

## TÓM TẮT NHỮNG ĐÓNG GÓP MỚI CỦA LUẬN ÁN

Họ & tên NCS: **Phan Nguyễn Quý Tâm**      MSNCS: 13252010304

Thuộc chuyên ngành: **Kỹ Thuật Cơ khí**      Khoá: 2013-2016

Tên luận án: **Nghiên cứu, ứng dụng năng lượng điện cảm trên ô tô**

Người hướng dẫn chính: **PGS.TS. Đỗ Văn Dũng**

Người hướng dẫn phụ: **TS. Nguyễn Bá Hải**

### **Tóm tắt những đóng góp mới về lý luận và học thuật của luận án:**

Thu hồi và ứng dụng năng lượng điện cảm trên ô tô là một hướng nghiên cứu mới hiện nay. Một trong những mục tiêu chính của luận án là thu hồi nguồn năng lượng điện cảm tồn tại trên các cuộn dây trong quá trình hoạt động để tái sử dụng đến các tải gián đoạn và cải thiện tính đáp ứng của kim. Ngoài việc góp phần giải quyết vấn đề năng lượng trên động cơ hiện đại đánh lửa cưỡng bức mà còn giải quyết vấn đề tiết kiệm nhiên liệu giảm, thiếu ô nhiễm môi trường và tăng tuổi thọ các chi tiết điện tử của hệ thống điện.

Những đóng góp mới của luận án thể hiện qua các nội dung sau:

- Xây dựng được mô hình toán của hệ thống thu hồi năng lượng điện cảm.
- Phân tích ứng dụng siêu tụ.
- Phân tích cải tiến tính đáp ứng của kim phun xăng.
- Thiết kế, chế tạo thành công hệ thống thu hồi và tích trữ năng lượng điện cảm có ứng dụng lập trình điều khiển.
- Thiết kế, thi công hệ thống kiểm soát năng lượng tái sinh.
- Sử dụng siêu tụ trong ứng dụng năng lượng tái tạo.
- Sản phẩm nghiên cứu đã triển khai thành công trên mô hình thực nghiệm và ô tô.

*TP. Hồ Chí Minh, ngày 09 tháng 11 năm 2020*

**Nghiên cứu sinh**  
*(Ký và ghi rõ họ tên)*

**Người hướng dẫn chính**  
*(Ký và ghi rõ họ tên)*

**PGS.TS. Đỗ Văn Dũng**

**Phan Nguyễn Quý Tâm**  
**Người hướng dẫn phụ**  
*(Ký và ghi rõ họ tên)*

**TS. Nguyễn Bá Hải**

## SUMMARY OF CONTRIBUTIONS OF THE DISSERTATION

PhD candidate : Phan Nguyen Qui Tam                      Fellows code: 13252010304  
Major : Mechanical Engineering                              Major code: 62520103  
Dissertation title : **Research, application self-inductance energy in automobile**  
Supervisor one : Prof. Dr. Do Van Dung  
Supervisor two : Dr. Nguyễn Ba Hai

### **Summary of theoretical and academic contribution of the dissertation:**

Nowadays, the recovery and application of inductance energy is a new research trend in automobiles. One of the main purpose of the thesis is to recover the self-inductance energy occurring in the circuit switching duration, and then use it as a secondary power to supply either to low-mid power loads and improvement of fuel injector response time. In addition, the thesis not only solves the energy recovery problem on the internal combustion engine but also saves fuel consumption, reduces environmental pollution, and protects electronic elements in vehicle electrical systems.

Contributions of the thesis is presented below:

- The mathematical model of self-inductance energy recovery has been built.
- Analysis of supercapacitor application.
- Analysis to improve the response time of fuel injector.
- Design of self-inductance energy recovery system by using microcontroller.
- Design of renewable energy management system.
- Research product has been successfully applied in both experimental models and automobiles.

*Ho Chi Minh City, November 9<sup>th</sup>, 2020*

**PhD candidate**  
*(Sign and name)*

**First Supervisor**  
*(Sign and name)*

**Prof. Dr. Do Van Dung**

Phan Nguyen Qui Tam  
**Second Supervisor**  
*(Sign and name)*

**Dr. Nguyễn Ba Hai**

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT  
THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH**

**PHAN NGUYỄN QUÍ TÂM**

**NGHIÊN CỨU, ỨNG DỤNG  
NĂNG LƯỢNG ĐIỆN CẢM TRÊN Ô TÔ**

**TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ**

**NGÀNH: KỸ THUẬT CƠ KHÍ**

**MÃ SỐ: 62520103**

**Tp. Hồ Chí Minh, tháng 11/2020**

**CÔNG TRÌNH ĐƯỢC HOÀN THÀNH TẠI  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT  
THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH**

Người hướng dẫn khoa học 1: **PGS.TS. Đỗ Văn Dũng**

*(Ghi rõ họ, tên, chức danh khoa học, học vị và chữ ký)*

Người hướng dẫn khoa học 2: **TS. NGUYỄN BÁ HẢI**

*(Ghi rõ họ, tên, chức danh khoa học, học vị và chữ ký)*

Luận án tiến sĩ được bảo vệ trước  
**HỘI ĐỒNG CHẤM BẢO VỆ LUẬN ÁN TIẾN SĨ**  
**TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT,**  
**Ngày .... tháng .... năm .....**

## **QUYẾT ĐỊNH**

### **Về việc giao đề tài luận án và người hướng dẫn nghiên cứu sinh khóa 2013 HIỆU TRƯỞNG TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT TP. HỒ CHÍ MINH**

Căn cứ quyết định số 426/QĐ-TTg ngày 27/10/1976 của Thủ tướng Chính phủ quy định về mạng lưới tổ chức và nhiệm vụ của các trường đại học;

Căn cứ chương 6 Điều lệ Trường Đại học ban hành kèm theo quyết định số 58/2010/QĐ-TTg ngày 22 tháng 9 năm 2010 của Thủ tướng Chính phủ;

Căn cứ thông tư số 10/2009/TT-BGDĐT ngày 07/5/2009 của Bộ Giáo dục và Đào tạo về việc Ban hành Quy chế đào tạo trình độ tiến sĩ;

Căn cứ thông tư số 05/2012/TT-BGDĐT ngày 15/02/2012 của Bộ Giáo dục và Đào tạo về việc sửa đổi, bổ sung một số điều của Quy chế đào tạo trình độ tiến sĩ ban hành kèm theo Thông tư số 10/2009/TT-BGDĐT ngày 07/5/2009 của Bộ trưởng Bộ Giáo dục và Đào tạo;

Xét nhu cầu công tác và khả năng cán bộ;

Xét đề nghị của Trưởng phòng Đào tạo,

## **QUYẾT ĐỊNH**

**Điều 1:** Giao đề tài luận án tiến sĩ và người hướng dẫn cho:

Nghiên cứu sinh : *Phan Nguyễn Quý Tâm*

Ngành : Kỹ thuật cơ khí

Khoá: 2013 – 2016

Tên luận án : *Nghiên cứu, ứng dụng năng lượng điện cảm trên ô tô*

Người HD thứ nhất (HD chính): *PGS.TS Đỗ Văn Dũng*

Người HD thứ hai : *TS. Nguyễn Bá Hải*

Thời gian thực hiện : *01/10/2013 đến 01/10/2016*

**Điều 2:** Giao cho Phòng Đào tạo quản lý, thực hiện theo đúng Quy chế đào tạo trình độ tiến sĩ của Bộ Giáo dục & Đào tạo đã ban hành.

**Điều 3:** - Trưởng các đơn vị và các Ông (Bà) có tên ở điều 1 chịu trách nhiệm thi hành quyết định này.

- Quyết định có hiệu lực kể từ ngày ký.

**Nơi nhận:**

- BGH (để biết);
- Như điều 2, 3;
- Lưu P.ĐT



# LÝ LỊCH KHOA HỌC CỦA NGHIÊN CỨU SINH

## I. LÝ LỊCH SƠ LƯỢC

Họ và tên: Phan Nguyễn Quý Tâm

Giới tính: Nam

Ngày, tháng, năm sinh: 02-12-1981

Nơi sinh: Bình Dương

Quê quán: Phường 13, Quận 10, TP.HCM

Dân tộc: Kinh

Chức vụ: Phó Trưởng Phòng Thiết Bị Vật Tư

Đơn vị công tác: Trường Đại học Sư Phạm Kỹ Thuật TP.Hồ Chí Minh

Chỗ ở riêng hoặc địa chỉ liên lạc: 295/2 khu phố Tây B, Phường Đông Hòa, TP. Dĩ An, tỉnh

Bình Dương.

E-mail: tamnq@hcmute.edu.vn

Điện thoại: 0909690124

## II. QUÁ TRÌNH ĐÀO TẠO

### 1. Đại học:

Hệ đào tạo: Chính quy Thời gian đào tạo từ 09/1999 đến 03/2004

Nơi học: Trường Đại Học Sư Phạm Kỹ Thuật TP. Hồ Chí Minh

Ngành học: Cơ Khí Động Lực

Tên đề án: Mô phỏng hệ thống cung cấp điện trên ô tô

Ngày và nơi bảo vệ đề án: 01/2004, Khoa Cơ Khí Động Lực, Trường Đại Học Sư Phạm

Kỹ Thuật TP. Hồ Chí Minh

Người hướng dẫn: TS. Đỗ Văn Dũng

### 2. Thạc sĩ:

Hệ đào tạo: Chính quy Thời gian đào tạo từ 09/2005 đến 09/2007

Nơi học: Trường Đại Học Sư Phạm Kỹ Thuật TP. Hồ Chí Minh

Ngành học: Khai thác và bảo trì ô tô máy kéo

Tên luận văn: Nghiên cứu, chế tạo bộ điều tốc điện tử cho động cơ Diesel dùng bơm cao áp

VE

Ngày và nơi bảo vệ luận văn: 05/2007, Khoa Cơ Khí Động Lực, Trường Đại Học Sư Phạm

Kỹ Thuật TP. Hồ Chí Minh

Người hướng dẫn: PGS.TS. Đỗ Văn Dũng

## DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ

- 1. Phan Nguyễn Quý Tâm, Đỗ Quốc Âm, Đỗ Văn Dũng, Nguyễn Bá Hải.** Nghiên cứu, thi công hệ thống tích lũy năng lượng điện dạng cảm kháng trên ô tô”. *Tạp chí Khoa học Giáo dục Kỹ thuật*, số 32, trang 27, 2015.
- 2. Đỗ Quốc Âm, Đỗ Văn Dũng, Lê Khánh Tân, Phan Nguyễn Quý Tâm.** Khái quát về các hệ thống đánh lửa sử dụng trên động cơ xăng. *Kỹ yếu hội thảo khoa học một số nghiên cứu và ứng dụng công nghệ mới trong lĩnh vực ô tô và nhiệt điện lạnh*, số 32, trang 46, 2015.
- 3. Đỗ Quốc Âm, Đỗ Văn Dũng, Phan Nguyễn Quý Tâm, Lê Khánh Tân.** Tính toán sức điện động tự cảm trên hệ thống đánh lửa lai. *Tạp chí Khoa học Giáo dục Kỹ thuật*, số 32, trang 8, 2015.
- 4. Phan Nguyễn Quý Tâm, Đỗ Văn Dũng.** Nghiên cứu mô phỏng thu hồi năng lượng điện cảm trên ô tô. *Tạp chí Khoa học Giáo dục Kỹ thuật* số 62/2021 – có xác nhận bài viết.
- 5. Phan Nguyễn Quý Tâm, Đỗ Văn Dũng, Nguyễn Bá Hải, Nguyễn Thành Tuyên.** Đo lường và kiểm soát năng lượng điện cảm trên ô tô sử dụng LabVIEW. *Tạp chí Khoa học Giáo dục Kỹ thuật*, số 62/2021 – có xác nhận bài viết.
- 6. Phan Nguyễn Quý Tâm, Đỗ Văn Dũng, Đinh Cao Trí.** Thiết kế mạch quản lý nguồn năng lượng tự cảm kim phun trên ô tô. *Tạp chí Khoa học Giáo dục Kỹ thuật*, số 63/2021 – có xác nhận bài viết.

## LỜI CAM ĐOAN

Tôi cam đoan đây là công trình nghiên cứu khoa học của tôi.

Các số liệu, kết quả nêu trong luận án là trung thực và chưa từng được ai công bố trong bất kỳ công trình nào khác. Tôi cũng xin cam đoan rằng mọi sự tham khảo cho việc thực hiện luận án đã được trích dẫn rõ ràng.

*TP. Hồ Chí Minh, ngày 10 tháng 11 năm 2020*

(Ký và ghi rõ họ tên)

**Phan Nguyễn Quý Tâm**



## LỜI CẢM ƠN

Người nghiên cứu xin chân thành cảm ơn:

- PGS.TS Đỗ Văn Dũng và TS. Nguyễn Bá Hải, hai giảng viên hướng dẫn khoa học, đã cho tôi cơ hội bắt đầu luận án, tận tình hướng dẫn, định hướng và dành thời gian đọc & hiệu chỉnh nội dung khoa học.
  - Ban Giám Hiệu, Phòng Đào Tạo – Bộ phận Sau Đại Học, Ban chủ nhiệm Khoa Cơ Khí Động Lực, Khoa Cơ Khí Chế Tạo Máy, Khoa Điện – Điện Tử, Quý Thầy, Cô giáo Trường ĐHSPKT TP. HCM.
  - Các đồng nghiệp, cộng sự tại phòng thí nghiệm điện tử ô tô, phòng thí nghiệm ô tô Trường ĐHSPKT TP. HCM đã tận tình hỗ trợ, động viên tôi trong suốt thời gian dài thực hiện nội dung khoa học.
  - Các thành viên hội đồng đánh giá đã dành thời gian đọc, góp ý nội dung nghiên cứu.
  - Các chuyên gia đầu ngành, các nhà khoa học đã phản biện, góp ý cho các bài báo khoa học.
  - Các Anh, Chị học viên cùng niên khóa 2013-2016 ngành Kỹ thuật cơ khí.
  - Các thành viên gia đình, những người thân đã luôn tin tưởng, ủng hộ và tạo mọi điều kiện thuận lợi để nghiên cứu sinh chuyên tâm trong quá trình học tập, nghiên cứu và thực hiện luận án.
- Trân trọng.

*Tp. Hồ Chí Minh, ngày 10 tháng 11 năm 2020*

Nghiên cứu sinh

**Phan Nguyễn Quý Tâm**

## TÓM TẮT NHỮNG ĐÓNG GÓP MỚI CỦA LUẬN ÁN

Họ & tên NCS : **Phan Nguyễn Quý Tâm**

MSNCS: 13252010304

Thuộc chuyên ngành: Kỹ Thuật Cơ khí

Khoá: 2013-2016

Tên luận án: **Nghiên cứu, ứng dụng năng lượng điện cảm trên ô tô**

Người hướng dẫn chính: **PGS.TS. Đỗ Văn Dũng**

Người hướng dẫn phụ: **TS. Nguyễn Bá Hải**

### **Tóm tắt những đóng góp mới về lý luận và học thuật của luận án:**

Thu hồi và ứng dụng năng lượng điện cảm trên ô tô là một hướng nghiên cứu mới hiện nay. Một trong những mục tiêu chính của luận án là thu hồi nguồn năng lượng điện cảm tồn tại trên các cuộn dây trong quá trình hoạt động để tái sử dụng đến các tải gián đoạn và cải thiện tính đáp ứng của kim. Ngoài việc góp phần giải quyết vấn đề năng lượng trên động cơ hiện đại đánh lửa cưỡng bức mà còn giải quyết vấn đề tiết kiệm nhiên liệu giảm, thiếu ô nhiễm môi trường và tăng tuổi thọ các chi tiết điện tử của hệ thống điện.

Những đóng góp mới của luận án thể hiện qua các nội dung sau:

- Xây dựng được mô hình toán của hệ thống thu hồi năng lượng điện cảm.
- Phân tích ứng dụng siêu tụ.
- Phân tích cải tiến tính đáp ứng của kim phun xăng.
- Thiết kế, chế tạo thành công hệ thống thu hồi và tích trữ năng lượng điện cảm có ứng dụng lập trình điều khiển.
- Thiết kế, thi công hệ thống kiểm soát năng lượng tái sinh.
- Sử dụng siêu tụ trong ứng dụng năng lượng tái tạo.
- Sản phẩm nghiên cứu đã triển khai thành công trên mô hình thực nghiệm và ô tô.

*TP. Hồ Chí Minh, ngày 09 tháng 11 năm 2020*

**Nghiên cứu sinh**  
*(Ký và ghi rõ họ tên)*

**Người hướng dẫn chính**  
*(Ký và ghi rõ họ tên)*

**Phan Nguyễn Quý Tâm**  
**Người hướng dẫn phụ**  
*(Ký và ghi rõ họ tên)*

## SUMMARY OF CONTRIBUTIONS OF THE DISSERTATION

PhD candidate : Phan Nguyen Qui Tam Fellows code: 13252010304  
Major : Mechanical Engineering Major code: 62520103  
Dissertation title : **Research, application self-inductance energy in automobile**  
Supervisor one : Prof. Dr. Do Van Dung  
Supervisor two : Dr. Nguyễn Ba Hai

### Summary of theoretical and academic contribution of the dissertation:

Nowadays, the recovery and application of inductance energy is a new research trend in automobiles. One of the main purpose of the thesis is to recover the self-inductance energy occurring in the circuit switching duration, and then use it as a secondary power to supply either to low-mid power loads and improvement of fuel injector response time. In addition, the thesis not only solves the energy recovery problem on the internal combustion engine but also saves fuel consumption, reduces environmental pollution, and protects electronic elements in vehicle electrical systems.

Contributions of the thesis is presented below:

- The mathematical model of self-inductance energy recovery has been built.
- Analysis of supercapacitor application.
- Analysis to improve the response time of fuel injector.
- Design of self-inductance energy recovery system by using microcontroller.
- Design of renewable energy management system.
- Research product has been successfully applied in both experimental models and automobiles.

