

**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**

**LUẬN ÁN TIẾN SĨ  
NGÀNH: KỸ THUẬT CƠ KHÍ**

Tp. Hồ Chí Minh, tháng 06/2021

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  
NGÀNH: KỸ THUẬT CƠ KHÍ - 9520103

Hướng dẫn khoa học:

1. PGS.TS. ĐỖ VĂN DŨNG
2. TS. NGUYỄN BÁ HẢI

Phản biện 1:

Phản biện 2:

Phản biện 3:

# QUYẾT ĐỊNH GIAO ĐỀ TÀI

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

Số: 426/QĐ-ĐHSPKT-SDH

CỘNG HÒA XÃ HỘI CHỦ NGHĨA VIỆT NAM  
Độc lập – Tự do – Hạnh phúc

Tp. Hồ Chí Minh, ngày 30 tháng 9 năm 2013

## 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 Trường 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

## 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

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

### III. QUÁ TRÌNH CÔNG TÁC

<b>Thời gian</b>	<b>Nơi công tác</b>	<b>Công việc đảm nhiệm</b>
07/2004-07/2005	Trường Đại Học Sư Phạm Kỹ Thuật TP. Hồ Chí Minh	Giảng viên tập sự ngành công nghệ kỹ thuật ô tô, Khoa Cơ Khí Động Lực
08/2005-01/2015	Trường Đại Học Sư Phạm Kỹ Thuật TP. Hồ Chí Minh	Giảng viên ngành công nghệ kỹ thuật ô tô, Khoa Cơ Khí Động Lực
02/2015-12/2015	Trường Đại Học Sư Phạm Kỹ Thuật TP. Hồ Chí Minh	Giảng viên, Trưởng ngành công nghệ kỹ thuật ô tô, Khoa Đào Tạo Chất Lượng Cao
01/2016-nay	Trường Đại Học Sư Phạm Kỹ Thuật TP. Hồ Chí Minh	Phó trưởng phòng Thiết Bị Vật Tư Giảng viên ngành công nghệ kỹ thuật ô tô, Khoa Cơ Khí Động Lực

### IV. LĨNH VỰC NGHIÊN CỨU/CHUYÊN MÔN

- Hệ thống điện điều khiển động cơ ô tô.
- Kỹ thuật chẩn đoán hệ thống điện ô tô.
- Kỹ thuật sửa chữa động cơ đốt trong.

## V. CÁC CÔNG TRÌNH NGHIÊN CỨU KHOA HỌC

### 5.1 Các công trình đã công bố

STT	Tên công trình	Tên tác giả	Nơi công bố	Năm công bố
1	Khái quát về các hệ thống đánh lửa sử dụng trên động cơ xăng	Phan Nguyễn Quý Tâm	Kỷ yếu hội thảo khoa học - Một số nghiên cứu và ứng dụng công nghệ mới trong lĩnh vực ô tô và nhiệt điện lạnh	2015
2	Nghiên cứu, thi công hệ thống tích lũy năng lượng điện dạng cảm kháng trên ô tô	Phan Nguyễn Quý Tâm	Tạp chí Khoa Học Giáo Dục Kỹ Thuật số 32	2015
3	Tính toán suất điện động tự cảm trên hệ thống đánh lửa lai	Phan Nguyễn Quý Tâm	Tạp chí Khoa Học Giáo Dục Kỹ Thuật số 32	2015
4	Đo lường và kiểm soát năng lượng điện cảm trên ô tô sử dụng LabVIEW	Phan Nguyễn Quý Tâm	Tạp chí Khoa Học Giáo Dục Kỹ Thuật số 61	2020
5	Nghiên cứu mô phỏng thu hồi năng lượng điện cảm trên ô tô	Phan Nguyễn Quý Tâm	Tạp Chí Khoa Học Giáo Dục Kỹ Thuật số 61	2020
6	Phân tích năng lượng điện cảm trong hệ thống đánh lửa	Phan Nguyễn Quý Tâm	Tạp chí Khoa Học và Công Nghệ, Trường Đại Học Công Nghiệp Hà Nội tập 57 - số 01	2021
7	Ứng dụng siêu tụ năng cao tính đáp ứng của kim phun nhiên liệu trên động cơ xăng	Phan Nguyễn Quý Tâm	Tạp chí Cơ Khí Việt Nam số 1+2	2021
8	Evaluation of Applying Various High Voltage Levels to Improve Fuel Injector Response Time on Gasoline Engines	Phan Nguyễn Quý Tâm	International Journal of Transportation Engineering and Technology	2021
9	Thiết kế mạch quản lý nguồn năng lượng tự cảm kim phun trên ô tô	Phan Nguyễn Quý Tâm	Tạp chí Khoa Học Giáo Dục Kỹ Thuật số 63	2021

## 5.2 Các đề tài nghiên cứu khoa học đã thực hiện

STT	Tên đề tài nghiên cứu/ lĩnh vực ứng dụng	Năm hoàn thành	Thuộc chương trình	Trách nhiệm tham gia trong đề tài
1	Nghiên cứu chế tạo mô hình hệ thống đánh lửa trực tiếp	2008	Nghiên cứu khoa học cấp Bộ B2006-22-11	Tham gia
2	Nghiên cứu, chế tạo hệ thống nhiên liệu kép (Diesel – LPG) cho động cơ Diesel dùng cho xe tải và xe bus cỡ nhỏ.	2010	Nghiên cứu khoa học cấp Bộ B2008-22-31	Tham gia
3	Hệ thống đánh Pan-qui trình chẩn đoán hệ thống điều khiển động cơ Nissan dùng cảm biến quang	2010	Nghiên cứu khoa học cấp Trường T2009-24	Chủ trì
4	Thiết kế, thi công mô hình động cơ hệ thống đánh lửa kiểu VAST	2010	Nghiên cứu khoa học cấp Trường T2010-13	Chủ trì
5	Thiết kế, thi công mô hình hệ thống điều khiển động cơ hãng Daihatsu	2011	Nghiên cứu khoa học cấp Trường Trọng điểm T2011-11TĐ	Chủ trì
6	Thiết kế, thi công mô hình các loại hệ thống đánh lửa Transistor	2012	Nghiên cứu khoa học cấp Trường T2012-20	Chủ trì
7	Thi công mô hình hiển thị thông tin trên đồng hồ trung tâm	2013	Nghiên cứu khoa học cấp Trường T2013-71	Chủ trì
8	Nghiên cứu thi công hệ thống tích lũy năng lượng điện dạng cảm kháng trên ô tô	2015	Nghiên cứu khoa học cấp Trường Trọng điểm T2014-27TĐ	Chủ trì

# 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 cam đoan rằng nội dung tham khảo cho việc thực hiện luận án đã được trích dẫn rõ ràng.

*Tp. Hồ Chí Minh, ngày 04 tháng 06 năm 2021*

(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, dành thời gian đọc và 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, đồng 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 phân biện, góp ý cho các bài báo khoa học, tóm tắt luận án.
- Các Anh, Chị học viên cùng niên khóa 2013-2016 ngành kỹ thuật cơ khí.
- Những thành viên gia đình, 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 04 tháng 06 năm 2021*

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 sử năng lượng điện cảm trên ô tô là một hướng nghiên cứu mới hiện nay. Mục tiêu chính của luận án là nghiên cứu thu hồi nguồn năng lượng điện cảm tồn tại trên các cuộn dây trong quá trình hoạt động để tái sử dụng cho việc cải thiện tính đáp ứng của kim phun. Nghiên cứu không những góp phần giải quyết vấn đề năng lượng trên động cơ đánh lửa cưỡng bức mà còn giải quyết vấn đề tiết kiệm nhiên liệu, giảm thiểu 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 mô hình vật lý và mô hình toán cho hệ thống thu hồi năng lượng điện cảm trên bobine bằng việc sử dụng hệ siêu tụ điện.
- Thiết kế, chế tạo mô hình thử nghiệm thu hồi năng lượng điện cảm trên cuộn dây sơ cấp bobine.
- Sử dụng hệ siêu tụ điện tích trữ năng lượng tự cảm để điều khiển kim phun.

*TP. Hồ Chí Minh, ngày 04 tháng 06 năm 2021*

**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: 9520103

Dissertation title : **Research and application of self-inductance energy in automobile**

1<sup>st</sup> Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Do Van Dung

2<sup>nd</sup> Supervisor : Dr. Nguyễn Ba Hai

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

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 improve the 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 physical model mathematical model of self-inductance energy recovery on bobines by supercapacitors.
- Designing, manufacturing experimental model to recover inductive energy on primary coils.
- Using the supercapacitors to store inductively energy to control increased injector sensitivity.

*Ho Chi Minh City, June 4<sup>th</sup>, 2021*

**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	i
Lý lịch khoa học	ii
Lời cam đoan	vi
Lời cảm ơn	vii
Tóm tắt	viii
Summary of contributions of the dissertation	ix
Mục lục	x
Danh mục các từ viết tắt	xiv
Danh sách các kí hiệu	xv
Danh sách các bảng	xvi
Danh sách các hình	xvii
<b>Chương 1: TỔNG QUAN</b>	<b>1</b>
1.1. Lý do chọn đề tài	1
1.2. Nghiên cứu tổng quan kết quả nghiên cứu trong và ngoài nước	3
1.3. Đề xuất phương án nghiên cứu	15
1.4. Mục tiêu nghiên cứu	17
1.5. Nội dung nghiên cứu	17
1.6. Đối tượng nghiên cứu	18
1.7. Phạm vi nghiên cứu	18
1.8. Phương pháp nghiên cứu	18
1.9. Tính mới và ý nghĩa khoa học của công trình nghiên cứu	19
1.10. Kế hoạch thực hiện	19
1.11. Lưu đồ nghiên cứu	20
1.12. Bố cục của luận án	21
<b>Chương 2: CƠ SỞ LÝ THUYẾT VỀ NĂNG LƯỢNG ĐIỆN CẢM VÀ HỆ SIÊU TỤ ĐIỆN</b>	<b>22</b>

2.1.	Các cơ cấu chấp hành tích trữ năng lượng điện cảm	22
2.2.	Các đặc tính của cuộn cảm tác động đến năng lượng điện cảm	25
2.2.1	Hệ số tự cảm	25
2.2.2	Cảm kháng	25
2.2.3	Điện trở thuần	25
2.2.4	Hiện tượng cảm ứng điện từ	25
2.2.5	Suất điện động tự cảm	26
2.2.6	Dạng xung suất điện động tự cảm	26
2.2.7	Giải pháp hạn chế tác động của suất điện động tự cảm	27
2.2.8	Chiều dòng điện tự cảm	29
2.2.9	Năng lượng điện cảm	30
2.3.	Mô hình tính toán các quá trình hoạt động trên cuộn cảm	30
2.3.1	Phương trình toán của cuộn cảm trong quá trình tích lũy năng lượng	30
2.3.2	Phương trình toán của cuộn cảm trong quá trình giải phóng năng lượng	32
2.3.3	Đặc tuyến mô phỏng	35
2.4	Tính toán năng lượng điện cảm tích lũy	36
2.4.1	Tính toán năng lượng điện cảm tích lũy trên bobine	36
2.4.2	Tính toán năng lượng điện cảm tích lũy từ kim phun	39
2.5	Tính toán trên hệ siêu tụ	42
2.5.1	Mô hình hóa hệ siêu tụ	42
2.5.2	Quá trình nạp của hệ siêu tụ	43
2.5.3	Quá trình phóng của hệ siêu tụ	45
2.5.4	Năng lượng trên hệ siêu tụ	47
2.5.5	Hệ siêu tụ kết nối phụ tải điện	47
2.6	Tính toán quá trình nạp năng lượng điện cảm vào hệ siêu tụ	49
2.6.1	Quá trình nạp năng lượng điện cảm trên bobine vào hệ siêu tụ	49
2.6.2	Quá trình nạp năng lượng điện cảm trên kim phun vào hệ siêu tụ	50
2.7	Đặc tính kim phun	50
2.7.1	Điều khiển kim phun	50

2.7.2	Phân tích quá trình hoạt động của kim phun	51
2.7.3	Mô hình toán của kim phun	51
2.7.4	Đặc tính cường độ dòng điện qua kim phun	54
<b>Chương 3: THIẾT KẾ HỆ THỐNG THU HỒI VÀ TÍCH TRỮ NĂNG LƯỢNG ĐIỆN CẢM</b>		<b>58</b>
3.1.	Khảo sát suất điện động tự cảm thực tế	58
3.2.	Thiết kế mô hình thực nghiệm điều khiển phun xăng đánh lửa	60
3.2.1	Phân tích chuyển đổi khối bộ điều khiển đánh lửa	60
3.2.2	Thiết kế mô hình thực nghiệm	62
3.3.	Thiết kế mạch thu hồi điện cảm	66
3.4.	Phân tích, lựa chọn bộ lưu trữ năng lượng	67
3.5.	Thiết kế, thi công mạch thu hồi năng lượng	68
3.6.	Lập trình điều khiển	71
3.7.	Thiết kế hệ thống thu thập, đo lường và kiểm soát năng lượng điện cảm	72
3.8.	Mô hình thực nghiệm kết nối hệ thống thu thập dữ liệu	77
3.9.	Thiết kế hệ thống đánh giá độ nhạy kim phun	79
3.9.1	Tối ưu thời gian đáp ứng kim phun bằng hệ siêu tụ	79
3.9.2	Thiết kế mạch thu hồi năng lượng và điều khiển kim phun	80
<b>Chương 4: THỰC NGHIỆM VÀ ĐÁNH GIÁ</b>		<b>82</b>
4.1	Nội dung thực nghiệm	82
4.1.1	Đối tượng thực nghiệm	82
4.1.2	Đặc điểm thực nghiệm	82
4.1.3	Trang thiết bị dùng trong thực nghiệm	82
4.1.4	Địa điểm thực nghiệm	83
4.2	Thực nghiệm, đánh giá bộ thu hồi và tích trữ năng lượng điện cảm	83
4.2.1	Chuẩn bị thực nghiệm	83
4.2.2	Trình tự thử nghiệm	84
4.3	Thực nghiệm cải thiện tính đáp ứng của kim phun	86
4.4	Thực nghiệm trên ô tô	89

4.4.1	Điều kiện thử nghiệm	90
4.4.2	Chuẩn bị thử nghiệm	93
4.4.3	Trình tự thử nghiệm	94
4.4.4	Kết quả thực nghiệm	95
<b>Chương 5: KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ</b>		<b>98</b>
5.1.	Kết luận	98
5.2.	Kiến nghị	98
<b>TÀI LIỆU THAM KHẢO</b>		<b>TLTK-1</b>
<b>PHỤ LỤC</b>		<b>PL-1</b>
<b>DANH MỤC CÔNG TRÌNH CÔNG BỐ</b>		<b>DMCTCB -1</b>

## DANH MỤC CÁC 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>BAT</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	Đồng hồ tốc độ động cơ
<b>W</b>	Warning	Tín hiệu cảnh báo lỗi mạch điện
<b>C1, C2, C3, C4</b>	Coil 1,2,3,4	Cuộn dây bobine
<b>INJ1, INJ2, INJ3, INJ4</b>	Injector 1,2,3,4	Các kim phun 1,2,3,4
<b>#1, #2, #3, #4</b>	-	Chân trên ECU điều khiển các kim phun
<b>EFI</b>	Electronic Fuel Injection	Phun xăng điện tử
<b>CRDi</b>	Common Rail Direct Injection	Phun dầu điện tử
<b>MT</b>	Manual Transmission	Số sàn
<b>RPM</b>	Revolution Per Minute	Vòng/phút hoặc v/ph



<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
<b>PWM</b>	Pulse Width Modulation	Điều chế độ rộng xung
<b>CDI</b>	Capacitor Discharge Ignition	Đánh lửa điện dung
<b>TI</b>	Transistor Ignition	Đánh lửa điện cảm
<b>i-ELoop</b>	Intelligent Energy Loop	Tái tạo năng lượng phanh thông minh
<b>Hybird</b>	Hybird Vehicle	Xe lai
<b>ppm</b>	Part Per Million	Phần triệu
<b>MIL</b>	Malfunction Indicator Lamp	Đèn báo sự cố
<b>SPEED</b>	Speed	Tốc độ xe
<b>AEC</b>	Automotive Electronics Council	Hội đồng điện tử ô tô
<b>HUD</b>	Head-Up Displays	Hệ thống hiển thị kính lái
<b>EWP</b>	Electric Water Pump	Điều khiển bơm nước bằng điện
<b>EOP</b>	Electric Oil Pump	Điều khiển bơm dầu bằng điện
<b>EPS</b>	Electric Power Steering	Hệ thống lái điều khiển điện
<b>LED</b>	Light Emitting Diode	Diode phát quang
<b>ABS</b>	Anti-lock Braking System	Hệ thống phanh chống bó cứng

## DANH MỤC CÁC KÝ HIỆU

Kí hiệu	Đơn vị	Giải thích ý nghĩa
$U$	[V]	Điện áp
$I$	[A]	Cường độ dòng điện
$R$	[ $\Omega$ ]	Resistor - Điện trở
$Z_L$	[ $\Omega$ ]	Điện trở cảm kháng
$L$	[H]	Inductance - Độ tự cảm
$C$	[F]	Capacitor - Điện dung
$T$	[s]	Chu kì đánh lửa
$\gamma_d$	-	Thời gian tích lũy năng lượng tương đối
$n_e$	[v/ph]	Tốc độ động cơ
$t$	[s]	Thời gian
$W$	[J]	Năng lượng tích trữ
$E_{max}$	[J]	Năng lượng cực đại trên hệ siêu tụ
$P_{max}$	[W]	Công suất cực đại trên hệ siêu tụ
%vol	-	Phần trăm theo thể tích
v/ph	vòng/phút	Đơn vị đo tốc độ động cơ
$mass$	-	Hệ số khối lượng hệ siêu tụ
$ESR_{DC}$	-	Điện trở rò hệ siêu tụ
$\tau$	-	Hằng số điện từ
$\xi_{tc}$	-	Suất điện động tự cảm
$\Phi$	-	Độ biến thiên từ thông
$PE$	[KW]	Công suất động cơ
$ME$	[Nm]	Momen động cơ
$PE_{max}$	[KW]	Công suất động cơ cực đại
$ME_{max}$	[Nm]	Momen động cơ cực đại

# DANH SÁCH CÁC BẢNG

<b>Bảng</b>	<b>Trang</b>
<b>Bảng 1.1:</b> Lưu đồ nghiên cứu	20
<b>Bảng 2.1:</b> Các thông số đầu vào được xác định trên bobine ô tô 07 chỗ	37
<b>Bảng 2.2:</b> Các thông số tương ứng trong tính toán	37
<b>Bảng 2.3:</b> Các thông số của kim phun trên ô tô 07 chỗ	40
<b>Bảng 3.1:</b> Các bộ phận trên mô hình thực nghiệm	63
<b>Bảng 3.2:</b> Các thông số kỹ thuật của hệ siêu tụ	67
<b>Bảng 3.3:</b> Các thông số đầu vào hệ thống kiểm soát năng lượng	73
<b>Bảng 3.4:</b> Các thông số đầu ra hệ thống kiểm soát năng lượng	74
<b>Bảng 4.1:</b> Thông số kỹ thuật của băng thử Mustang Dyanometer MD-500	91
<b>Bảng 4.2:</b> Thông số kỹ thuật ô tô thực nghiệm	92

# DANH SÁCH CÁC HÌNH

<b>Hình</b>	<b>Trang</b>
<b>Hình 1.1:</b> Mô hình đánh lửa hỗn hợp điện dung - điện cảm	3
<b>Hình 1.2:</b> Mô hình mô phỏng các suất điện động tự cảm	4
<b>Hình 1.3:</b> Sơ đồ kết nối bộ thu hồi, tích trữ với hệ thống điện ô tô	5
<b>Hình 1.4:</b> Sơ đồ nguyên lý bộ thu dùng biến áp xung có mạch điều khiển	6
<b>Hình 1.5:</b> Khối kết nối thiết bị thu hồi năng lượng điện cảm	6
<b>Hình 1.6:</b> Thiết kế phần cứng thu thập dữ liệu	7
<b>Hình 1.7:</b> Mô hình hệ thống đánh lửa Hybrid và ảnh hưởng thông số điện dung đến năng lượng điện cảm	8
<b>Hình 1.8:</b> Nguyên lý hệ thống đánh lửa kết hợp điện dung - điện cảm	9
<b>Hình 1.9:</b> Sản phẩm mạch đánh lửa kết hợp điện dung - điện cảm	9
<b>Hình 1.10:</b> Năng lượng điện cảm tích lũy khi thử nghiệm trên các tụ điện	10
<b>Hình 1.11:</b> Phân tích dạng sóng của cuộn sơ cấp, cuộn thứ cấp trên bobine	11
<b>Hình 1.12:</b> Mô hình thiết kế, nghiên cứu kết hợp nguồn năng lượng kép ác quy-siêu tụ điện trên xe điện E-KANCIL	12
<b>Hình 1.13:</b> Giao diện hệ thống điều khiển và đo lường	13
<b>Hình 1.14:</b> Ứng dụng cuộn cảm trên hệ thống điện ô tô hiện đại	14
<b>Hình 1.15:</b> Cuộn cảm trên các hệ thống của ô tô	15
<b>Hình 1.16:</b> Mô hình lý thuyết hệ thống thu hồi và ứng dụng năng lượng điện cảm	16
<b>Hình 1.17:</b> Tổng quan các yếu tố cần nghiên cứu	17
<b>Hình 2.1:</b> Nguyên lý điều khiển các bobine đánh lửa	23
<b>Hình 2.2:</b> Nguyên lý điều khiển các kim phun xăng	24
<b>Hình 2.3:</b> Các giai đoạn biểu thị dạng xung điện áp tự cảm	26
<b>Hình 2.4:</b> Giải pháp hạn chế tác động suất điện động tự cảm dùng diode	27
<b>Hình 2.5:</b> Giải pháp hạn chế tác động suất điện động tự cảm dùng tụ điện	28
<b>Hình 2.6:</b> Giải pháp hạn chế tác động suất điện động tự cảm dùng điện trở	28
<b>Hình 2.7:</b> Chiều dòng điện qua cuộn cảm	29

<b>Hình 2.8:</b> Sơ đồ tương đương mạch điều khiển cuộn cảm	30
<b>Hình 2.9:</b> Mô hình mô phỏng cường độ dòng điện quá trình xác lập	31
<b>Hình 2.10:</b> Mô hình mô phỏng quá trình tích lũy năng lượng điện cảm	32
<b>Hình 2.11:</b> Sơ đồ của cuộn cảm trong quá trình giải phóng năng lượng	32
<b>Hình 2.12:</b> Mô phỏng cường độ dòng điện quá trình quá độ	33
<b>Hình 2.13:</b> Mô hình mô phỏng suất điện động tự cảm	34
<b>Hình 2.14:</b> Đặc tuyến dòng điện qua cuộn cảm	34
<b>Hình 2.15:</b> Đặc tuyến mô phỏng suất điện động tự cảm	35
<b>Hình 2.16:</b> Đặc tuyến năng lượng điện cảm	35
<b>Hình 2.17:</b> Mô tả năng lượng điện cảm tích trữ trên cuộn sơ cấp theo tốc độ	38
<b>Hình 2.18:</b> Mô tả $W_{th}$ ; $W_{(bb,)}$ ; $W_{ct}$ trong một lần đánh lửa theo tốc độ	38
<b>Hình 2.19:</b> Năng lượng điện cảm có khả năng thu hồi theo tốc độ động cơ	39
<b>Hình 2.20:</b> Năng lượng điện cảm của kim phun theo tốc độ động cơ	40
<b>Hình 2.21:</b> Mô tả $W_{kp}$ ; $W_{(kp-ct,)}$ ; $W_{(kp-th)}$ trong một lần phun xăng	41
<b>Hình 2.22:</b> So sánh năng lượng điện cảm có khả năng thu hồi trên bobine và kim phun theo tốc độ động cơ	41
<b>Hình 2.23:</b> Sơ đồ mạch tương đương của hệ siêu tụ	42
<b>Hình 2.24:</b> Sơ đồ tương đương quá trình nạp của hệ siêu tụ	43
<b>Hình 2.25:</b> Sơ đồ tương đương quá trình phóng của của hệ siêu tụ	45
<b>Hình 2.26:</b> Sơ đồ tương đương mạch siêu tụ và phụ tải điện	48
<b>Hình 2.27:</b> Điện áp ở hai chế độ điều khiển kim phun	50
<b>Hình 2.28:</b> Cấu tạo của kim phun	51
<b>Hình 2.29:</b> Mô hình hệ điện - điện từ - cơ - thủy lực của kim phun	53
<b>Hình 2.30:</b> Đặc tính độ tự cảm, cường độ dòng điện qua kim phun	54
<b>Hình 3.1:</b> Máy đo hiện sóng Tektronix MSO2000B	58
<b>Hình 3.2:</b> Suất điện động tự cảm trên cuộn sơ cấp bobine	58
<b>Hình 3.3:</b> Suất điện động tự cảm trên kim phun	59
<b>Hình 3.4:</b> Nguyên lý điều khiển hệ thống đánh lửa trực tiếp	60
<b>Hình 3.5:</b> Cụm đánh lửa có tích hợp IC	61

