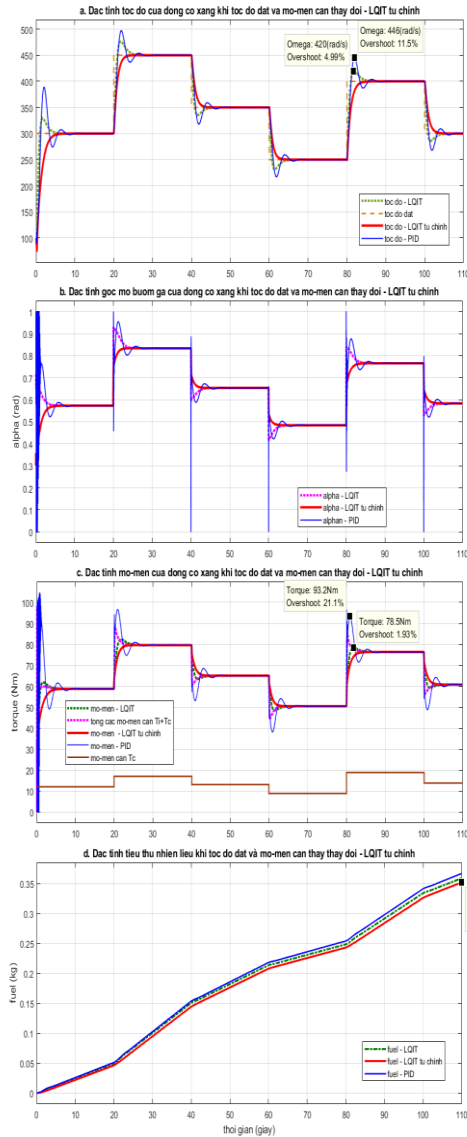


Hình 3.16. Cấu trúc bộ điều khiển tự chỉnh dọc trục thời gian RHC



Hình 3.17. Cấu trúc bộ điều khiển bám tối ưu tích phân LQIT tự chỉnh

### 3.5.2. Mô phỏng điều khiển LQIT tự chỉnh RHC cho động cơ xăng



Hình 3.21. Các đặc tính của động cơ xăng khi áp dụng điều khiển LQIT tự chỉnh

Cho chạy mô phỏng hình 3.20 trong thời gian 110 giây với mô-men cản và tốc độ đặt thay đổi dạng bậc thang có giá trị thay đổi tương tự như trong trường hợp điều khiển LQIT và PID, ta thu được kết quả mô phỏng hình 3.21. Kết quả mô phỏng này là khi áp dụng phương pháp điều khiển bám tối ưu LQIT kết hợp với lọc Kalman được so sánh với kết quả khi sử dụng bộ điều khiển PID (áp dụng phương pháp tổng hợp Cohen-Coon xác định được:  $K_p = 0,001$ ,  $K_i = 0,0045$ ,  $K_d = 0,0005$ ).

*Nhận xét, đánh giá các kết quả mô phỏng:*

Khi sử dụng bộ điều khiển LQIT tự chỉnh, lượng nhiên liệu tiêu thụ giảm đi đáng kể so với sử dụng bộ điều khiển LQIT và PID, với tốc độ và mô-men cản đặt vào động cơ thay đổi dạng bậc thang. Cụ thể là đặc tính nhiên liệu tiêu thụ thể hiện trong hình 3.21d trong thời gian là 110 giây cho thấy, khi áp dụng bộ điều khiển LQIT lượng nhiên liệu tiêu thụ giảm 4,16% so với khi hệ thống sử dụng bộ điều khiển PID. Khả năng bám tốc độ và mô-men cản khi điều khiển LQIT tự chỉnh tốt hơn LQIT và PID, như trong hình 3.21a độ quá điều chỉnh tốc độ Overshoot: 4,99% với điều khiển LQIT, Overshoot: 11,5% với điều khiển PID, khả năng bám mô-men cản thể hiện trong hình 3.21c với Overshoot: 1,93% với điều khiển LQIT, Overshoot: 21,1% với điều khiển PID. Khi áp dụng điều khiển LQIT tự chỉnh các giá trị độ quá điều chỉnh tốc độ và mô-men của động cơ xăng đã bị triệt tiêu.