*Ho Chi Minh City, November 9<sup>th</sup>, 2020*

**PhD candidate**  
*(Sign and name)*

**First Supervisor**  
*(Sign and name)*

**Phan Nguuyen Qui Tam**  
**Second Supervisor**  
*(Sign and name)*

# MỤC LỤC

<b>Trang tựa</b>	<b>Trang</b>
Quyết định giao đề tài	
Lý lịch cá nhân	i
Các công trình đã công bố	ii
Lời cam đoan	iii
Lời cảm ơn	iv
Tóm tắt	v
Summary of contributions of the dissertation	vi
Mục lục	vii
Danh mục các từ viết tắt	ix
Danh sách các bảng	x
Danh sách các hình	xi
<b>Chương 1: TỔNG QUAN</b>	<b>1</b>
1.1. Lý do chọn đề tài	1
1.2. Mục tiêu nghiên cứu	2
1.3. Nội dung nghiên cứu	2
1.4. Đối tượng nghiên cứu	2
1.5. Phạm vi nghiên cứu	2
1.6. Phương pháp nghiên cứu	2
1.7. Tính mới và ý nghĩa khoa học của công trình nghiên cứu	2
1.8. Cấu trúc của luận án	3
<b>Chương 2: CƠ SỞ LÝ THUYẾT VỀ NĂNG LƯỢNG ĐIỆN CẢM VÀ HỆ SIÊU TỤ ĐIỆN</b>	<b>4</b>
2.1. Các cơ cấu chấp hành tích trữ năng lượng điện cảm	4
2.2. Các đặc tính của cuộn cảm tác động đến năng lượng điện cảm	5
2.3. Mô hình tính toán các quá trình hoạt động trên cuộn cảm	8
2.4. Hệ siêu tụ	10
2.5. Tính toán năng lượng tích lũy	13
2.6. Hệ siêu tụ kết nối phụ tải điện	19
2.7. Đặc tính kim phun	20
<b>Chương 3: THIẾT KẾ HỆ THỐNG THU HỒI VÀ TÍCH TRỮ NĂNG LƯỢNG ĐIỆN CẢM</b>	<b>24</b>

3.1.	Khảo sát sức điện động tự cảm thực tế	24
3.2.	Thiết kế mô hình thực nghiệm điều khiển phun xăng đánh lửa	25
3.3.	Thiết kế hệ thống đánh giá độ nhạy kim phun	32
<b>Chương 4: THỰC NGHIỆM VÀ ĐÁNH GIÁ</b>		<b>35</b>
4.1	Kết quả thực nghiệm trên hình hệ thống phun xăng đánh lửa	35
4.2	Thực nghiệm ứng dụng năng lượng tích lũy trên phụ tải gián đoạn	37
4.3	Thực nghiệm cải thiện tính đáp ứng của kim phun	38
4.4	Thực nghiệm sản phẩm nghiên cứu trên ô tô	41
<b>Chương 5: KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ</b>		<b>44</b>
5.1	Kết luận	44
5.2	Kiến nghị	44
<b>TÀI LIỆU THAM KHẢO</b>		

## DANH MỤC TỪ VIẾT TẮT

Chữ viết tắt	Giải thích ý nghĩa	Ghi chú
<b>1TR-FE, 1MZ-FE</b>	Tên, ký hiệu động cơ	
<b>1NZ-FE, 4S-FE</b>	Tên, ký hiệu động cơ	
<b>ECU</b>	Electronic Control Unit	Bộ điều khiển và xử lý trung tâm
<b>DIS</b>	Direct Ignition System	Hệ thống đánh lửa trực tiếp
<b>GND</b>	Ground	Âm ắc quy
<b>IGT</b>	Ignition timing	Thời điểm đánh lửa
<b>IGF</b>	Ignition feedback	Hồi tiếp đánh lửa
<b>IC</b>	Integrated Circuit	Vi mạch tích hợp
<b>BATT</b>	Battery	Dương ắc quy
<b>OBD</b>	On Board Diagnostic	Hệ thống tự chẩn đoán trên bo mạch
<b>EDLC</b>	Electric Double-Layer Capacitors	Tụ điện hai lớp
<b>TACH</b>	Tachometer	Tốc độ động cơ
<b>C1, C2, C3, C4</b>	Coil 1,2,3,4	Cuộn dây bonine
<b>EFI</b>	Electronic Fuel Injection	Phun xăng điện tử
<b>MT</b>	Manual Transmission	Sổ sàn
<b>RPM</b>	Revolution per minute	Vòng/ phút
<b>VVT-i</b>	Variable Valve Timing with Intelligence	Hệ thống điều khiển xu-páp với góc mở biến thiên thông minh
<b>USB</b>	Universal Serial Bus	Chuẩn kết nối có dây trong máy tính

## DANH SÁCH CÁC BẢNG

<b>BẢNG</b>	<b>Trang</b>
<b>Bảng 2.1:</b> Các thông số đầu vào được đo đạc trên bobine ô tô Toyota Innova	14
<b>Bảng 2.2:</b> Các thông số tương ứng trong tính toán	14
<b>Bảng 2.3:</b> Các thông số tính toán trên kim phun Toyota Innova	17
<b>Bảng 4.1:</b> Kết quả thời gian thử nghiệm trên tải điện gián đoạn của thiết bị lưu trữ	38

## DANH SÁCH CÁC HÌNH

HÌNH	Trang
Hình 2.1: Nguyên lý điều khiển các bobine đánh lửa	4
Hình 2.2: Nguyên lý điều khiển các kim phun xăng	4
Hình 2.3: Các giai đoạn biểu diễn dạng xung điện áp tự cảm	5
Hình 2.4: Giải pháp triệt tiêu suất điện động tự cảm dùng diode	6
Hình 2.5: Giải pháp triệt tiêu suất điện động tự cảm dùng tụ điện	6
Hình 2.6: Giải pháp triệt tiêu suất điện động tự cảm dùng điện trở	6
Hình 2.7: Chiều dòng điện qua cuộn cảm	7
Hình 2.8: Sơ đồ tương đương mạch điều khiển cuộn cảm	7
Hình 2.9: Sơ đồ tương đương của cuộn cảm trong quá trình giải phóng năng lượng	8
Hình 2.10: Sơ đồ mạch tương đương của siêu tụ	10
Hình 2.11: Sơ đồ tương đương quá trình nạp của hệ siêu tụ	10
Hình 2.12: Sơ đồ tương đương quá trình phóng của của hệ siêu tụ	11
Hình 2.13: Đặc tuyến dòng điện qua cuộn sơ cấp bobine	11
Hình 2.14: Đặc tuyến sức điện động tự cảm trên cuộn sơ cấp	15
Hình 2.15: Đặc tuyến năng lượng điện cảm trên cuộn sơ cấp	15
Hình 2.16: Mô tả năng lượng điện cảm tích trữ trên cuộn sơ cấp	15
Hình 2.17: Năng lượng có thể thu hồi trong 01 phút từ bobine	16
Hình 2.18: Năng lượng điện cảm của kim phun	18
Hình 2.19: So sánh thu hồi năng lượng điện cảm trên bobine và kim phun	18
Hình 2.20: Sơ đồ tương đương mạch siêu tụ và phụ tải điện	19
Hình 2.21: Điện áp ở hai chế độ điều khiển	20
Hình 2.22: Cấu tạo của kim phun	21
Hình 2.23: Đường đặc tính cường độ dòng điện qua kim phun	21
Hình 3.1: Máy hiện sóng Tektronix MSO2000B	24
Hình 3.2: Suất điện động tự cảm trên cuộn sơ cấp bobine	24
Hình 3.3: Suất điện động tự cảm của kim phun	24
Hình 3.4: Nguyên lý điều khiển hệ thống đánh lửa trực tiếp	25
Hình 3.5: Cụm đánh lửa có tích hợp IC đánh lửa	26
Hình 3.6: Cụm đánh lửa được đề xuất thay thế	26
Hình 3.7: Sản phẩm mô hình thực nghiệm	27
Hình 3.8: Sơ đồ kết nối điều khiển	27



<b>Hình 3.9:</b> Nguyên lý thu hồi điện áp tự cảm dùng diode	28
<b>Hình 3.10:</b> Hệ siêu tụ BMOD0058 E016 B02	28
<b>Hình 3.11:</b> Sơ đồ nguyên lý mạch thu hồi năng lượng	29
<b>Hình 3.12:</b> Bo mạch điều khiển và kết nối tín hiệu	29
<b>Hình 3.13:</b> Lưu đồ thuật toán điều khiển nạp điện cảm tái sinh vào siêu tụ	30
<b>Hình 3.14:</b> Sơ đồ chuyển đổi nguồn điện	30
<b>Hình 3.15:</b> Card giao tiếp NI 6009	31
<b>Hình 3.16:</b> Giao diện thu thập dữ liệu và kiểm soát năng lượng điện cảm	31
<b>Hình 3.17:</b> Mô hình thực nghiệm kết hợp bo điều khiển, giao tiếp với máy tính	32
<b>Hình 3.18:</b> Khối 10 siêu tụ Maxwell BCAP0350 mắc nối tiếp	33
<b>Hình 3.19:</b> Nguyên lý thu hồi năng lượng và điều khiển trên kim phun	34
<b>Hình 3.20:</b> Bo mạch thu hồi năng lượng và điều khiển trên kim phun	34
<b>Hình 4.1:</b> Năng lượng điện cảm trên bobine tại tốc độ 1000 vòng/phút	35
<b>Hình 4.2:</b> Năng lượng trên kim phun tại 1000 vòng/phút	35
<b>Hình 4.3:</b> Năng lượng điện cảm của bobine tương ứng với dây tốc độ động cơ	36
<b>Hình 4.4:</b> Năng lượng điện cảm của kim phun tương ứng với dây tốc độ động cơ	37
<b>Hình 4.5:</b> Thời gian 01 kim phun hoạt động bằng điện áp siêu tụ	37
<b>Hình 4.6:</b> Thực nghiệm khả năng đáp ứng của kim phun	39
<b>Hình 4.7:</b> Đặc tính dòng điện và điện áp của kim phun khi dùng ắc quy 12V	39
<b>Hình 4.8:</b> Đặc tính dòng điện và điện áp của kim phun khi dùng siêu tụ 24V	40
<b>Hình 4.9:</b> Phân bố nhiệt độ của kim phun	40
<b>Hình 4.10:</b> Đặc tuyến nhiệt đo được từ kim phun	41
<b>Hình 4.11:</b> Các bộ phận của hệ thống thu hồi, tích lũy năng lượng điện cảm trên ô tô thử nghiệm	41
<b>Hình 4.12:</b> Màn hình hiển thị các thông số thử nghiệm	42
<b>Hình 4.13:</b> Ô tô thực nghiệm	42
<b>Hình 4.14:</b> Đặc tính công suất và momen động cơ với hệ thống đánh lửa nguyên thủy	43
<b>Hình 4.15:</b> Đặc tính công suất và momen động cơ với đánh lửa có bộ thu hồi và tích trữ năng lượng điện cảm	43

# Chương 1

## TỔNG QUAN

### 1.1 Lý do chọn đề tài

Để nâng cao tính kinh tế nhiên liệu và giảm ô nhiễm môi trường, các hãng sản xuất ô tô không ngừng tìm kiếm các giải pháp, trong đó có giải pháp thu hồi năng lượng mát mát vô ích trên ô tô. Một số các nghiên cứu về việc thu hồi năng lượng đã được thương mại hóa trên như công nghệ thu hồi năng lượng phanh i-ELoop (Intelligent Energy Loop) của hãng ô tô Mazda [1]. Công nghệ này giúp giảm 10% tiêu hao nhiên liệu của động cơ. Hay công nghệ Start/Stop Engine được áp dụng lần đầu trên các xe Hybrid của Toyota [2]. Ngoài ra, hãng xe Audi đã và đang thiết kế hệ thống thu hồi năng lượng từ hệ thống treo dựa trên nguyên lý biến dao động của hệ thống treo dưới dạng cơ năng thành năng lượng điện thu được vào bộ tích trữ [3].

Trên các thiết bị điện ô tô cấu tạo cuộn dây đều có năng lượng điện cảm sinh ra suất điện động tự cảm trong quá trình chuyển mạch. Thiết bị có năng lượng điện cảm do hiện tượng cảm ứng điện từ bao gồm: máy phát điện, cảm biến điện từ... do hiện tượng hồ cảm như: biến áp, bobine đánh lửa...

Nguồn năng lượng điện cảm nêu trên có khả năng thu hồi và sử dụng như một dạng năng lượng tái sinh. Năng lượng điện cảm này tồn tại phần lớn trên các bobin của hệ thống đánh lửa loại điện cảm. Khi dòng điện qua cuộn sơ cấp của bobine bị ngắt đột ngột để bắt đầu cho quá trình phóng điện trên điện cực bugi, trên cuộn sơ cấp sẽ xuất hiện một suất điện động tự cảm khoảng 200V đến 500V do sự thay đổi đột ngột của từ thông qua cuộn dây. Ngoài ra, trên xe còn nhiều cơ cấu chấp hành có kết cấu dạng cuộn cảm như: kim phun, van điện từ, rơle... cũng xuất hiện các suất điện động tương tự có biên độ từ 70V đến 120V trong quá trình hoạt động. Số lượng lớn các xung điện từ 70V đến 500V như thế lan truyền trên toàn hệ thống điện ô tô ảnh hưởng xấu đến tuổi thọ thiết bị đóng ngắt, linh kiện điện tử, sinh nhiệt và gây lãng phí năng lượng. Các giải pháp kỹ thuật được áp dụng như: mắc diode zener, điện trở, tụ điện song song với transistor công suất nhằm bảo vệ các thiết bị đóng ngắt nhưng không tận dụng được phần năng lượng tự cảm sinh ra trên cuộn dây.

Mong muốn tìm ra các giải pháp thiết thực để có thể nạp vào siêu tụ tái sử dụng nguồn năng lượng điện cảm lãng phí nêu trên, ở khía cạnh nào đó cung cấp cho các tải điện hoạt động gián đoạn hoặc cải thiện tính năng hoạt động kim phun là cần thiết góp phần tiết kiệm nhiên liệu giảm thiểu ô nhiễm môi trường và tăng tuổi thọ các chi tiết điện tử trên xe.

Chính vì lẽ đó, người nghiên cứu quyết định chọn và thực hiện đề tài: ***“Nghiên cứu, ứng dụng năng lượng điện cảm trên ô tô”*** với mong muốn đóng góp sản phẩm nghiên cứu cho ngành kỹ thuật ô tô, đồng thời đáp ứng xu hướng nghiên cứu năng lượng tái sinh trên ô tô hiện nay.

## **1.2 Mục tiêu nghiên cứu**

Nghiên cứu thu hồi và sử dụng lại nguồn năng lượng dưới dạng điện năng từ quá trình chuyển mạch của các bộ chấp hành có cấu tạo từ cuộn cảm thay vì tìm cách hạn chế hoặc triệt tiêu sức điện động tự cảm trước đây. Các thực nghiệm ban đầu về thu hồi năng lượng từ bobine và kim phun được thực hiện trên mô hình hệ thống phun xăng đánh lửa nhằm đánh giá khả năng hoạt động của hệ thống. Sau đó, thử nghiệm trên mô hình và ô tô.

## **1.3 Nội dung nghiên cứu**

Để hiện thực hóa mục tiêu đề ra, người nghiên cứu sẽ triển khai các nội dung:

- Nghiên cứu cơ sở lý thuyết về năng lượng điện cảm trên ô tô.
- Phân tích các đặc tính cuộn cảm, các cơ cấu chấp hành có tích trữ.
- Xây dựng mô hình toán, mô phỏng số các quá trình hoạt động trên cuộn cảm.
- Mô hình hóa, phân tích năng lượng trên hệ siêu tụ.
- Tính toán năng lượng tự cảm có khả năng thu hồi trên bobine, kim phun.
- Phân tích hệ siêu tụ kết nối phụ tải điện.
- Khảo sát thực tế các sức điện động tự cảm.
- Xây dựng mô hình thực nghiệm.
- Thiết kế mạch thu hồi năng lượng.
- Thi công hệ thống thu thập, đo lường và kiểm soát năng lượng tái sinh ứng dụng lập trình điều khiển.
- Phân tích đặc tính phụ tải điện gián đoạn, kim phun và độ nhạy kim phun.
- Thực nghiệm, phân tích, đánh giá sản phẩm nghiên cứu trên mô hình thí nghiệm và ô tô.

## **1.4 Đối tượng nghiên cứu.**

Hệ thống điện điều khiển động cơ Toyota 1TR-FE, năng lượng điện cảm, phụ tải điện gián đoạn.

## **1.5 Phạm vi nghiên cứu**

Đề tài thực hiện nghiên cứu điện cảm trên hệ thống phun xăng điện tử trên cơ sở động cơ 1TR-FE lắp trên xe Toyota Innova, cùng với việc tiến hành khảo sát trên mô hình thực nghiệm nhằm nghiên cứu làm rõ hoạt động của hệ thống.

## **1.6 Phương pháp nghiên cứu**

- Nghiên cứu lý thuyết
- Nghiên cứu thực nghiệm

## **1.7 Tính mới, ý nghĩa khoa học của công trình nghiên cứu**

Vấn đề nghiên cứu ứng dụng năng lượng điện cảm tái sinh trên ô tô, hiện chưa có nhiều công trình đã được công bố. Dựa trên phân tích kết quả các nghiên cứu của các cán bộ khoa học trong nước, tác giả lựa chọn và đề xuất mô hình nghiên cứu theo hướng khắc phục các hạn chế của nghiên cứu trước từ đó tính toán, xây dựng mô hình toán và các thông số của bộ thu hồi năng lượng điện cảm, xây dựng thuật toán điều khiển hệ thống dựa trên các yêu cầu về thu hồi tối đa năng lượng của xe mà vẫn đảm bảo được sự ổn định. Thực nghiệm thu thập số liệu tự động và so sánh với quá trình xây dựng phương trình năng

lượng thu hồi dựa trên các thông số đầu vào khi vận hành trên mô hình thí nghiệm và khi xe vận hành trong phòng thí nghiệm theo chu trình thử nghiệm WLTP CLASS 3.

Thông qua các nội dung nghiên cứu, tính mới của luận án được tổng hợp và thể hiện trong từng chương của đề tài với các điểm nổi bật như sau:

- Làm rõ bản chất của sự hình thành sức điện động tự cảm và năng lượng tự cảm một cách có hệ thống bằng phương pháp mô hình hóa trên cơ sở xây dựng mô hình vật lý, phát triển thành mô hình toán học để xây dựng phương trình cường độ dòng điện và phương trình sức điện động tự cảm, từ đó xây dựng phương trình năng lượng điện cảm trên ô tô.
- Phân tích ứng dụng hệ siêu tụ.
- Phân tích cải tiến tính đáp ứng của kim phun xăng.
- Nghiên cứu, tính toán, mô phỏng, thi công bo mạch thu hồi và tích trữ năng lượng điện cảm tái sinh.
- Thiết kế, thi công hệ thống kiểm soát năng lượng tái sinh cùng thiết bị lưu trữ tối ưu với hệ siêu tụ - Thực nghiệm ứng dụng hệ siêu tụ 12V với tải gián đoạn, 24V để cải thiện đặc tính kim phun.
- Thực nghiệm sản phẩm nghiên cứu trên ô tô 07 chỗ.

### **1.8 Bố cục của luận án**

Luận án bao gồm 92 trang, 73 hình và 09 bảng biểu bao gồm 5 chương:

- **Chương 1** trình bày tổng quan các vấn đề nghiên cứu về hệ thống năng lượng điện cảm trên ô tô.
- **Chương 2** tập trung phân tích cơ sở lý thuyết về cuộn cảm, năng lượng điện cảm, hệ siêu tụ, kết nối phụ tải điện và độ nhạy kim phun.
- **Chương 3** giới thiệu quá trình thiết kế hệ thống thu hồi và tích trữ năng lượng điện cảm, lắp đặt hệ thống thu thập dữ liệu, thu hồi, tích trữ năng lượng, thi công bo mạch điều khiển.
- **Chương 4** thực nghiệm và đánh giá qua 02 giai đoạn. Giai đoạn 1 một được thử nghiệm thu thập dữ liệu và tính toán năng lượng thu hồi được ở các chế độ vận hành khác nhau trên mô hình thực nghiệm. Giai đoạn 2 thử nghiệm sản phẩm trong trên ô tô thử nghiệm trong phòng thử nghiệm.
- **Chương 5** kết quả đạt được của luận án và kiến nghị hướng phát triển kế tiếp.

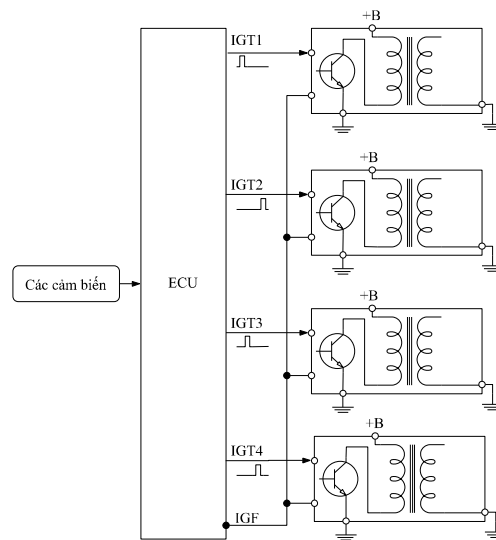
## Chương 2

### CƠ SỞ LÝ THUYẾT VỀ NĂNG LƯỢNG ĐIỆN CẢM VÀ HỆ SIÊU TỤ ĐIỆN

#### 2.1 Các cơ cấu chấp hành tích trữ năng lượng điện cảm

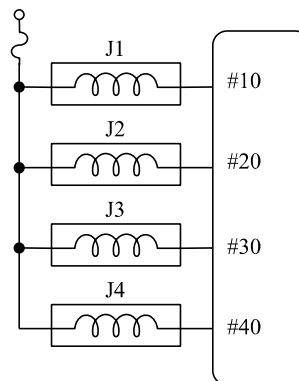
Các cơ cấu chấp hành là một phần trong hệ thống điều khiển điện tử tự động trên ô tô. Trong đó, ECU đóng vai trò trung tâm trong quá trình điều khiển lập trình. ECU nhận và phân tích các tín hiệu đầu từ các cảm biến, sau đó điều khiển hệ thống đầu ra như đánh lửa và phun xăng.

Ô tô hiện đại ngày nay sử dụng loại bobine đơn, đánh lửa trực tiếp DIS (*Direct Ignition System*), giống như mô tả trên hình 2.1. Trong đó, khối điều khiển công suất và khối cuộn dây được gắn liền với nhau. Việc sử dụng nguyên mẫu hệ thống này để thiết kế phương án thu hồi năng lượng sẽ bị hạn chế. Trong đề tài này, người nghiên cứu tiến hành tách khối điều khiển đánh lửa của bobine thành cụm rời để tạo điều kiện thuận lợi cho việc thu thập các xung điện động trên bobine.



**Hình 2.1:** Nguyên lý điều khiển các bobine đánh lửa

Hình 2.2 thể hiện sơ đồ mạch điện của các kim phun. Các kim phun này được mắc một chân lên dương 12V, một chân còn lại thông qua hộp ECU. Trong hộp ECU, chân còn lại của kim phun sẽ được mắc nối tiếp với một transistor công suất.



**Hình 2.2:** Nguyên lý điều khiển các kim phun xăng

## 2.2 Các đặc tính của cuộn cảm tác động đến năng lượng điện cảm

### 2.2.1. Hệ số tự cảm (độ tự cảm)

Hệ số tự cảm hay độ tự cảm là đại lượng đặc trưng cho suất điện động cảm ứng của cuộn dây khi có dòng điện biến thiên đi qua, thể hiện khả năng sản sinh từ trường của cuộn dây bởi một dòng điện.