<b>Hình 3.6:</b> Cụm đánh lửa được đề xuất thay thế	61
<b>Hình 3.7:</b> Cụm chi tiết đề xuất trên mô hình thực nghiệm	62
<b>Hình 3.8:</b> Mô hình thực nghiệm	63
<b>Hình 3.9:</b> Mạch nguyên lý thu hồi điện áp tự cảm	66
<b>Hình 3.10:</b> Hệ siêu tụ điện 27V-35F	67
<b>Hình 3.11:</b> Các bộ phận, linh kiện sử dụng trong mạch thu hồi năng lượng	69
<b>Hình 3.12:</b> Sơ đồ nguyên lý mạch thu hồi năng lượng	66
<b>Hình 3.13:</b> Mạch in lớp trên và lớp dưới của mạch thu hồi năng lượng	70
<b>Hình 3.14:</b> Sản phẩm Mạch thu hồi năng lượng	70
<b>Hình 3.15:</b> Sơ đồ chuyển đổi nguồn điện	71
<b>Hình 3.16:</b> Lưu đồ thuật toán kiểm soát năng lượng điện cảm	72
<b>Hình 3.17:</b> Sơ đồ kết nối điều khiển thu thập dữ liệu	73
<b>Hình 3.18:</b> Card giao tiếp NI 6009	74
<b>Hình 3.19:</b> Mạch cầu chia áp cho các tín hiệu đầu vào của card thu thập dữ liệu	75
<b>Hình 3.20:</b> Tín hiệu dòng điện qua kim phun là đầu vào của NI 6009	75
<b>Hình 3.21:</b> Giao diện thu thập dữ liệu và kiểm soát năng lượng điện cảm	76
<b>Hình 3.22:</b> Giao diện phân biểu đồ đặc tuyến các thông số cường độ, điện áp, năng lượng khi hệ tụ nạp và xả	76
<b>Hình 3.23:</b> Lưu đồ thuật toán điều khiển giao tiếp giữa máy tính và card NI	77
<b>Hình 3.24:</b> Mô hình thực nghiệm kết hợp điều khiển, giao tiếp với máy tính	78
<b>Hình 3.25:</b> Nguyên lý thu hồi năng lượng và điều khiển trên kim phun	81
<b>Hình 3.26:</b> Mạch thu hồi năng lượng điện cảm và điều khiển kim phun	81
<b>Hình 4.1:</b> Sơ đồ kết nối bộ thu hồi, bộ tích trữ, hệ thống kiểm soát năng lượng trên mô hình thử nghiệm	84
<b>Hình 4.2:</b> Năng lượng điện cảm có khả năng thu hồi theo tốc độ động cơ	85
<b>Hình 4.3:</b> Thực nghiệm khả năng đáp ứng của kim phun	86
<b>Hình 4.4:</b> Đặc tính dòng điện và điện áp của kim phun khi dùng ắc quy 12V	86
<b>Hình 4.5:</b> Đặc tính dòng điện và điện áp của kim phun khi dùng hệ siêu tụ 24V	87
<b>Hình 4.6:</b> Phân bố nhiệt độ của kim phun	88

<b>Hình 4.7:</b> Đặc tuyến nhiệt độ của kim phun trong quá trình thử nghiệm	89
<b>Hình 4.8:</b> Sản phẩm nghiên cứu được lắp trên ô tô thử nghiệm	90
<b>Hình 4.9:</b> Bảng thử công suất và hệ thống truy xuất dữ liệu	90
<b>Hình 4.10:</b> Màn hình hiển thị các thông số thử nghiệm	91
<b>Hình 4.11:</b> Ô tô thực nghiệm	91
<b>Hình 4.12:</b> Biểu đồ chu trình thử nghiệm ECE R15	93
<b>Hình 4.13:</b> Cập nhật các thông số kỹ thuật	94
<b>Hình 4.14:</b> Đặc tính so sánh công suất và momen động cơ với hệ thống đánh lửa nguyên thủy và hệ thống đánh lửa có lắp bộ thu hồi năng lượng điện cảm	95
<b>Hình 4.15:</b> Đặc tính so sánh công suất và momen động cơ với hệ thống đánh lửa có lắp bộ thu hồi năng lượng điện cảm trong 03 lần thử nghiệm	96
<b>Hình 4.16:</b> Đặc tính so sánh công suất và momen động cơ với hệ thống đánh lửa nguyên thủy	97

# Chương 1

## TỔNG QUAN

### 1.1 Lý do chọn đề tài

Nhằm 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 mất mát vô ích. Một số nghiên cứu về việc thu hồi năng lượng đã được thương mại hóa như công nghệ thu hồi năng lượng phanh i-ELoop (Intelligent Energy Loop) của hãng ô tô Mazda [1]. Công nghệ này giúp giảm khoảng 10% tiêu hao nhiên liệu của động cơ. Công nghệ phanh tái sinh, thu hồi năng lượng quán tính trên các xe Hybrid hiện cũng rất phổ biến [2]. Audi đã thiết kế hệ thống thu hồi năng lượng từ hệ thống treo dựa trên nguyên lý biến dao động của hệ thống treo ở dạng cơ năng thành năng lượng điện thu được vào bộ tích trữ [3]. Các nguồn năng lượng khác nhau được thu hồi dưới dạng điện năng đóng vai trò như một nguồn dự trữ năng lượng riêng để cung cấp cho một số hệ thống trên xe. Tùy thuộc vào thời gian thu hồi và mật độ tích trữ được, năng lượng sẽ được dùng để cung cấp cho các bộ chấp hành ở các hệ thống khác nhau.

Hệ thống điện ô tô nói chung và hệ thống điều khiển phun xăng, đánh lửa điện tử nói riêng giữ một vai trò quan trọng trên động cơ đánh lửa cưỡng bức. Năng lượng điện cảm là nguồn năng lượng được sinh ra trên cuộn dây do nhiều tác nhân khác nhau như: hiện tượng cảm ứng điện từ, hiện tượng hồ cảm, hiện tượng tự cảm... mang lại hữu ích lớn trên hệ thống điện: ứng dụng trong máy phát điện, động cơ điện, biến áp, bobine đánh lửa, kim phun nhiên liệu, nam châm điện.

Trên các thiết bị điện ô tô có cấu tạo cuộn dây đều sinh ra năng lượng điện cảm từ 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 này tồn tại phần lớn trên các bobine của hệ thống đánh lửa. 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 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 chỉ nhằm bảo vệ các thiết bị đóng ngắt nhưng không tận dụng được phần năng lượng tự cảm sinh ra trên cuộn dây [6].

Một trong những thiết bị giúp thu hồi nhanh và dự trữ năng lượng tái sinh rất hiệu quả chính là các siêu tụ. Hiện nay, siêu tụ điện đang từng bước được ứng dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực của ngành công nghiệp ô tô [4]. Trong những năm gần đây, các siêu tụ được ứng dụng ngày càng nhiều trên các phương tiện giao thông thân thiện với môi trường như xe điện, xe lai [5]. Ngay cả trên những ô tô truyền thống sử dụng động cơ đốt trong, siêu tụ đã và đang được sử dụng như một nguồn lưu trữ năng lượng nhằm đáp ứng những hệ thống hoạt động liên tục ở tần số cao nhờ đặc tính nạp-xả nhanh của tụ, điển hình như hệ thống phun nhiên liệu trực tiếp trên động cơ Diesel (CRDi) của Audi.

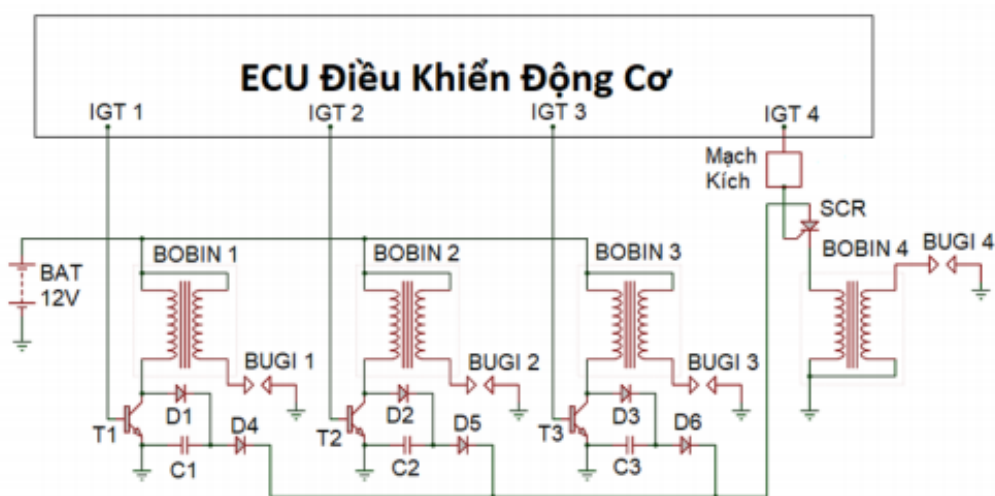
Mục tiêu của nghiên cứu là mô hình hóa quá trình sinh ra và thu hồi năng lượng tái sinh từ các cuộn cảm, tìm ra các giải pháp thiết thực để có thể tích trữ năng lượng vào hệ siêu tụ, tái sử dụng nguồn năng lượng điện cảm lãng phí nêu trên, cải thiện tính năng hoạt động kim phun là cần thiết, góp phần tiết kiệm nhiên liệu giảm thiểu ô nhiễm môi trường và tăng tuổi thọ các linh kiện bán dẫn trên xe.

Chính vì vậy, người nghiên cứu quyết định chọn và thực hiện đề tài: **“Nghiên cứu, ứng dụng năng lượng điện cảm trên ô tô”** .

## 1.2 Tổng quan kết quả nghiên cứu trong và ngoài nước

### 1.2.1. Một số nghiên cứu trong nước

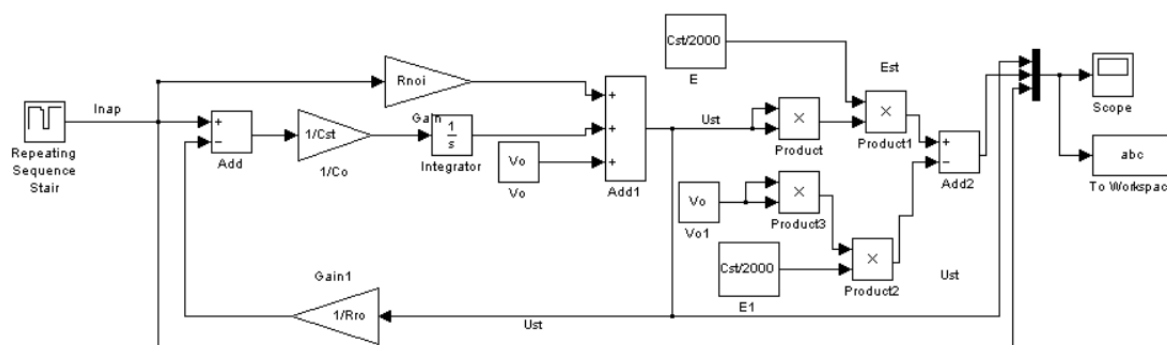
Những năm gần đây nhiều tác giả nghiên cứu chuyên sâu về suất điện động tự cảm, năng lượng điện cảm, siêu tụ điện. Trong đó có nhiều công trình tiêu biểu liên quan đến vấn đề mà người nghiên cứu đang quan tâm: Tác giả Đỗ Quốc Âm với công trình “Nghiên cứu, tính toán, chế tạo hệ thống đánh lửa hỗn hợp điện dung - điện cảm sử dụng bobine đơn” [6], đã nghiên cứu và chế tạo thành công mạch đánh lửa hỗn hợp điện dung - điện cảm có ứng dụng lập trình vi điều khiển lắp trên động cơ bốn xy-lanh khả năng tích lũy suất điện động tự cảm trên 03 bobine của 03 tổ máy vào 03 tụ điện  $1 \times 10^{-6} \text{F}$  và đáp ứng cho giai đoạn đánh lửa điện dung cho tổ máy còn lại. Tác giả khẳng định: sản phẩm chế tạo bảo đảm hoạt động tin cậy khi động cơ hoạt động ở các chế độ khác nhau và tiết kiệm được 25% năng lượng sử dụng cho hệ thống (năng lượng cho một lần đánh lửa/một chu kỳ làm việc của động cơ). Điểm nổi bật của công trình là đã xây dựng được mô hình toán học, xác định được các thông số của hệ thống các giai đoạn đánh lửa điện cảm, giai đoạn đánh lửa điện dung và các đánh giá các yếu tố ảnh hưởng đến đặc tính hệ thống như tổng trở của mạch sơ cấp hệ số tự cảm của cuộn sơ cấp bobine, dung lượng tụ điện qua các tính toán, mô phỏng trên Matlab.



**Hình 1.1:** Mô hình đánh lửa hỗn hợp điện dung - điện cảm [6]

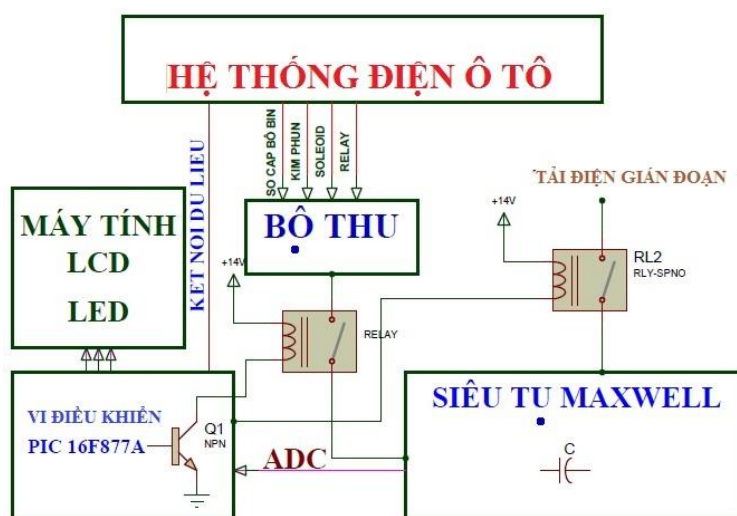
Tác giả Huỳnh Xuân Thành với đề tài “Thực nghiệm đánh giá khả năng tích lũy năng lượng trên hệ thống đánh lửa Hybrid” [7]. Động cơ 04 xylanh Toyota 1NZ-FE có hệ thống đánh lửa Hybrid được thử nghiệm trên băng thử công suất AVL Dyno 160 tại phòng thí nghiệm động cơ - Khoa Cơ khí Động lực - Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP. Hồ Chí Minh khi đặt độ mở bướm ga tại các chế độ 20%, 35%, 50%, 75%, 100%, nhằm đánh giá ảnh hưởng của hệ thống đánh lửa Hybrid đến đặc tính của động cơ như công suất, suất tiêu hao nhiên liệu và khí xả. Kết quả thực nghiệm cho thấy khác biệt về công suất có ích  $Ne = f(n)$ , moment có ích  $Me = f(n)$  không lớn ( $< 5\%$ ), các sai lệch về chất lượng khí thải ứng với chế độ làm việc không tải lần lượt là: CO: 2,29 và 2,63 (% thể tích); HC: 69,33 và 77,0 (ppm thể tích) - phù hợp với các qui định về khí thải Việt Nam.

Nguyễn Đỗ Minh Triết đã thực hiện nghiên cứu “Mô phỏng, thử nghiệm và đánh giá thiết bị thu hồi năng lượng điện cảm trên hệ thống điện ô tô” [8]. Tác giả đã ứng dụng Matlab Simulink mô phỏng năng lượng điện cảm của các suất điện động tự cảm tồn tại trên các bobine, kim phun, van điện từ, role trong quá trình chuyển mạch. Một mạch thu hồi năng lượng điện cảm kết hợp một bộ tích trữ năng lượng là bộ siêu tụ điện Maxwell (116F - 16,2V) được thử nghiệm trên động cơ 4S-FE ở dải tốc độ 800 đến 4000 vòng/phút. Các đặc tuyến về điện áp, dòng điện, suất điện động tự cảm được xác định bởi thiết bị đo dạng sóng Automotive Oscilloscopes 4425. Tác giả xác định rằng hiệu suất thu hồi năng lượng từ các xung tự cảm trong mô phỏng là  $11,81 \div 15,6\%$  và hiệu suất thu hồi trong quá trình thực nghiệm là  $10,42 \div 13,32\%$ .



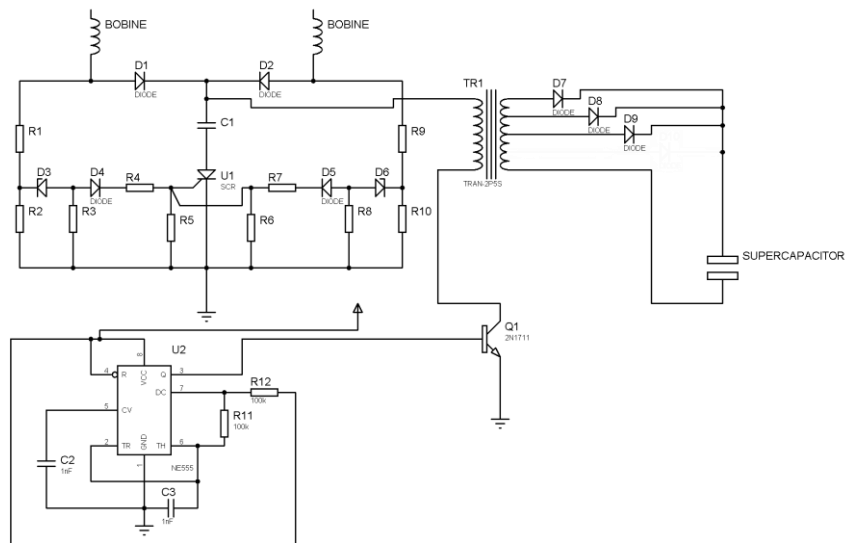
**Hình 1.2:** Mô hình mô phỏng các suất điện động tự cảm [8]

Tác giả Đỗ Văn Dũng và cộng sự [9] đã xây dựng một mô hình thu hồi và tích trữ năng lượng điện cảm của van điện từ, kim phun, bobine, role ứng dụng bộ cuộn cảm lõi xuyên và siêu tụ điện. Mạch điều khiển có trung tâm xử lý là vi điều khiển PIC 16F877A kết nối với máy tính để thu thập dữ liệu và tự động giám sát nguồn năng lượng ở các dải tốc độ động cơ từ 800 đến 4500 v/ph. Các thực nghiệm về điện áp nạp tụ, năng lượng điện cảm, thời gian nạp tụ được triển khai. Tác giả nhận định nguồn năng lượng thu được đủ cung ứng đến các phụ tải điện gián đoạn có công suất từ 15W đến 60W.



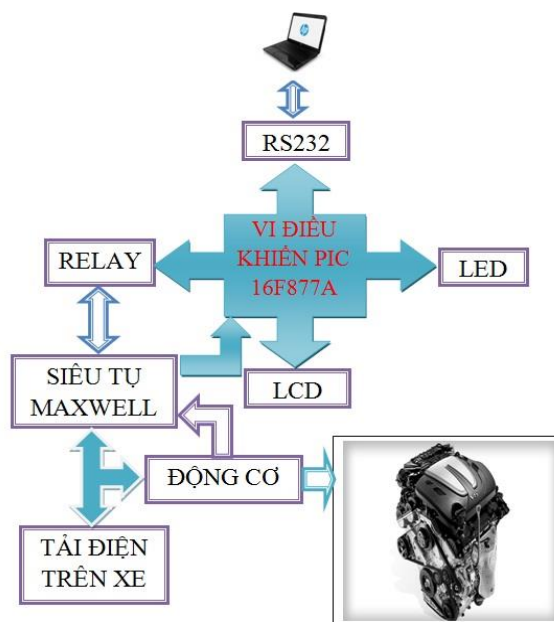
**Hình 1.3:** Sơ đồ kết nối bộ thu hồi, tích trữ với hệ thống điện ô tô [9]

Tác giả Lê Thanh Quang, Nguyễn Đức Triệu với công trình [10] đã áp dụng Matlab - GUI thực hiện phân tích, tính toán, mô phỏng, năng lượng tích lũy trên bobine và kim phun, năng lượng điện cảm có khả năng thu hồi. Trên cơ sở phân tích ưu và nhược điểm của các bộ thu hồi năng lượng kiểu cuộn cảm lõi xuyên, biến áp thông thường, biến áp xung, hai tác giả đã nghiên cứu, chế tạo mạch thu hồi năng lượng điện cảm dựa trên nguyên lý dùng biến áp xung có mạch điều khiển tần số cao tích hợp mạch dò áp, các diode Schottky cao tần, linh kiện SCR, tụ điện phân cực. Sản phẩm được lắp đặt và thử nghiệm trên động cơ 4S-FE hoạt động ổn định trong quá trình thu hồi năng lượng điện cảm.



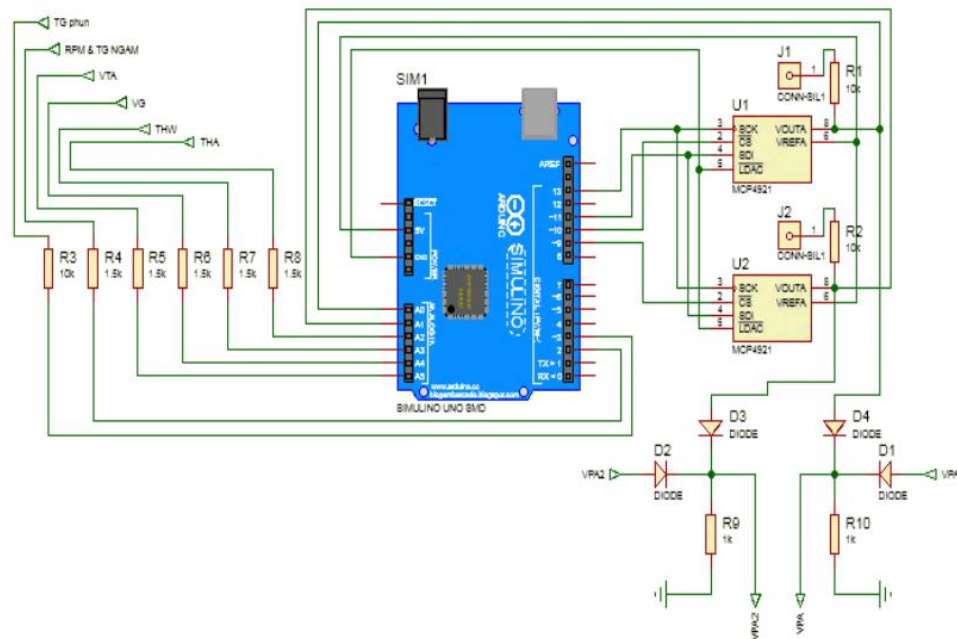
**Hình 1.4:** Sơ đồ nguyên lý bộ thu dùng biến áp xung có mạch điều khiển [10]

Nhóm tác giả Đặng Trí Trung, Nguyễn Đức Trọng [11] đã nghiên cứu chế tạo thiết bị thu hồi điện cảm tồn tại trên các bobine và kim phun sử dụng các cuộn lõi xuyên có giao tiếp máy tính thông qua phần mềm LabVIEW, thử nghiệm trên động cơ Daihatsu. Hiệu suất khi thu hồi năng lượng thừa trên cuộn sơ cấp bobine và cuộn dây kim phun ở số vòng quay 1000 vòng/phút đạt 6,79%. Các số liệu thu thập cũng được biểu diễn thông qua các đặc tuyến về điện áp nạp vào siêu tụ, thời gian nạp siêu tụ, năng lượng thu được trên siêu tụ.