### **3.6. Kết luận chương 3**

Chương 3 của luận đã đề cập tới những vấn đề sau:

*Một là*, sử dụng bộ điều khiển tối ưu tích phân LQIT có nhận dạng trực tuyến thời gian thực mô hình động cơ xăng theo mô hình (2.22) để thực hiện điều khiển bám tối ưu mô-men và giảm lượng nhiên liệu tiêu thụ. *Hai là*, sử dụng thuật toán nhận dạng bình phương cực tiểu trực tuyến sử dụng phương pháp đệ qui để tính toán trực tuyến bộ điều khiển bám tối ưu LQIT, đề xuất áp dụng bộ lọc Kalman tuyến tính với tín hiệu đo từ mô hình nhận dạng ARX để điều khiển tốc độ và mô-men của động cơ xăng. *Ba là*, chứng minh được tính bám ổn định của phương pháp đã đề xuất áp dụng điều khiển cho động cơ xăng.

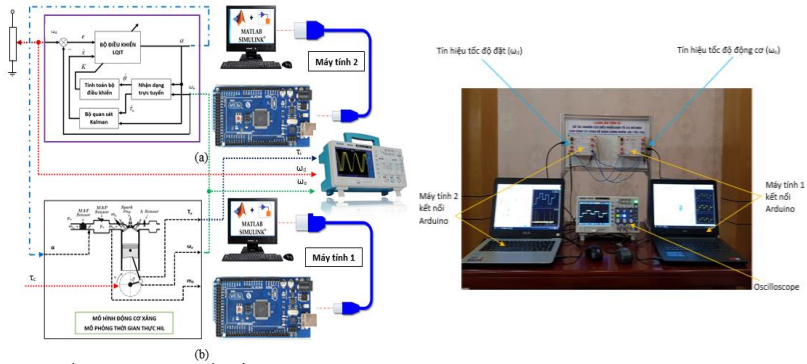
## **CHƯƠNG 4. THỰC NGHIỆM KIỂM CHỨNG CHẤT LƯỢNG CỦA THUẬT TOÁN ĐỀ XUẤT BẰNG PHƯƠNG PHÁP HIL**

### **4.1. Phương pháp Hardware-In-The-Loop (HIL)**

Mô phỏng *Hardware-in-the-loop* (HIL) được đặc trưng bởi việc ghép nối các thành phần thực kết hợp với các thành phần mô phỏng theo thời gian thực.

## 4.2. Thiết kế, cài đặt bộ điều khiển bám tối ưu LQIT trên Kit Arduino2560

Xây dựng bộ điều khiển bám tối ưu LQIT tự chỉnh do luận án đề xuất để điều khiển cho đối tượng trên mô hình thực nghiệm bằng cấu trúc lại mô phỏng thời gian thực.



Hình 4.6. Cấu trúc mô phỏng HIL cho điều khiển bám mô-men động cơ xăng, (a)-mô hình bộ điều khiển LQIT tự chỉnh, (b)-mô hình mô phỏng động cơ xăng

Cấu trúc bộ thực nghiệm gồm 2 phần: Máy tính 1 thực hiện nhiệm vụ mô phỏng thời gian thực cho đối tượng điều khiển, đối tượng điều khiển là mô hình của động cơ xăng, được thể hiện trong hình 4.6b. Máy tính 2 thực hiện nhiệm vụ mô phỏng thời gian thực cho bộ điều khiển LQIT tự chỉnh thực được thể hiện trong hình 4.6a.

## 4.3. Kết quả thực nghiệm

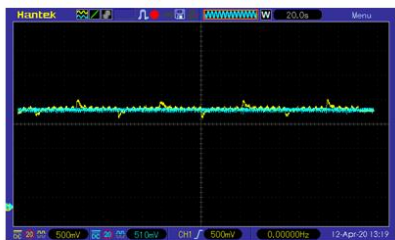
### 4.3.1. Kết quả thực nghiệm khi tốc độ đặt là hằng số, mô-men cần là sóng vuông

Thực nghiệm với mô-men cần thay đổi liên tục dạng sóng vuông:  $\tau_c = \pm 20(Nm)$  với tốc độ đặt là hằng số  $\omega_d = 350(rad/s)$ . Tiến trình thực nghiệm như sau: Đặt vào động cơ xăng một tốc độ cần ổn định là  $\omega_d = 350(rad/s)$ , trong suốt thời gian thực nghiệm cần duy trì tốc độ này khi mô-men cần đặt vào động cơ xăng thay đổi  $\tau_c = \pm 20(Nm)$  tại các thời điểm ( $t = 20, 60, 100, 140, 180, 220, 260$ ,