### 2.2.2. Cảm kháng

Cảm kháng là đại lượng đặc trưng cho sự cản trở dòng điện của cuộn dây khi dòng điện xoay chiều đi qua:

$$Z_L = 2\pi fL \quad (2.1)$$

Trong đó:

$Z_L$ : hệ số cảm kháng ( $\Omega$ )

$f$ : tần số của dòng điện xoay chiều (Hz),  $f=0$  nếu là điện một chiều.

$L$ : hệ số tự cảm (H)

### 2.2.3. Điện trở thuần

Điện trở thuần còn gọi là điện trở tổn hao do chính cuộn dây sinh ra nhiệt khi dòng điện đi qua.

### 2.2.4. Hiện tượng cảm ứng điện từ

Hiện tượng trong mạch xuất hiện một dòng điện khi cho từ thông đi qua một mạch kín thay đổi được nhà bác học Faraday tìm ra vào năm 1831. Dòng điện qua mạch được gọi là dòng điện cảm ứng.

### 2.2.5. Suất điện động cảm ứng (Suất điện động tự cảm)

Sự xuất hiện của dòng điện cảm ứng chứng minh trong mạch có một suất điện động được gọi là suất điện động cảm ứng.

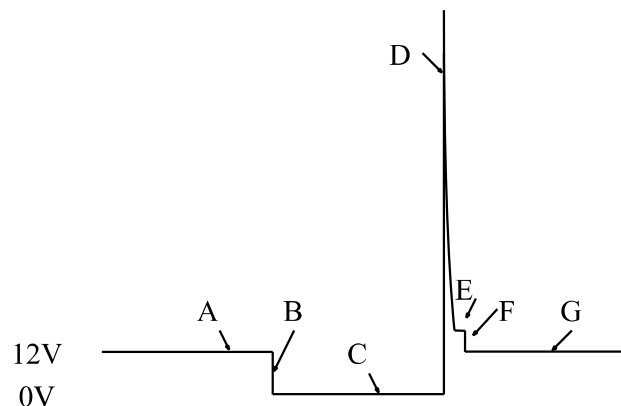
$$\xi_{tc} = - \frac{d\Phi}{dt} = - \frac{d(i)}{dt} = -L \frac{di}{dt} \quad (2.2)$$

Suất điện động cảm ứng về trị số bằng nhưng trái dấu với tốc độ biến thiên của từ thông gửi qua diện tích của mạch điện.

Dấu trừ (-) trong biểu thức chứng tỏ dòng điện cảm ứng có chiều theo định luật Lenz.

### 2.2.6 Dạng sóng suất điện động tự cảm

Hình 2.3 biểu diễn giai đoạn hình thành xung điện áp tự cảm với mức điện áp hoạt động là 12V. Trong đó, quá trình biểu diễn được chia làm 6 giai đoạn chính từ A đến G.



**Hình 2.3:** Các giai đoạn biểu diễn dạng xung điện áp tự cảm

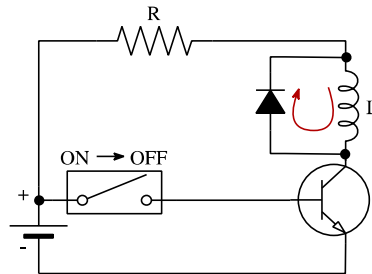
- Đoạn A: mức điện áp được cấp - điện áp ắc quy.
- Đoạn B: thời điểm đóng ngắt mạch.
- Đoạn C: thời gian dòng điện qua cuộn dây.
- Đoạn D: xuất hiện xung điện áp tự cảm.
- Đoạn E: duy trì điện áp tự cảm.
- Đoạn F: quá trình tiêu hao năng lượng.
- Đoạn G: trở lại chu kỳ hoạt động.

Trong đó đoạn D có biên độ từ 70V đến 500V phụ thuộc nhiều vào tốc độ biến thiên của từ thông và số vòng quấn của cuộn dây. Phạm vi nghiên cứu của luận án là tập trung xử lý giai đoạn D bằng cách thu hồi dạng năng lượng này dưới dạng điện năng.

### 2.2.7 Triệt tiêu suất điện động tự cảm

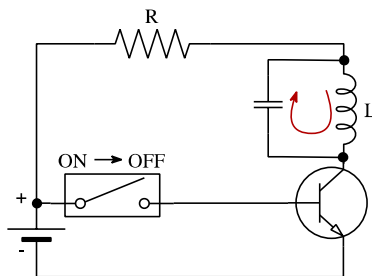
Suất điện động tự cảm có chiều ngược với chiều điện áp hoạt động của hệ và có biên độ cao, gây ảnh hưởng xấu đến các linh kiện, bộ chấp hành. Để giải quyết vấn đề này, một số linh kiện thụ động được bố trí song song với cuộn cảm nhằm hạn chế sức điện động gây ra.

#### Cách 1: dùng diode



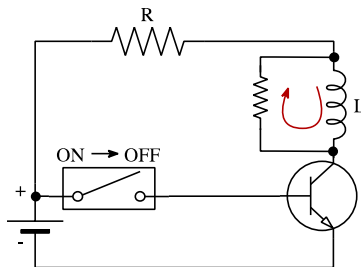
**Hình 2.4:** Giải pháp triệt tiêu suất điện động tự cảm dùng diode

#### Cách 2: dùng tụ điện



**Hình 2.5:** Giải pháp triệt tiêu suất điện động tự cảm dùng tụ điện

#### Cách 3: dùng điện trở

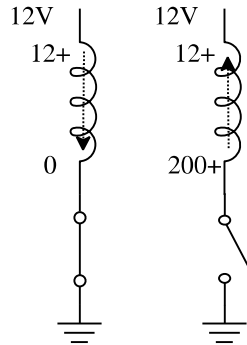


**Hình 2.6:** Giải pháp triệt tiêu suất điện động tự cảm dùng điện trở

### 2.2.8 Hiện tượng tự cảm

Hiện tượng xuất hiện trong một mạch kín khi có dòng điện xoay chiều chạy qua hoặc trong một mạch điện một chiều khi có đóng hay ngắt mạch.

### 2.2.9 Chiều dòng điện tự cảm



**Hình 2.7:** Chiều dòng điện qua cuộn cảm

Dòng điện tự cảm được mô tả trên hình 2.7. Khi tiếp điểm đóng lại, dòng điện chạy qua cuộn dây từ cực dương đến cực âm tạo ra một từ trường bao quanh cuộn dây, lúc này, phía trên cuộn dây là cực dương, phía dưới là cực âm.

Khi tiếp điểm mở ra, dòng điện bị ngắt và từ trường quanh cuộn dây mất đi một cách đột ngột sẽ cảm ứng lên chính cuộn cảm một điện áp ngược (khoảng vài chục đến vài trăm vôn tùy đặc điểm cuộn cảm). Mặc dù phía trên cuộn dây vẫn là điện áp nguồn nhưng cuộn dây đã sinh ra một điện áp vài chục đến vài trăm vôn. Trên hệ thống điện ô tô, các điện áp tự cảm xung cao này lan truyền trên hệ thống điện, gây hư hại các linh kiện điện tử và sinh nhiệt.

### 2.2.10 Năng lượng điện cảm

$$W = \int_0^I dW = \int_0^I L \cdot i \cdot di = L \frac{I^2}{2} \quad (2.3)$$

Trong đó:

$W$  = năng lượng tích trữ (Joule, J)

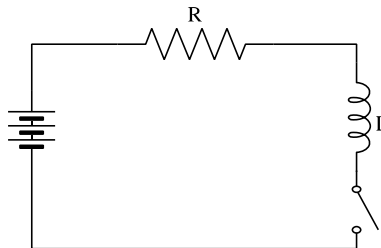
$L$  = hệ số tự cảm (Henry, H)

$I$  = cường độ dòng điện (Ampe, A)

## 2.3 Mô hình tính toán các quá trình hoạt động trên cuộn cảm

### 2.3.1 Phương trình toán của cuộn cảm trong quá trình tích lũy năng lượng

Sơ đồ tương đương của cuộn cảm được đề xuất ở hình 2.8.



**Hình 2.8:** Sơ đồ tương đương mạch điều khiển cuộn cảm



Với:

$I$ : dòng điện qua cuộn cảm

$R$ : tổng trở mạch

$L$ : độ tự cảm của cuộn dây

$U$ : điện áp hoạt động thực tế:  $U = U_a - \Delta U_T$

$U_a$ : điện áp của ắc quy.

$\Delta U_T$ : độ sụt áp trên khóa K (hay transistor công suất ở trạng thái dẫn bão hòa)

Từ sơ đồ 2.8, áp dụng định luật Kirchoff một phương trình vi phân được thiết lập:

$$iR + L \frac{di}{dt} = U \quad (2.4)$$

Giải (2.4) được:

$$i(t) = \frac{U}{R} \left( 1 - e^{-\frac{R}{L}t} \right)$$

Gọi  $\tau$  là hằng số điện từ:

$$\tau = \frac{L}{R}$$

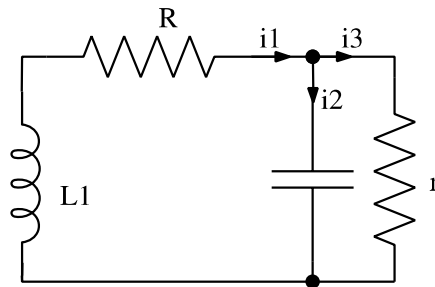
$$i(t) = \frac{U}{R} \left( 1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) \quad (2.5)$$

Gọi  $t_d$  là thời gian transistor công suất dẫn, cường độ dòng điện  $I_{ng}$  tại thời điểm transistor công suất ngắt:

$$I_{ng} = \frac{U}{R} \left( 1 - e^{-\frac{t_d}{\tau}} \right) \quad (2.6)$$

### 2.3.1. Phương trình toán của cuộn cảm trong quá trình giải phóng năng lượng

Sơ đồ tương đương được đề xuất như hình 2.9:



**Hình 2.9:** Sơ đồ tương đương của cuộn cảm trong quá trình giải phóng năng lượng

Trong đó:

$R$ : điện trở của cuộn cảm

$r$ : điện trở rò của tụ  $C_2$

$L_1$ : độ tự cảm của cuộn cảm

$i_1$ : dòng điện qua điện trở  $R$

$i_2$ : dòng điện qua tụ  $C_2$

$i_3$  : dòng điện rò qua r

Từ hình 2.9, áp dụng định luật Kirchoff, một hệ phương trình vi phân được thiết lập:

$$\begin{cases} -L_{eq} \frac{di_1}{dt} = i_1(t)R + i_3(t)r \\ i_1(t) = i_2(t) + i_3(t) \\ ri_3(t) = \frac{1}{C_2} \int i_2(t)dt \end{cases} \quad (2.7)$$

Giải hệ phương trình (2.7), theo kết quả phân tích của công trình [26] này được:

$$i_1(t) = ae^{xt} \cos(yt) + ze^{xt} \sin(yt) \quad (2.8)$$

Phương trình 2.8 mô tả cường độ dòng điện qua cuộn cảm trong quá trình giải phóng năng lượng. Trong đó  $a, b, c$  và  $d$  là các hệ số được đặt theo mối quan hệ với  $R, r, L_1, i_1, i_2$  và  $i_3$ .

**Sức điện động tự cảm trên cuộn cảm trong quá trình quá độ được xác định:**

Đạo hàm (2.8) ta được:

$$V_1 = -L_1 \frac{di_1}{dt} \quad (2.9)$$

$$V_1(t) = -L_1 \frac{di_1}{dt} \quad (2.10)$$

$$\Leftrightarrow V_1(t) = -L_1 \left[ (ax + zy)e^{xt} \cos(yt) + (xz - ay)e^{xt} \sin(yt) \right]$$

Phương trình (2.10) mô tả sức điện động tự cảm trong quá trình ngắt dòng qua cuộn cảm.

Năng lượng điện cảm trong cuộn cảm được tính như sau:

$$W_{dc} = \frac{1}{2} \times L_1 \times I_{ng}^2 \quad (2.11)$$

Trong đó:

$W_{dc}$ : năng lượng điện cảm trên cuộn sơ cấp (J)

$I_{ng}$ : cường độ dòng điện qua cuộn sơ cấp lúc transistor công suất ngắt (A)

$L_1$ : độ tự cảm cuộn sơ cấp bobine (H)

Năng lượng điện cảm trong quá trình tích lũy năng lượng:

$$W_{dc1}(t) = \frac{1}{2} \times L_1 \times (i(t))^2 = \frac{1}{2} \times L_1 \times \left( \frac{U}{R} \left( 1 - e^{\frac{-R}{L_1}t} \right) \right)^2 \quad (2.12)$$

Năng lượng điện cảm trong quá trình ngắt ngắt dòng qua cuộn cảm.

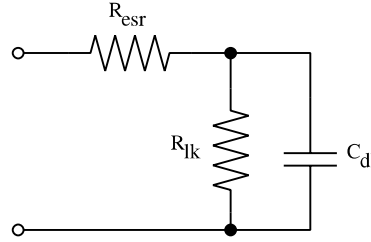
$$W_{dc2}(t) = \frac{1}{2} \times L_1 \times (i(t))^2 = \frac{1}{2} \times L_1 \times (ae^{xt} \cos(yt) + ze^{xt} \sin(yt))^2 \quad (2.13)$$

Phương trình (2.13) là năng lượng điện cảm trên cuộn sơ cấp trong quá trình đánh lửa với  $a, b, c$  và  $d$  là các hệ số được đặt theo mối quan hệ với  $R, r, L_1, i_1, i_2$  và  $i_3$ .

## 2.4 Hệ siêu tụ

### 2.4.1 Mô hình hóa hệ siêu tụ

Một mô hình đơn giản cho tụ điện hai lớp có thể được biểu diễn bằng điện dung ( $C$ ), điện trở song song tương đương ( $R_{LK}$ ) và điện trở nối tiếp tương đương ( $R_{ESR}$ ) như hình 2.10.

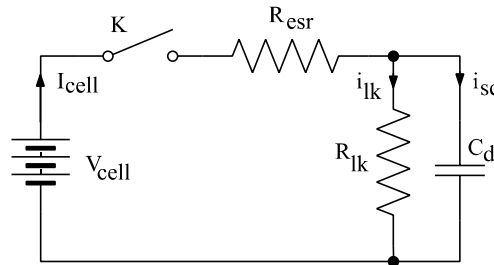


**Hình 2.10:** Sơ đồ mạch tương đương của siêu tụ

Với một hệ gồm  $n$  siêu tụ có dung lượng giống nhau được mắc nối tiếp, ta có dung lượng tổng cộng của hệ siêu tụ.

$$C_{total} = \frac{I}{\frac{I}{C_1} + \frac{I}{C_2} + \dots + \frac{I}{C_n}} = \frac{I}{n} C \quad (214)$$

Hình 2.11 biểu diễn sơ đồ tương đương quá trình nạp của hệ siêu tụ.



**Hình 2.11.** Sơ đồ tương đương quá trình nạp của hệ siêu tụ

Từ sơ đồ 2.11, áp dụng định luật Kirchoff về điện áp, ta có:

$$V_{cell}(t) = V_{esr}(t) + V_{sc}(t) \quad (2.15)$$

$$= I_{cell}R_{esr} + V_{sc}(t) \quad (2.16)$$

Giá trị điện áp trên tụ

$$V_{sc}(t) = \frac{1}{C_{total}} \int_0^t i_{sc}(t) dt + V_{sc}^0 \quad (2.17)$$

Với  $V_{sc}^0$ : giá trị điện áp ban đầu trên siêu tụ điện

Từ sơ đồ 2.11, áp dụng định luật Kirchoff về dòng điện, được:

$$i_{cell}(t) = i_{lk}(t) + \int_0^t i_{sc}(t) dt \quad (2.18)$$

Từ (2.15) và (2.18), có:

$$V_{cell} \cdot C_{total} = V_{sc} \cdot C_{total} + \int_0^t i_{sc}(t) dt$$

$$V_{cell} \cdot C_{total} = i_{sc}(t) \cdot R_{lk} \cdot C_{total} + \int_0^t i_{sc}(t) dt \quad (2.19)$$

Biến đổi Laplace (2.19):

$$\frac{V_{cell} \cdot C_{total}}{s} = i_{sc}(s) \cdot R_{lk} \cdot C_{total} + \frac{1}{s} i_{sc}(s)$$

Tương đương

$$\begin{aligned} V_{cell} \cdot C_{total} &= i_{sc}(s) \cdot R_{lk} \cdot C_{total} \cdot s + i_{sc}(s) \\ V_{cell} \cdot C_{total} &= i_{sc}(s) \cdot (R_{lk} \cdot C_{total} \cdot s + 1) \end{aligned}$$

Chia 02 về cho  $(R_{lk} \cdot C_{total} \cdot s + 1)$ :

$$i_{sc}(s) = \frac{V_{cell} \cdot C_{total}}{(R_{lk} \cdot C_{total} \cdot s + 1)}$$

Nhân cả tử và mẫu của vế phải với  $R_{lk}$ :

$$i_{sc}(s) = \frac{R_{lk} \cdot C_{total}}{(R_{lk} \cdot C_{total} \cdot s + 1)} \times \frac{V_{cell}}{R_{lk}} \quad (2.20)$$

Biến đổi

$$\frac{R_{lk} \cdot C_{total}}{(R_{lk} \cdot C_{total} \cdot s + 1)} = \frac{R_{lk} \cdot C_{total}}{R_{lk} \cdot C_{total} \cdot (s + \frac{1}{R_{lk} \cdot C_{total}})} = \frac{1}{s + \frac{1}{R_{lk} \cdot C_{total}}} \quad (2.21)$$

Thay (2.21) vào (2.20):

$$i_{sc}(s) = \frac{1}{s + \frac{1}{R_{lk} \cdot C_{total}}} \times \frac{V_{cell}}{R_{lk}} \quad (2.22)$$

Trong phép biến đổi ngược Laplace, có:

$$\frac{1}{s - a} = e^{a \cdot t} \quad (\text{với } a \text{ là hằng số})$$

Suy ra:

$$\frac{1}{s + \frac{1}{R_{lk} \cdot C_{total}}} = \frac{1}{s - (-\frac{1}{R_{lk} \cdot C_{total}})} = e^{-\frac{t}{R_{lk} \cdot C_{total}}}$$

Biểu thức (2.22) sau khi biến đổi Laplace ngược là:

$$i_{sc}(t) = \frac{V_{cell}}{R_{lk}} \times e^{-\frac{t}{R_{lk} \cdot C_{total}}} \quad (2.23)$$

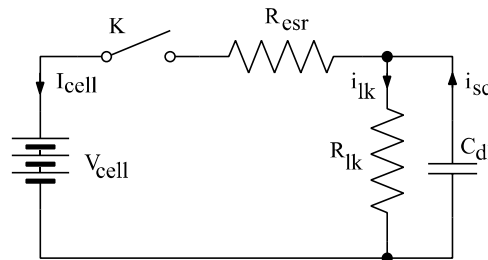
Biểu thức (2.23) mô tả giá trị dòng nạp trên hệ siêu tụ điện trong quá trình nạp

Thay (2.23) vào (2.17) được điện áp trên tụ

$$V_{sc}(t) = \frac{1}{C_{total}} \int_0^t \frac{V_{cell}}{R_{lk}} \cdot e^{-\frac{t}{R_{lk} \cdot C_{total}}} \cdot dt + V_{sc}^0 \quad (2.24)$$

Biểu thức (2.24) mô tả giá trị điện áp trên hệ siêu tụ điện trong quá trình nạp với dòng điện không đổi.

Quá trình phóng của hệ siêu tụ được biểu diễn ở sơ đồ tương đương trong hình 2.12.