**Hình 1.5:** Khối kết nối thiết bị thu hồi năng lượng điện cảm [11]

Lê Khánh Tân đã thực hiện “Nghiên cứu ứng dụng Arduino và LabVIEW trong thu thập dữ liệu động cơ ô tô” [12]. Tín hiệu của các cảm biến vị trí bàn đạp ga, cảm biến nhiệt độ khí nạp, cảm biến nhiệt độ nước làm mát, cảm biến khối lượng khí nạp, cảm biến vị trí bướm ga, cảm biến tốc độ động cơ, cảm biến vị trí pittông, thời gian phun nhiên liệu, thời gian đánh lửa... trên động cơ 1SZ-FE được thu thập về mạch Arduino và kết nối máy tính với lập trình LabVIEW có giao diện hiển thị các thông số như trên khi điều khiển động cơ có độ mở bướm ga từ 0% đến 100%.

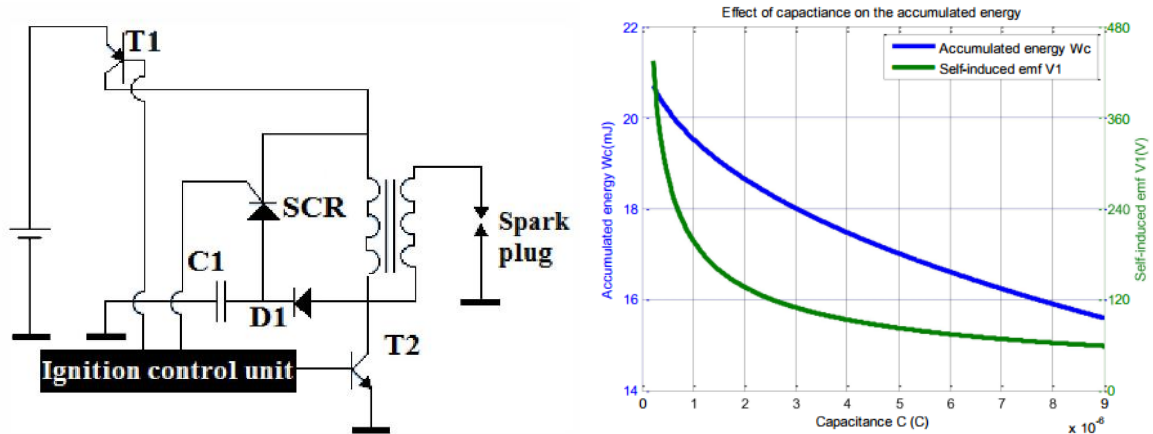


**Hình 1.6:** Thiết kế phần cứng thu thập dữ liệu [12]

### 1.2.2. Một số công bố quốc tế có liên quan vấn đề nghiên cứu

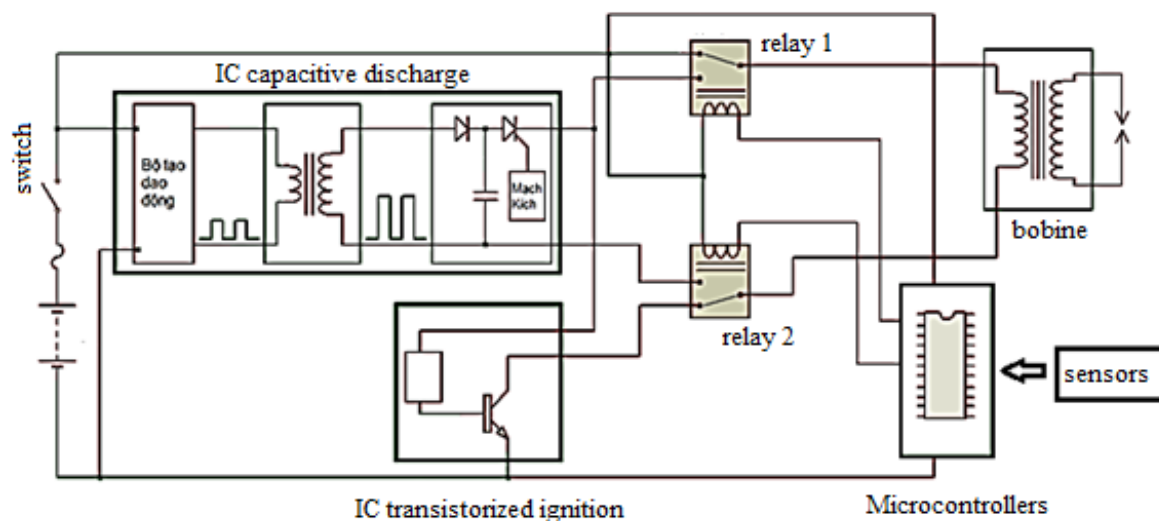
Do Van Dung, Nguyen Tan Ngoc cùng các cộng sự với công bố “Effects of Resistance, Capacitance and Self-Inductance on Accumulated Energy in the Hybrid Ignition System” [13], bài viết xác định mô hình vật lý, xây dựng phương trình toán của hệ thống đánh lửa Hybrid, phân tích ảnh hưởng của các thông số điện trở, điện dung và độ tự cảm đến năng lượng tích lũy trên hệ thống. Các kết quả mô phỏng trên Matlab và thực nghiệm trên máy đo dạng sóng Automotive Oscilloscopes 4425: xác định ảnh hưởng của các thông số trên đến năng lượng tích lũy, đồng thời là căn cứ để hiệu chỉnh phương trình toán của suất điện động tự cảm và cường độ dòng sơ cấp. Kết quả mô phỏng các thông số cho thấy dòng điện sơ cấp, suất điện động tự cảm và

tần số dao động liên tục bị ảnh hưởng bởi sự thay đổi điện trở, điện dung và độ tự cảm. Năng lượng điện cảm trong 03 lần tích lũy trên 03 cuộn sơ cấp được xác định lớn hơn năng lượng điện dung cần thiết cho quá trình đánh đảm bảo hệ thống đánh lửa Hybrid hoạt động ổn định.



**Hình 1.7:** Mô hình hệ thống đánh lửa Hybrid và ảnh hưởng thông số điện dung đến năng lượng điện cảm [13]

Le Khanh Diem và đồng nghiệp công bố bài báo khoa học “An application of Hybrid method for improving of ignition system in small power explosion engine” [14], trên cơ sở phân tích các quá trình hoạt động, thông số kỹ thuật, năng lượng đánh lửa điện dung trên động cơ cỡ nhỏ, xác định ưu và nhược điểm của hệ thống đánh lửa điện cảm, điện dung. Nhóm nghiên cứu đã thiết kế, chế tạo và thử nghiệm thành công mạch đánh lửa kết hợp điện dung và điện cảm có chức năng tự động lựa chọn tối ưu thời điểm và thời gian diễn ra đánh lửa điện dung (CDI) hoặc đánh lửa điện cảm (TI) để đáp ứng tối ưu các chế độ hoạt động của động cơ. Sản phẩm được lắp đặt và thử nghiệm thành công trên động cơ xe máy Honda Wave RS. Tác giả khẳng định sản phẩm nghiên cứu góp phần tiết kiệm được 55g/100km, nồng độ khí CO giảm 0,02% vol và nồng độ khí HC giảm 73 ppmvol.



**Hình 1.8:** Nguyên lý hệ thống đánh lửa kết hợp điện dung – điện cảm [14]

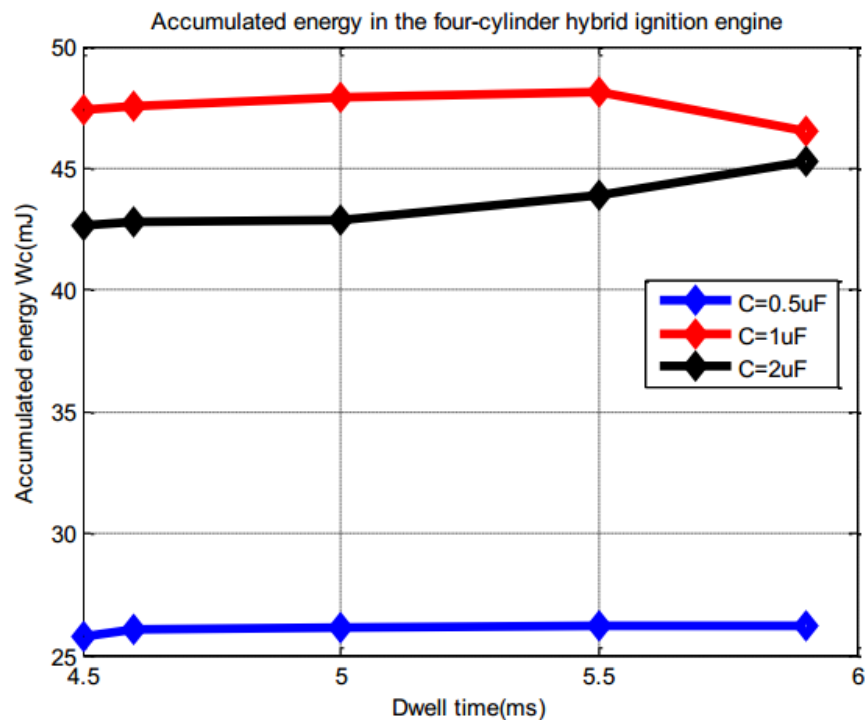


**Hình 1.9:** Sản phẩm mạch đánh lửa kết hợp điện dung – điện cảm [14]

Nguyen Tan Ngoc, Do Quoc Am, Do Van Dung và các công sự có công bố bài viết “Estimation of the Accumulated Energy in the Hybrid Ignition System” [15], bài viết phân tích khả năng tiết kiệm năng lượng trên mô hình hệ thống đánh lửa lai trên động cơ bốn xi lanh với hai giai đoạn đánh lửa riêng biệt: giai đoạn phóng điện tự cảm và giai đoạn phóng điện điện dung nhằm xác năng lượng tự cảm được tích lũy vào một tụ điện và tái sử dụng năng lượng này cho lần đánh lửa tiếp theo góp phần vừa giúp tiết kiệm năng lượng đánh lửa, nâng cao chất lượng quá trình đánh lửa vừa giúp bảo



vệ cho thiết bị đóng ngắt dòng sơ cấp khỏi các tác hại của suất điện động tự cảm. Các thông số cường độ dòng sơ cấp, suất điện động tự cảm, tần số dao động, năng lượng điện cảm được mô phỏng trên Matlab, sau đó tác giả tiến hành thực nghiệm các thông số nêu trên với máy hiện sóng PicoScope 4425. Kết quả so sánh đối chứng với sai lệch nhỏ hơn 10%. Thành tựu quan trọng của công trình là xác định thông số tối ưu của tụ điện đảm bảo tốt nhất hoạt động của hệ thống đánh lửa lai.



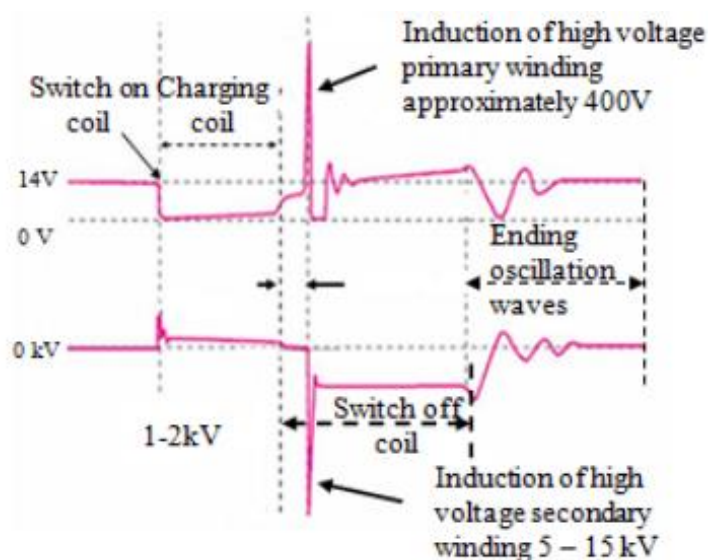
**Hình 1.10:** Năng lượng điện cảm tích lũy khi thử nghiệm trên các tụ điện [15]

### 1.2.3. Một số công trình ngoài nước nghiên cứu về năng lượng điện cảm, ứng dụng siêu tụ trong sử dụng năng lượng tái sinh

Fabio Chiara, Marcello Canova với bài báo “A review of energy consumption, management and recovery in automotive systems with considerations on future trends” [16], nhóm tác giả đề cập những thách thức của nguồn năng lượng hiện hữu, xu hướng năng lượng tương lai đối với ngành công nghiệp ô tô, các giải pháp kỹ thuật hiện đại nhất nhằm tiết kiệm nhiên liệu tiêu thụ. Bài viết trình bày các công nghệ tiên tiến trong quản lý và tái sử dụng năng lượng từ hệ thống phanh, hệ thống treo trên ô

tô. Bài viết định hướng các cơ hội, tiềm năng và thách thức trong việc cải thiện tính kinh tế nhiên liệu thông qua việc giám sát, kiểm soát, thu hồi năng lượng và đề xuất các giải pháp kỹ thuật thông minh để sử dụng các nguồn năng lượng tái sinh hiệu quả và được công nhận.

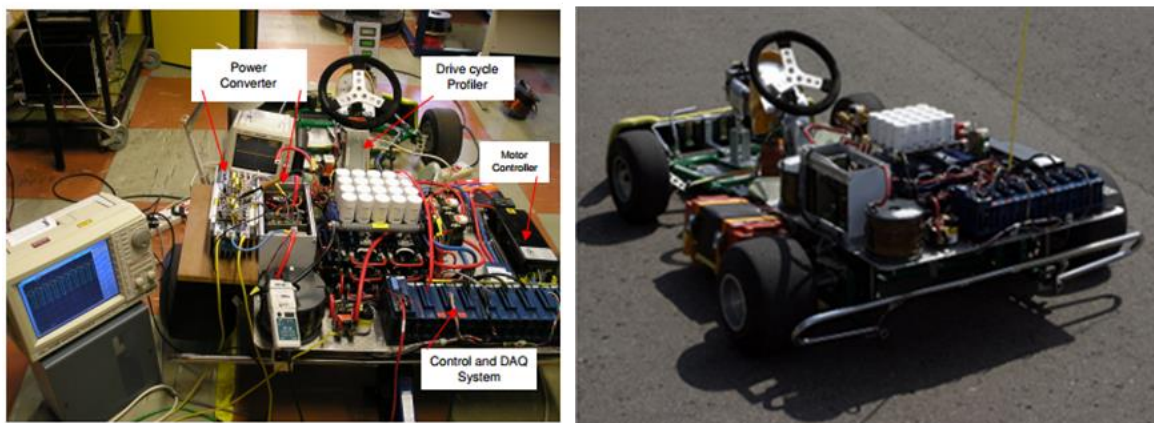
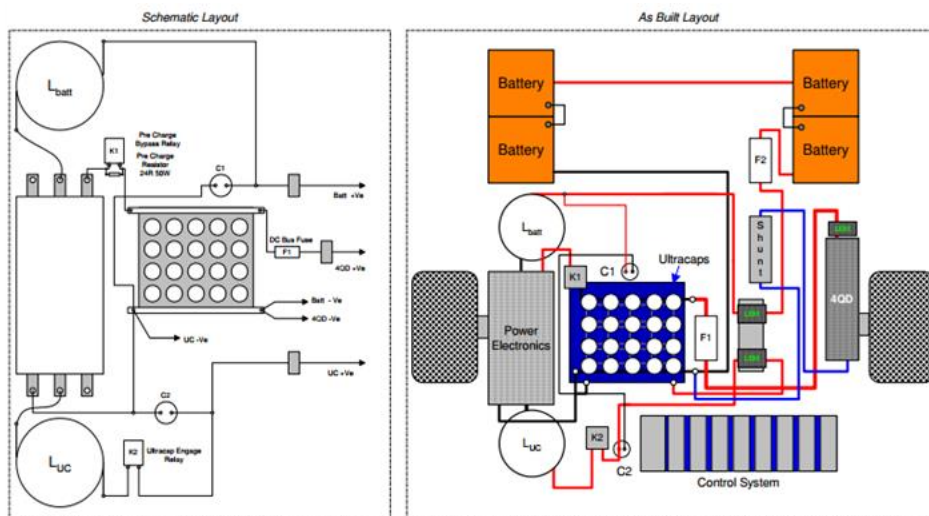
Nhóm tác giả Milan ŠEBŮK, Miroslav GUTTEN [17] phân tích mạch tương đương, trình bày các đặc tính đặc trưng, thiết lập phương trình cân bằng năng lượng, phân tích các tín hiệu đầu vào, các thông số tác động trong điều khiển lập trình của hệ thống đánh lửa không có bộ chia điện, sau đó mô hình hóa, phân tích dạng sóng điện áp và xác định năng lượng điện cảm trên cuộn sơ cấp và thứ cấp của hệ thống đánh lửa bobine đôi. Tác giả cũng đã phân tích các tín hiệu, lập trình và mô phỏng dạng sóng sơ cấp và thứ cấp trên LabVIEW.



**Hình 1.11:** Phân tích dạng sóng của cuộn sơ cấp và cuộn thứ cấp của bobine [17]

Manoj Embrandiri [18] đã phân tích vấn đề kết hợp song song và quản lý hai nguồn năng lượng ắc quy – siêu tụ điện trên xe điện E-KANCIL, một loại xe chuyên dụng trong thành phố phổ biến tại Malaysia. Động cơ đốt trong 660cc được thay thế bằng động cơ điện không chổi than có công suất 8 – 20KW. Một bộ ắc quy 48V - 225Ah, kết hợp một hệ siêu tụ điện (165F - 48V) kết nối song song cùng với mạch điều khiển công suất nhằm cải thiện các tiêu chí như gia tốc của xe, tuổi thọ ắc quy. Một hệ

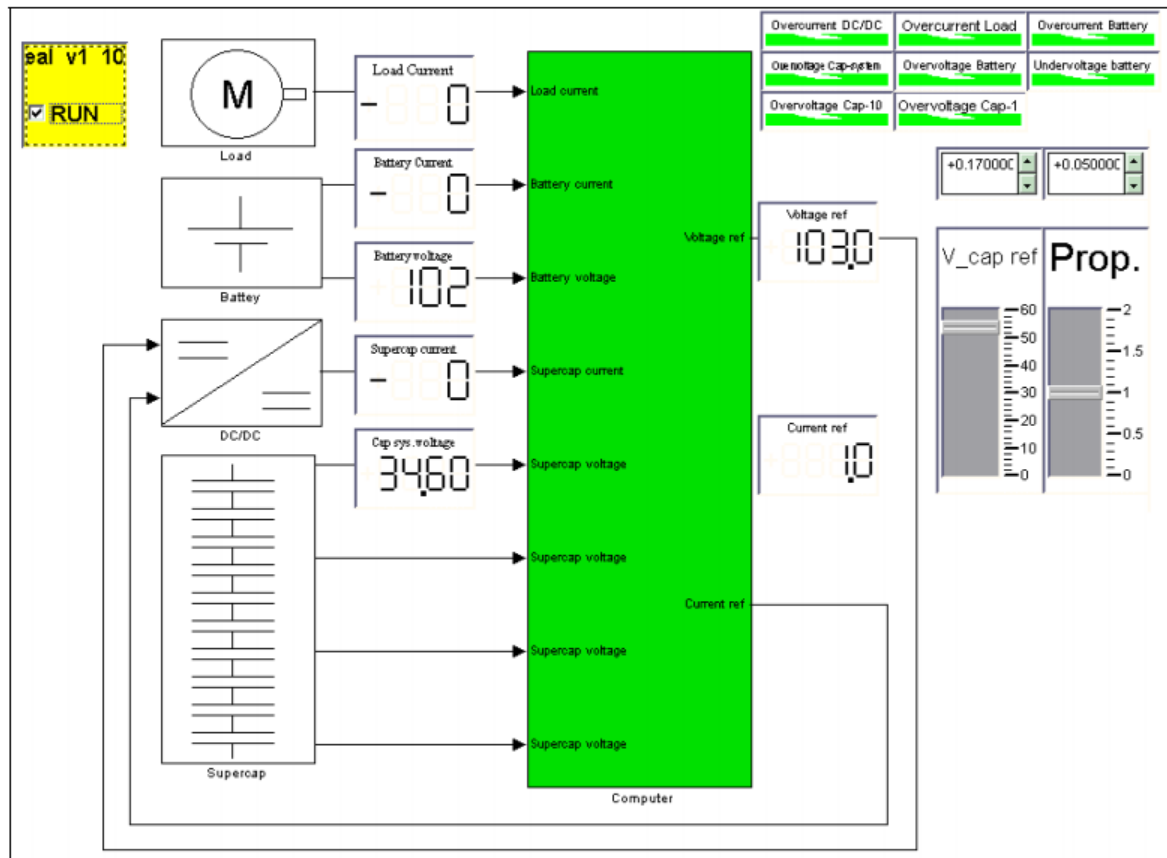
thống thu thập dữ liệu được thiết lập nhằm giám sát hoạt động của xe khi di chuyển trên đường. Phần mềm Matlab cập nhật thông tin và so sánh hiệu suất của xe điện khi có và không có hệ siêu tụ điện. Kết quả xác định tuổi thọ của ắc quy tăng lên cường nhờ vào giảm dòng điện cực đại 49%. Công suất đỉnh của toàn bộ nguồn hybrid tăng từ 9,5KW lên 12,5KW. Tác giả khẳng định rằng bằng cách tận dụng khả năng đệm công suất của hệ siêu tụ điện cùng một hệ thống quản lý năng lượng hiệu quả có khả năng tiết kiệm 23,6% năng lượng toàn hệ thống.