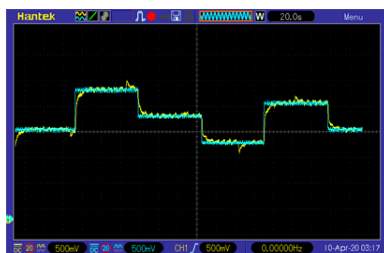
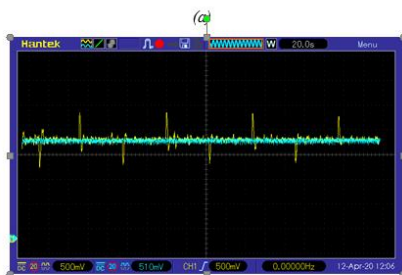
300 giây). Cho chạy thí nghiệm hình 4.10 trong thời gian 330 giây, ta thu được kết quả hình 4.11.

#### 4.3.2. Kết quả thực nghiệm khi tốc độ đặt và mô-men cản dạng bậc thang

Thực nghiệm với mô-men cản và tốc độ đặt vào động cơ xăng dạng bậc thang. Tiến trình thực nghiệm như sau: đặt vào động cơ xăng tốc độ thay đổi  $\omega_d \text{ (rad / s)} = [300; 450; 350; 250; 400]$  tại thời điểm  $t = (0, 25, 50, 75, 100, 125, \dots)$ , mô-men cản  $\tau_c \text{ (Nm)} = [12; 17; 13; 9; 19; 14]$  tại thời điểm ( $t = 0, 55, 110, 165, 220, 275$  giây). Cho chạy thí nghiệm hình 4.15 trong thời gian 330 giây, ta thu được kết quả hình 4.16, 4.17, 4.18 lượng nhiên liệu tiêu thụ được thể hiện như hình 4.19.



(a)



(b)

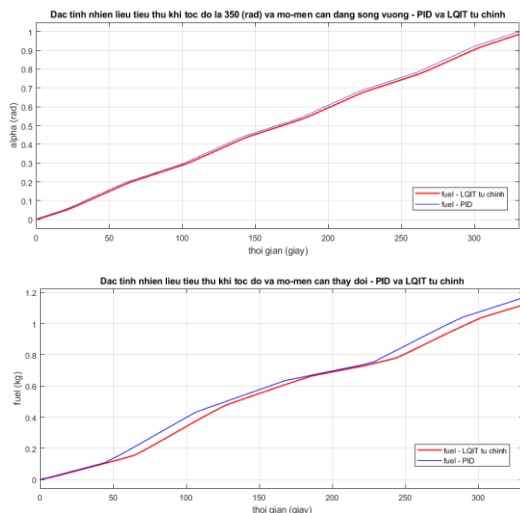
Hình 4.11. Đặc tính tốc độ mô-men cản dạng sóng vuông 20Nm (a)-khi sử dụng bộ điều khiển LQIT tự chỉnh, (b)-khi sử dụng bộ điều khiển PID

Hình 4.16. Đặc tính tốc độ và mô-men cản thay đổi dạng bậc thang (a)-khi sử dụng bộ điều khiển PID, (b)-khi sử dụng bộ điều khiển LQIT tự chỉnh

#### 4.3.3. Nhận xét kết quả thực nghiệm

Dựa trên kết quả chạy thực nghiệm thời gian thực hình 4.10, 4.15 cho thấy khi áp dụng bộ điều khiển LQIT tự chỉnh cho động cơ

xăng, đáp ứng đầu ra của tốc độ trên trục của động cơ xăng bám theo tốc độ đặt (cả khi tốc độ đặt ổn định và tốc độ đặt thay đổi) có đặc tính động tốt hơn khi sử dụng PID (hình 4.11, 2.16). Các đặc tính góc mở bướm ga alpha (hình 4.12, 4.17), mô-men (hình 4.13, 4.18) cho thấy khi sử dụng LQIT tự chỉnh đặc tính động của hệ tốt hơn như bám mô-men chính xác hơn, góc mở bướm ga alpha nhỏ hơn khi sử dụng phương pháp điều khiển kinh điển là PID.



*Hình 4.19. Đặc tính tiêu thụ nhiên liệu của động cơ xăng khi tốc độ đặt và mô-men thay đổi dạng bậc thang*

Khi sử dụng bộ điều khiển PID: trong hình 4.12b, 4.13b cho thấy, khi thay đổi tín hiệu đặt tốc độ xuất hiện độ quá điều chỉnh và sự dao động mô-men, dao động góc mở bướm ga alpha rất lớn.