**Hình 2.12.** Sơ đồ tương đương quá trình phóng của của hệ siêu tụ

Từ sơ đồ 2.9, áp dụng định luật Kirchoff về điện áp, được:

$$\frac{1}{C_{total}} \int_0^t i_{sc}(t) \cdot dt + i_{sc}(t) \cdot R_{lk} - (V_{sc}^0 + i_{cell} \cdot R_{lk}) = 0$$

Nhân 2 về cho C:

$$\int_0^t i_{sc}(t) \cdot dt + i_{sc}(t) \cdot R_{lk} \cdot C_{total} - V_{sc}^0 \cdot C_{total} - i_{cell} \cdot R_{lk} \cdot C_{total} = 0$$

Biến đổi Laplace, được:

$$\begin{aligned} \frac{1}{s} i_{sc}(s) + i_{sc}(s) \cdot R_{lk} \cdot C_{total} - \frac{V_{sc}^0 \cdot C_{total}}{s} - \frac{i_{cell} \cdot R_{lk} \cdot C_{total}}{s} &= 0 \\ i_{sc}(s) + i_{sc}(s) \cdot R_{lk} \cdot C_{total} \cdot s &= V_{sc}^0 \cdot C_{total} + i_{cell} \cdot R_{lk} \cdot C_{total} \\ i_{sc}(s) \cdot (1 + R_{lk} \cdot C_{total} \cdot s) &= V_{sc}^0 \cdot C_{total} + i_{cell} \cdot R_{lk} \cdot C_{total} \\ i_{sc}(s) &= \frac{V_{sc}^0 \cdot C_{total} + i_{cell} \cdot R_{lk} \cdot C_{total}}{(1 + R_{lk} \cdot C_{total} \cdot s)} \end{aligned}$$

Nhân cả tử và mẫu với  $R_{lk}$ :

$$\begin{aligned} i_{sc}(s) &= \frac{(V_{sc}^0 + i_{cell} \cdot R_{lk}) \cdot R_{lk} \cdot C_{total}}{R_{lk} \cdot (1 + R_{lk} \cdot C_{total} \cdot s)} \\ i_{sc}(s) &= \frac{R_{lk} \cdot C_{total}}{(1 + R_{lk} \cdot C_{total} \cdot s)} \times \frac{(V_{sc}^0 + i_{cell} \cdot R_{lk})}{R_{lk}} \end{aligned}$$

Biến đổi ngược Laplace, được:

$$i_{sc}(t) = \frac{(V_{sc}^0 + i_{cell} \cdot R_{lk})}{R_{lk}} \times e^{-\frac{t}{R_{lk} \cdot C_{total}}} \quad (2.25)$$

Mặt khác:

$$V_{sc}(t) = -\frac{1}{C_{total}} \int_0^t i_{sc}(t) \cdot dt + V_{sc}^0 \quad (2.26)$$

Thay (2.26) vào (2.25):

$$V_{sc}(t) = V_{sc}^0 - (V_{sc}^0 + i_{cell} \cdot R_{lk}) \cdot [1 - e^{-\frac{t}{R_{lk} \cdot C_{total}}}]$$

Từ sơ đồ 2.12, có:

$$\begin{aligned} V_{cell}(t) &= V_{sc}(t) - V_{esr}(t) \\ V_{cell}(t) &= V_{sc}^0 - (V_{sc}^0 + i_{cell} \cdot R_{lk}) \cdot [1 - e^{-\frac{t}{R_{lk} \cdot C_{total}}}] - i_{cell} \cdot R_{esr} \end{aligned} \quad (2.27)$$

Biểu thức (2.27) mô tả giá trị điện áp trên siêu tụ điện trong quá trình phóng với cường độ dòng điện không đổi.

Năng lượng cực đại và công suất cực đại mà hệ siêu tụ có thể tích trữ thể hiện ở (2.28) và (2.29)

$$E_{max} = \frac{CU^2}{2.3600.mass} \quad (2.28)$$

$$P_{max} = 0.06 \frac{U^2}{ESR_{DC}} \quad (2.29)$$

## 2.4.2 Năng lượng trên hệ siêu tụ

Các siêu tụ gồm n siêu tụ được mắc nối tiếp với nhau tạo thành một hệ siêu tụ có dung lượng tổng cộng  $C_{total}$ . Công thức (2.30) thể hiện mối quan hệ giữa năng lượng điện trường của siêu tụ với dung lượng và điện áp đặt vào tụ.

$$W_{cap} = \frac{1}{2} C_{total} U^2 \quad (2.30)$$

Trong đó điện áp  $U$  được sử dụng ở hai mức giá trị lần lượt là 12V và 24V để phù hợp với các thiết lập của thực nghiệm trên mô hình phun xăng đánh lửa và cải thiện tính đáp ứng của kim phun.

Năng lượng từ các xung điện cảm được thu hồi từ quá trình chuyển mạch của các bobine và kim phun.

## 2.5 Tính toán năng lượng tích lũy

### 2.5.1 Tính toán năng lượng điện cảm tích lũy trên bobine

Từ phương trình (2.4)

$$i(t) = \frac{U}{R} \left( 1 - e^{-\frac{R}{L}t} \right)$$

Gọi  $\tau$  là hằng số điện từ:

$$\tau = \frac{L}{R}$$
$$i(t) = \frac{U}{R} \left( 1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) \quad (2.31)$$

Đạo hàm (2.31) theo t được tốc độ tăng trưởng dòng điện:

$$\frac{di}{dt} = \frac{U}{L} e^{-\frac{t}{\tau}}$$
$$\frac{di}{dt} |_{t=0} = \frac{U}{L} = tg\alpha$$

Gọi  $t_d$  là thời gian transistor công suất dẫn, cường độ dòng điện  $I_{ng}$  tại thời điểm transistor công suất ngắt:

$$I_{ng} = \frac{U}{R} \left( 1 - e^{-\frac{t_{hb}}{\tau}} \right) \quad (2.32)$$

$$W_{bobine} = \frac{1}{2} \times L_b \times I_{ng}^2 = \frac{1}{2} \times L_b \times \left( \frac{U}{R} \left( 1 - e^{-\frac{t_{hb}}{\tau}} \right) \right)^2 \quad (2.33)$$

Với:

$$T = \frac{120}{n_e \times Z} \quad (2.34)$$

$$t_d = \gamma_d \times T \quad (2.35)$$

$$\tau = \frac{L_b}{R} \quad (2.36)$$

Trong đó:

$W_{bobine}$ : năng lượng dự trữ trên cuộn sơ cấp (J)

$I_{ng}$ : cường độ dòng điện qua cuộn sơ cấp lúc transistor công suất ngắt (A)

$L_b$ : độ tự cảm cuộn sơ cấp bobine (H)

$U_a$ : điện áp ắc quy (V)

$\Delta U$ : độ sụt áp khi transistor dẫn bão hòa từ  $1,5 \div 2$  (V)

$U = U_a - \Delta U_T$ : điện áp trên cuộn sơ cấp bobine (V)

R: tổng trở cuộn sơ cấp ( $\Omega$ )

$t_{bb}$ : thời gian ngậm điện (s)

$\gamma_d$ : thời gian tích lũy năng lượng tương đối (s),  $\gamma_d = 2/3$

T: chu kì đánh lửa (s)

$\tau$ : hằng số điện từ

$n_e$ : số vòng quay động cơ

Z: số xy lanh động cơ

Từ các công thức được xây dựng phía trên, kết hợp với bản số liệu các thông số đầu vào của bobine ở bảng 2.1 và 2.2, ta có thể tính toán được nguồn năng lượng có thể thu hồi được từ quá trình chuyển mạch của bobine.

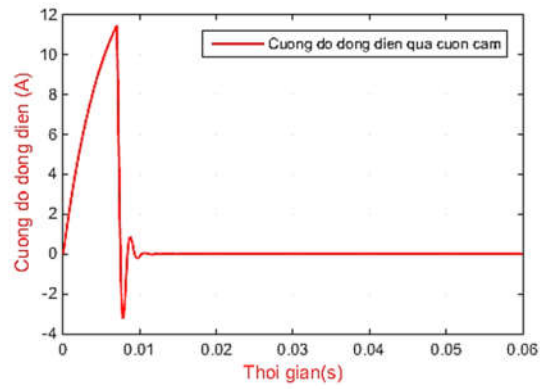
**Bảng 2.1.** Các thông số đầu vào được đo đạc trên bobine ô tô Toyota Innova

TT	Thông số	Kí hiệu	Giá trị	Đơn vị
1	Tốc độ động cơ	$n_e$	1000	Vòng/phút
2	Số xy lanh động cơ	Z	4	cái
3	Thời gian tích lũy năng lượng tương đối	$\gamma_d$	2/3	s
4	Tổng trở mạch	R	0,8	$\Omega$
5	Điện áp hoạt động thực tế	U	12,54	V
6	Độ tự cảm cuộn sơ cấp bobine	$L_b$	$4,25 \times 10^{-3}$	H

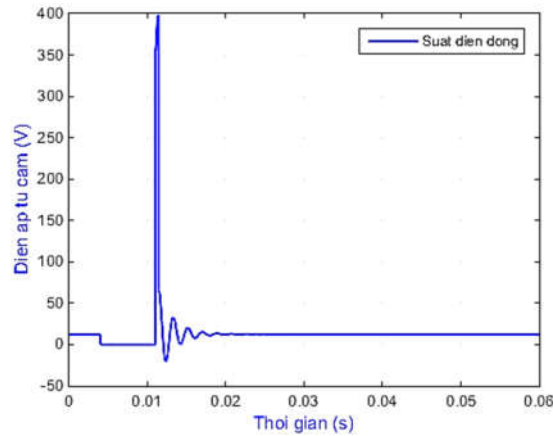
**Bảng 2.2.** Các thông số tương ứng trong tính toán

TT	Thông số	Kí hiệu	Giá trị	Đơn vị
1	Chu kì đánh lửa	T	0.03	s
2	Thời gian ngậm điện	$t_{bb}$	0,02	s
3	Hằng số điện từ	$\tau$	$5,3 \times 10^{-3}$	-

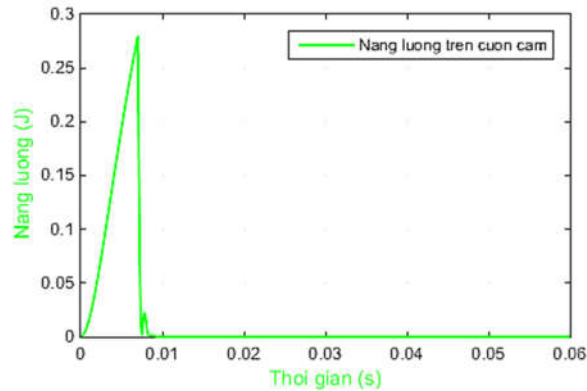
Kết hợp các biểu thức (2.9), (2.11), (2.13); các sơ đồ khối và đặc tuyến mô phỏng trên Matlab Simulink được thể hiện như sau: Hình 2.13 thể hiện đặc tuyến cường độ dòng điện qua cuộn sơ cấp, Hình 2.14 cho thấy đặc tuyến sức điện động tự cảm trên cuộn sơ cấp, Hình 2.15 thể hiện đặc tuyến năng lượng điện cảm trên cuộn sơ cấp và Hình 2.16 là thông số của đặc tuyến năng lượng điện cảm trên cuộn sơ cấp theo tốc độ động cơ.



**Hình 2.13:** Đặc tuyến dòng điện qua cuộn sơ cấp bobine



**Hình 2.14:** Đặc tuyến sức điện động tự cảm trên cuộn sơ cấp

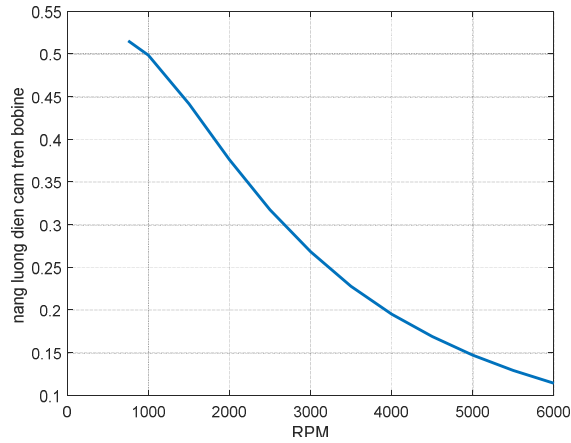


**Hình 2.15:** Đặc tuyến năng lượng điện cảm trên cuộn sơ cấp

Có thể nhận thấy ở hình 2.15, năng lượng điện cảm trên cuộn sơ cấp bobine đạt cực đại tại thời điểm  $t_d = 7\text{ms}$ , tương ứng với thời điểm transistor ngắt, sau đó năng lượng giảm dần.

Tiến hành tính toán tại các tốc độ động cơ tương ứng, ta có được đồ thị biểu diễn năng lượng điện cảm tích trữ trên cuộn sơ cấp của bobine tại các tốc độ động cơ tương ứng từ 750 đến 6000 vòng/phút.

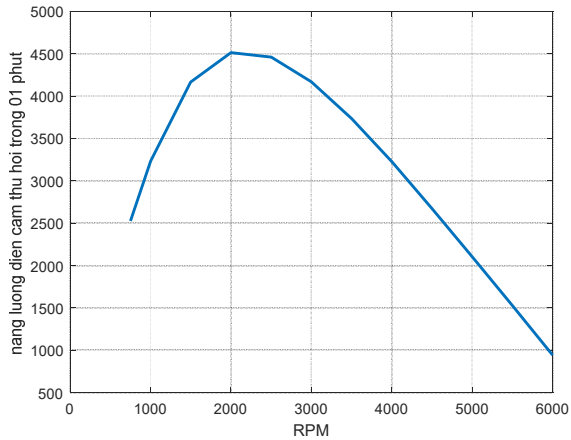




**Hình 2.16:** Mô tả năng lượng điện cảm tích trữ trên cuộn sơ cấp

Ta thấy được nguồn năng lượng điện cảm của bobine đạt giá trị cao nhất khoảng 0.55J ở tốc độ cảm chừng 750 vòng/phút và thấp nhất vào khoảng 0.1J ở tốc độ vòng tua máy 6000 vòng/phút. Nguồn năng lượng điện cảm có thể thu hồi tỉ lệ nghịch với tốc độ động cơ.

Mặt khác, năng lượng điện cảm có thể thu hồi được trong vòng 01 phút của động cơ 04 xy lanh được biểu diễn ở hình 2.17.



**Hình 2.17:** Năng lượng có thể thu hồi trong 01 phút từ bobine

Từ hình 2.19 và 2.20, ta có thể thấy được ở tốc độ càng cao thì khả năng thu hồi năng lượng điện cảm từ bobine càng thấp. Tốc độ vòng tua máy tối ưu cho việc thu hồi năng lượng tự cảm của bobine nằm ở khoảng 2000 vòng/phút.

Nếu xét đơn lẻ một bobine trong một chu kỳ đánh lửa, thì số lần ( $I$ ) bobine thực hiện việc chuyển mạch để có thể nạp đầy được hệ siêu tụ (bỏ qua các sai số yếu tố ảnh hưởng bên ngoài như nhiệt độ và môi trường làm việc) là:

$$l_{bb} = \frac{W_{cap}}{W_{bobine}} = \frac{0.5C_{total}U^2}{0.5L \left[ \frac{U}{R} \left( 1 - e^{-\frac{t_{bb}}{\tau}} \right) \right]^2} \quad (2.37)$$

$$\Leftrightarrow l_{bb} = \frac{R^2 C_{total}}{L \left( 1 - e^{-\frac{t_{bb}}{\tau}} \right)^2}$$

Tương tự, thời gian nạp đầy hệ siêu tụ dựa trên nguồn năng lượng tự cảm của một bobine tại tốc độ vòng tua máy  $n_e$  là:

$$t_{fullbb} = l_{bb} \cdot \tau = l_{bb} \cdot \frac{60}{n_e} \quad (2.38)$$

### 2.5.2 Tính toán năng lượng điện cảm tích lũy từ kim phun

Cường độ dòng điện đi qua kim sau mỗi lần chuyển mạch.

$$I_{kp} = \frac{U}{R_{kp}} \left( 1 - e^{-\frac{R_{kp}}{L_{kp}} t_{kp}} \right) \quad (2.39)$$

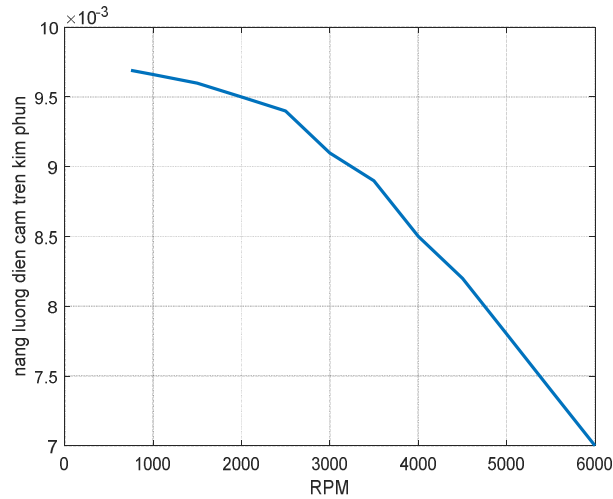
**Bảng 2.3.** Các thông số tính toán trên kim phun

TT	Thông số	Kí hiệu	Giá trị	Đơn vị
1	Tốc độ động cơ	$n_e$	1000	vòng/phút
2	Số kim phun	$Z$	4	cái
3	Điện trở kim	$R_{kp}$	0,8	$\Omega$
4	Điện áp nguồn	$U$	12,54	V
5	Độ tự cảm	$L_{kp}$	$24,3 \times 10^{-3}$	H

Năng lượng điện cảm tích trữ trên kim phun phụ thuộc vào thời gian ngâm điện ( $t_{kp}$ ) so với chu kỳ phun của kim.

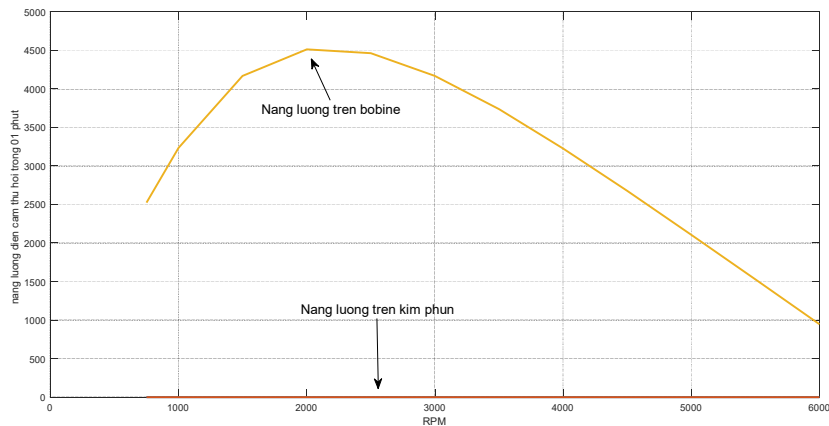
$$W_{kim\ phun\ n} = \frac{1}{2} \times L_{kp} \times I_{kp}^2 = \frac{1}{2} \times L_{kp} \times \left( \frac{U}{R} \left( 1 - e^{-\frac{R}{L_{kp}} t_{kp}} \right) \right)^2 \quad (2.40)$$

Hình 2.18 thể hiện năng lượng điện cảm trên kim phun ở dãy tốc độ động cơ từ 750 đến 6000 vòng/phút.



**Hình 2.18:** Năng lượng điện cảm của kim phun

Có thể thấy được năng lượng điện cảm của kim phun đạt giá trị cao nhất khoảng  $9.6 \cdot 10^{-3} \text{J}$  tại tốc độ cảm chừng 750 vòng/phút và đạt giá trị thấp nhất khoảng  $7 \cdot 10^{-3} \text{J}$  tại tốc độ vòng tua máy 6000 vòng trên phút. Khoảng chênh lệch năng lượng giữa giá trị cao nhất và thấp nhất của kim phun ở đây tốc độ trên là không nhiều. Tuy nhiên, nguồn năng lượng có thể thu hồi được của kim phun là rất thấp so với bobine ở cùng số vòng quay động cơ. Ta có bảng so sánh thông số năng lượng điện cảm trên bobine và kim phun tương ứng với cùng một dãy tốc độ động cơ



**Hình 2.19.** So sánh thu hồi năng lượng điện cảm trên bobine và kim phun

Trong hình 2.19, chúng ta có thể dễ dàng nhìn thấy được năng lượng trong mỗi lần chuyển mạch của bobine lớn hơn rất nhiều so với kim phun ở cùng một dãy tốc độ động cơ (98%).

Số lần kim phun thực hiện việc chuyển mạch để có thể nạp đầy hệ siêu tụ là:

$$l_{kp} = \frac{W_{cap}}{W_{bobine}} = \frac{0.5C_{total}U^2}{0.5L\left[\frac{U}{R}\left(1 - e^{-\frac{t_{kp}}{\tau}}\right)\right]^2} \quad (2.41)$$

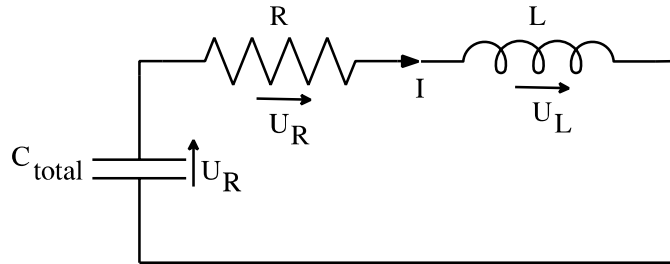
$$\Leftrightarrow l_{kp} = \frac{R^2 C_{total}}{L\left(1 - e^{-\frac{t_{kp}}{\tau}}\right)^2}$$

Thời gian nạp đầy hệ siêu tụ từ năng lượng điện cảm của một kim phun tại tốc độ vòng tua máy  $n_e$  là:

$$t_{fullkp} = l_{kp} \cdot \tau = l_{kp} \cdot \frac{60}{n_e} \quad (2.42)$$

## 2.6 Hệ siêu tụ kết nối phụ tải điện

Việc sử dụng hệ siêu tụ làm nguồn thứ cấp để cung cấp cho các phụ tải điện gián đoạn hoặc cải thiện độ nhạy của kim phun là hai phần thực nghiệm chính trong phạm vi nghiên cứu này. Một mạch kín gồm 2 thành phần cơ bản là điện dung ( $C$ ) và độ tự cảm ( $L$ ). Quá trình hệ siêu tụ cấp điện đến phụ tải được mô tả bằng một sơ đồ mạch tương đương ở hình 2.20 bên dưới.