**Hình 1.12:** Mô hình thiết kế, nghiên cứu kết hợp nguồn năng lượng kép ắc quy–siêu tụ trên xe điện E-KANCIL [18]

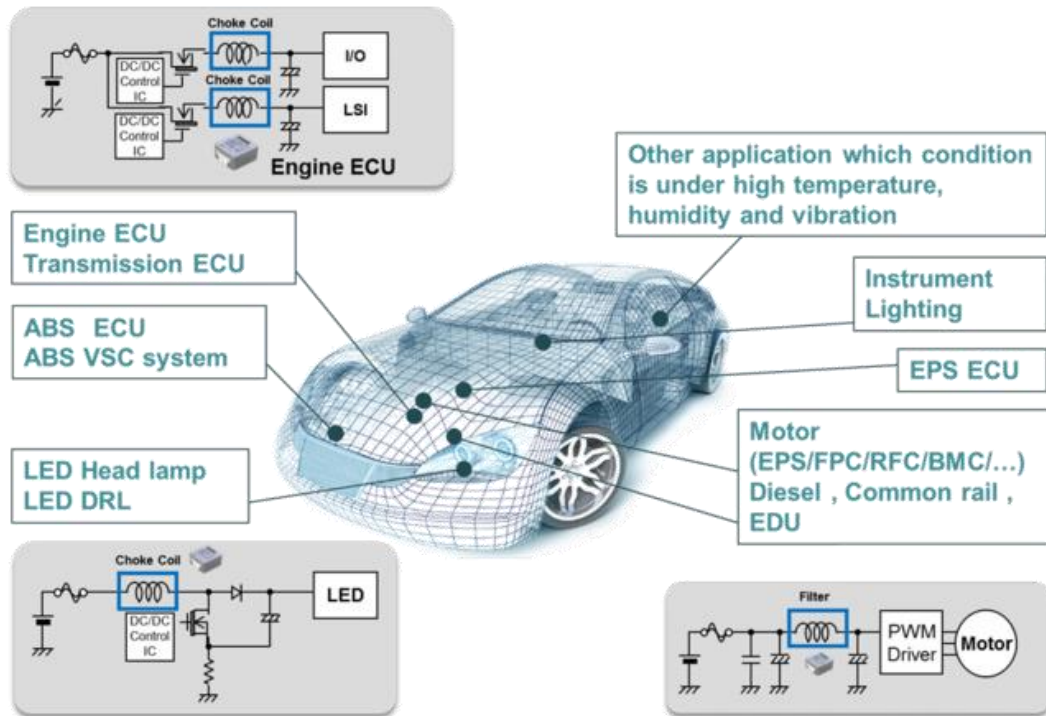
Tobias Andersson, Jens Groot [19] nghiên cứu một hệ thống lưu trữ năng lượng tái sinh trên xe hybrid dùng ắc quy và hệ siêu tụ điện. Công trình đã mô hình hóa hệ siêu

tụ, ắc quy, bộ chuyển đổi DC/DC, tải điện, kể đến thu thập và hiển thị các thông số kỹ thuật đặc trưng trên Matlab Simulink (hình 1.13). Sau đó thi công, thử nghiệm bộ chuyển đổi DC/DC kết hợp cùng hệ siêu tụ cho xe lai điện tại phòng thí nghiệm. Kết quả nghiên cứu cho thấy tiềm năng to lớn của việc sử dụng hệ siêu tụ điện trong việc tích lũy năng lượng tái sinh, góp phần tiết kiệm nhiên liệu, giảm khối lượng và tăng tuổi thọ của ắc quy trên xe lai điện.



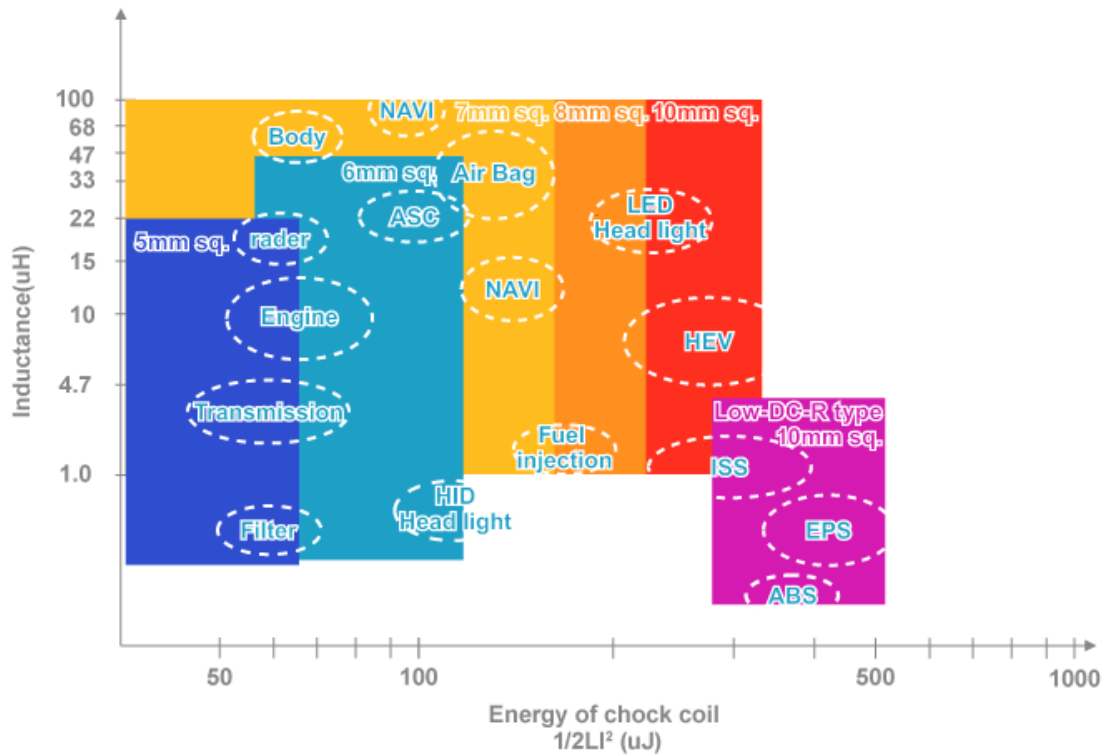
**Hình 1.13:** Giao diện hệ thống điều khiển và đo lường [19]

Hiện nay, ô tô điện và ô tô lai điện có bước phát triển vượt bậc và yêu cầu các linh kiện điện tử, thiết bị điện phải đảm bảo tiêu chuẩn khắt khe của Hội đồng điện tử ô tô (AEC). Panasonic, một trong những nhà sản xuất điện tử hàng đầu Nhật Bản [20] đã áp dụng các công nghệ tiên tiến và sản xuất các bộ phận có cấu tạo từ cuộn cảm có độ bền vượt trội và độ tin cậy cao được ứng dụng trên nhiều hệ thống của ô tô hiện đại như hình 1.14.



**Hình 1.14:** Ứng dụng cuộn cảm trên hệ thống điện ô tô hiện đại [20]

Tác giả Maurizio Di Paolo Emilio [20] khẳng định các sản phẩm của hãng Kemet Electronics về cuộn cảm với vật liệu mới ứng dụng ô tô hiện đại có cấu trúc hỗn hợp đạt tiêu chuẩn AEC-Q200 đáp ứng các yêu cầu nghiêm ngặt về chất lượng độ tin cậy. Các sản phẩm có khả năng chuyển đổi năng lượng hiệu quả với tổn thất truyền tải tối thiểu, cho phép sử dụng trong các nguồn cung cấp điện chuyển mạch DC/DC với số lượng ngày càng tăng các bộ điều khiển điện tử (ECU) trong nhiều hệ thống khác nhau của ô tô. Các ứng dụng cuộn cảm cụ thể tại đèn pha (LED headlights), bảng đồng hồ trung tâm (Meter Cluster Panels), hệ thống hiển thị kính lái (HUD), điều khiển bơm nước (EWP), bơm dầu điện tử (EOP), và tay lái trợ lực điện (EPS) ... như trên hình 1.14. Trong đó cuộn cảm là thành phần chính yếu của bộ nguồn trên mạch điện điều khiển công suất.

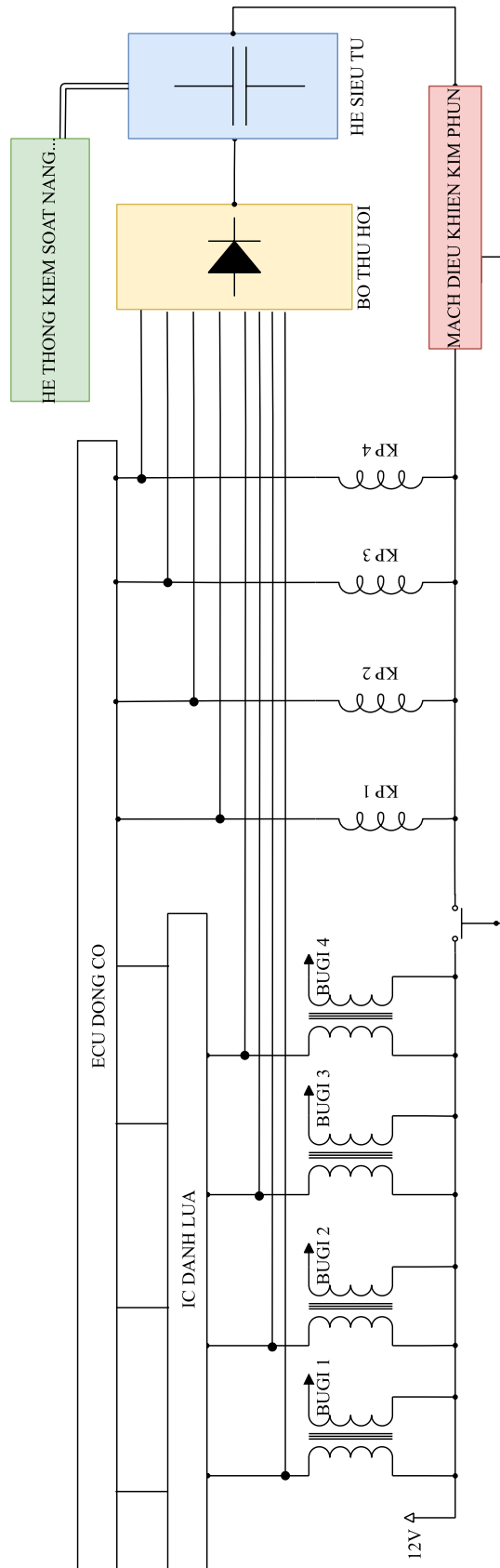


**Hình 1.15:** Cuộn cảm trên các hệ thống của ô tô [20]

Hình 1.15 cho thấy các cuộn cảm được ứng dụng rộng rãi trên các hệ thống khác trên ô tô như: điện thân xe (Body), định vị (Navi), túi khí (AirBag) cân bằng điện tử (ASC), hộp số tự động (Transmission), đèn pha (HID headlight), bộ phận chuyển đổi điện (HEV), lọc nhiễu (Filter), phanh chống bó cứng (ABS), phát và thu sóng (Rader). Người nghiên cứu nhận định rằng số lượng cuộn cảm trên ô tô rất nhiều, hoạt động với tần suất cao và nguồn năng lượng điện cảm tái sinh tiềm tàng cũng tăng theo tương ứng.

### 1.3. Đề xuất phương án nghiên cứu

Qua phân tích các nghiên cứu về suất điện động tự cảm, năng lượng điện cảm, các công trình nghiên cứu liên quan đa phần đều ứng dụng năng lượng điện cảm trên hệ thống đánh lửa trên ô tô. Trong khuôn khổ đề tài, người nghiên cứu đề xuất phương án: thu hồi năng lượng điện cảm chủ yếu trên bobine và kim phun nhằm cải thiện độ nhạy kim phun với mô hình lý thuyết như hình 1.16.



**Hình 1.16:** Mô hình lý thuyết hệ thống thu hồi và ứng dụng năng lượng điện cảm

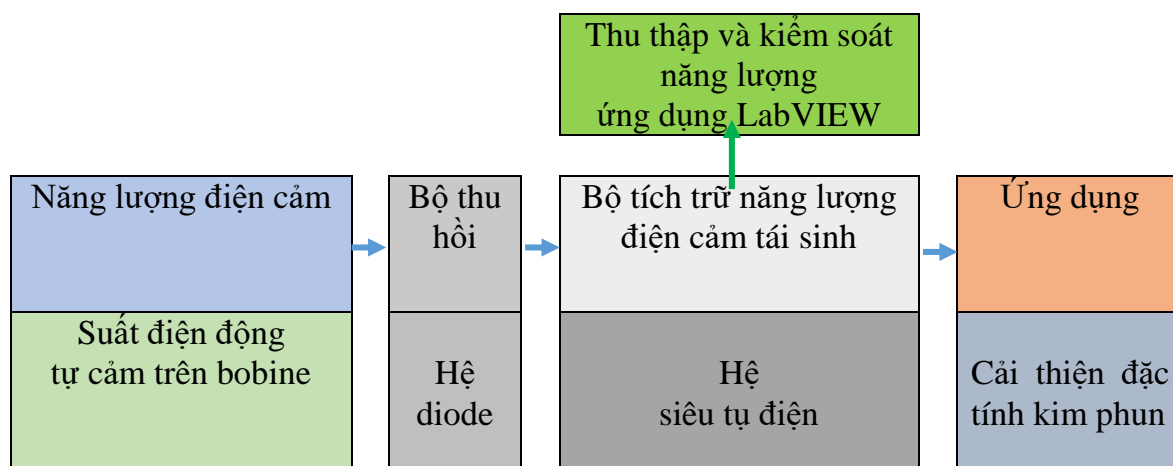
Khi ECU điều khiển quá trình đánh lửa và phun xăng, nguồn năng lượng điện cảm “thừa” trên các bobine và kim phun sẽ được thu hồi qua bộ thu hồi (hệ các diode) và tích vào bộ trữ năng lượng (hệ siêu tụ điện). Nguồn năng lượng tái sinh này được kiểm soát và lập trình thông minh trong quá trình ứng dụng cải thiện độ nhạy kim phun.

#### 1.4 Mục tiêu nghiên cứu

Nghiên cứu thu hồi nguồn năng lượng điện cảm trên ô tô và sử dụng cho việc cải thiện tính năng hoạt động kim phun xăng.

#### 1.5 Nội dung nghiên cứu

Tổng quan các yếu tố cần nghiên cứu như lưu đồ hình 1.17.



**Hình 1.17:** Tổng quan các yếu tố cần nghiên cứu

Để hiện thực hóa mục tiêu và tổng quan các yếu tố cần nghiên cứu đề ra, những nội dung sẽ được triển khai:

- Tổng quan về năng lượng điện cảm, các công trình nghiên cứu liên quan.
- Cơ sở lý thuyết về cuộn cảm, suất điện động tự cảm, năng lượng điện cảm.
- Phân tích mô hình tính toán các quá trình hoạt động trên cuộn cảm.
- Phân tích, mô hình hóa hệ siêu tụ điện và hệ siêu tụ kết nối phụ tải điện.
- Tính toán, mô phỏng năng lượng điện cảm.
- Phân tích quá trình hoạt động của kim phun.
- Khảo sát đặc tuyến các suất điện động tự cảm.
- Thiết kế, thi công mô hình thực nghiệm.



- Thiết kế, thi công hệ thống thu thập dữ liệu, kiểm soát năng lượng điện cảm.
- Phân tích, lựa chọn bộ lưu trữ.
- Thiết kế, thi công mạch thu hồi năng lượng và điều khiển đáp ứng kim phun.
- Thực nghiệm, đánh giá trên sản phẩm nghiên cứu mô hình thử nghiệm và trên ô tô 07 chỗ.

### **1.6 Đối tượng nghiên cứu.**

Hệ thống điện điều khiển động cơ 1TR-FE, năng lượng điện cảm trên ô tô 07 chỗ.

### **1.7 Phạm vi nghiên cứu**

Đề tài thực hiện nghiên cứu năng lượng điện cảm tồn tại trên hệ thống điện động cơ 1TR-FE lắp trên ô tô 07 chỗ, thông qua các khảo sát và thí nghiệm trên mô hình thực nghiệm nhằm nghiên cứu chuyên sâu về năng lượng điện cảm. Phạm vi nghiên cứu giới hạn trong việc trình bày kết quả thi công dưới dạng sản phẩm hoàn thiện, không đề cập đến việc tính toán kết cấu cũng như sức bền cho từng chi tiết trên mô hình thực nghiệm.

### **1.8 Phương pháp nghiên cứu**

- Phương pháp phân tích và tổng hợp lý thuyết:
  - + Đặc tính động cơ, kỹ thuật điều khiển phun xăng điện tử.
  - + Cấu tạo, nguyên lý làm việc của một số cảm biến.
  - + Ứng dụng Matlab, LabVIEW, lập trình vi điều khiển.
- Phương pháp phân tích tổng kết kinh nghiệm:
  - + Phân tích những thành tựu đã nghiên cứu về năng lượng điện cảm.
  - + Đúc kết những kết quả cần tiếp tục kế thừa.
- Phương pháp cách thức hóa:
  - + Xây dựng đối tượng gần giống đối tượng đang được quan tâm.
  - + Tái hiện lại đối tượng một cách có hệ thống.
- Phương pháp thực nghiệm khoa học:
  - + Xây dựng mô hình thực nghiệm.
  - + Thiết kế, chế tạo các vi mạch.
  - + Thực nghiệm, thu thập, xử lý số liệu như: kiểm chứng kết quả thực hiện,

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

Thông qua các nội dung nghiên cứu, tính mới của công trình được thể hiện theo các điểm nổi bật sau:

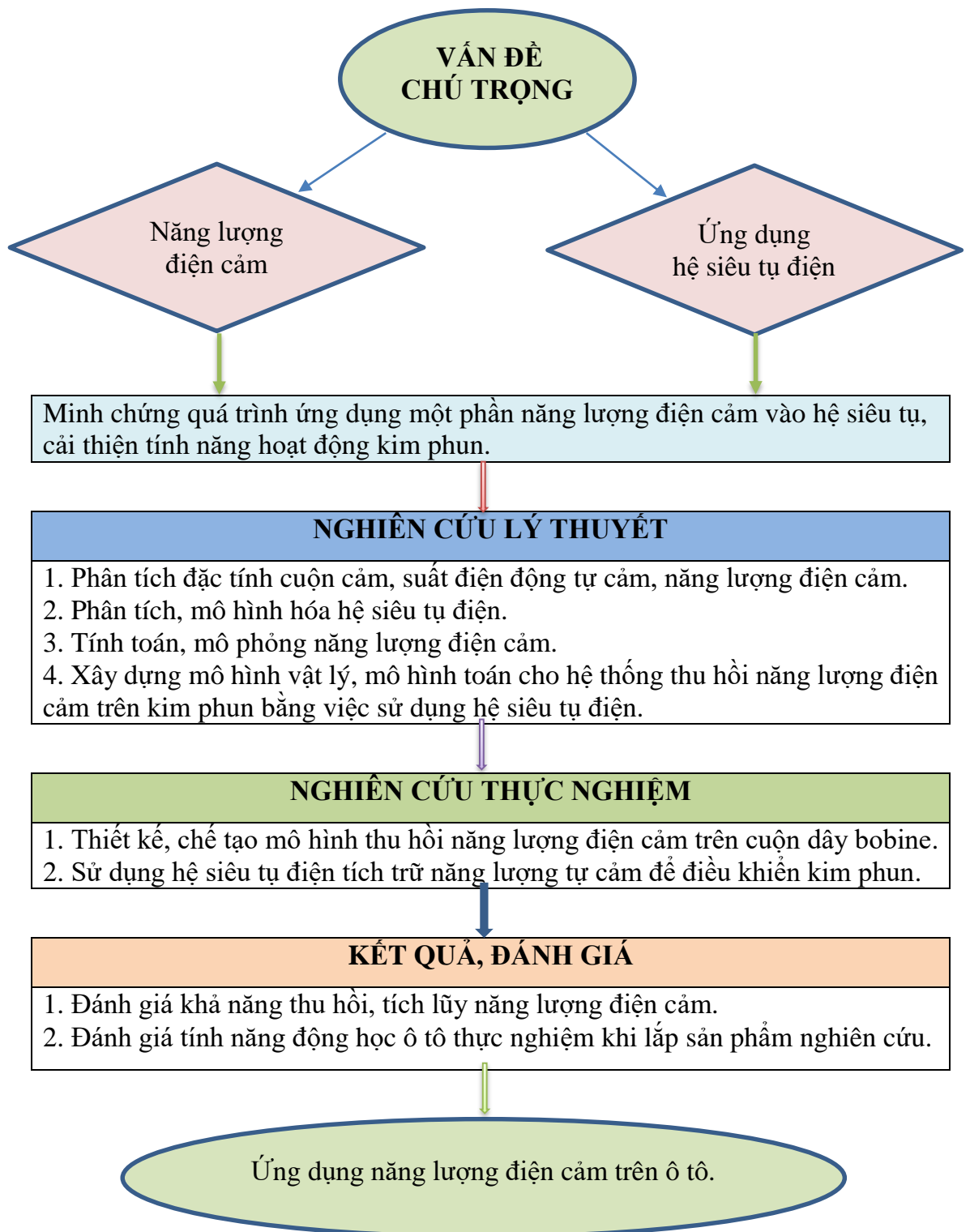
- Xây dựng mô hình vật lý và mô hình toán cho hệ thống thu hồi năng lượng điện cảm trên kim phun bằng việc sử dụng hệ siêu tụ điện.
- Thiết kế, chế tạo mô hình thu hồi năng lượng điện cảm trên bobine và kim phun.
- Sử dụng hệ siêu tụ điện tích trữ năng lượng điện cảm để điều khiển kim phun.

## **1.10 Kế hoạch thực hiện**

- 12/2014 - 05/2015: Nghiên cứu tổng quan, cơ sở lý thuyết về năng lượng điện cảm.
- 6/2015 - 12/2016: Tính toán, xây dựng mô hình toán, mô phỏng, đánh giá năng lượng điện cảm.
- 01/2017 - 02/2018: Thiết kế, thi công mô hình thực nghiệm, sản phẩm ứng dụng.
- 03/2018 - 10/2019: Phân tích đặc tính kim phun và độ nhạy kim phun.
- 11/2019 - 05/2020: Thử nghiệm, đánh giá sản phẩm nghiên cứu.
- 06/2020 - 02/2021: Phân tích kết quả, kết luận và trình bày thuyết minh.

## 1.11 Lưu đồ nghiên cứu

**Bảng 1.1:** Lưu đồ nghiên cứu



## 1.12 Bố cục của luận án

Luận án bao gồm 99 trang (không kể phần tài liệu tham khảo và phụ lục), 89 hình và 10 bảng biểu. Ngoài phần mở đầu, luận án gồm 5 chương:

- **Chương 1:** Trình bày tổng quan các vấn đề nghiên cứu về hệ thống năng lượng điện cảm trên ô tô, phân tích các công trình trong và ngoài nước có đề cập đến hướng nghiên cứu đang được chú trọng. Trên cơ sở đó, người nghiên cứu đề xuất mục tiêu và nội dung nghiên cứu.

- **Chương 2:** Phân tích cơ sở lý thuyết về cuộn cảm, năng lượng điện cảm xây dựng mô hình toán, tính toán và mô phỏng năng lượng tích lũy trên bobine, kim phun. Cơ sở lý thuyết hệ siêu tụ, kết nối phụ tải điện, cải thiện độ nhạy kim phun.

- **Chương 3:** Trình bày quá trình thiết kế hệ thống thu hồi và tích trữ năng lượng điện cảm thông qua việc khảo sát dạng sóng suất điện động tự cảm thực tế, thi công mô hình thực nghiệm, thiết kế hệ thống thu thập dữ liệu, thu hồi, tích trữ năng lượng, thi công mạch điều khiển trên kim phun sử dụng năng lượng điện cảm tái sinh.

- **Chương 4:** Thực nghiệm và đánh giá qua 02 giai đoạn. Giai đoạn 1: thử nghiệm thu thập dữ liệu và tính toán năng lượng thu hồi ở các chế độ vận hành khác nhau trên mô hình thực nghiệm. Giai đoạn 2: thử nghiệm sản phẩm trong trên ô tô 07 chỗ trong phòng thử nghiệm theo chu trình ECE R15, từ đó đánh giá hiệu quả và so sánh kết quả thu được với nghiên cứu lý thuyết và các nghiên cứu khác.

- **Chương 5:** Khẳng định các kết quả đạt được trong quá trình nghiên cứu và kiến nghị hướng phát triển.