Trong các hình 4.14, 4.19 cho thấy khi sử dụng bộ điều khiển LQIT tự chỉnh đường đặc tính nhiên liệu tiêu thụ thấp hơn (tiết kiệm nhiên liệu) đường đặc tính nhiên liệu tiêu thụ khi sử dụng bộ điều khiển PID. Điều đó cho thấy tổng lượng nhiên liệu tiêu thụ trong khoảng thời gian động cơ xăng hoạt động khi sử dụng bộ điều khiển LQIT nhỏ hơn so với tổng lượng nhiên liệu tiêu thụ trong khoảng thời gian động cơ xăng hoạt động khi sử dụng bộ điều khiển PID.

## KẾT LUẬN

### Những vấn đề đã giải quyết được

Với mục tiêu nghiên cứu đề xuất thuật toán mới hoàn thiện bài toán tối ưu trong hệ thống điều khiển bám tối ưu và đưa ra thuật

toán điều khiển cho đối tượng phi tuyến SISO là động cơ xăng, kết quả nghiên cứu của luận án đã có một số kết quả mới như sau:

1. Xây dựng phương pháp luận để thiết kế bộ điều khiển bám tối ưu cho hệ phi tuyến là động cơ xăng, cụ thể là: điều khiển bám tối ưu bằng phương pháp điều khiển tích phân tối ưu toàn phương gián tiếp LQIT tự chỉnh dọc trục thời gian (receding horizon) bằng hệ thống nhận dạng trực tuyến các tham số từ mô hình phi tuyến, tính toán và cập nhật lại giá trị của bộ điều khiển LQIT. Kết quả nghiên cứu này đã khắc phục nhược điểm của các phương pháp điều khiển tối ưu thông thường, nâng cao chất lượng điều khiển (khả năng ổn định tốc độ đặt, bám mô-men cản của động cơ xăng), tốt hơn so với phương pháp điều khiển PID, LQIT, lượng nhiên liệu đã giảm được 4,16% so với phương pháp điều khiển PID. Chứng minh được tính ổn định của hệ thống.

2. Quan sát trạng thái của đối tượng phi tuyến động cơ xăng bằng bộ lọc Kalman tuyến tính dọc trục thời gian với đầu vào/ra đo lường lấy từ mô hình nhận dạng ARX. Phương pháp quan sát này khắc phục nhược điểm của bộ lọc Kalman mở rộng là phải biết rõ các ma trận Jaccobi của mô hình toán phi tuyến của động cơ xăng.

3. Bổ sung và hoàn thiện phương pháp mô phỏng động cơ xăng bằng Matlab-Simulink, mở rộng khả năng ứng dụng mô phỏng các đối tượng phức tạp khác trong công nghiệp.

4. Cài đặt thuật toán mới mà luận án đưa ra là bộ điều khiển LQIT tự chỉnh bằng mô phỏng trên máy tính và thực nghiệm theo phương pháp mô phỏng thời gian thực HIL, thông qua đó đã kiểm chứng và khẳng định tính khả thi của thuật toán đề xuất cho động cơ xăng với kết quả đáp ứng đầu ra của động cơ bám chính xác theo giá trị tốc độ đặt, mô-men động cơ bám mô-men cản, lượng nhiên liệu tiêu thụ đã giảm hơn so với phương pháp điều khiển kinh điển PID.

#### **Hướng nghiên cứu tiếp theo**

- Để mở rộng khả năng ứng dụng của điều khiển bám tối ưu LQIT tự chỉnh cho động cơ xăng thực trong thực tế, hướng nghiên cứu tiếp theo là nghiên cứu triển khai ứng dụng, cài đặt thuật toán điều khiển ưu LQIT tự chỉnh vào trong phần cứng bằng bộ xử lý tín hiệu số DSP.

- Tiếp tục nghiên cứu hoàn thiện thuật toán cho động cơ xăng với mô hình của hệ MIMO có tính đến các yếu tố khác ảnh hưởng tới mô-men như tỷ lệ hòa khí nhiên liệu, thời điểm đánh lửa,...

- Tiếp tục nghiên cứu ứng dụng các phương pháp điều khiển phi tuyến mới để điều khiển bám mô-men và tiết kiệm nhiên liệu cho động cơ xăng.