**Hình 2.20:** Sơ đồ tương đương mạch siêu tụ và phụ tải điện

Tại thời điểm  $t = 0$ , trước khi hệ siêu tụ phóng điện, dung lượng và điện áp ban đầu của tụ ở trạng thái nạp đầy là  $C_{total} = C/n$  và  $U = U_0$ .

Khi tụ bắt đầu phóng, chiều của dòng điện xuất hiện trong mạch được thể hiện như hình 2.23.

Áp dụng định luật Kirchoff về điện áp:

$$\sum U = 0$$

$$\Leftrightarrow u_R + u_L + u_c = 0 \quad (2.43)$$

$$\Leftrightarrow iR + L\frac{di}{dt} + u_c$$

Mặt khác, điện áp  $u_c$  đã biết:

$$u_c = \frac{1}{C} \int I_c dt + U_0 \quad (2.44)$$

Và cường độ dòng điện  $I_c$

$$I_c = C_{total} \frac{du_c}{dt} \quad (2.45)$$

Ngoài ra, vì cường độ dòng điện trong một mạch nối tiếp là bằng nhau. Thế (2.43), (2.44) vào (2.45), ta được:

$$\begin{aligned} RI + \frac{1}{C_{total}} \int Idt + U_o + L \frac{dI}{dt} &= 0 \\ \Leftrightarrow \frac{d^2 I}{dt^2} + \frac{R}{L} \frac{dI}{dt} + \frac{1}{LC_{total}} I &= 0 \end{aligned} \quad (2.46)$$

Đặt  $I = e^{\lambda t}$ , từ (2.46) suy ra:

$$\lambda^2 + \frac{R}{L} \lambda + \frac{1}{LC_{total}} = 0 \quad (2.47)$$

Như vậy, phương trình (2.47) là một phương trình bậc 2 với hai nghiệm phân biệt.

$$\lambda = -\frac{R}{2L} \pm \sqrt{\left(\frac{R}{2L}\right)^2 - \frac{1}{LC_{total}}} \quad (2.48)$$

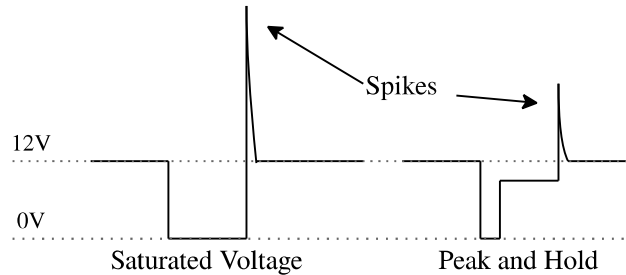
$$\Rightarrow I = I_0 e^{\frac{-R}{2L}t} e^{\sqrt{\frac{1}{LC_{total}} - \left(\frac{R}{2L}\right)^2}t} \quad (2.49)$$

Phương trình (2.49) là phương trình mô tả cường độ dòng điện trong mạch hình 2.20.

## 2.7 Đặc tính kim phun

### 2.7.1 Điều khiển kim phun

Hiện nay, các kim phun nhiên liệu trong hệ thống EFI được điều khiển theo hai phương pháp phổ biến, phương pháp điều khiển theo dòng hay còn gọi là phương pháp “nhắc và giữ” (Peak and Hold) và phương pháp điều khiển theo áp (Saturated Voltage). Trong quá trình chuyển mạch, cuộn cảm trong kim phun tạo ra một sức điện động ngược về phía nguồn cấp cho kim phun, điều này vẫn là một trong những nhược điểm cố hữu của các bộ chấp hành có cấu tạo từ cuộn cảm.



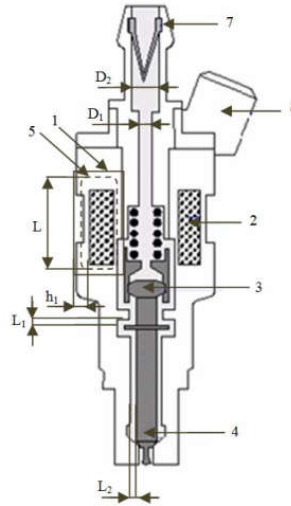
**Hình 2.21.** Điện áp ở hai chế độ điều khiển

Về cơ bản, ở cả hai phương pháp trên đều cấp một nguồn điện áp đến kim phun để nhắc kim. Tuy nhiên, ở phương pháp điều khiển theo dòng, mạch điều khiển sẽ cấp dòng điện có cường độ cao để mở kim

phun, sau đó dòng điện sẽ được giảm xuống bằng cách hạ điện áp xuống đủ để duy trì sự mở của kim với mục đích làm giảm một phần sức điện động khi chuyển mạch (hình 2.21).

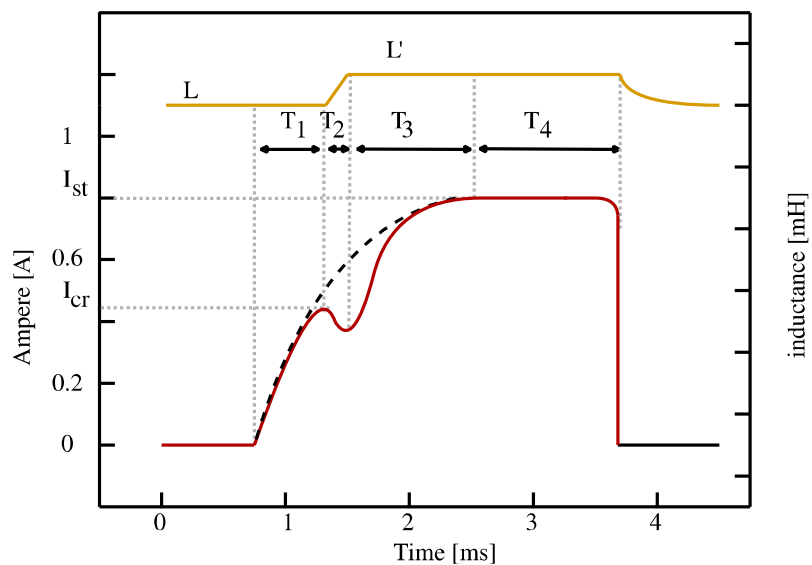
### 2.7.2 Phân tích quá trình hoạt động của kim phun

Cấu tạo của kim phun gồm một pít-tông di chuyển trong một ống hình trụ, phía trên đầu pít-tông được bố trí một lò xo hồi vị và được quấn quanh bởi các vòng dây (hình 2.22).



**Hình 2.22:** Cấu tạo của kim phun: 1 - lõi sắt, 2 - cuộn từ, 3 - pít-tông, 4 - ty kim, 5 - ách giữ nam châm, 6 - giắc ghim điện, 7 - lọc

Khi điện áp được đặt vào hai đầu của kim phun, dòng điện trong cuộn sẽ tăng dần do sự cản trở của dòng tự cảm, là dòng điện sinh ra có xu hướng chống lại nguyên nhân sinh ra nó, một đặc tính cơ bản của cuộn dây. Dòng điện tăng dần tương ứng với lực từ tác dụng lên pít-tông tăng dần, đến thời điểm nhất định, khi lực từ lớn hơn lực đẩy của lò xo hồi vị và áp lực từ nhiên liệu trong kim, thì pít-tông sẽ dịch chuyển lên, nhiên liệu được phun ra.



**Hình 2.231:** Đường đặc tính cường độ dòng điện qua kim phun

Trong hình 2.23, khi điện áp được cấp vào kim phun, cường độ dòng điện trong cuộn bắt đầu tăng từ 0A, đến khi lực điện từ lớn hơn áp lực tổng cộng đặt vào đầu kim, kim phun sẽ được nhấc lên. Lúc này, cường độ dòng điện qua kim phun sẽ có khoảng rơi nhỏ do sức điện động tự cảm trong cuộn tăng lên do L tăng. Sau đó cường độ dòng điện trong kim tiếp tục tăng cho đến khi đạt giá trị bão hòa, giá trị này tuân theo định luật Ohm dựa trên điện trở và hiệu điện thế của kim.

Mối quan hệ giữa các đường đặc tính điện áp, cường độ tuân theo biểu thức 2.50 dưới đây.

$$I = \frac{U}{R} (1 - e^{-\frac{R}{L}t}) \quad (2.50)$$

Trong đó, U là điện áp cung cấp, R và L lần lượt là giá trị điện trở và độ tự cảm của kim phun.

Gọi thời gian  $T_1$  – dead time hay thời gian chết được tính từ lúc dòng điện tăng từ 0 đến  $I_{cr}$  (hình 2.26). Khi dòng điện cuộn dây tăng đến  $I_{cr}$ , lực điện từ lúc này lớn hơn sự chênh lệch lực tác dụng giữa lực nén của lò xo hồi vị và áp suất nhiên liệu, lúc này ty kim bắt đầu chuyển động lên, tương ứng với giai đoạn bắt đầu  $T_2$ , đến hết giai đoạn  $T_2$  là lúc ty kim được nhấc lên hoàn toàn khỏi bệ. Giai đoạn tiếp theo  $T_3$ , dòng điện trong kim phun vẫn tiếp tục tăng cho đến khi đạt giá trị bão hòa. Cuối cùng, ở giai đoạn  $T_4$ , dòng điện không tăng nữa, giữ ở mức bão hòa. Trong khoảng thời gian  $T_2 + T_3$ , kim phun dịch chuyển làm lượng nhiên liệu phun không chính xác.

Mặt khác, gọi  $L$  và  $L'$  lần lượt là độ tự cảm của kim phun ở giai đoạn trước và sau khi nhấc kim. Ta có  $L' > L$  và giá trị độ tự cảm tăng hoặc giảm theo quy luật của hàm mũ.

$$L' = \frac{L}{e^{-t}} \quad (2.51)$$

$$\begin{aligned} \Delta L &= L' - L \\ &= L'(1 - e^{-t}) \end{aligned} \quad (2.52)$$

Xét sự thay đổi của độ tự cảm trong kim phun ở quá trình nhấc kim thành 3 giai đoạn chính.

- Giai đoạn 1 ( $T_1$ ): ty kim đóng, độ tự cảm lúc này có giá trị là  $L_1$

Ở giai đoạn này, cường độ dòng điện tăng lên tương ứng với khoảng thời gian  $T_1$  trên hình 2.26. Lúc này, lực từ ( $F_m$ ) trong kim phun là rất thấp so với cản lực tổng cộng của lò xo hồi vị ( $F_s$ ) và áp lực của nhiên liệu ( $F_f$ ) (2.40).

$$F_f + F_s \ll F_m \quad (2.53)$$

Cường độ dòng điện trong giai đoạn 1 là:

$$I_1 = \frac{U}{R} (1 - e^{-\frac{R}{L}t_1}) \quad (2.54)$$

- Giai đoạn 2 ( $T_2$ ): ty kim bắt đầu nhấc lên, độ tự cảm lúc này sẽ tăng từ  $L$  lên  $L'$

Trong giai đoạn này, lực từ đã khắc phục được trở lực tổng cộng đè lên ty kim, ty kim bắt đầu nhấc lên khỏi bệ.

$$F_f + F_s = F_m \quad (2.55)$$

Mặt khác, độ tự cảm của kim phun bắt đầu tăng lên từ  $L \rightarrow L'$ , cường độ dòng điện lúc này sẽ giảm xuống đột ngột ( $dI/dt = 0$ ).

$$\begin{aligned} I_2 &= \frac{U}{R} \left( 1 - e^{-\frac{R}{\Delta L} t_2} \right) \\ &= \frac{U}{R} \left[ 1 - e^{-\frac{R}{L' - L} t_2} \right] \\ &= \frac{U}{R} \left[ 1 - e^{-\frac{R}{L'(1 - e^{-t_2})} t_2} \right] \end{aligned} \quad (2.56)$$

Từ (2.56) ta thấy được  $U, R$  các là giá trị không đổi trong suốt quá trình nhấc kim, nên độ tự cảm tăng lên đột ngột dẫn đến cường độ dòng điện sẽ giảm xuống. Tuy nhiên, khoảng thời gian cường độ dòng điện rơi xuống là rất ngắn, vì giá trị  $t_2$  tăng dần theo thời gian, dẫn đến  $L'(1 - e^{-t_2})$  tiến dần đến  $L'$ , lúc này cường độ dòng điện sẽ tiếp tục tăng lên.

- Giai đoạn 3 ( $T_3$ ): ty kim được nhấc lên hoàn toàn, độ tự cảm lúc này có giá trị là  $L'$ . Tại giai đoạn này, lực từ đã lớn hơn lực nén của lò xo và áp lực của nhiên liệu. Ty kim đã được nhấc lên hoàn toàn khỏi bộ.

$$F_f + F_s < F_m \quad (2.57)$$

Lúc này độ tự cảm đã đạt giá trị  $L'$ , cường độ dòng điện tiếp tục tăng dần cho đến khi đạt giá trị bão hòa.

$$I_3 = \frac{U}{R} \left( 1 - e^{-\frac{R}{L'} t_3} \right) \quad (2.58)$$

- Giai đoạn 4 ( $T_4$ ): cường độ dòng điện đạt giá trị bão hòa. Giai đoạn cuối của quá trình nhấc kim, lúc này cường độ dòng điện đã đạt giá trị bão hòa không đổi theo thời gian.

$$I_4 = \frac{U}{R} \quad (2.59)$$



### Chương 3

## THIẾT KẾ HỆ THỐNG THU HỒI VÀ TÍCH TRỮ NĂNG LƯỢNG ĐIỆN CẢM

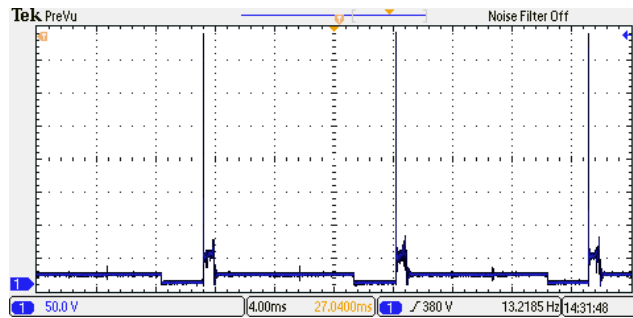
### 3.1 Khảo sát sức điện động tự cảm thực tế

Tác giả tiến hành sử dụng thiết bị chuyên dụng đo hiện sóng Tektronix MSO2000B (hình 3.1) để thực hiện việc khảo sát dạng sóng sức điện động tự cảm, cường độ dòng điện trên cuộn dây sơ cấp bobine, kim phun trên ô tô 07 chỗ.

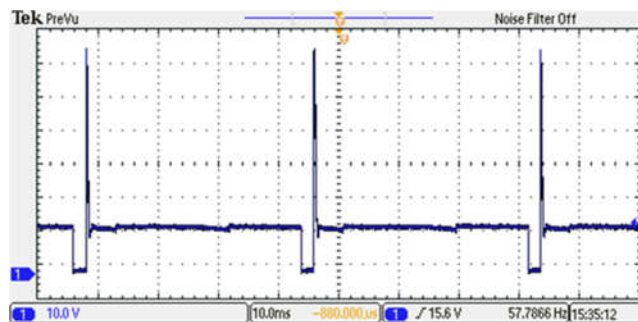


Hình 3.1: Máy hiện sóng Tektronix MSO2000B

Hình 3.2 và 3.3 thể hiện sức điện động tự cảm của bobine và kim phun.



Hình 3.2: Suất điện động tự cảm trên cuộn sơ cấp bobine



Hình 3.3: Suất điện động tự cảm của kim phun

Ở cùng mức điện áp hoạt động là 12V, thì sức điện động tự cảm ở bobine đạt giá trị gần 400V (gấp 33 lần), trong khi đối với kim phun là 70V (gấp 6 lần). Có thể thấy được biên độ của xung tự cảm là khá lớn, phụ thuộc nhiều vào tốc độ biến thiên của từ thông và thông số cấu tạo của cuộn dây.

Cường độ dòng điện qua cuộn dây tại thời điểm chuyển mạch được xác định bởi công thức:

$$i(t) = \frac{U}{R+R_1} (1 - e^{-\frac{R}{L}t}) \quad (3.1)$$

Trong đó, U là điện áp của ắc quy, R là tổng trở mạch cuộn dây, L là độ tự cảm của cuộn dây.

Năng lượng tích lũy trên cuộn dây sau mỗi lần chuyển mạch:

$$W_{tl} = \frac{L}{2} \left[ \frac{U}{R} (1 - e^{-\frac{R}{L}t}) \right]^2 \quad (3.2)$$

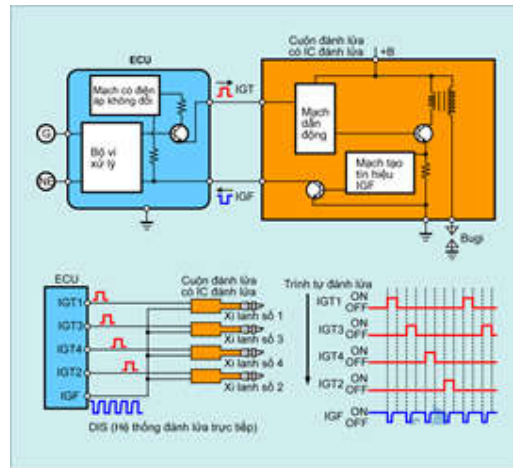
Như vậy, năng lượng tích lũy của bobine trong mỗi lần chuyển mạch là 0.252J ở mức thời gian 20ms và của kim phun là 0.0117J ở mức thời gian tương ứng 10ms. Có thể thấy được mức năng lượng tích lũy của bobine cao hơn khoảng 20 lần so với với kim phun.

### 3.2 Thiết kế mô hình thực nghiệm điều khiển phun xăng đánh lửa

Sau phần khảo sát các xung điện động tự cảm từ bộ chấp hành bobine và kim phun. Ở phần này, tác giả tiến hành thiết kế một mô hình thực nghiệm hệ thống phun xăng đánh lửa và xây dựng một bộ thu thập dữ liệu tín hiệu từ hệ thống.

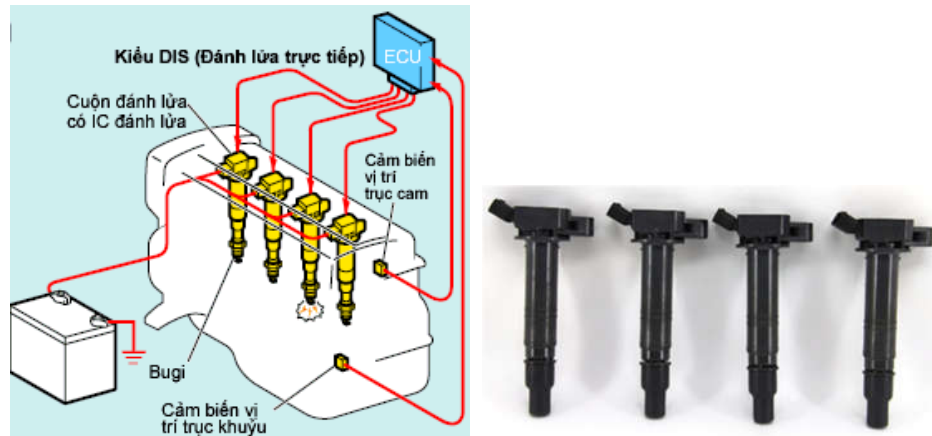
#### 3.2.1 Phân tích chuyển đổi khối bộ điều khiển đánh lửa

ECU động cơ điều khiển dòng điện cao áp đến các xi lanh bằng cách gửi từng tín hiệu IGT đến các IC đánh lửa theo trình tự đánh lửa dựa vào tín hiệu từ các cảm biến.