## **Chương 2**

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

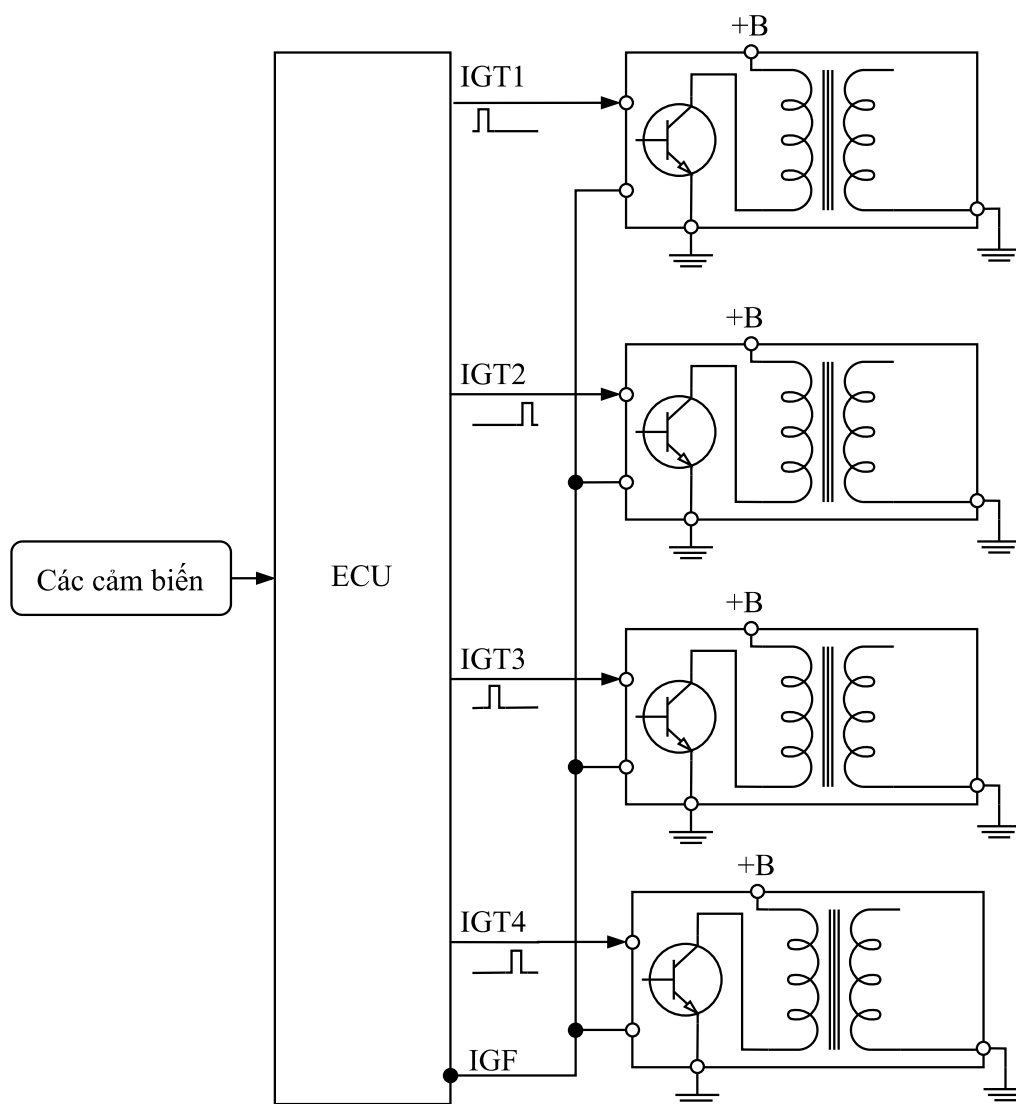
### **2.1 Các cơ cấu chấp hành tích trữ năng lượng điện cảm**

Để điều khiển ô tô thực hiện các chức năng theo yêu cầu của người lái xe, ECU (Electronic Control Unit) tác động lên các cơ cấu chấp hành chuyển đổi năng lượng điện thành cơ năng hay nhiệt năng. Các cơ cấu chấp hành trên ô tô rất đa dạng: bobine đánh lửa, kim phun nhiên liệu, motor nâng kính - khóa cửa, dây nhiệt sưởi kính, đèn chiếu sáng, role.... Trong đó, bobine đánh lửa và kim phun nhiên liệu là hai cơ cấu chấp hành hoạt động liên tục trong suốt quá trình vận hành ô tô. Đặc điểm chung của bobine và kim phun là đều sử dụng các cuộn dây có cảm kháng tương đối lớn, sinh ra suất điện động tự cảm có biên độ cao trong quá trình chuyển mạch.

Trong hệ thống điều khiển điện tử ô tô, ECU đóng vai trò trung tâm trong quá trình điều khiển, tiếp nhận và phân tích các tín hiệu đầu vào từ các cảm biến, xử lý và điều khiển đầu ra là các cơ cấu chấp hành dạng cuộn dây như bobine đánh lửa, kim phun, van điều khiển không tải, role.... Hình 2.1 trình bày sơ đồ điều khiển của cụm bobine trong hệ thống đánh lửa trực tiếp. Bobine gồm hai cuộn dây, một cuộn sơ cấp và một cuộn thứ cấp. Khi cuộn sơ cấp chuyển mạch sẽ xuất hiện điện áp cao trên cuộn thứ cấp, được cấp đến bugi để thực hiện quá trình đánh lửa trong động cơ.

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. ECU xác định thời điểm đánh lửa dựa vào tín hiệu vị trí pít tông, tín hiệu tốc độ động cơ và tín hiệu từ các cảm biến khác. Mỗi cụm bobine đơn gồm 4 cực: 12V, GND, IGT và IGF, trong đó 02 cực 12V, GND là nguồn dương và âm. Khi tín hiệu IGT từ ECU truyền đến các IC đánh lửa, dòng điện đi qua cuộn sơ cấp của bobine. Khi ECU ngắt tín hiệu IGT, dòng điện sơ cấp bị ngắt, trên cuộn thứ cấp sẽ xuất hiện điện áp cao được dẫn đến xylanh để

thực hiện quá trình đánh lửa trong động cơ, đồng thời trên cuộn sơ cấp cũng xuất hiện các xung điện động 200 đến 500V. ECU phân phối điện cao áp đến các xy lanh bằng cách gửi từng tín hiệu IGT1, IGT2, IGT3, IGT4 đến các IC đánh lửa theo trình tự vào thời điểm tối ưu. Đồng thời tín hiệu IGF được phản hồi ngược lại ECU xác định tình trạng đánh lửa nhằm đảm bảo an toàn trong vận hành động cơ.

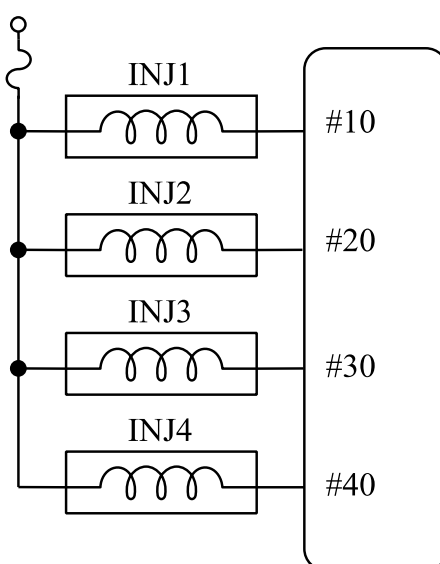


**Hình 2.1:** Nguyên lý điều khiển các bobine đánh lửa

Sử dụng nguyên mẫu khối như hình 2.1 để thiết kế phương án thu hồi năng lượng sẽ bị hạn chế. Vì vậy, 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. Tác động này không làm thay đổi tính tổng quát của hệ thống đánh lửa và không làm ảnh hưởng đến quá trình hoạt động của động cơ.

Hình 2.2 mô tả mạch điện của 04 kim phun INJ1, INJ2, INJ3, INJ4. Mỗi kim phun được cấu tạo cơ bản gồm cuộn dây có 2 cực, trong đó một cực nối đến nguồn dương 12V, một cực còn lại được điều khiển đóng, ngắt mass tại các chân #10, #20, #30, #40 bởi các transistor công suất trong ECU. Mỗi lần các transistor công suất ngắt, tại các chân #10, #20, #30, #40 sẽ xuất hiện các suất điện động tự cảm khoảng 70 V do hiện tượng tự cảm.



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

Các van điện từ và các cuộn dây trong rơle có cấu tạo cơ bản từ các cuộn cảm cũng có mạch điện điều khiển tương đương mạch điện kim phun hình 2.2.

Nhận định: bobine đánh lửa, kim phun xăng, van điện từ, rơle có cấu tạo cơ bản là một cuộn cảm. Một cực cuộn cảm được nối đến dương nguồn, cực còn lại được điều khiển bởi các transistor công suất. Mỗi khi transistor công suất ngắt, tại các cực âm của bobine và kim phun luôn xuất hiện các suất điện động tự cảm từ 70 đến 500V. Tần số xuất hiện các xung tự cảm này là rất lớn, tỉ lệ thuận với số xy lanh và tốc độ động cơ. Các điện áp tự cảm xung cao này lan truyền trên đường dây, đi vào các hộp điều khiển, gây hư hại các linh kiện điện tử và sinh nhiệt.

## 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. Ứng với cùng một dòng điện biến thiên, cuộn dây có hệ số tự cảm càng lớn thì cường độ từ trường sinh ra càng lớn, năng lượng từ trường dự trữ trong cuộn dây càng lớn.

### 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.

$$Z_L = 2\pi fL \quad (2.1)[21]$$

Trong đó:

$Z_L$ : điện trở 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 thay đổi 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.

Đặc điểm của dòng điện cảm ứng:

- Sinh ra do từ thông đi qua mạch kín biến đổi theo thời gian.
- Chỉ tồn tại trong thời gian từ thông gửi qua mạch kín biến đổi.
- Cường độ tỉ lệ thuận với tốc độ biến đổi của từ thông.
- Có chiều sao cho từ trường do nó sinh ra có tác dụng chống lại nguyên nhân sinh ra nó (định luật Lenz).



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

Suất điện động tự cảm có giá trị tỉ lệ với hệ số tự cảm, biến thiên của dòng cảm ứng.

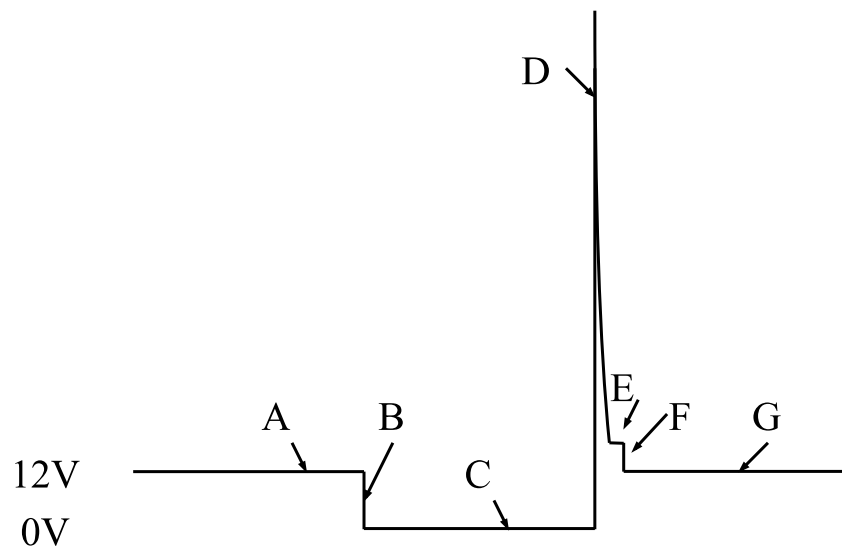
$$\xi_{tc} = - \frac{d\Phi}{dt} = - \frac{d(i)}{dt} = -L \frac{di}{dt} \quad (2.2) [21]$$

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

### 2.2.6 Dạng xung suất điện động tự cảm

Các bộ chấp hành trên ô tô có cấu tạo từ cuộn cảm đều có chung một đặc điểm, đó là sau mỗi quá trình chuyển mạch đều xuất hiện các xung điện áp cao. Tuy các xung này tồn tại với thời gian rất ngắn nhưng biên độ rất cao, lan truyền trong hệ thống điện dễ gây hư hỏng cho các bộ chấp hành.

Hình 2.3 biểu diễn các giai đoạn hình thành xung điện áp tự cảm với mức điện áp hoạt động là 12V. Quá trình biểu diễn được xác định qua 06 giai đoạn từ A đến G.



**Hình 2.3:** Các giai đoạn biểu thị 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.

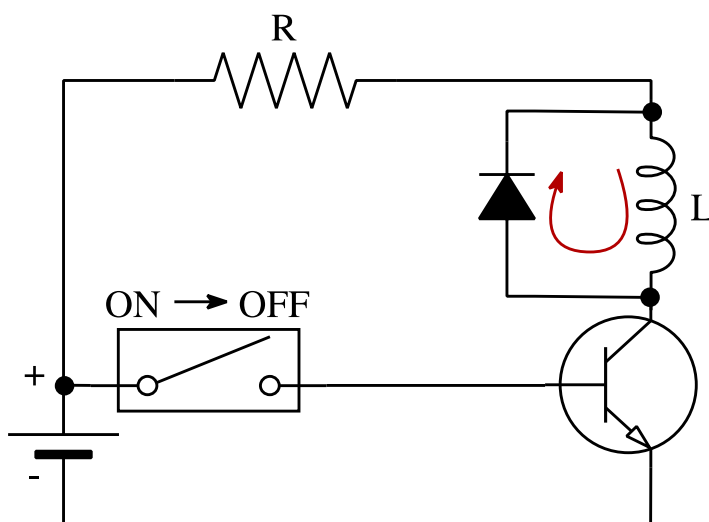
Trong đó đoạn D có biên độ từ 70V đến 500V phụ thuộc chủ yếu vào tốc độ biến thiên của từ thông và số vòng quấn của cuộn cảm.

Đề tài là tập trung nghiên cứu giai đoạn D với việc thu hồi dạng năng lượng này dưới dạng năng lượng điện cảm. Vì vậy, trước khi thực hiện thu hồi năng lượng, mô hình toán của cuộn cảm được xây dựng nhằm xác định tính khả thi của toàn hệ thống.

### 2.2.7 Giải pháp hạn chế tác động của suất điện động tự cảm

Suất điện động tự cảm có chiều ngược với chiều điện áp hoạt động hiện hành, có biên độ cao, gây ảnh hưởng xấu đến các linh kiện bán dẫn, bộ chấp hành. Để khắc phục vấn đề này, một số linh kiện thụ động như diode, tụ điện, điện trở được bố trí song song với cuộn cảm [22] như hình 2.3, hình 2.5 và hình 2.6.

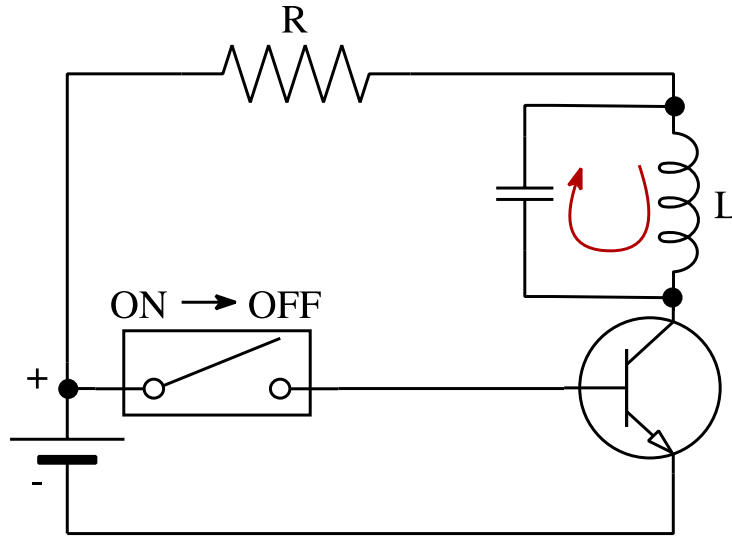
#### Cách 1: dùng diode



**Hình 2.4:** Giải pháp hạn chế tác động suất điện động tự cảm dùng diode

Diode trong hình 2.4 có tác dụng cho dòng điện đi qua theo một chiều nhất định. Khi cuộn cảm chuyển từ trạng thái dẫn sang trạng thái ngắt, một suất điện động tự cảm có hướng ngược lại với chiều dòng điện hoạt động sẽ được diode hấp thụ lại. Ưu điểm của phương pháp này là không ảnh hưởng đến quá trình dẫn (chuyển trạng thái từ ngắt sang dẫn) của cuộn cảm. Nhược điểm của phương pháp này là dòng điện tự cảm sau khi qua diode sẽ tiếp tục đi qua cuộn cảm tạo thành một mạch kín, gây nóng và tổn hao năng lượng dưới dạng nhiệt năng.

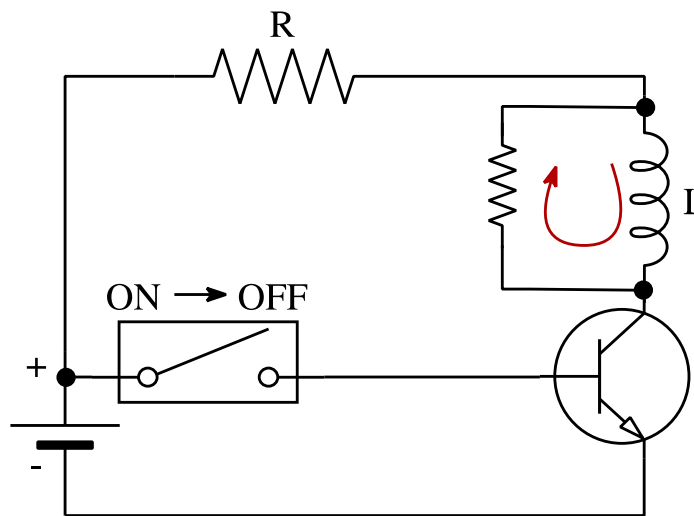
**Cách 2: dùng tụ điện**



**Hình 2.5:** Giải pháp hạn chế tác động suất điện động tự cảm dùng tụ điện

Tụ điện trong hình 2.5 mắc song song với cuộn cảm tạo thành một mạch LC khép kín, tác dụng của tụ trong quá trình chuyển mạch làm hạn chế các xung điện động cao xuất hiện trong mạch dưới dạng một dao động tắt dần. Ưu điểm của phương pháp này chi phí thấp. Nhược điểm là tụ dễ bị đánh thủng khi cuộn cảm hoạt động ở tần số cao do suất điện động tự cảm tỉ lệ với tần số hoạt động của cuộn. Dung lượng tụ đóng vai trò quan trọng trong giải pháp này.

**Cách 3: dùng điện trở**

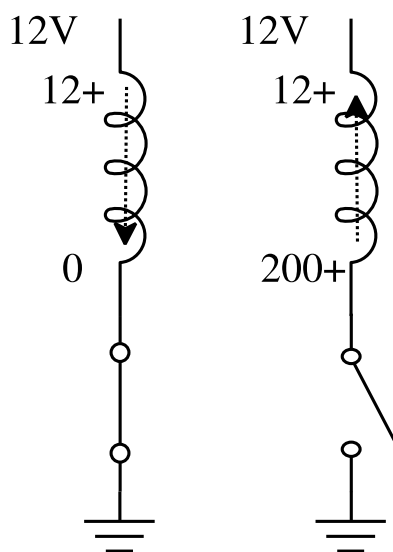


**Hình 2.6:** Giải pháp hạn chế tác động suất điện động tự cảm dùng điện trở

Điện trở song song mắc với cuộn cảm trong hình 2.6, trường hợp này tương tự như khi sử dụng tụ điện. Điện trở ảnh hưởng trực tiếp đến quá trình chuyển mạch. Khi suất điện động xuất hiện, điện trở sẽ hấp thụ lại và nóng lên. Tuy không làm nóng bộ chấp hành, nhưng nhìn chung nhiệt độ của toàn mạch vẫn nóng lên do sự sinh nhiệt của phần tử điện trở.

Qua phân tích, nhận thấy việc các giải pháp như trên nhằm hạn chế tác động của suất điện động tự cảm từ các bộ chấp hành là vấn đề nan giải và gây lãng phí. Ba giải pháp nêu trên chỉ nhằm bảo vệ các thiết bị đóng ngắt nhưng không tận dụng được phần năng lượng tự cảm sinh ra trên cuộn dây. Mục tiêu nghiên cứu là tìm ra phương pháp tối ưu để thu hồi, tích trữ lại nguồn năng lượng dưới dạng điện năng, sau đó tái sử dụng để cải thiện độ đáp ứng của kim phun.

### 2.2.8 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 thông qua cuộn dây mất đi một cách đột ngột sẽ cảm ứng lên chính cuộn cảm một suất điện động ngược (khoảng vài chục đến

vài trăm vôn tùy đặc điểm cuộn cảm). Lúc này, dòng điện chạy từ dưới lên trên: phía dưới là cực dương, phía trên cuộn dây là cực âm.

### 2.2.9 Năng lượng điện cảm

$$W = \int_0^I dW = \int_0^I L \cdot i \cdot di = L \frac{I^2}{2} \quad (2.3) [21]$$

Trong đó:

$W$ : năng lượng tích trữ (J)

$L$ : hệ số tự cảm (H)

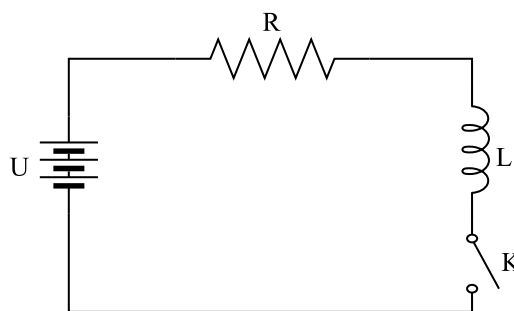
$I$ : cường độ dòng điện (A)

Năng lượng điện cảm trong cuộn dây theo biểu thức 2.3 chỉ được tạo ra trong khoảng thời gian dòng điện trong mạch thay đổi (tăng hoặc giảm) của quá trình chuyển mạch. Sau thời điểm đó, dòng điện trong mạch không biến thiên, từ trường đạt trạng thái ổn định, năng lượng nguồn điện cung cấp chuyển hóa hoàn toàn thành nhiệt.

## 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 (quá trình xác lập)

Dựa trên nguyên lý điều khiển cuộn cảm, một sơ đồ tương đương (mô hình vật lý) của cuộn cảm được đề xuất như hình 2.8. Trong đó, một điện trở tổng của cuộn cảm được chia thành hai phần là điện trở thuần và cảm kháng.