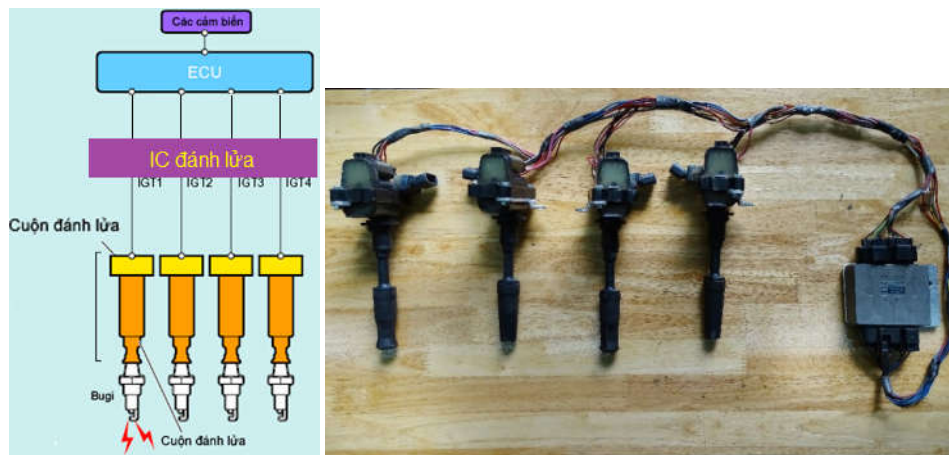
**Hình 3.4:** Nguyên lý điều khiển hệ thống đánh lửa trực tiếp

Trước khi tiến hành thu hồi năng lượng, một số điều chỉnh từ cụm đánh lửa cần phải được triển khai. Cụ thể, trên động cơ 04 xy lanh, mỗi IGT lệch nhau 180° tính theo góc quay trục khuỷu. Tín hiệu IGT dạng xung vuông chuyển đến bộ đánh lửa (IC đánh lửa) trước điểm chết trên ở quá trình nén. IC đánh lửa điều khiển dòng điện đi qua cuộn sơ cấp. Khi IGT ngắt dòng điện đi qua cuộn sơ cấp bị ngắt, làm cảm ứng trong cuộn thứ cấp một sức điện động có điện áp cao, điện áp này sẽ được cung cấp đến bugi tương ứng. Một tín hiệu IGF phản hồi về ECU nhằm xác nhận tình trạng đánh lửa, giúp bộ vi xử lý điều khiển tính năng an toàn. Tác giả khảo sát hệ thống đánh lửa trực tiếp trên động cơ Toyota 1TR-FE [33] có cụm đánh lửa và bobine tích hợp như hình 3.5.



**Hình 3.5:** Cụm đánh lửa có tích hợp IC đánh lửa

Cách thức bố trí như cụm đánh lửa như hình 3.5 đảm bảo hệ thống nhỏ gọn nhưng có yếu điểm là không tận dụng được năng lượng điện cảm “thừa” trên cuộn sơ cấp bobin. Để giải quyết vấn đề quan tâm, tác giả đã nghiên cứu, đề xuất chuyển đổi kết cấu của cụm điều khiển đánh lửa có IC và bobin rời như hình 3.6 phù hợp với khả năng tận dụng năng lượng điện cảm “thừa” nhưng vẫn đảm bảo vận hành ổn định, an toàn là rất thiết thực. Phương án này tạo ra một dây dẫn kết nối giữa IC và bobine, đây là cơ sở quan trọng trong công tác lắp đặt thiết bị thu hồi và tích trữ năng lượng điện cảm.

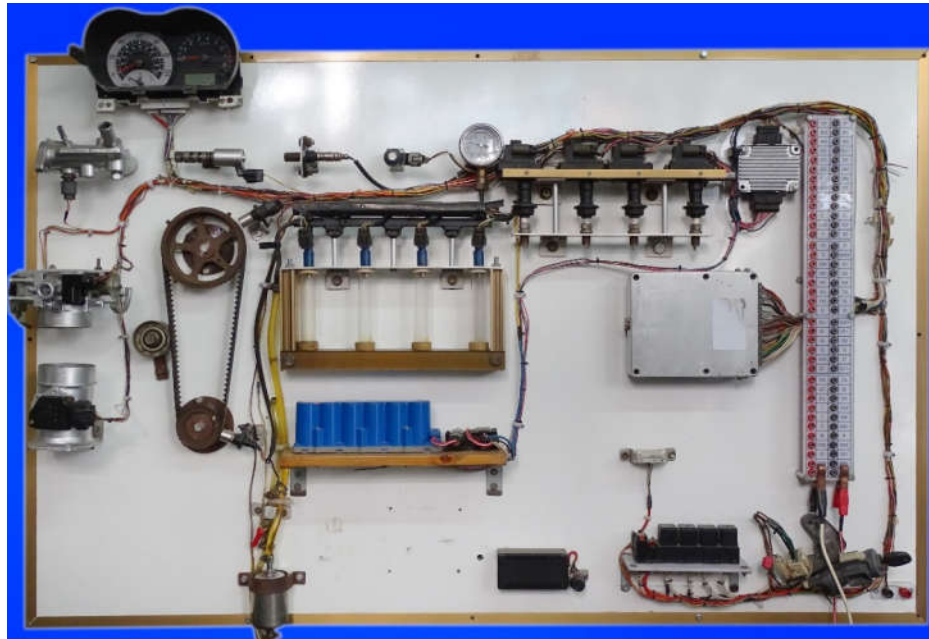


**Hình 3.6.** Cụm đánh lửa được đề xuất thay thế

Ở hình 3.6, tác giả tiến hành tách các cụm chi tiết trong hệ thống DIS ra thành ba phần chính gồm ECU, IC đánh lửa và bobin. Phần ECU và IC đánh lửa vẫn được giữ nguyên, còn các bobine sẽ được thiết kế một bộ lưu trữ năng lượng đi kèm để thực hiện việc thu hồi.

### 3.2.2 Thiết kế mô hình thực nghiệm

Mô hình thực nghiệm hệ thống điện điều khiển động cơ trên một khung thép kích thước: 1320 x 700 x 1690 (mm), các cụm chi tiết của hệ thống điện điều khiển động cơ Toyota 1TR-FE như hình 3.7



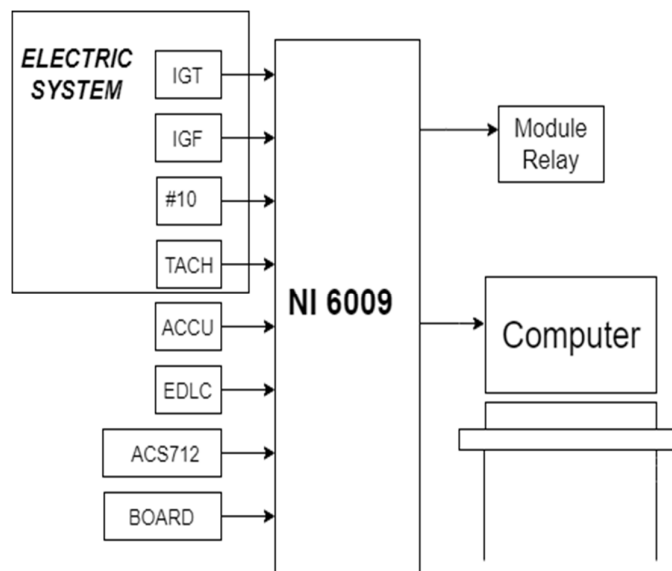
**Hình 3.7** Sản phẩm mô hình thực nghiệm

### 3.2.3 Thiết kế hệ thống thu thập, đo lường và kiểm soát năng lượng điện cảm

Một bộ thu thập dữ liệu, đo lường tự động ứng dụng điều khiển lập trình được thiết kế và tiến hành thử nghiệm trên mô hình trên mô hình thử nghiệm.

Yêu cầu đo lường và kiểm soát năng lượng điện cảm bao gồm:

- Thu thập các tín hiệu đầu vào (#10, TACH, IGT, IGF, BATT, EDLC...)
- Đo điện áp trên thiết bị tích trữ năng lượng tái sinh (siêu tụ điện)
- Điều khiển kết hợp nguồn năng lượng sẵn có và năng lượng điện cảm tái sinh cung cấp đến các kim phun xăng.
- Hiển thị thông tin dữ liệu thực nghiệm trên máy tính.

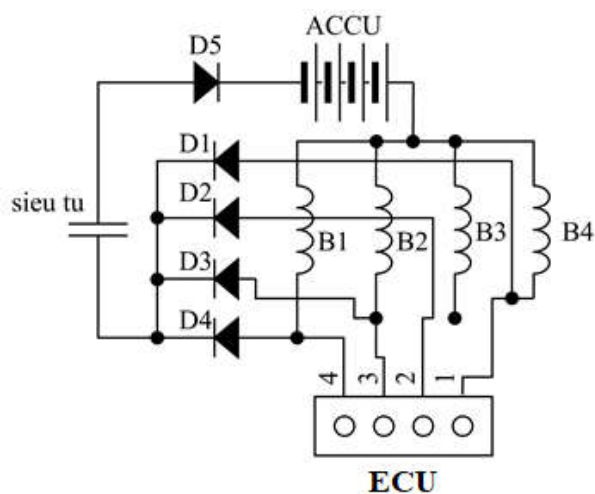


**Hình 3.8:** Sơ đồ kết nối điều khiển

Các thành phần bộ đo lường và điều khiển bao gồm: Card giao tiếp NI 6009, phần mềm LabVIEW, cảm biến dòng, vi điều khiển Arduino. Sơ đồ khối kết nối điều khiển và kiểm soát năng lượng điện cảm trên ô tô như hình 3.8.

### 3.2.3.1 Thiết kế mạch thu hồi điện cảm dùng diode

Mạch có chức năng thu hồi các sức điện động tự cảm do từ thông thay đổi qua các cuộn dây sơ cấp bobine về một thiết bị lưu trữ (siêu tụ). Mạch có khả năng thu hồi nhanh, chịu được xung điện áp cao, an toàn, ổn định.



**Hình 3.9:** Nguyên lý thu hồi điện áp tự cảm dùng diode

Giải pháp như hình 3.9 sử dụng đặc tính của diode để nạp sức điện động sinh ra vào tụ sau khi qua diode. Do tính chất của diode chỉ cho dòng điện thuận nên tụ điện sẽ được nạp khi có sức điện động mà không xảy ra quá trình phóng điện. Vì thế, tụ điện sẽ được nạp liên tục cho đến mức điện áp cần thiết.

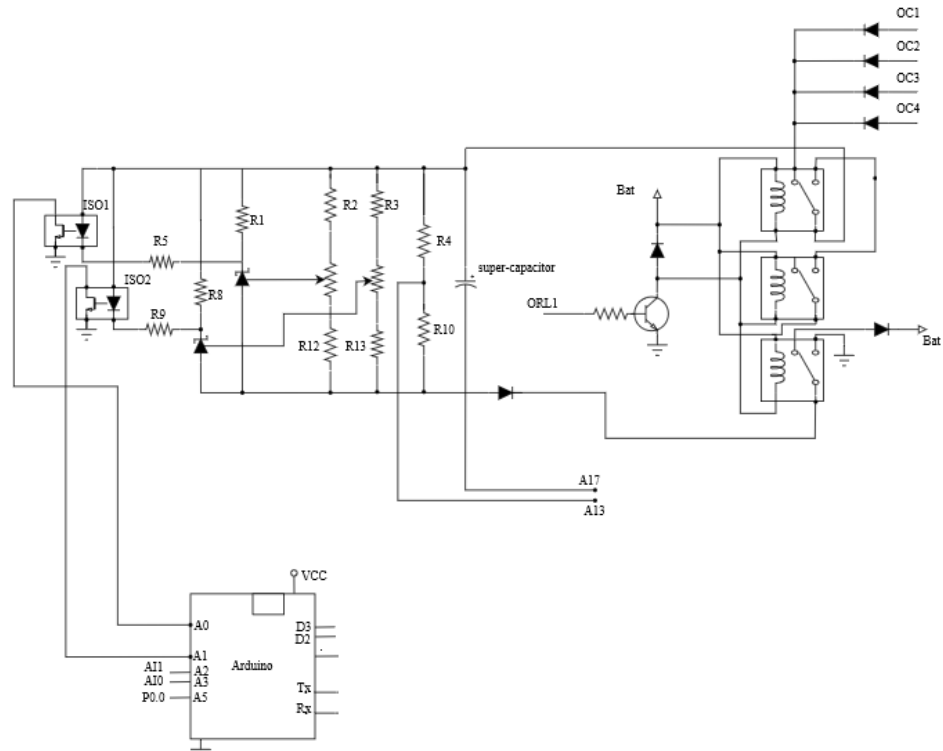
### 3.2.3.2 Bộ lưu trữ năng lượng

Siêu tụ điện Maxwell BMOD0058 E016 B02 16V-58F với các thông số kỹ thuật phù hợp điều kiện hiện hành được chọn làm thiết bị lưu trữ năng lượng điện cảm tái sinh.



**Hình 3.10:** Hệ siêu tụ BMOD0058 E016 B02

### 3.2.3.3 Thiết kế, thi công mạch bo mạch



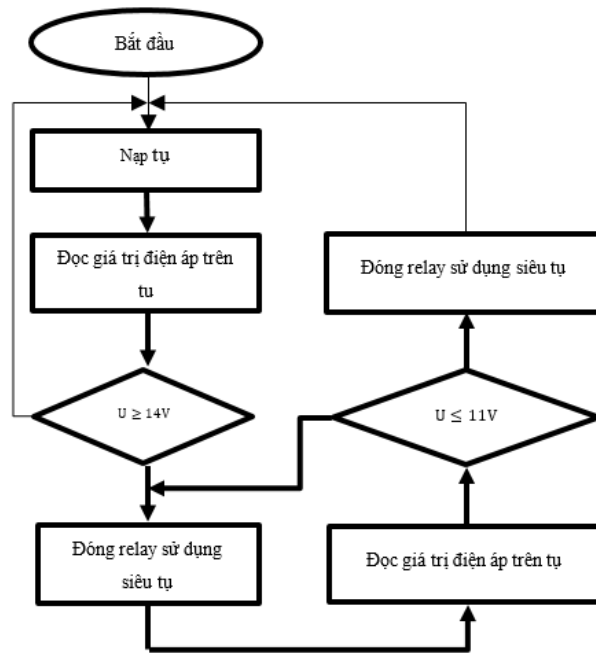
**Hình 3.11:** Sơ đồ nguyên lý mạch thu hồi năng lượng

Vi điều khiển Aduino Nano đóng vai trò trung tâm thu thập các tín hiệu: dòng điện qua kim phun, điện áp tại siêu tụ, điện áp ắc quy, 04 bobine đánh lửa được lọc nhiễu, giảm áp, so sánh mức chuẩn trước khi điều khiển các Transitor công suất như là các tín hiệu đầu vào. Trên cơ sở xác định trạng thái thực tế, Aduino Nano điều khiển cụm modul role ở trạng thái phù hợp để lựa chọn nguồn năng lượng cấp cho kim phun theo lưu đồ hình 3.11. Đồng thời bo mạch truyền các thông tin hiện hành đến NI 6009, và được hiển thị trên màn hình máy tính thông qua giao diện được thiết kế trên phần mềm LabVIEW (hình 3.16).



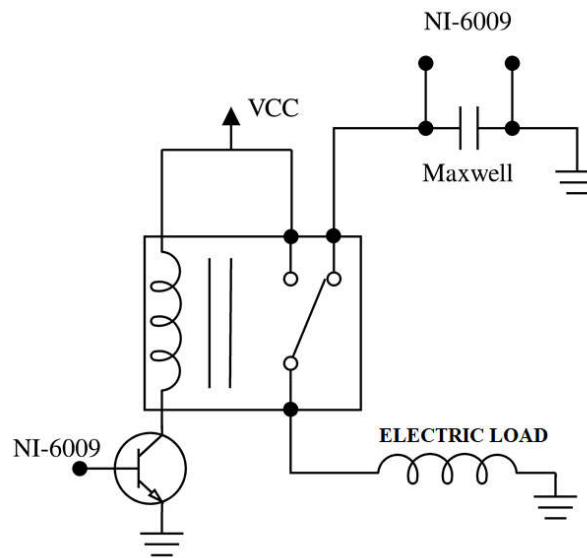
**Hình 3.12:** Bo mạch điều khiển và kết nối tín hiệu

### 3.2.3.4 Lập trình điều khiển



**Hình 3.13:** Lưu đồ thuật toán điều khiển nạp điện cảm tái sinh vào siêu tụ

Tín hiệu điện áp trên siêu tụ được thu thập về máy tính và kiểm tra nếu điện áp thấp hơn 11V sẽ tiến hành kích hoạt relay chuyển sang sử dụng năng lượng ắc quy để tụ được nạp trở lại. Ngược lại khi tụ được nạp đến ngưỡng 14V máy tính tiến hành ngắt ắc quy và sử dụng năng lượng trên tụ.



**Hình 3.14:** Sơ đồ chuyển đổi nguồn điện



### 3.2.3.5 Thiết kế hệ thống thu thập dữ liệu

Nhằm thu thập được các giá trị từ hệ thống có độ chính xác cao, card giao tiếp NI-6009 của hãng National Instruments được sử dụng.



**Hình 3.15:** Card giao tiếp NI 6009

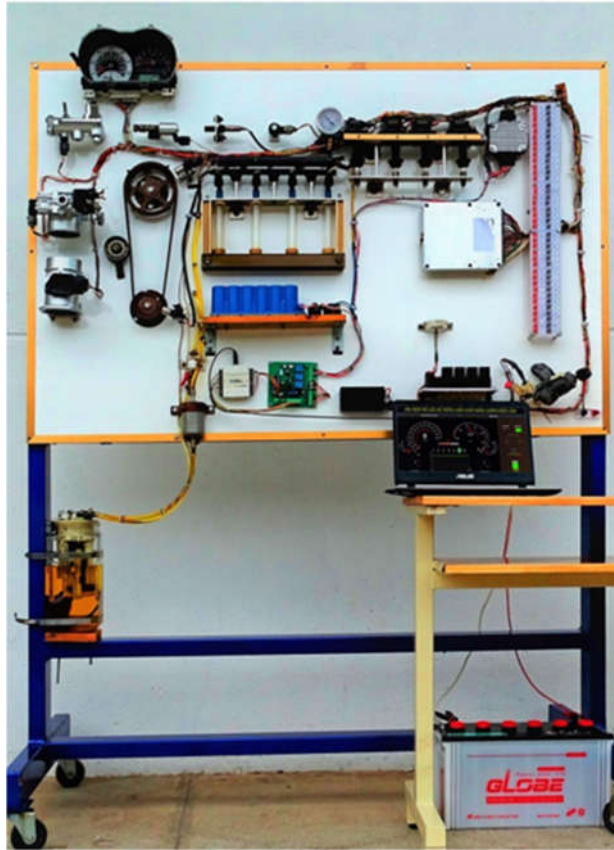
Các tín hiệu cần thu thập và hiển thị được kết nối và các chân analog của card giao tiếp dưới dạng điện áp. Với những tín hiệu thu thập không ổn định hoặc giá trị cao lên đến vài chục vôn, để đảm bảo an toàn và ổn định, mạch cầu chia áp được đưa vào nhằm hạ mức điện áp về mức thấp nhưng không làm thay đổi hình dạng của tín hiệu trước khi truyền tín hiệu đến NI-6009.



**Hình 3.16.** Giao diện thu thập dữ liệu và kiểm soát năng lượng điện cảm

Code chương trình và giao diện LabVIEW sử dụng để đo lường và kiểm soát năng lượng điện cảm thể hiện như hình 3.16. Sau khi xây dựng mô hình thu thập và điều khiển, tiến hành hiệu chỉnh phù hợp với giá trị chuẩn bằng cách chỉnh các biến trở trên bo mạch; cân chỉnh giá trị dòng điện và điện áp sau đó chỉnh trực tiếp trong code chương trình LabVIEW.





**Hình 3.17.** Mô hình thực nghiệm kết hợp bo điều khiển và giao tiếp với máy tính

### **3.3 Thiết kế hệ thống đánh giá độ nhạy kim phun**

#### **3.3.2 Phân tích lựa chọn bộ lưu trữ**

Từ nội dung phân tích ở phần cơ sở lý thuyết ở chương 2 cùng với mục tiêu chọn loại thiết bị có khả năng nạp và phóng nhanh, tiếp nhận được sức điện động dạng tắt dần đồng thời là nguồn tích trữ năng lượng có điện áp cao hơn điện áp của accu và có dung lượng đủ lớn để cung ứng cho tải điện là kim phun nhằm tăng tính đáp ứng của kim phun. Tác giả quyết định chọn khối siêu tụ điện Max-well BCAP0350 có giá trị 2.7V/350F ghép nối tiếp lại với nhau (hình 3.18) đáp ứng đầy đủ tiêu chí về điện áp, đặc tính nạp phóng, dung lượng nhiệt độ, lý tính, công suất riêng, năng lượng riêng, độ an toàn, tuổi thọ, thân thiện môi trường.



**Hình 3.18.** Khối 10 siêu tụ Maxwell BCAP0350 mắc nối tiếp

Trong phạm vi nghiên cứu này, tác giả chọn một bộ thu hồi năng lượng có mức điện áp danh định là 27V. Tuy nhiên, sự an toàn cần phải được xem xét để tránh cháy nổ ở các tụ. Cụ thể, tác giả chọn hệ số an toàn cho hệ thống là 1.125, tức là mức điện áp hoạt động của hệ siêu tụ sẽ là 24V khi nạp đầy so với mức danh định là 27V.

Năng lượng cực đại và công suất cực đại mà hệ siêu tụ có thể tích trữ lần lượt thể hiện ở (3.10) và (3.11):

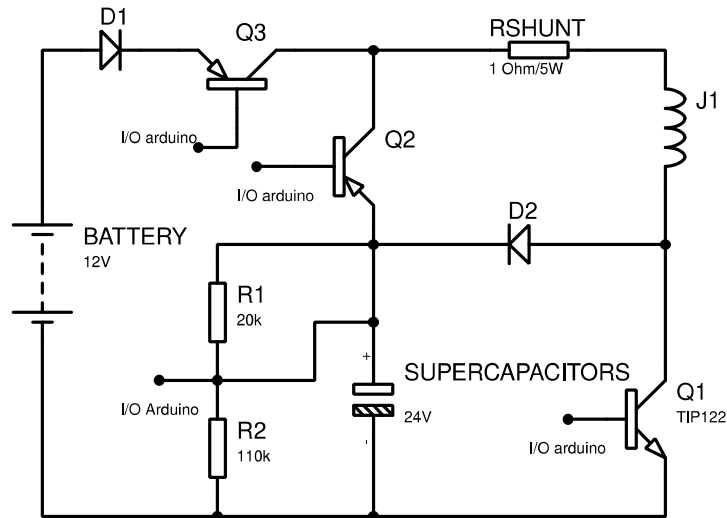
$$\begin{aligned}
 E_{\max} &= \frac{CU^2}{2.3600.mass} \\
 &= \frac{\frac{350}{10}.27^2}{2.3600.\frac{3.2}{1000}} = 1107.42(J)
 \end{aligned}
 \tag{3.10}$$

$$\begin{aligned}
 P_{\max} &= 0.06 \frac{U^2}{ESR_{DC}} = 0.06 \frac{27^2}{\frac{60}{1000}} \\
 &= 729(W)
 \end{aligned}
 \tag{3.11}$$

Một bộ nguồn năng lượng thứ cấp trên ô tô từ hệ siêu tụ có giá trị công suất cực đại đạt tới 0.7KW khi ở trạng thái được nạp đầy. Nguồn năng lượng này được sử dụng làm nguồn điện áp cung cấp cho sự hoạt động của kim phun trong hệ thống phun xăng điện tử (EFI).

### 3.3.3 Thiết kế mạch thu hồi năng lượng và điều khiển kim phun

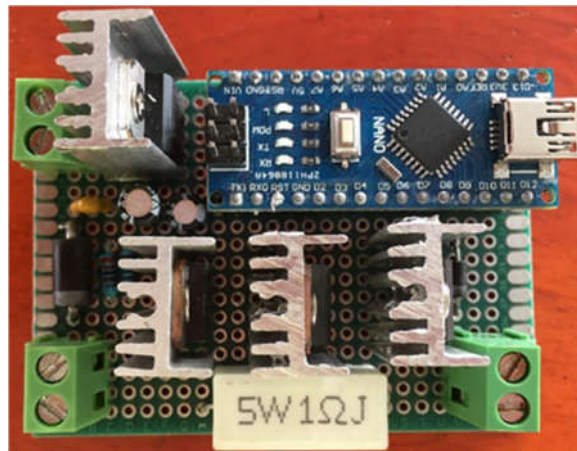
Sơ đồ nguyên lý của mạch được biểu diễn ở hình 3.19.



**Hình 3.19.** Nguyên lý thu hồi năng lượng và điều khiển trên kim phun

Khi siêu tụ được nạp đầy bởi sức điện động tự cảm trên các cuộn sơ cấp bobin (J1), tín hiệu điện áp sẽ được báo về vi điều khiển thông qua một cầu phân áp. Lúc này, vi điều khiển sẽ điều khiển transistor Q2 mở và Q3 đóng, lúc này siêu tụ sẽ cung cấp điện áp hoạt động cho kim phun thay cho ắc quy.

Để tiến hành thực nghiệm, một mạch công suất để điều khiển kim phun được xây dựng như hình 3.20 bên dưới.



**Hình 3.20:** Bo mạch thu hồi năng lượng và điều khiển trên kim phun

Các phần chính của mạch công suất gồm: nguồn điện 12V từ ắc quy được dùng làm nguồn cấp cho hệ thống, Arduino Nano được sử dụng làm bộ điều khiển trung tâm. Kim phun được điều khiển nhờ một transistor công suất TIP122. Một điện trở công suất có giá trị  $1\Omega/5W$  được mắc nối tiếp với kim phun nhằm xác định giá trị cường độ dòng điện.

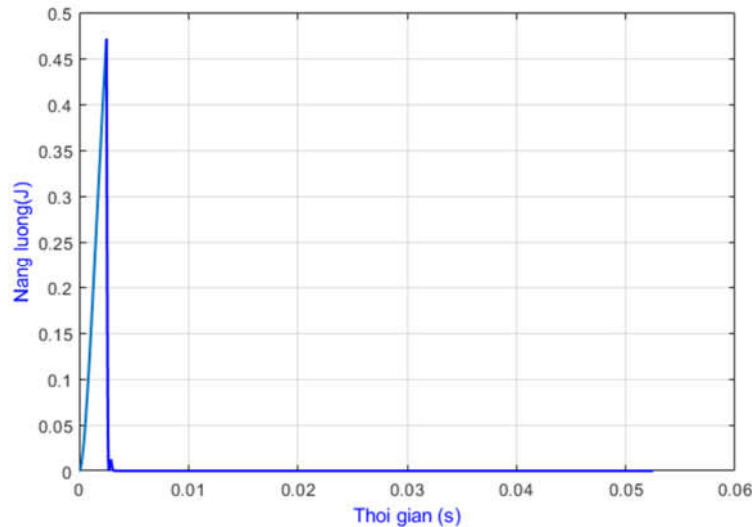
## Chương 4

### THỰC NGHIỆM VÀ ĐÁNH GIÁ

#### 4.1 Kết quả thực nghiệm trên hình hệ thống phun xăng đánh lửa

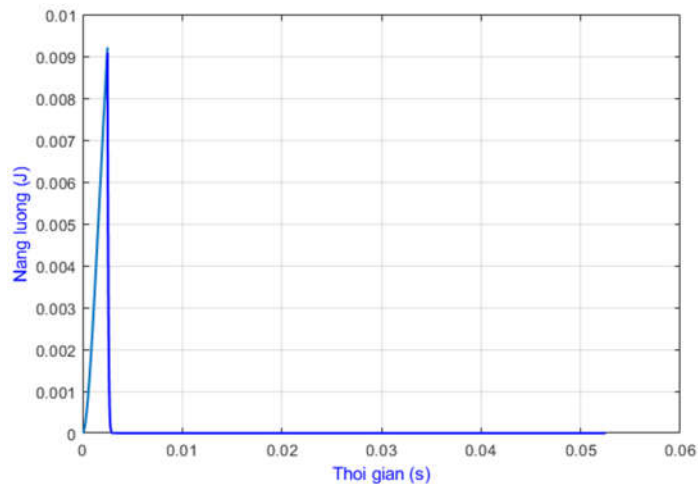
Ở phần thực nghiệm này, tác giả tiến hành khảo sát năng lượng từ sức điện động tự cảm của kim phun và bobine trên mô hình hệ thống phun xăng đánh lửa.

Hình 4.1 và 4.2 bên dưới lần lượt biểu diễn đường đặc tính năng lượng điện cảm trên bobine và kim phun ở tốc độ động cơ 1000 vòng/phút.



**Hình 4.3:** Năng lượng điện cảm trên bobine tại tốc độ 1000 vòng/phút

Năng lượng điện cảm trên một bobine tại tốc độ vòng quay 1000 vòng/phút đạt giá trị cực đại khoảng 0.475J so với năng lượng được tính toán từ lý thuyết là 0.498J, tương ứng với sai số 4.61%.

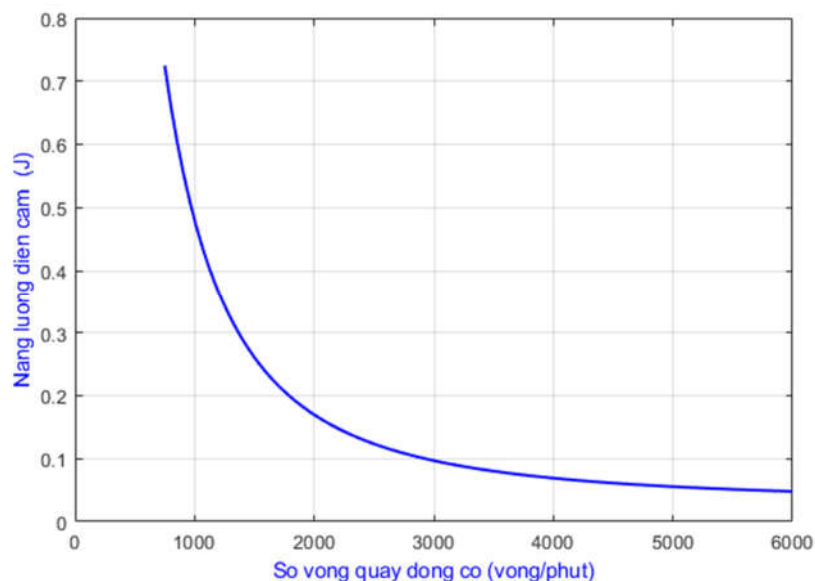


**Hình 4.2:** Năng lượng trên kim phun tại 1000 vòng/phút

Tương tự đối với năng lượng đo được trên một kim phun tại tốc độ động cơ 1000 vòng/phút là khoảng 0.0092J so với kết quả lý thuyết là 0.00966J, với sai số giữa thực tế và lý thuyết là 4.76%.

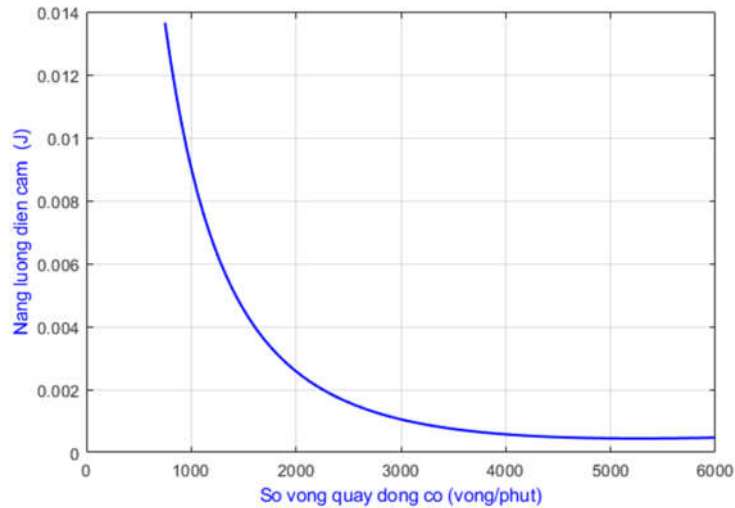
Hai đồ thị thực nghiệm phía trên đều thực hiện ở tốc độ vòng quay động cơ là 1000 vòng/phút với mục đích đánh giá sự sai lệch giữa kết quả đo đạc được từ mô hình và kết quả được tính toán từ cơ sở lý thuyết. Đối với năng lượng của bobine thì sự sai lệch là 4.61% và kim phun là 4.76%. Như vậy, ở phạm vi vòng tua máy thấp, kết quả thực nghiệm năng lượng điện cảm là ổn định và chính xác.

Tiếp theo, tác giả tiến hành thu thập dữ liệu năng lượng điện cảm của bobine và kim phun ở dãy tốc độ động cơ từ 750 đến 6000 vòng/phút để đánh giá khả năng thu hồi năng lượng từ hai bộ chấp hành này. Hình 4.3 và 4.4 biểu diễn lần lượt năng lượng điện cảm trên bobine và trên kim phun ở các dãy tốc độ khác nhau trên mô hình hệ thống.



**Hình 4.3:** Năng lượng điện cảm của bobine tương ứng với dãy tốc độ động cơ

Từ hình 4.3 biểu diễn đặc tuyến thử nghiệm năng lượng điện cảm của bobine ở các dãy tốc độ động cơ khác nhau. Cụ thể, đường năng lượng điện cảm đạt giá trị cực đại 0.72J ở tốc độ cảm chừng 750 vòng/phút và có xu hướng giảm mạnh trong khoảng từ 1000 đến 3000 vòng/phút với sự chênh lệch năng lượng 0.6J. Sau đó, năng lượng điện cảm tiếp tục giảm từ 0.1J xuống còn 0.05J ở dãy tốc độ 3000 đến 6000 vòng/phút.

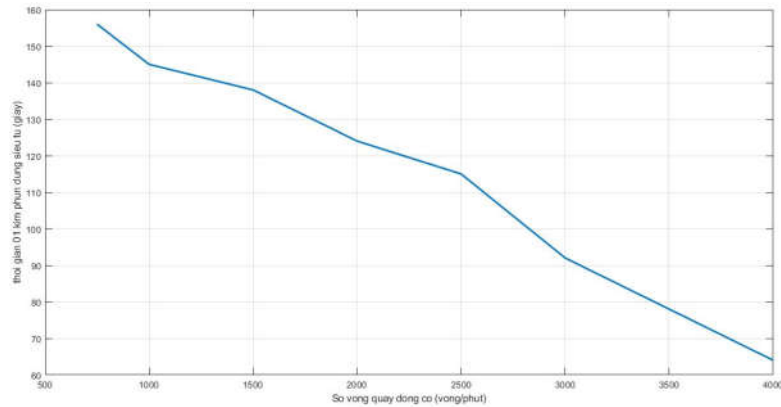


**Hình 4.4:** Năng lượng điện cảm của kim phun tương ứng với dãy tốc độ động cơ

Tương tự, đối với đường năng lượng điện cảm của kim phun (hình 4.4), nhận thấy giá trị năng lượng đạt ở mức cao nhất là 0.0138J ở tốc độ cảm chừng 750 vòng/phút. Mặt khác, có sự giảm mạnh về mặt năng lượng trong khoảng từ 1000 đến 3000 vòng/phút với sự chênh lệch rõ rệt 0.0092J xuống còn khoảng 0.001J. Tuy nhiên, ở vòng tua máy 3000 đến 6000 vòng/phút, sự chênh lệch năng lượng này là không nhiều, giảm từ 0.001J xuống còn khoảng 0.0005J.

#### 4.2. Thực nghiệm ứng dụng năng lượng tích lũy trên phụ tải gián đoạn

Sau khi hệ siêu tụ được nạp đầy ở mức điện áp 12V, người nghiên cứu tiến hành khảo sát sử dụng nguồn năng lượng từ hệ siêu tụ để cung cấp cho 01 kim phun hoạt động ở số vòng quay tương ứng với mục đích đánh giá khả năng hoạt động của kim.



**Hình 4.5:** Thời gian 01 kim phun hoạt động bằng điện áp siêu tụ

Từ hình 4.5 cho thấy thời gian hoạt động của kim phun khi siêu tụ được nạp đầy ở mức 12V và khi xả cạn ở mức 9V tương ứng với dãy tốc độ động cơ từ 750 đến 4000 vòng/phút. Trong đó, ở tốc độ 750 vòng/phút, kim phun có thể hoạt động trong thời gian khoảng 156 giây. Mức thời gian này giảm dần tỉ lệ nghịch với tốc độ động cơ. Cụ thể, thời gian kim phun hoạt động ở số vòng quay 4000 vòng/phút chỉ còn khoảng 64 giây, thấp hơn 2.5 lần so với khi hoạt động ở tốc độ cảm chừng.

Tiếp theo, các thực nghiệm đánh giá quá trình cung cấp năng lượng cho các phụ tải gián đoạn được tiến hành. Cụ thể, các tải gián đoạn tác giả sử dụng trong phạm vi nghiên cứu này có công suất ở mức trung bình và thấp. Cách thực hiện như sau: sau khi nạp đầy hệ siêu tụ, tác giả tiến hành thực nghiệm đơn lẻ từng tải, thời gian thử tải dừng lại khi điện áp của hệ siêu tụ giảm xuống còn 9V, sau đó hệ siêu tụ được nạp đầy lại và thử lần lượt các tải tiếp theo. Bảng 4.1 bên dưới mô tả thời gian thử nghiệm của từng tải trên ô tô.

**Bảng 4.1.** Kết quả thời gian thử nghiệm trên tải điện gián đoạn của thiết bị lưu trữ.

STT	Tải điện gián đoạn	Công suất điện (W)	Thời gian sử dụng (giây)
1	Gạt mưa	60	34
2	Khóa cửa	60	38
3	Còi	60	45
4	Đèn sương mù	45	48
5	Đèn báo rẽ	44	53
6	Đèn phanh	42	59
7	Phun nước	40	63
8	Đèn lùi	20	73
9	Đèn trần	20	82
10	Đèn soi biển số	15	89

Các kết quả thực nghiệm cho thấy ở các tải có công suất càng cao thì thời gian sử dụng của hệ siêu tụ càng ngắn. Thời gian sử dụng lâu nhất là đối với tải 15W với 89 giây hoạt động trong khi con số này chỉ đạt ở mức 34 giây đối với các tải có công suất 60W trên ô tô.

#### 4.3 Thực nghiệm cải thiện tính đáp ứng của kim phun

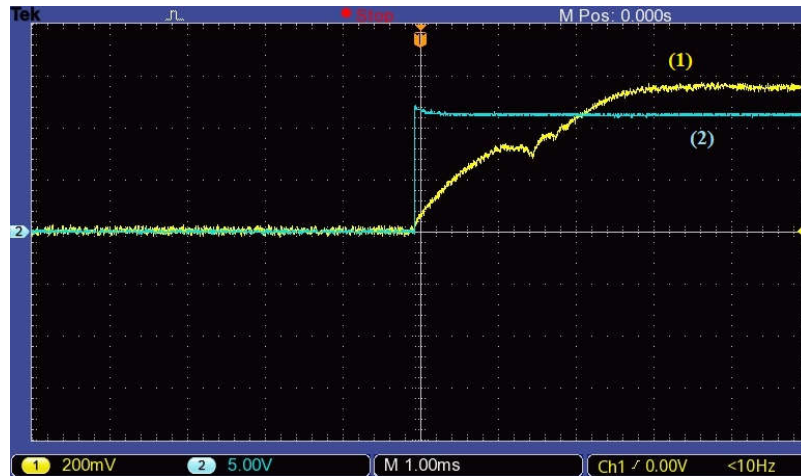
Máy đo hiện sóng Tektronix MSO2000B được dùng trong thực nghiệm để đo biên dạng của cường độ dòng điện và điện áp của kim phun. Sau khi hệ siêu tụ được nạp đầy từ sức điện động tự cảm từ bobin và kim phun, nguồn điện áp này sẽ được sử dụng để cung cấp điện áp hoạt động cho kim phun ở mức 24V nhằm đánh giá tính đáp ứng của kim phun như hình 4.6.

Các thông số của kim phun gồm: Điện trở:  $R = 14.5\Omega$ , Độ tự cảm:  $L = 0.02H$ .



**Hình 4.6:** Thực nghiệm khả năng đáp ứng của kim phun

Hình 4.6 bên dưới biểu diễn đường đặc tính dòng điện và điện áp của kim phun ở mức điện áp 12V từ ắc quy. Đường số 1 là cường độ dòng điện qua kim phun, đường số 2 là điện áp kích kim của kim phun.



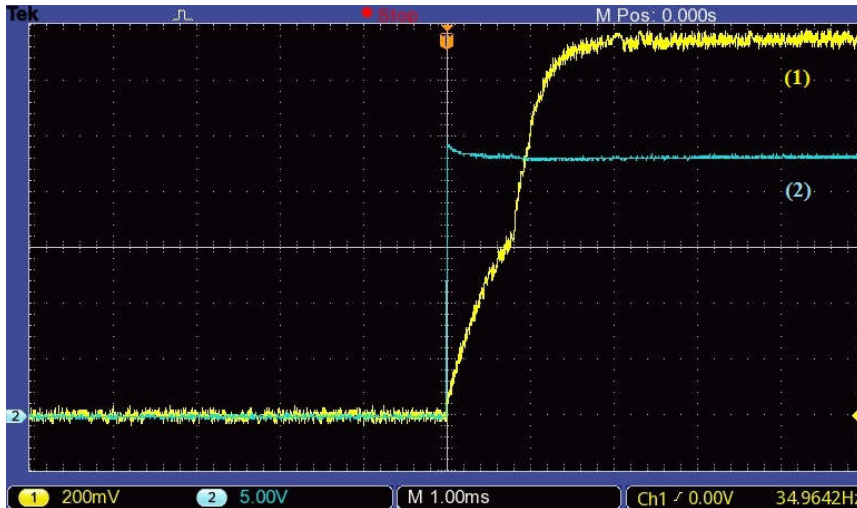
**Hình 4.7:** Đặc tính dòng điện và điện áp của kim phun khi dùng ắc quy 12V

Nhận thấy, cường độ dòng điện của kim phun tăng dần từ lúc kim phun được cấp điện áp hoạt động, tại thời điểm  $T_1 = 1.6ms$  có sự sụt dòng trên kim phun ( $T_1$ : thời gian chết được tính từ lúc dòng điện tăng từ 0 đến giá trị bão hòa), lúc này ty kim đã được nhấc lên khỏi bệ, dòng điện đạt giá trị không đổi ở mức 0.51A sau một khoảng thời gian 3ms từ lúc kim phun hoạt động. Ta có:

$$T_1 = \frac{1}{14.5/0.02} \ln\left(\frac{0.51}{0.51 - 0.35}\right) \approx 1.59(ms)$$

Tiếp tục khảo sát đặc tính cường độ dòng điện, điện áp khi dùng siêu tụ 24V cấp cho kim (hình 4.8).