**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)

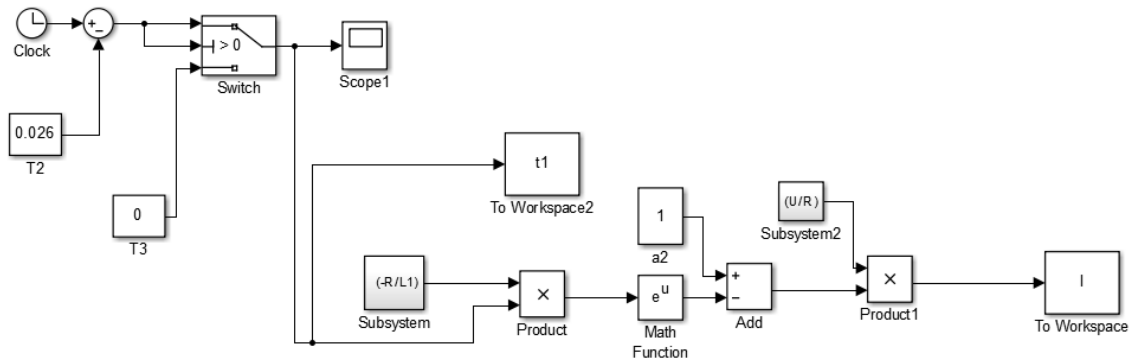
Từ sơ đồ hình 2.8, áp dụng định luật Kirchoff về điện áp, một phương trình vi phân được thiết lập:

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

Nghiệm phương trình (2.4):

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

Mô hình mô phỏng biểu thức 2.5 trên Matlab Simulink như hình 2.9



**Hình 2.9:** Mô hình mô phỏng cường độ dòng điện quá trình xác lập

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

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

Năng lượng điện cảm tại thời điểm transistor công suất ngắt:

$$W_{ng} = \frac{1}{2} \times L \times I_{ng}^2 \quad (2.7)$$

Trong đó:

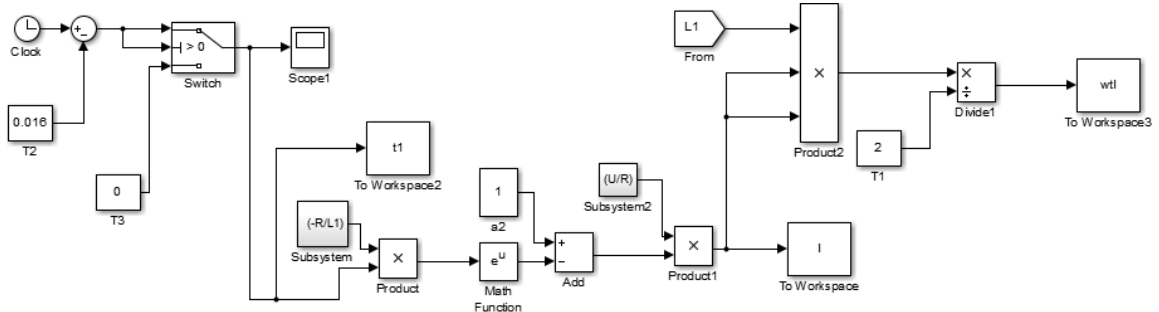
$W_{ng}$ : năng lượng điện cảm tại thời điểm transistor công suất ngắt (J)

$I_{ng}$ : cường độ dòng điện qua cuộn cảm khi transistor công suất ngắt (A)

$L$ : độ tự cảm cuộn dây (H)

Năng lượng điện cảm  $W_{dc1}(t)$  trong quá trình tích lũy năng lượng:

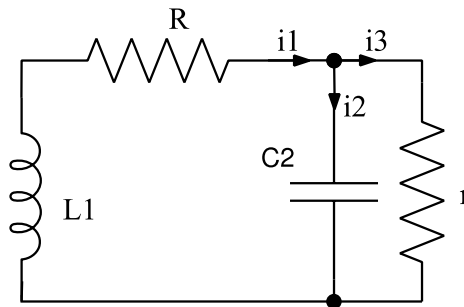
$$W_{dc1}(t) = \frac{1}{2} \times L \times (i(t))^2 = \frac{1}{2} \times L \times \left( \frac{U}{R} \left( 1 - e^{-\frac{R}{L}t} \right) \right)^2 \quad (2.8)$$



**Hình 2.1:** Mô hình mô phỏng quá trình tích lũy năng lượng điện cảm

### 2.3.2. Phương trình toán của cuộn cảm trong quá trình giải phóng năng lượng (quá trình quá độ)

Dựa trên nguyên lý hoạt động của cuộn cảm trong quá trình quá độ, sơ đồ tương đương được đề xuất như hình 2.11.



**Hình 2.11:** Sơ đồ tương đương của cuộn cảm trong quá trình giải phóng năng lượng

Trong đó:

$R$ : điện trở của cuộn cảm

$C_2$ : tụ ký sinh

$r$ : điện trở rò của tụ  $C_2$

$L$ : độ tự cảm của cuộn cảm

$i_1$ : dòng điện qua điện trở  $R$

$i_2$ : dòng điện qua tụ  $C_2$

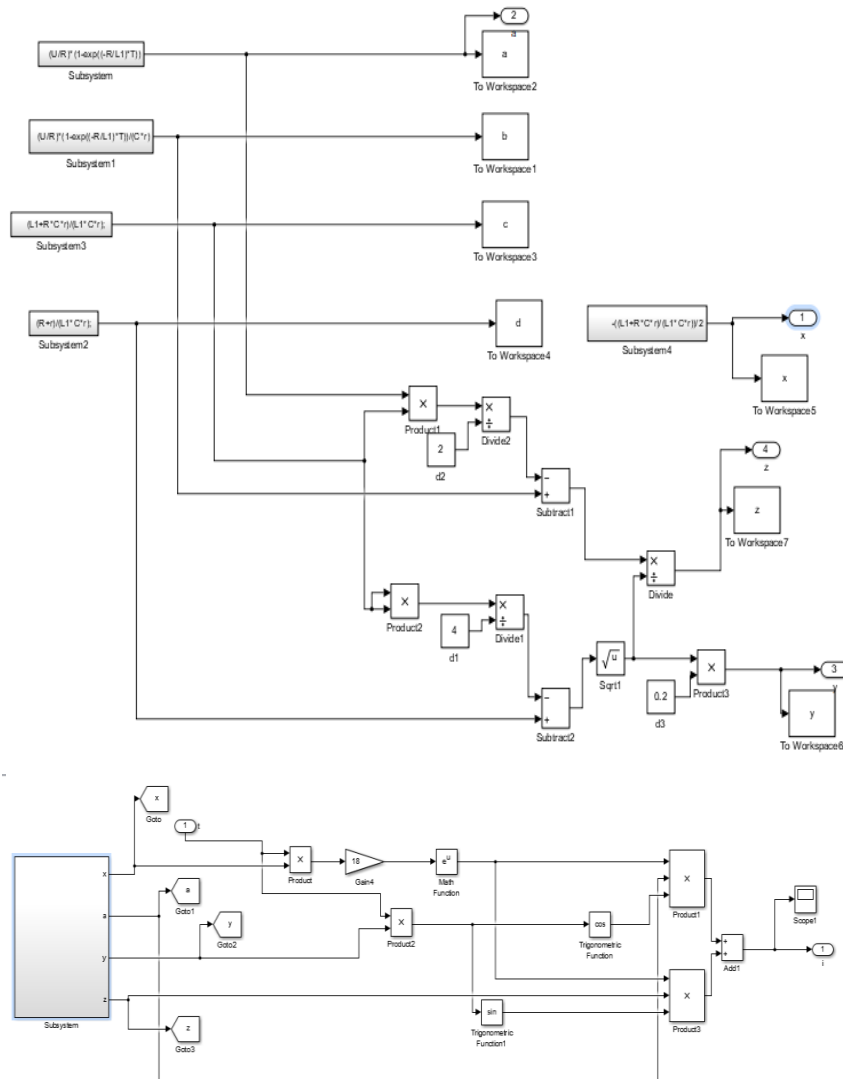
$i_3$ : dòng điện rò qua r

Từ sơ đồ hình 2.11, áp dụng định luật Kirchoff điện áp, dòng điện, năng lượng trên tụ  $C_2$ , một hệ phương trình vi phân được thiết lập:

$$\begin{cases} -L \frac{di_1}{dt} = i_1(t)R + i_3(t)r \\ i_1(t) = i_2(t) + i_3(t) \\ ri_3(t) = \frac{1}{C_2} \int i_2(t) dt \end{cases} \quad (2.9)$$

Giải hệ phương trình (2.9) theo kết quả của công trình [23], được:

$$i_1(t) = ae^{xt} \cos(yt) + ze^{xt} \sin(yt) \quad (2.10)$$



**Hình 2.22:** Mô hình mô phỏng cường độ dòng điện quá trình quá độ

Phương trình (2.10) mô tả cường độ dòng điện qua cuộn cảm trong quá trình giải phóng năng lượng.

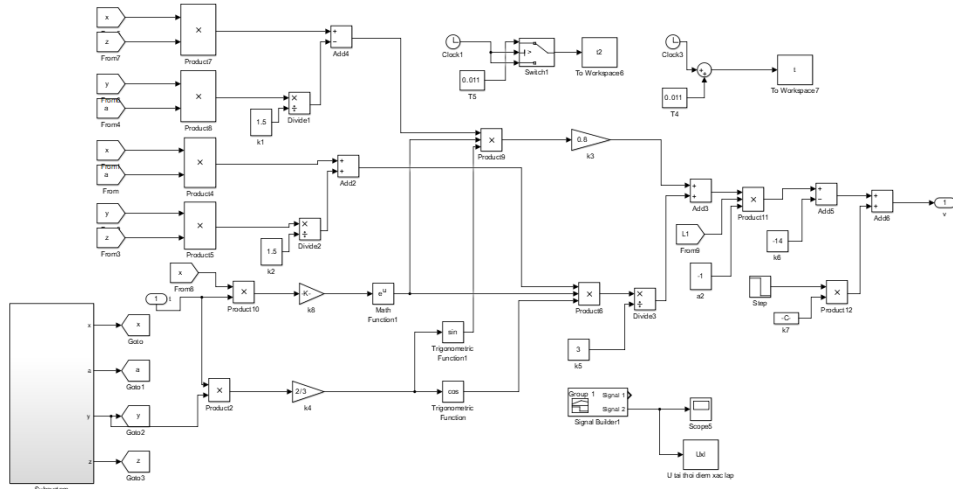


Suất điện động tự cảm  $\xi_{tc}$  trên cuộn cảm:

$$\xi_{tc} = V_1(t) = -L \frac{di_1}{dt} \quad (2.11)$$

$$V_1(t) = -L[ae^{xt} \cos(yt) + ze^{xt} \sin(yt)] \quad (2.12)$$

Phương trình (2.12) mô tả suất điện động tự cảm trong quá trình ngắt dòng qua cuộn cảm.



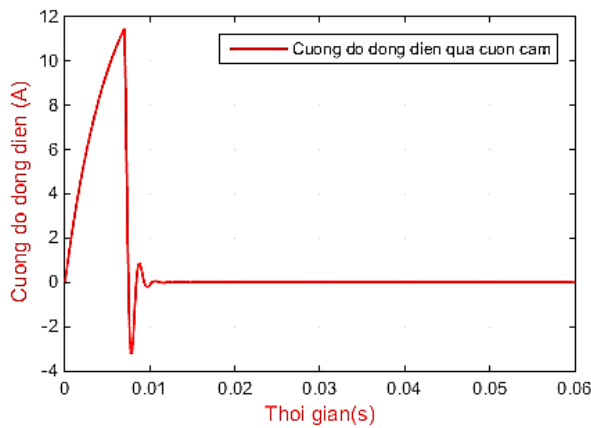
**Hình 2.13:** Mô hình mô phỏng suất điện động tự cảm

Năng lượng điện cảm  $W_{đc2}(t)$  trong quá trình giải phóng năng lượng:

$$W_{đc2}(t) = \frac{1}{2} \times L \times (i_1(t))^2 = \frac{1}{2} \times L \times (ae^{xt} \cos(yt) + ze^{xt} \sin(yt))^2 \quad (2.13)$$

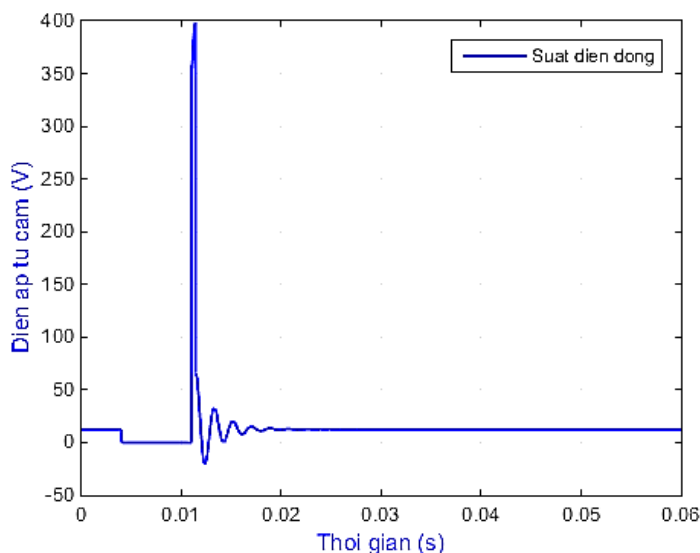
Phương trình 2.13 mô tả năng lượng điện cảm trong quá trình giải phóng năng lượng, Trong đó  $a, b, c, d$  là các hệ số được đặt theo mối quan hệ với  $R, r, L, i_1, i_2$  và  $i_3$  [23].

### 2.3.3 Đặc tuyến mô phỏng:



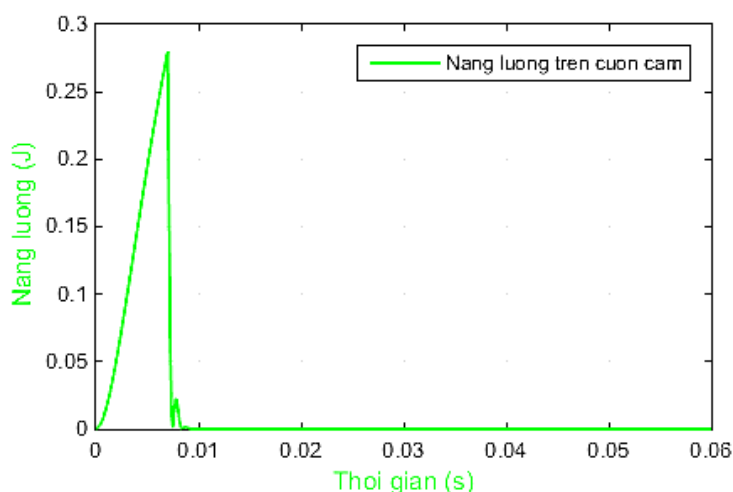
**Hình 2.14:** Đặc tuyến dòng điện qua cuộn cảm

Đặc tuyến mô phỏng trên Matlab Simulink theo các thông số bảng 2.1 và bảng 2.2. Cường độ dòng điện tăng dần từ 0 (A) trong thời gian transistor công suất dẫn. Giá trị cường độ đạt cực đại tại thời điểm transistor công suất ngắt, sau đó giảm đột ngột về giá trị ban đầu.



**Hình 2.15:** Đặc tuyến mô phỏng suất điện động tụ cảm

Đặc tuyến mô phỏng suất điện động tụ cảm gồm 06 giai đoạn: mức điện áp được cấp, thời điểm đóng ngắt mạch, thời gian dòng điện qua cuộn dây, xuất hiện xung điện áp tụ cảm, duy trì điện áp tụ cảm, quá trình tiêu hao năng lượng, trở lại chu kỳ hoạt động tương đương hình 2.3.



**Hình 2.16:** Đặc tuyến năng lượng điện cảm

Năng lượng điện cảm có đặc tuyến tương đương đặc tuyến dòng điện theo mỗi qua hệ của biểu thức 2.7 và biểu thức 2.13. Giá trị năng lượng đạt cực đại 0,28J tại thời điểm transistor công suất ngắt, sau đó giảm đột ngột như trên hình 2.16.

## 2.4 Tính toán năng lượng điện cảm tích lũy

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

Sơ đồ tương đương của quá trình tích lũy năng lượng cuộn sơ cấp bobine tương tự hình 2.8.

Từ biểu thức (2.4), có:

$$i_{bb}(t) = \frac{U}{R} \left( 1 - e^{-\frac{R_{bb}t}{L_{bb}}} \right) \quad (2.14)$$

Gọi  $\tau$  là hằng số điện từ của mạch:

$$\tau = \frac{L_{bb}}{R_{bb}}$$

$$i_{bb}(t) = \frac{U}{R} \left( 1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) \quad (2.15)$$

Gọi  $t_{bb}$  là thời gian transistor công suất dẫn, cường độ dòng điện  $I_{bb}$  tại thời điểm transistor công suất ngắt [24]:

$$I_{bb} = \frac{U}{R} \left( 1 - e^{-\frac{t_{bb}}{\tau}} \right) \quad (2.16)$$

$$W_{bb} = \frac{1}{2} \times L_b \times I_{ng}^2 = \frac{1}{2} \times L_b \times \left( \frac{U}{R} \left( 1 - e^{-\frac{t_{bb}}{\tau}} \right) \right)^2 \quad (2.17)$$

Với:

$$T = \frac{120}{n_e \times Z} \quad (2.18)$$

$$t_{bb} = \gamma_d \times T \quad (2.19)$$

$$\tau = \frac{L_{bb}}{R_{bb}} \quad (2.20)$$

Trong đó:

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

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

$L_{bb}$ : độ tự cảm cuộn sơ cấp bobine (H)

$U_a$ : điện áp áp 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)

$R_{bb}$ : tổng trở cuộn sơ cấp bobine ( $\Omega$ )

$t_{bb}$ : thời gian ngậm điện (s)

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

$T$ : chu kì đánh lửa (s)

$\tau$ : hằng số điện từ

$n_e$ : tốc độ động cơ (v/ph)

$Z$ : số xylanh động cơ

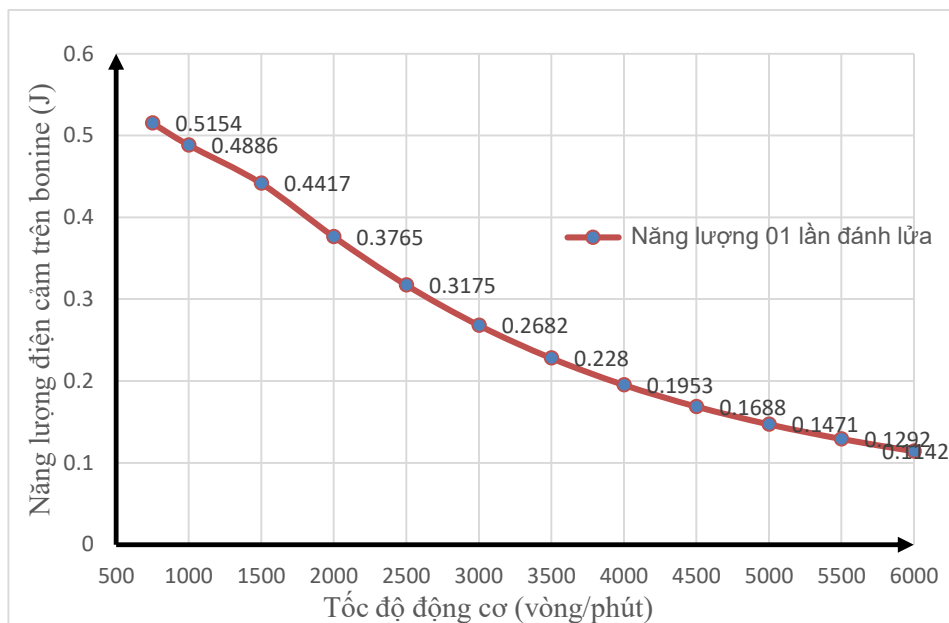
**Bảng 2.1:** Các thông số đầu vào được đo trên bobine ô tô 07 chỗ

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

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

TT	Thông số	Kí hiệu	Giá trị	Đơn vị	Ghi chú
1	Chu kì đánh lửa	$T$	0.03	s	Biểu thức 2.18
2	Thời gian ngậm điện	$t_{bb}$	0,02	s	Biểu thức 2.19
3	Hằng số điện từ	$\tau$	$5,3 \times 10^{-3}$	-	Biểu thức 2.20

Hình 2.17 biểu thị các thông số năng lượng điện cảm tích trữ trong một lần đánh lửa trên cuộn sơ cấp bobine tại dải tốc độ động cơ từ 750 đến 6000 vòng/phút.



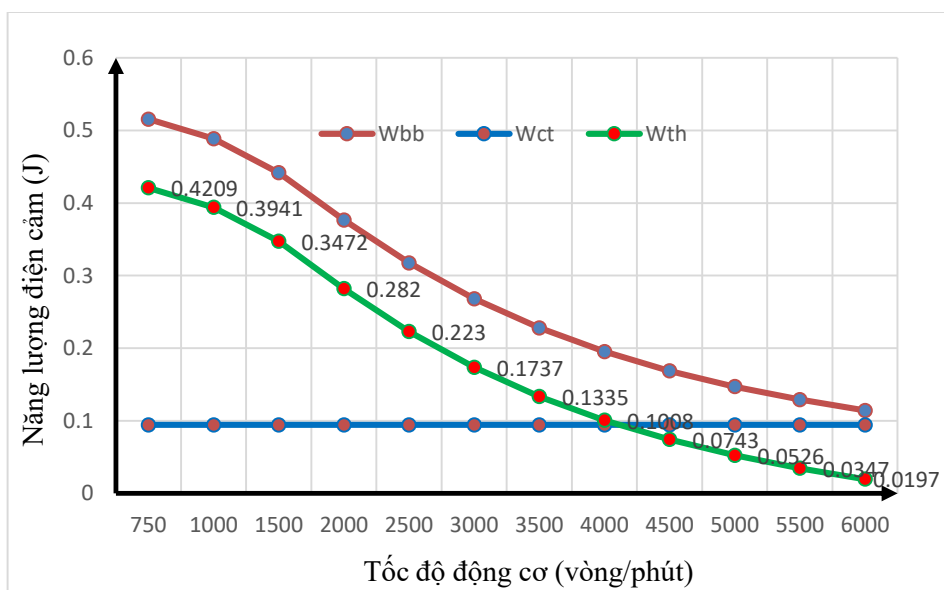
**Hình 2.17:** Mô tả năng lượng điện cảm tích trữ trên cuộn sơ cấp theo tốc độ động cơ

Nguồn năng lượng điện cảm trong một lần đánh lửa của bobine đạt giá trị cao nhất là 0,5154J tại tốc độ cảm chừng 750 v/ph và thấp nhất là 0,1142J tại tốc độ động cơ 6000 v/ph. Năng lượng này có xu hướng giảm khi tốc độ động cơ tăng dần.

Năng lượng cần thiết đảm bảo diễn ra quá trình đánh lửa:  $W_{ct} = 0,0945$  (J)

Năng lượng có khả năng thu hồi  $W_{th}$  trong mỗi lần đánh lửa theo (2.21):

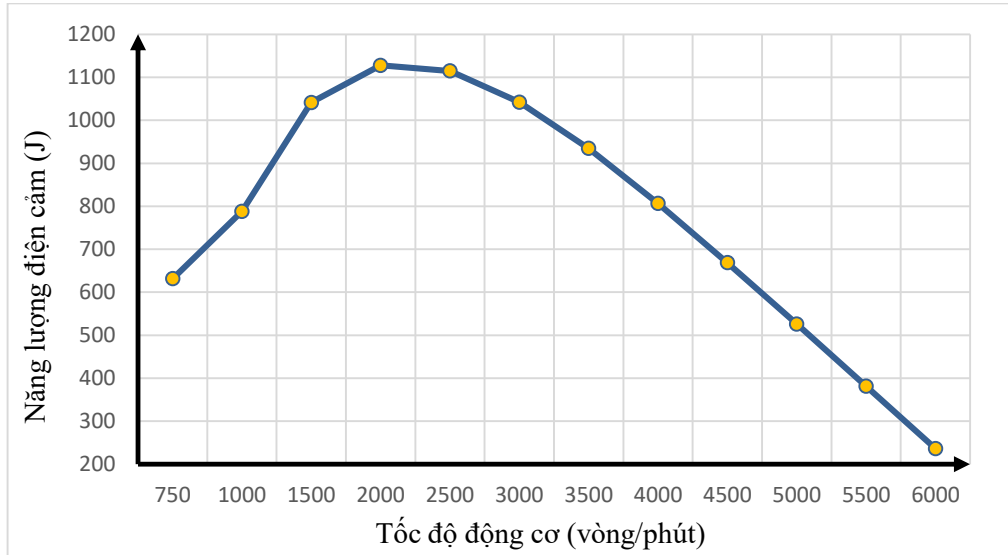
$$W_{th} = W_{bb} - W_{ct} \quad (2.21)$$



**Hình 2.18:** Mô tả  $W_{th}$ ;  $W_{(bb)}$ ;  $W_{ct}$  trong một lần đánh lửa theo tốc độ

Khi động cơ 04 xylanh hoạt động, năng lượng điện cảm có khả năng thu hồi trên 04 bobine theo dải tốc độ động cơ  $n_e$  được xác định theo biểu thức (2.22)

$$W_{th,ne} = 2xn_e x W_{th} \quad (2.22)$$



**Hình 2.19:** Năng lượng điện cảm có khả năng thu hồi theo tốc độ động cơ

Từ hình 2.19 nhận thấy rằng, khi tốc độ động cơ càng cao, năng lượng điện cảm có khả năng thu hồi càng thấp. Năng lượng đạt giá trị cực đại dao động quanh dải tốc độ 1500 đến 2500 v/ph tương ứng với dải tốc độ trung bình của khi xe vận hành trên đường. Đây là điểm cần lưu ý khi thiết kế bộ thu hồi năng lượng.