**Hình 4.8:** Đặc tính dòng điện và điện áp của kim phun khi dùng siêu tụ 24V

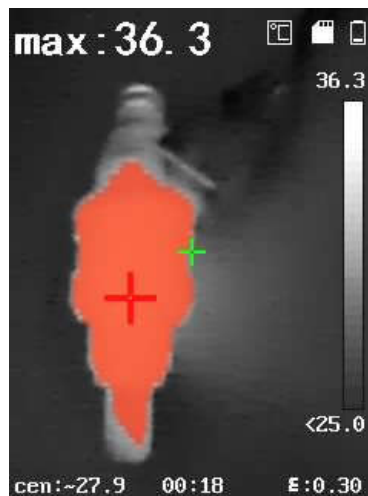
Ở mức điện áp 24V, đồ thị cường độ dòng điện tổng thể tăng vọt nhanh hơn so với điện áp hoạt động của kim ở mức 12V. Cụ thể, ty kim được nhắc khỏi bệ ở khoảng thời gian  $T_1' = 0.8ms$ , và cường độ dòng điện ở trạng thái ổn định là 1.35A. Từ (3.8), ta có:

$$T_1' = \frac{I}{14.5/0.02} \ln\left(\frac{1.35}{1.35 - 0.6}\right) \approx 0.81(ms)$$

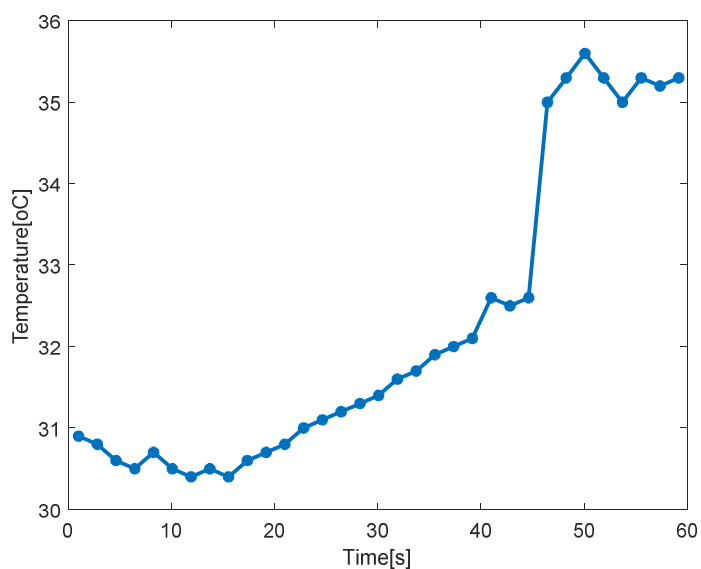
Từ hai hình 4.7 và 4.8, có thể thấy được khi tăng điện áp hoạt động của kim phun lên 2 lần thì tính đáp ứng của kim phun được tăng lên tương ứng 2 lần, hay nói cách khác là độ trễ của kim phun được giảm đi 2 lần.

$$\frac{T_1'}{T_1} = \log \frac{1.35}{1.35 - 0.6} \left( \frac{0.51}{0.51 - 0.35} \right) \approx 2$$

Ngoài ra, nhiệt độ hoạt động của kim phun được giám sát bằng camera nhiệt Hikvision DS-2TP31B-3AUF. Đồ thị phân bố nhiệt độ của kim phun được hiển thị ở hình 4.9 bên dưới.



**Hình 4.9.** Phân bố nhiệt độ của kim phun



**Hình 4.10.** Đặc tuyến nhiệt đo được từ kim phun

Kết quả thu thập cho thấy kim phun hoạt động ở nhiệt độ tối đa xoay quanh  $36^{\circ}\text{C}$  trong 60s tại tốc độ động cơ 3000 vòng/phút ở mức điện áp cung cấp 24V. Dãy nhiệt độ này vẫn nằm trong vùng nhiệt độ hoạt động ổn định của kim phun.

#### 4.4 Thực nghiệm sản phẩm nghiên cứu trên ô tô

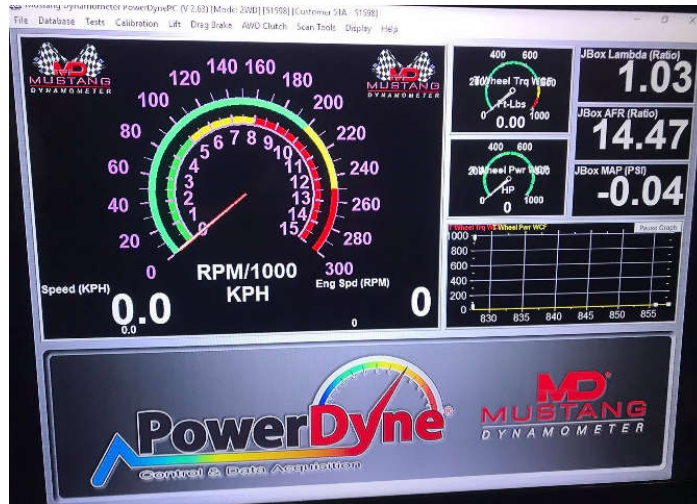
Hệ thống thu hồi năng lượng được bố trí như hình 4.11.



**Hình 4.11:** Các bộ phận của hệ thống thu hồi, tích lũy năng lượng điện cảm được lắp trên ô tô thử nghiệm

##### 4.4.1 Bố trí thực nghiệm

Ô tô được lắp thử nghiệm trên băng thử Mustang Dynamometer MD-500 tại phòng thí nghiệm ô tô - Củ Chi Motor Sport, số 291 Quốc Lộ 22, Xã Tân Thông Hội, Huyện Củ Chi, TP.HCM



**Hình 4.12:** Màn hình hiển thị các thông số thử nghiệm

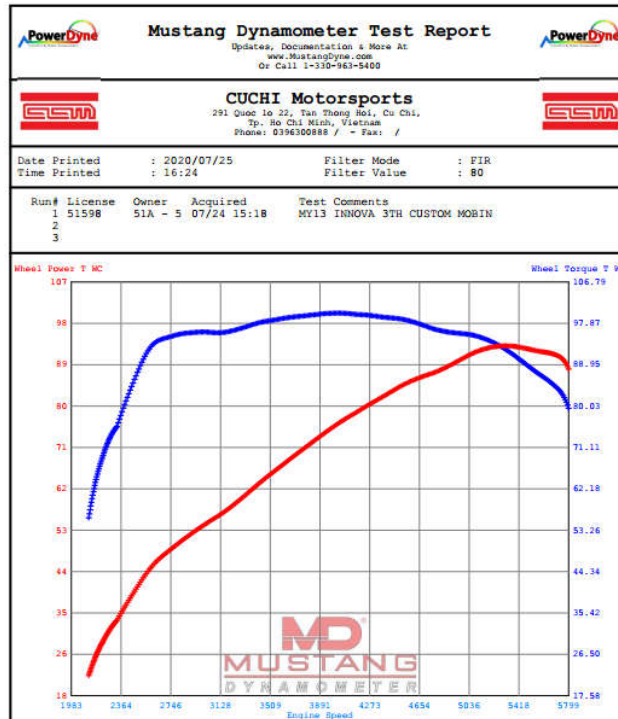


**Hình 4.13:** Ô tô thực nghiệm

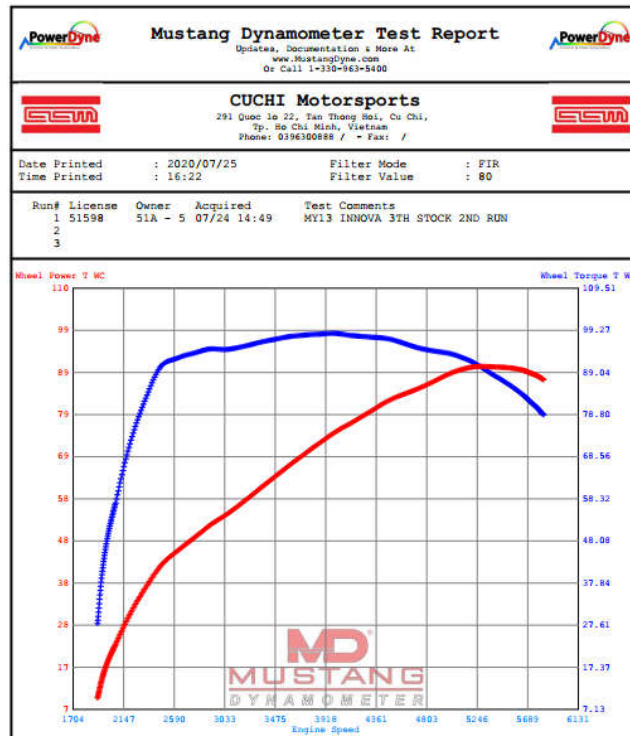
Tác giả đã thử nghiệm đặc tính công suất và momet động cơ của xe ở hai trường hợp: trường hợp 1 – với thiết kế hệ thống đánh lửa nguyên thủy và trường hợp 2 – với thiết kế hệ thống đánh lửa có bộ thu hồi và tích trữ năng lượng điện cảm.

#### 4.4.2 Kết quả thực nghiệm

Hình 4.14 và 4.15 lần lượt biểu diễn đường đặc tính công suất (màu đỏ) và đường đặc tính momen (màu xanh) ở hai trường hợp tương ứng với hệ thống đánh lửa nguyên thủy và bobine có tích hợp bộ thu hồi năng lượng điện cảm.



Hình 4.14: Đặc tính công suất và momen động cơ với hệ thống đánh lửa nguyên thủy



Hình 4.15: Đặc tính công suất và momen động cơ với đánh lửa có bộ thu hồi và tích trữ năng lượng điện cảm

Từ kết quả thực nghiệm ta thấy được, cả hai đường đặc tính của động cơ ở hai trường hợp là giống nhau. Từ đó ta có thể kết luận việc lắp thêm bộ thu hồi năng lượng dạng điện năng trên bobine là không ảnh hưởng đến tính năng động học của xe.

## Chương 5

### KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

#### 5.1 Kết luận

Kết quả nghiên cứu của đề tài cho phép rút ra những kết luận sau đây:

- Về phần cơ sở lý thuyết: ba phần lý thuyết chính đã được xây dựng gồm: mô hình toán cuộn cảm, nguồn năng lượng trên hệ siêu tụ và cải thiện độ nhạy kim phun. Sau đó, các thực nghiệm tiến hành theo hai hướng, đầu tiên là các mô phỏng được tiến hành để đánh giá quá trình thu hồi năng lượng từ bobine và kim phun trên mô hình phun xăng đánh lửa.

- Về phần thực nghiệm: người nghiên cứu xây dựng một mô hình phun xăng đánh lửa và một bộ thu thập tín hiệu để tiện cho việc thu thập và xử lý các dữ liệu cần thiết phục vụ cho quá trình tính toán. Các đồ thị từ phần thực nghiệm xoay quanh việc thu hồi năng lượng tự cảm từ bobine và kim phun, nguồn năng lượng này sau đó được nạp vào một hệ siêu tụ gồm 6 siêu tụ Maxwell 2.7V/350F được mắc nối tiếp với nhau. Người nghiên cứu tiến hành nạp cho hệ siêu tụ từ nguồn năng lượng tự cảm ở mức điện áp 14V. Khi được nạp đầy ở mức điện áp 14V, năng lượng chứa trong hệ siêu tụ thông qua mạch quản lý năng lượng sẽ được cung cấp đến các tải gián đoạn trên ô tô như các cụm đèn, cửa kính, cửa sổ trời, quạt làm mát. Các đồ thị thực nghiệm chỉ ra rằng quá trình thu hồi năng lượng điện cảm trên mô hình đạt tỉ lệ chính xác với sai số dưới 5% so với các tính toán lý thuyết ban đầu.

Tiếp theo, tác giả thực hiện việc khảo sát đường đặc tính điện áp và dòng điện của kim phun, qua đó thực nghiệm nâng cao tính đáp ứng của kim phun bằng điện áp cao 24V từ hệ siêu tụ. Cụ thể, khi hệ siêu tụ gồm 10 siêu tụ ghép nối tiếp lại với nhau được nạp đầy ở mức điện áp 24V sẽ được cấp cho kim phun nhằm tăng tính đáp ứng của kim. Các kết quả thực nghiệm cho thấy độ nhạy của kim phun tỉ lệ tuyến tính với mức điện áp đặt vào kim. Cụ thể, thực nghiệm chỉ ra rằng với mức điện áp 24V đặt vào kim phun, thì tính đáp ứng của kim tăng lên gấp 2 lần từ 1.6ms ở mức 12V giảm xuống còn 0.8ms ở mức 24V ở cùng chế độ hoạt động và tốc độ vòng tua máy. Ngoài ra, đường đặc tính nhiệt độ của kim phun khi hoạt động ở mức điện áp 24V là khoảng 40 độ, vẫn nằm trong vùng hoạt động ổn định của kim.

Tiến hành thực nghiệm lên xe Toyota Innova, kết quả thực nghiệm đường đặc tính công suất động cơ và đường đặc tính momen của động cơ khi gắn bộ thu hồi năng lượng này là giống nhau. Như vậy, quá trình thu hồi năng lượng điện cảm và ứng dụng nguồn năng lượng cung cấp cho các tải gián đoạn và cải thiện tính đáp ứng của kim phun là không ảnh hưởng đến các đường đặc tính momen và đặc tính công suất của động cơ. Hay nói cách khác tính năng động học trên xe sẽ không bị ảnh hưởng.

#### 5.2 Kiến nghị

Ngày nay, với sự phát triển mạnh mẽ của các nguồn năng lượng tái tạo và năng lượng mới, thì việc sử dụng luân phiên các nguồn năng lượng khác nhau trên ô tô không còn là vấn đề quá xa lạ. Trong luận án này, người nghiên cứu đã thực hiện thành công việc thu hồi năng lượng dạng điện năng từ sức điện động tự cảm của các bộ chấp hành có cấu tạo từ cuộn dây trên ô tô và sử dụng nguồn năng lượng này

để cung cấp đến các tải gián đoạn cũng như nâng cao tính đáp ứng của kim phun nhiên liệu trên động cơ xăng.

Trong tương lai, kiến nghị đề tài có thể được tiếp tục nghiên cứu các hướng sau:

- Nghiên cứu đánh giá hiệu suất cũng như thời điểm phun của kim phun dạng điện trở cao ở mức điện áp 24V nhằm cải thiện quá trình trộn hỗn hợp nhiên liệu và quá trình cháy của động cơ.
- Tính toán giảm dung lượng và kích thước ắc quy khi áp dụng siêu tụ.
- Phát triển thuật toán và lập trình phân bố tải giữa máy phát, ắc quy, siêu tụ.
- Tính toán năng lượng từ cuộn dây pha của máy phát để nạp siêu tụ.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] James E. Francfort, Donald Karner. và cộng sự, *Advanced Vehicle Testing Activity*, Idaho National Laboratory, tr. 124-128, 2015.
- [1] Cieřlik W., Pielecha I., and Borowski P. , *Effects of Start–Stop System on The Operation of Drive System in Urban Traffic Conditions*, Journal of Mechanical and Transport Engineering, Vol. 67, No. 2, 2015.
- [2] Xueying L., Yanju J. và cộng sự, *Research Review of a Vehicle Energy-Regenerative Suspension System*, Energies, tr. 441, 2020.
- [3] Đỗ Quốc Âm, Đỗ Văn Dũng, Phan Nguyễn Quý Tâm, Lê Khánh Tân. Tính toán sức điện động tự cảm trên hệ thống đánh lửa lai. *Tạp chí Khoa học Giáo dục Kỹ thuật*, số 32, trang 8, 2015.
- [4] Lars Eriksson and Lars Nielsen, *Modeling and control of engines and drivelines*, (3th Edition), Published by John Wiley & Sons, Ltd, 2014.
- [5] Michael J French and Matthew Joseph Edwards. “Hybrid ignition circuit for an internal combustion engine”. US Patent 5806504, 1998.
- [6] Maxwell BCAP0350 datasheet, Internet:  
[https://www.maxwell.com/images/documents/bcseries\\_ds\\_1017105-4.pdf](https://www.maxwell.com/images/documents/bcseries_ds_1017105-4.pdf)
- [7] Więclawski K., Mączak J., Szczurowski K., Electric current as a source of information about control parameters of indirect injection fuel injector, *Eksploatacja i Niezawodność - Maintenance and Reliability* , tập 22, tr. 449–454, 2020.
- [8] Tektronix MSO2000B manual, Internet: <https://www.tek.com/oscilloscope/mso2000-dpo2000-manual-0>
- [9] Toyota Company. Toyota computer control system, step 3, vol1, pp.6.
- [10] Toyota Company. Engine - 1 TR-FE Engine - Description. Internet:  
[https://www.academia.edu/14069176/ENGINE-1TR-FE\\_ENGINE\\_EG9\\_1TR-FE\\_ENGINE](https://www.academia.edu/14069176/ENGINE-1TR-FE_ENGINE_EG9_1TR-FE_ENGINE), 24/07/2018
- [11] National Instruments NI-6009 User Manual, Internet:  
<https://www.ni.com/pdf/manuals/371303n.pdf>
- [12] Maxwell BMOD0058 E016 B02 datasheet, Internet:  
<https://manualzz.com/doc/14836539/download-datasheet-for-bmod0058-e016-by-maxwell-technologies>
- [13] PGS.TS. Đỗ Văn Dũng. *Điện động cơ và điều khiển động cơ*. NXB Đại học Quốc gia Tp.Hồ Chí Minh, 2013.
- [14] TS. Nguyễn Bá Hải. *Lập trình LabVIEW*. NXB Đại học Quốc gia Tp.Hồ Chí Minh, 2010.
- [15] TS. Hồ Văn Sung. *Cơ sở lý thuyết mạch điện và điện tử*. NXB Khoa học và kỹ thuật, 2012.
- [16] ThS. Lê Thị Thanh Hoàng, Mạch điện II, Giáo trình học tập tại trường ĐHSPTK TP. HCM, tháng 12/2007.
- [17] Giáo trình Mô phỏng và mô hình hóa, Khoa công nghệ điện tử và truyền thông - Đại học

Thái Nguyên, 2011.

- [18] Tom Denton, *Automobile Electrical and Electronic Systems*, (5th Edition), Published by Elsevier, 2018.
- [19] Michael GüntherMarc Sens, *Ignition Systems for Gasoline Engines*, 3rd International Conference, November, 3-4, Berlin, Germany, 2016.
- [20] SEBOK M., JURCIK J. và cộng sự. *Diagnostics and Measurement of the Gasoline Engines Injection System*. Przegląd Elektrotechniczny, 2015.
- [21] Więclawski, Krzysztof & Mączak, Jędrzej & Szczurowski, Krzysztof, *Electric Current Waveform of the Injector as a Source of Diagnostic Information*, Sensors. 20. 4151. 10.3390/s20154151, 2020.
- [22] Chen Liangliang, Zhang Zhendong. Study on the measurement of dynamic characteristics for automotive electronic fuel injector. *International Conference on Transportation, Mechanical, and Electrical Engineering, (TMEE)*, Changchun, China, tr 511 – 514, 2011.
- [23] Więclawski K., Mączak J., Szczurowski K. *Electric current as a source of information about control parameters of indirect injection fuel injector*. Eksploatacja i Niezawodność - Maintenance and Reliability , tập 22, tr. 449–454, 2020.
- [24] Nguyễn Thành Luân, Lê Thị Hồng Nhung, Lại Hoài Nam. Đo lường và điều khiển tử sậy sử dụng LabVIEW. *Tạp Chí Khoa Học Giáo Dục Kỹ Thuật* số 58, 2020
- [25] A El Hammoumi, S Motahhi, A Chalh, A El Ghzizal and A Derouich, Real-time virtual instrumentation of Arduino and LabVIEW based PV panel characteristics, *International Conference on Renewable Energies and Energy Efficiency (REEE)*, 2017.
- [26] Edward B. Rosa and Louis Cohen, Formule and Tables for the calculation of mutual and self-inductance, 57-60, 2017.
- [27] Nguyễn Hữu Cần, Phạm Hữu Nam. *Thí nghiệm ô tô*. Nhà Xuất Bản Khoa Học và Kỹ Thuật, 2004.
- [28] Dương Tuấn Tùng. Nghiên cứu nâng cao hiệu quả thu hồi năng lượng của hệ thống phanh tái sinh trên ô tô. Công trình nghiên cứu khoa học ĐHSPKT (11/2019).