#### 2.4.2 Tính toán năng lượng điện cảm tích lũy trên kim phun

Năng lượng tự cảm trong kim phun về cơ bản giống như nguồn năng lượng trên bobine. Tuy nhiên, ở cùng mức điện áp hoạt động, điện trở và độ tự cảm của kim phun lớn hơn, cường độ qua kim phun nhỏ hơn, dẫn đến nguồn năng lượng tự cảm của kim phun sẽ nhỏ hơn tương ứng.

Cường độ dòng điện qua kim phun theo thời gian biểu thị theo biểu thức (2.23):

$$i_{kp}(t) = \frac{U}{R_{kp}} \left( 1 - e^{-\frac{R_{kp}}{L_{kp}} t_{kp}} \right) \quad (2.23)$$

Cường độ dòng điện  $I_{kp}$  tại thời điểm transistor công suất ngắt:

$$I_{kp} = \frac{U}{R_{kp}} \left( 1 - e^{-\frac{R_{kp}}{L_{kp}} t_{kp}} \right) \quad (2.24)$$

Năng lượng điện cảm trên kim phun tại thời điểm transistor công suất ngắt:

$$W_{kp} = \frac{1}{2} \times L_{kp} \times I_{kp}^2 = \frac{1}{2} \times L_{kp} \times \left( \frac{U}{R} \left( 1 - e^{-\frac{t_{kp}}{\tau}} \right) \right)^2 \quad (2.25)$$

Trong đó:

$R_{kp}$ : điện trở kim phun ( $\Omega$ )

$t_{kp}$ : thời gian transistor công suất dẫn (s)

$I_{kp}$ : cường độ dòng điện qua kim phun lúc transistor công suất ngắt (A)

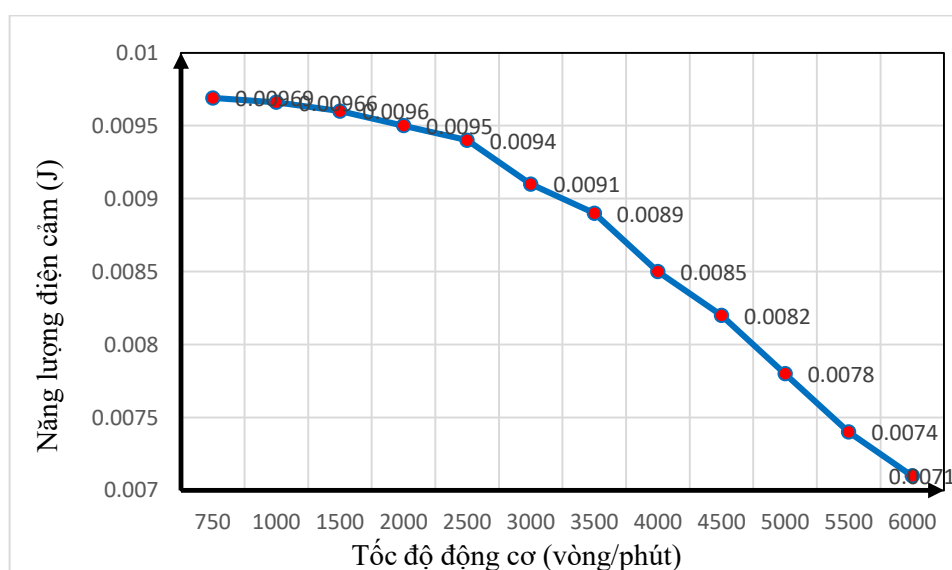
$L_{kp}$ : độ tự cảm cuộn dây của kim phun (H)

$W_{kp}$ : năng lượng điện cảm trên kim phun, thời điểm transistor công suất ngắt (J)

**Bảng 2.3:** Các thông số của kim phun trên ô tô 07 chỗ

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

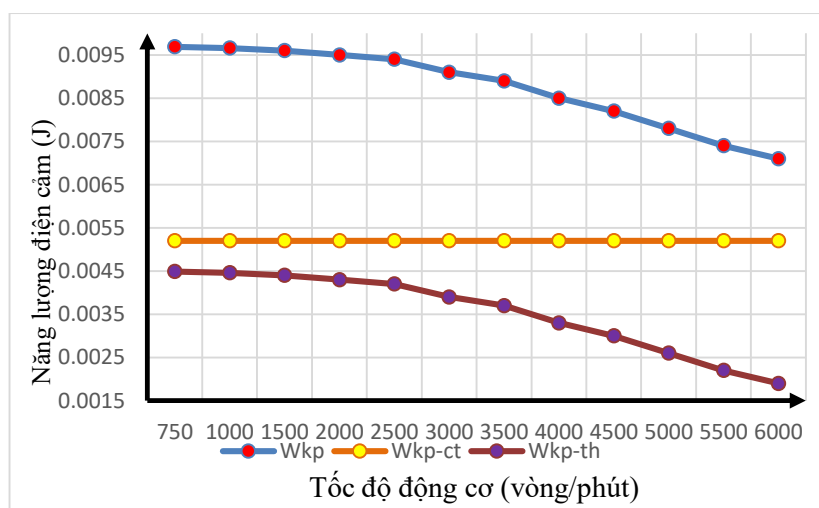
Hình 2.20 biểu diễn năng lượng điện cảm trên kim phun ở dải tốc độ động cơ từ 750 đến 6000 v/ph.



**Hình 2.20:** Năng lượng điện cảm của kim phun theo tốc độ động cơ

Năng lượng điện cảm của kim phun đạt giá trị cao nhất khoảng  $9,69 \times 10^{-3} \text{J}$  tại tốc độ cảm chừng 750 v/ph và đạt giá trị thấp nhất khoảng  $7,1 \times 10^{-3} \text{J}$  tại tốc độ động cơ 6000 v/ph. Chênh lệch năng lượng giữa giá trị cao nhất và thấp nhất của kim phun ở dải tốc độ trên là không nhiều (khoảng  $2,59 \times 10^{-3} \text{J}$ )

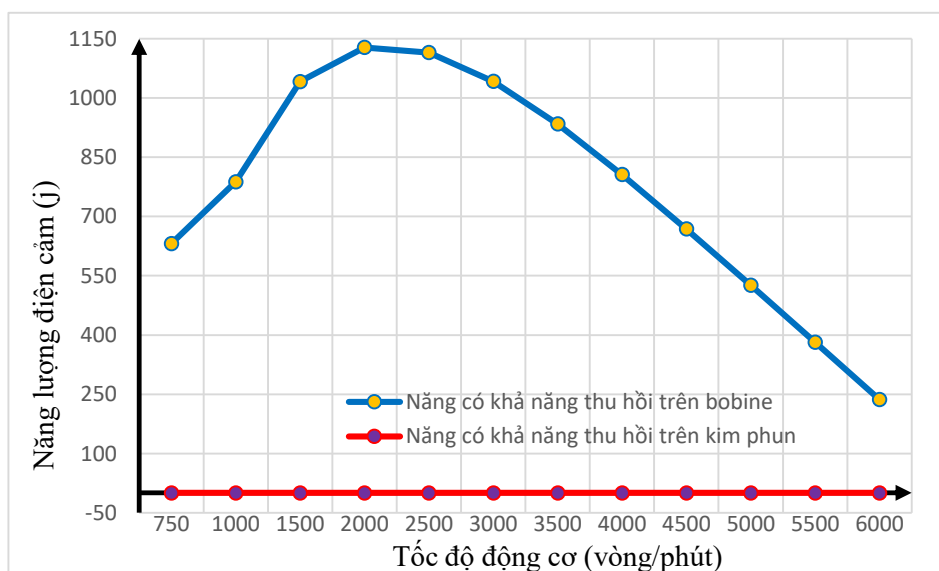
Năng lượng cần thiết để đảm bảo diễn ra quá trình phun xăng:  $W_{kp-ct} = 0,0052 \text{ (J)}$



**Hình 2.21:** Mô tả  $W_{kp}$ ;  $W_{kp-ct}$ ;  $W_{kp-th}$  trong một lần phun xăng

Khi động cơ 04 xylanh hoạt động, năng lượng điện cảm có khả năng thu hồi trên 04 kim phun theo dải tốc độ động cơ  $n_e$  được xác định theo biểu thức (2.26).

$$W_{kp-th,ne} = 2xn_e x W_{kp-th} \quad (2.26)$$



**Hình 2.22:** So sánh năng lượng điện cảm có khả năng thu hồi trên bobine và kim phun theo tốc độ động cơ



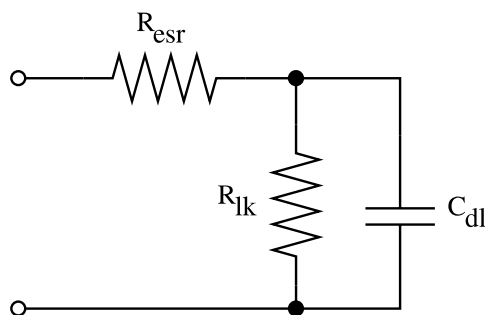
Nhận định: nguồn năng lượng có thể thu hồi được của kim phun là rất thấp (0,1%) so với bobine (99%) tại cùng dải tốc độ động cơ. Đây là thông tin người nghiên cứu cần quan tâm và xác định mục tiêu sẽ chỉ triển khai thu hồi năng lượng trên cuộn sơ cấp bobine.

## 2.5 Tính toán trên hệ siêu tụ

### 2.5.1 Mô hình hóa hệ siêu tụ

Theo phân tích tại mục 2.2.6, các xung điện động tuy có biên độ rất lớn nhưng thời gian xuất hiện rất ngắn. Vì vậy, để lưu trữ năng lượng từ các xung điện động này cần có một bộ lưu trữ năng lượng có khả năng nạp, xả rất nhanh đủ để đáp ứng quá trình phóng nạp của các xung điện động. Ở đây, người nghiên cứu lựa chọn một hệ siêu tụ điện làm một nguồn thứ cấp để lưu trữ năng lượng dạng điện cảm từ các cuộn cảm trên hệ thống điện ô tô.

Một mô hình đơn giản cho hệ tụ điện hai lớp có thể được biểu diễn bằng điện dung tương đương ( $C_{dl}$ ), điện trở song song tương đương ( $R_{lk}$ ) và điện trở nối tiếp tương đương ( $R_{esr}$ ) như hình 2.23.



**Hình 2.23:** Sơ đồ mạch tương đương của hệ siêu tụ

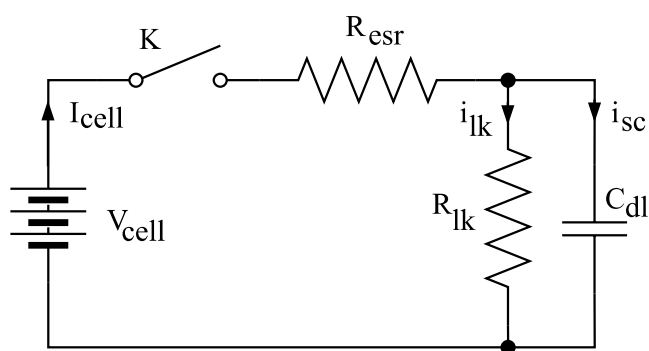
Một hệ gồm  $n$  siêu tụ có dung lượng điện dung ( $C$ ), giống nhau được mắc nối tiếp, dung lượng tổng cộng của hệ siêu tụ ( $C_{total}$ ).

$$C_{total} = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_{12}} + \frac{1}{C_{31}} + \dots + \frac{1}{C_n}} = \frac{1}{n} C \quad (2.27)$$

Hiện có hai phương pháp để nạp và xả hệ siêu tụ: một là nạp-xả hệ siêu tụ với điện áp không đổi theo thời gian, cách còn lại là nạp-xả hệ siêu tụ với cường độ dòng điện không đổi theo thời gian. Phương pháp nạp và xả hệ siêu tụ dùng điện áp không đổi được chú trọng và triển khai trong đề tài.

### 2.5.2 Quá trình nạp của hệ siêu tụ

Hình 2.24 là sơ đồ tương đương quá trình nạp của hệ siêu tụ, được biểu diễn bằng điện áp nguồn nạp tụ ( $V_{cell}$ ), dòng điện phóng của nguồn ( $I_{cell}$ ), dòng điện nạp hệ siêu tụ ( $i_{sc}$ ), dòng điện rò ( $i_{lk}$ ), điện trở rò ( $R_{lk}$ ) [25].



**Hình 2.24:** Sơ đồ tương đương quá trình nạp của hệ siêu tụ

Từ sơ đồ hình 2.24, áp dụng định luật Kirchoff về điện áp:

$$\begin{aligned} V_{cell}(t) &= V_{esr}(t) + V_{sc}(t) \\ &= I_{cell}R_{esr} + V_{sc}(t) \end{aligned} \quad (2.28)$$

Giá trị điện áp trên hệ tụ:

$$V_{sc}(t) = \frac{1}{C_{total}} \int_0^t i_{sc}(t) dt + V_{sc}^0 \quad (2.29)$$

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

Từ sơ đồ hình 2.24, áp dụng định luật Kirchoff về dòng điện:

$$i_{cell}(t) = i_{lk}(t) + \int_0^t i_{sc}(t) dt \quad (2.30)$$

Từ (2.28) và (2.30):

$$\begin{aligned} V_{cell} \cdot C_{total} &= V_{sc} \cdot C_{total} + \int_0^t i_{sc}(t) dt \\ V_{cell} \cdot C_{total} &= i_{sc}(t) \cdot R_{lk} \cdot C_{total} + \int_0^t i_{sc}(t) dt \end{aligned} \quad (2.31)$$

Biến đổi Laplace (2.31):

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

Tương đương

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

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

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  $R_{lk}$ :

$$i_{sc}(s) = \frac{R_{lk} \cdot C_{total}}{(R_{lk} \cdot C_{total} \cdot s + 1)} \times \frac{V_{cell}}{R_{lk}} \quad (2.32)$$

Biến đổi

$$\frac{R_{lk} \cdot C_{total}}{(R_{lk} \cdot C_{total} \cdot s + 1)} = \frac{R_{lk} \cdot C_{total}}{R_{lk} \cdot C_{total} \cdot (s + \frac{1}{R_{lk} \cdot C_{total}})} = \frac{1}{s + \frac{1}{R_{lk} \cdot C_{total}}} \quad (2.33)$$

Thay (2.33) vào (2.32):

$$i_{sc}(s) = \frac{1}{s + \frac{1}{R_{lk} \cdot C_{total}}} \times \frac{V_{cell}}{R_{lk}} \quad (2.34)$$

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 (2.34) sau khi biến đổi Laplace ngược:

$$i_{sc}(t) = \frac{V_{cell}}{R_{lk}} \times e^{-\frac{t}{R_{lk} \cdot C_{total}}} \quad (2.35)$$

Biểu thức (2.35) mô tả giá trị dòng nạp trên hệ siêu tụ điện trong quá trình nạp.

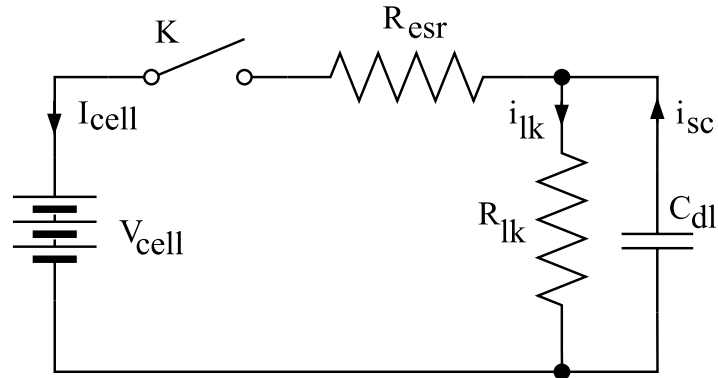
Thay (2.35) vào (2.29) được điện áp trên tụ.

$$V_{sc}(t) = \frac{1}{C_{total}} \int_0^t \frac{V_{cell}}{R_{lk}} \cdot e^{-\frac{t}{R_{lk} \cdot C_{total}}} \cdot dt + V_{sc}^0 \quad (2.36)$$

Biểu thức (2.36) mô tả giá trị điện áp trên hệ siêu tụ điện trong quá trình nạp.

### 2.5.3 Quá trình phóng của hệ siêu tụ

Quá trình phóng của hệ siêu tụ [43] được biểu diễn theo sơ đồ tương đương hình 2.25.



**Hình 2.25:** Sơ đồ tương đương quá trình phóng của của hệ siêu tụ

Từ sơ đồ hình 2.25, áp dụng định luật Kirchoff về điện áp:

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

Nhân 2 vế 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:

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

$$i_{sc}(s) + i_{sc}(s) \cdot R_{lk} \cdot C_{total} \cdot s = V_{sc}^0 \cdot C_{total} + i_{cell} \cdot R_{lk} \cdot C_{total}$$

$$i_{sc}(s) \cdot (1 + R_{lk} \cdot C_{total} \cdot s) = V_{sc}^0 \cdot C_{total} + i_{cell} \cdot R_{lk} \cdot C_{total}$$

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

Nhân cả tử và mẫu với  $R_{lk}$ :

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

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

Biến đổi ngược Laplace:

$$i_{sc}(t) = \frac{(V_{sc}^0 + i_{cell} \cdot R_{lk})}{R_{lk}} \times e^{-\frac{t}{R_{lk} \cdot C_{total}}} \quad (2.37)$$

Mặt khác:

$$V_{sc}(t) = -\frac{1}{C_{total}} \int_0^t i_{sc}(t) \cdot dt + V_{sc}^0 \quad (2.38)$$

Thay (2.37) vào (2.38):

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

Từ sơ đồ hình 2.27:

$$V_{cell}(t) = V_{sc}(t) - V_{esr}(t)$$

$$V_{cell}(t) = V_{sc}^0 - (V_{sc}^0 + i_{cell} \cdot R_{lk}) \cdot [1 - e^{-\frac{t}{R_{lk} \cdot C_{total}}}] - i_{cell} \cdot R_{esr} \quad (2.39)$$

Biểu thức (2.39) mô tả giá trị điện áp trên hệ siêu tụ trong quá trình phóng.

Trong khuôn khổ đề tài, một hệ siêu tụ 27V-35F gồm 10 siêu tụ Maxwell BCAP0350 mắc nối tiếp nhau được sử dụng làm bộ tích trữ năng lượng điện cảm thu hồi từ các bobine như là một nguồn thứ cấp cung cấp đến kim phun. Hệ số an toàn là 1,125 đảm bảo hệ siêu tụ hoạt động tốt ở mức điện áp 24V.

Năng lượng cực đại và công suất cực đại mà hệ siêu tụ có thể tích trữ lần lượt được tính theo biểu thức (2.40) và (2.41) [31]:

$$E_{max} = \frac{CU^2}{2 \times 3600 \times mass} \quad (2.40)$$

$$P_{max} = 0,06 \frac{CU^2}{ESR_{DC}} \quad (2.41)$$

Trong đó:

$E_{max}$ : năng lượng cực đại trên hệ siêu tụ.

$P_{max}$ : công suất cực đại trên hệ siêu tụ.

$mass$ : hệ số khối lượng hệ siêu tụ.

$ESR_{DC}$ : điện trở rò hệ siêu tụ.

Quá trình chuyển năng lượng từ ắc quy sang hệ siêu tụ và ngược lại sẽ được quyết định bởi mạch quản lý năng lượng trên ô tô, sẽ đề cập sau ở phần thiết kế mạch quản lý năng lượng.

#### 2.5.4 Năng lượng trên hệ siêu tụ

Khi hệ siêu tụ được tích điện, hai bản cực của hệ tụ điện tích điện trái dấu nên hình thành một điện trường hướng từ bản cực dương sang bản cực âm của hệ siêu tụ. Điện trường này có khả năng sinh ra năng lượng dạng thế năng. Mặt khác, các siêu tụ gồm  $n$  siêu tụ được mắc nối tiếp với nhau tạo thành một hệ siêu tụ có dung lượng tổng cộng  $C_{total}$ . Biểu thức (2.42) biểu thị năng lượng điện trường ( $W_{cap}$ ) của hệ siêu tụ với dung lượng ( $C_{total}$ ) và điện áp trên tụ ( $U$ ).

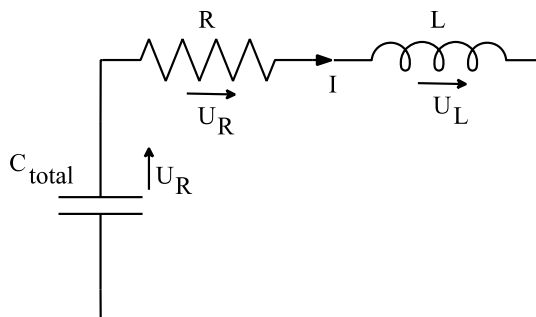
$$W_{cap} = \frac{1}{2} C_{total} U^2 \quad (2.42)$$

Trong đó điện áp  $U$  được sử dụng ở mức giá trị 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. Nhằm quản lý hiệu quả nguồn năng lượng trên hệ siêu tụ, cần biết được mức năng lượng tối đa mà một hệ siêu tụ có thể chứa đựng (biểu thức 2.42), qua đó tính toán thời gian nạp đầy của hệ siêu tụ dựa vào mức năng lượng từ các xung điện cảm. Năng lượng từ các xung điện cảm được thu hồi từ quá trình chuyển mạch của các bobine.

#### 2.5.5 Hệ siêu tụ kết nối phụ tải điện

Việc sử dụng hệ siêu tụ làm nguồn thứ cấp để cung cấp cho và cải thiện độ nhạy của kim phun là phần thực nghiệm chính trong phạm vi nghiên cứu này. Trong trường hợp này, tải điện được sử dụng có cấu tạo từ thành phần cuộn cảm. Tải điện dạng cuộn cảm khác với tải điện dạng điện trở thuần bởi đặc tính của độ tự cảm. Ngoài ra, cường độ dòng điện trong một mạch kín phụ thuộc vào tải (ở đây là giá trị cảm kháng của cuộn), người nghiên cứu tiến hành việc mô hình toán hệ siêu tụ với phụ tải điện dạng điện cảm với mục đích xác định được cường độ dòng điện khi phóng qua tải điện.

Một mạch kín gồm hai 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 2.26.



**Hình 2.26:** 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, điện áp và cường độ dòng điện ban đầu của tụ ở trạng thái nạp đầy là  $C_{total} = C/n$  và  $U = U_0$ .

Khi tụ bắt đầu phóng, cường độ dòng điện xuất hiện trong mạch được xác định như hình 2.26.

Áp dụng định luật Kirchoff về điện áp:

$$\sum U = 0$$

$$U_R + U_L + U_C = 0$$

$$iR + L \frac{di}{dt} + U_C = 0 \quad (2.43)$$

Trong đó:

$U_R$ : điện áp trên điện trở.

$U_L$ : điện áp trên tải điện là cuộn cảm.

$U_C$ : điện áp trên hệ siêu tụ điện.

Trong đó:

$$U_c = \int I_c dt + U_0 \quad (2.44)$$

Cường độ dòng điện  $I_c$

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

Thay (2.44), (2.45) vào (2.43):

$$RI + \frac{1}{C_{total}} \int I_c dt + U_o + L \frac{dI}{dt} = 0$$

$$\frac{d^2 I}{dt^2} + \frac{R}{L} \frac{dI}{dt} + \frac{1}{LC_{total}} I = 0 \quad (2.46)$$

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

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

Phương trình (2.47) là một phương trình bậc hai với hai nghiệm phân biệt.

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

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

Phương trình (2.49) là phương trình mô tả cường độ dòng điện trên hình 2.26.

## 2.6 Tính toán quá trình nạp năng lượng điện cảm vào hệ siêu tụ

### 2.6.1 Quá trình nạp năng lượng điện cảm trên bobine vào hệ siêu tụ

Trường hợp đơn lẻ một bobine thực hiện quá trình nạp vào siêu tụ, thì số lần ( $l_{bb}$ ) bobine thực hiện việc chuyển mạch để có thể nạp đầy được hệ siêu tụ (chưa xét qua các sai số yếu tố ảnh hưởng bên ngoài như nhiệt độ và môi trường làm việc):

$$l_{bb} = \frac{W_{cap}}{W_{bb}} = \frac{\frac{1}{2} C_{total} U^2}{\frac{1}{2} \left[ \frac{U}{R} \left( 1 - e^{-\frac{t_{bb}}{\tau}} \right) \right]^2} = \frac{R^2 C_{total}}{L \left( 1 - e^{-\frac{t_{bb}}{\tau}} \right)^2} \quad (2.50)$$

Thời gian nạp đầy hệ siêu tụ  $t_{fullbb}$  dựa trên nguồn năng lượng tự cảm của một bobine tại dải tốc độ động cơ  $n_e$ :

$$t_{fullbb} = l_{bb} \frac{60}{n_e} \quad (2.51)$$

Trong đó:

$W_{cap}$ : năng lượng dự trữ trên hệ siêu tụ (J)

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

$t_{bb}$ : thời gian transistor công suất điều khiển cuộn sơ cấp dẫn (s)



## 2.6.2 Quá trình nạp năng lượng điện cảm trên kim phun vào hệ siêu tụ

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

$$l_{kp} = \frac{\frac{1}{2}C_{total}xU^2}{\frac{1}{2}\left[\frac{U}{R_{kp}}\left(1-e^{-\frac{t_{kp}}{\tau}}\right)\right]^2} = \frac{R_{kp}^2 C_{total}}{L_{kp}\left(1-e^{-\frac{t_{kp}}{\tau}}\right)^2} \quad (2.52)$$

Thời gian nạp đầy hệ siêu tụ từ năng lượng điện cảm của một kim phun tại tốc độ động cơ  $n_e$ :

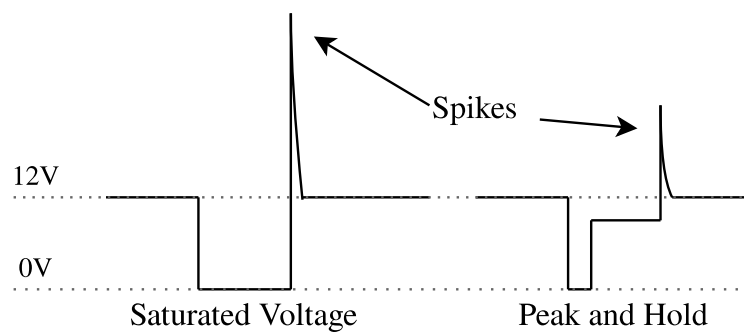
$$t_{fullkp} = l_{kp} \frac{60}{n_e} \quad (2.53)$$

Việc tính toán được thời gian nạp của siêu tụ ở các dải động cơ khác nhau hỗ trợ cho việc đánh giá khả năng nạp và thu hồi năng lượng của hệ siêu tụ được trực quan hơn.

## 2.7 Đặc tính kim phun

### 2.7.1 Điều khiển kim phun

Hiện nay, các kim phun nhiên liệu trong hệ thống phun xăng 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 suất 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.



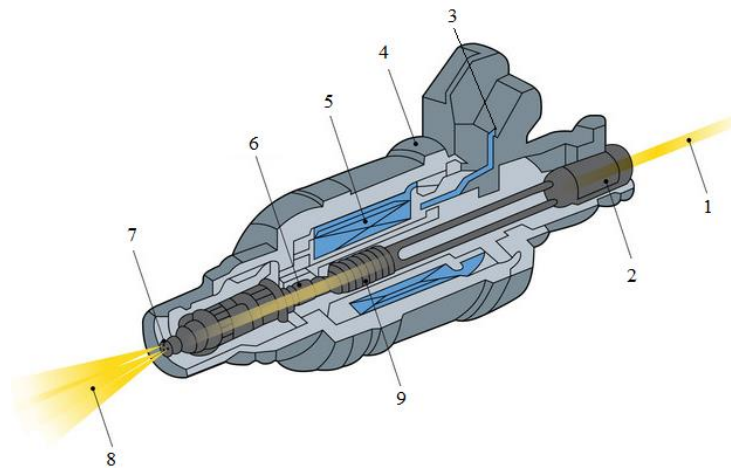
**Hình 2.27:** Điện áp ở hai chế độ điều khiển kim phun

Cả hai phương pháp điều khiển như 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 hoạt động mở của kim với mục đích làm giảm một phần suất điện động khi chuyển mạch (hình 2.27). Với cùng một điện áp cung cấp ở cả hai phương pháp, ở chế độ điều khiển theo dòng, việc nhắc và giữ kim yêu cầu kim phun có trở kháng thấp hơn so với phương pháp điều khiển theo áp. Tuy nhiên, nếu xét về phương diện thu hồi năng lượng điện cảm, kim phun được điều khiển theo áp sẽ có lợi hơn do suất điện động tự cảm ở chế độ điều khiển này có biên độ lớn hơn so với chế độ điều khiển theo dòng.

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

Kim phun xăng được cấu thành từ 09 bộ phận như hình 2.28.



**Hình 2.28:** Cấu tạo của kim phun [26]

1 – nhiên liệu; 2 – lọc nhiên liệu; 3 – giắc nối điện; 4 – vỏ kim phun; 5 – cuộn từ;  
6 – ty kim; 7 – lỗ phun; 8 – tia phun; 9 – lò xo hồi vị

### 2.7.3. Mô hình toán của kim phun

Lưu lượng nhiên liệu phun qua lỗ phun phụ thuộc vào áp suất nhiên liệu và thời gian nhắc kim. Khoảng thay đổi của áp suất nhiên liệu được xác định qua biểu thức 2.54 [27]:

$$\Delta P = \frac{\Delta V}{V} \quad (2.54)$$

Trong đó:

$P$ : áp suất nhiên liệu

$V$ : thể tích nhiên liệu phun qua kim

$\Delta P$ : phần áp suất thay đổi

$\Delta V$ : phần thể tích thay đổi

Lưu lượng nhiên liệu vào và ra được được mô tả theo phương trình Bernoulli:

$$Q = \mu A \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} \quad (2.55)$$

Trong đó:

$\mu$ : độ nhớt nhiên liệu

$A$ : tiết diện đầu ty kim

$\rho$ : khối lượng riêng nhiên liệu

Từ biểu thức 2.54 và 2.55: sự thay đổi áp suất trên thể tích chứa nhiên liệu được mô tả theo biểu thức 2.56:

$$\frac{dP}{dt} = \left[ \sum Q_{in} + Q_{leakin} - Q_{out} - Q_{leakout} + \sum A \frac{dx}{dt} \right] \frac{E}{V} \quad (2.56)$$

Trong đó:

$Q_{in}$ : lưu lượng nhiên liệu vào

$Q_{out}$ : lưu lượng nhiên liệu ra

$Q_{leakin}$ : lưu lượng nhiên liệu rò trong quá trình vào

$Q_{leakout}$ : lưu lượng nhiên liệu rò trong quá trình ra

$x$ : khoảng dịch chuyển của ty kim

Chuyển động của ty kim được biểu diễn qua phương trình động lực học 2.57:

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + \xi \frac{dx}{dt} + kx = \sum F_s + \sum F_f + \sum F_m \quad (2.57)$$

Trong đó:

$F_s$ : lực lò xo hồi vị

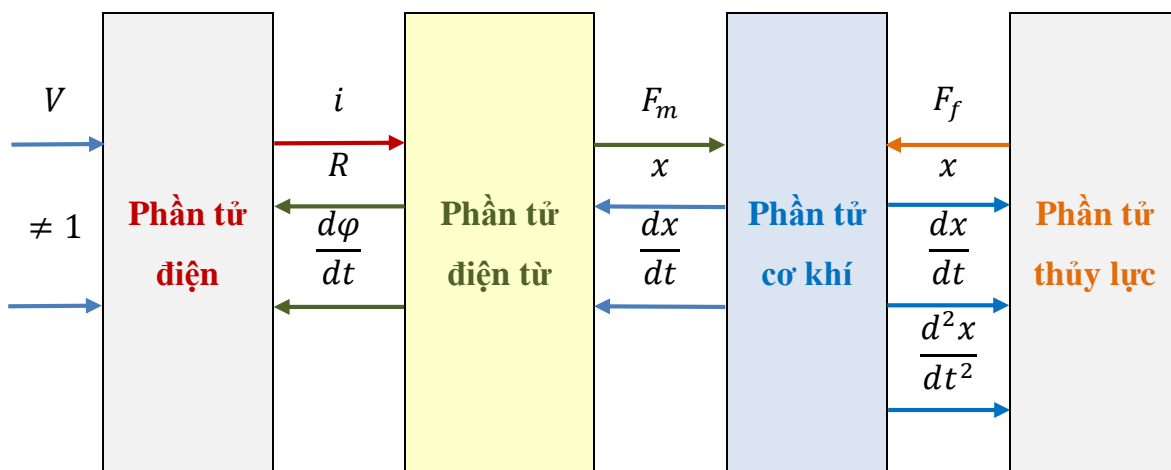
$F_f$ : áp lực nhiên liệu

$F_m$ : lực từ

$m$ : là khối lượng ty kim

$\xi$ : hệ số dao động tắt dần

Chuyển động của ty kim là hoạt động quan trọng của kim phun. Chuyển động này được phân tích thông qua bốn thành phần tử: phần tử điện, phần tử điện từ, phần tử cơ khí và phần tử thủy lực như hình 2.29.



**Hình 2.29:** Mô hình hệ điện – điện từ - cơ - thủy lực của kim phun

Hệ phương trình mô hình hóa kim phun trong hệ bốn phần tử: điện - điện từ - cơ khí - thủy lực:

$$\begin{cases} (L_s + L_a) \frac{di}{dt} + (R_s + R_a + R_L)i + V_c = V_0 \\ i = C \frac{dV_c}{dt} \\ \frac{d^2x}{dt^2} = \frac{1}{m} F_m - \frac{1}{m} k(x + x_0) - \frac{1}{m} F_f - \frac{1}{m} \xi \frac{dx}{dt} \end{cases} \quad (2.58)$$

$$\begin{cases} F_m = \frac{\mu_0(N_i)^2 S_a}{2(\delta-x)^2} \\ F_f = f(x, \frac{dx}{dt}, P_{con}, P_{bpa}) \end{cases} \quad (2.59)$$

Trong đó:

$L_s$ : độ tự cảm lúc ban đầu.

$L_a$ : độ tự cảm lúc sau của cuộn từ.

$i$ : dòng điện qua cuộn dây.

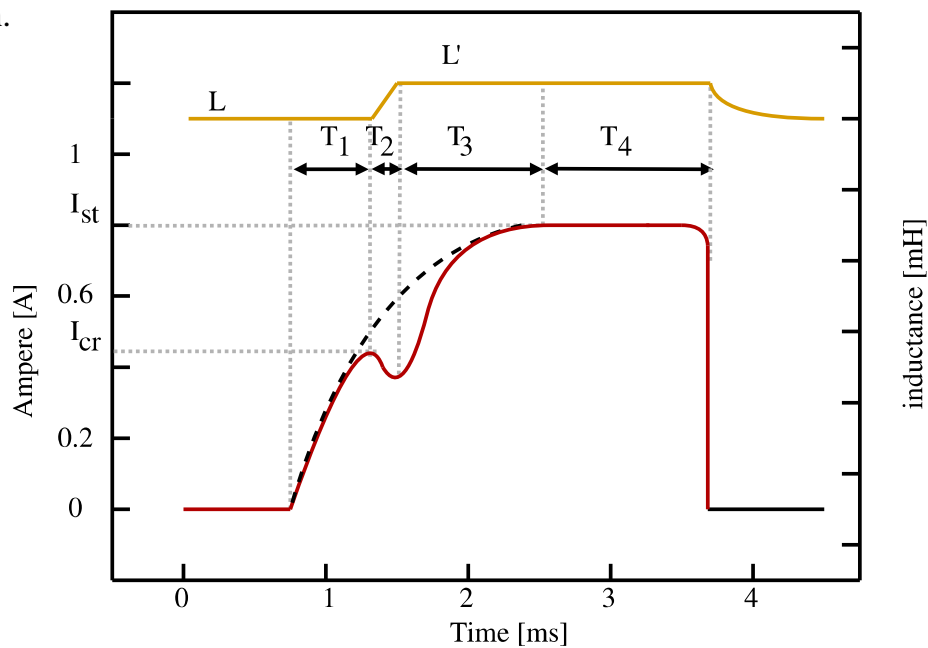
$R_s$ : điện trở lúc ban đầu.

$R_a$ : điện trở lúc sau của cuộn dây điện từ.

- $R_L$ : điện trở giới hạn dòng điện cực đại.
- $V_0$ : điện áp ban đầu cung cấp đến cuộn dây điện từ.
- $V_C$ : điện áp nạp tụ.
- $C_p$ : điện dung tụ.
- $F_m$ : lực từ.
- $\mu_0$ : độ từ thẩm trong chân không.
- $N_i$ : số vòng quấn trên cuộn dây.
- $S_a$ : từ thông qua tiết diện mặt cắt ngang.
- $\delta$ : khoảng cách ban đầu.
- $P_{con}$ : áp suất điều khiển.
- $P_{bpa}$ : áp suất nhiên liệu hồi.

#### 2.7.4 Đặc tính cường độ dòng điện qua kim phun

Khi điện áp cấp đến kim phun, dòng điện trong cuộn từ sẽ tăng dần do sự cản trở của dòng tự cảm, 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 ty kim tăng dần, đến thời điểm nhất định, khi lực từ lớn hơn lực nén của lò xo hồi vị và áp lực từ nhiên liệu, ty kim sẽ dịch chuyển lên trên và nhiên liệu được phun vào xy lanh.



**Hình 2.30:** Đặc tính, độ tự cảm cường độ dòng điện qua kim phun [28]

Trên hình 2.30, khi kim phun được cấp điện, cường độ dòng điện trong cuộn từ bắt đầu tăng từ 0A đến khi lực điện từ lớn hơn áp lực tổng cộng đặt vào đầu kim, ty kim sẽ được nhấc lên. Lúc này, cường độ dòng điện qua kim phun sẽ có khoảng rơi nhỏ do suất điện động tự cảm trong cuộn tăng lên do L tăng [28]. 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 điện áp đặt vào kim.

Mối quan hệ giữa các đường đặc tính điện áp, cường độ dòng điện có quan hệ theo biểu thức 2.60.

$$I = \frac{U}{R} \left( 1 - e^{-\frac{R}{L}t} \right) \quad (2.60)$$

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 2.30). 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, 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 qua 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 thiếu chính xác.

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

$$L' = \frac{L}{e^{-t}} \quad (2.61)$$

$$\Delta L = L' - L = L'(1 - e^{-t}) \quad (2.62)$$

Quá trình thay đổi của độ tự cảm  $L$  trong kim phun ở quá trình nhấc kim thành 3 giai đoạn như hình 2.30.

Quá trình thay đổi cường độ dòng điện qua kim phun được biểu diễn qua 04 giai đoạn:

- 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 2.30. Lúc này, lực từ ( $F_m$ ) trong kim phun là rất nhỏ so với cản lực tổng cộng của lò xo hồi vị ( $F_s$ ) và của áp lực nhiên liệu ( $F_f$ ).

$$F_f + F_s \gg F_m \quad (2.63)$$

Cường độ dòng điện trong giai đoạn 1:

$$I_1 = \frac{U}{R} \left( 1 - e^{-\frac{R}{L}t_1} \right) \quad (2.64)$$

- 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 thắng được các trở lực, ty kim bắt đầu nhấc lên khỏi bệ.

$$F_f + F_s = F_m \quad (2.65)$$

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 ( $dI/dt$  khác 0).

$$I_2 = \frac{U}{R} \left( 1 - e^{-\frac{R}{\Delta L}t_2} \right) = \frac{U}{R} \left( 1 - e^{-\frac{R}{L'-L}t_2} \right) = \frac{U}{R} \left( 1 - e^{-\frac{R}{L'(1-e^{-t})}t_2} \right) \quad (2.66)$$

Từ biểu thức 2.66, nhận thấy  $U, R$  các là giá trị không đổi trong 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 có giá trị là  $L'$   
Trong giai đoạn này, lực từ đã lớn hơn cản lực của lò xo và cản lực của nhiên liệu. Ty kim đã được nhấc lên hoàn toàn khỏi bệ.

$$F_f + F_s < F_m \quad (2.67)$$

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.

$$I_3 = \frac{U}{R} \left( 1 - e^{-\frac{R}{L}t_3} \right) \quad (2.68)$$

- 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 đạt giá trị bão hòa ổn định theo thời gian.

$$I_4 = \frac{U}{R} \quad (2.69)$$



## Chương 3

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

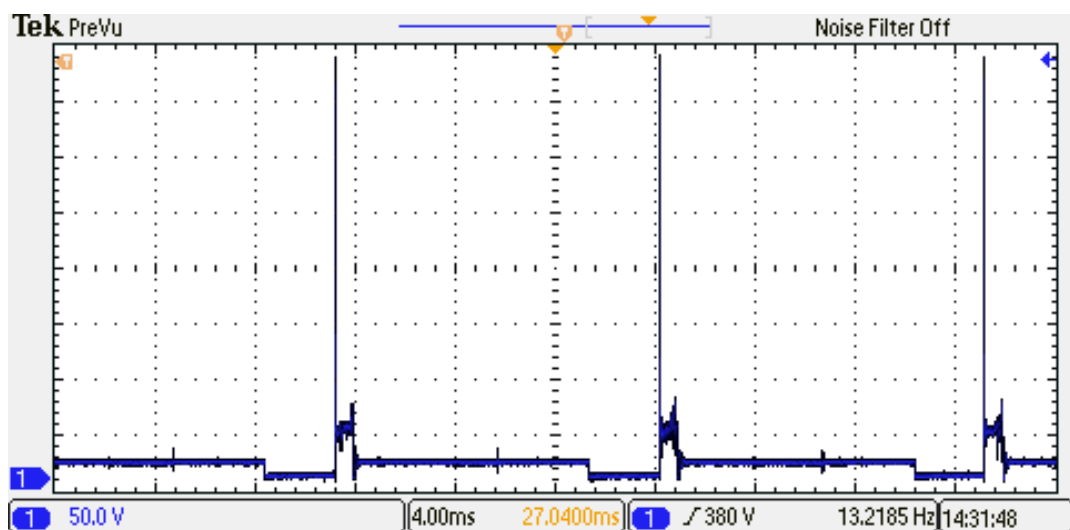
### 3.1 Khảo sát suất điện động tự cảm thực tế

Người nghiên cứu tiến hành sử dụng thiết bị chuyên dụng đo hiện sóng Tektronix MSO2000B [29] (hình 3.1) để thực hiện khảo sát dạng sóng suất điện động tự cảm, cường độ dòng điện trên cuộn dây sơ cấp bobine, kim phun của ô tô 07 chỗ.

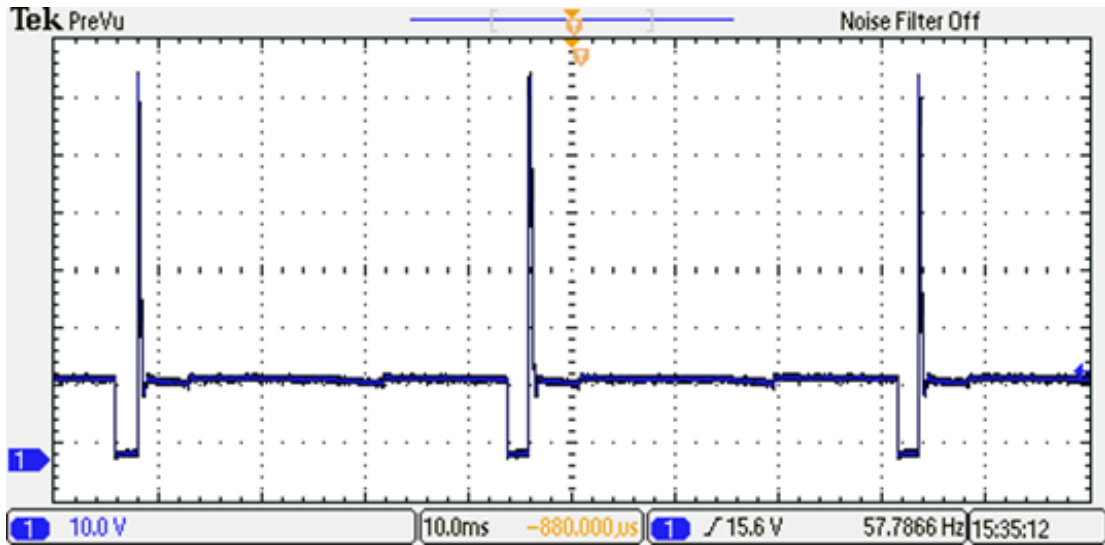


**Hình 3.1:** Máy đo hiện sóng Tektronix MSO2000B [26]

Hình 3.2 và hình 3.3 biểu thị suất 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

Tại cùng mức điện áp hoạt động là 12V, suất điện động tự cảm của 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. Như đã đề cập tại mục 2.1, các xung tự cảm này là nguyên nhân chính gây hại cho các linh kiện bán dẫn trong mạch, cũng như gây tổn hao nhiệt cho chính bộ chấp hành.

Cường độ dòng điện qua cuộn dây tại thời điểm chuyển mạch được xác định bởi biểu thức (3.1).

$$I = \frac{U}{R} (1 - e^{-\frac{R}{L}}) \quad (3.1)$$

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

Năng lượng tích lũy  $W_{tl}$  trên cuộn dây sau mỗi lần chuyển mạch:

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

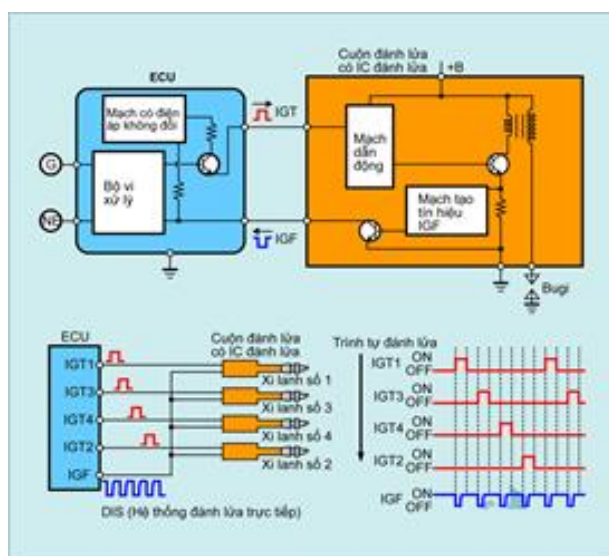
Trên cơ sở lý thuyết ở chương 2, tại mục 2.4.2: năng lượng điện cảm có khả năng tích lũy của bobine cao hơn khoảng 99 lần so với với kim phun. Người nghiên cứu sẽ thực hiện việc thiết kế một bộ thu hồi, tích trữ năng lượng điện cảm từ bobine, sau đó nguồn năng lượng này sẽ được cung cấp đến kim phun khi bộ tích trữ năng lượng được nạp đầy.

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

Người nghiên cứu 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. Mô hình thực nghiệm đảm bảo hoạt động giống như trên xe.

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

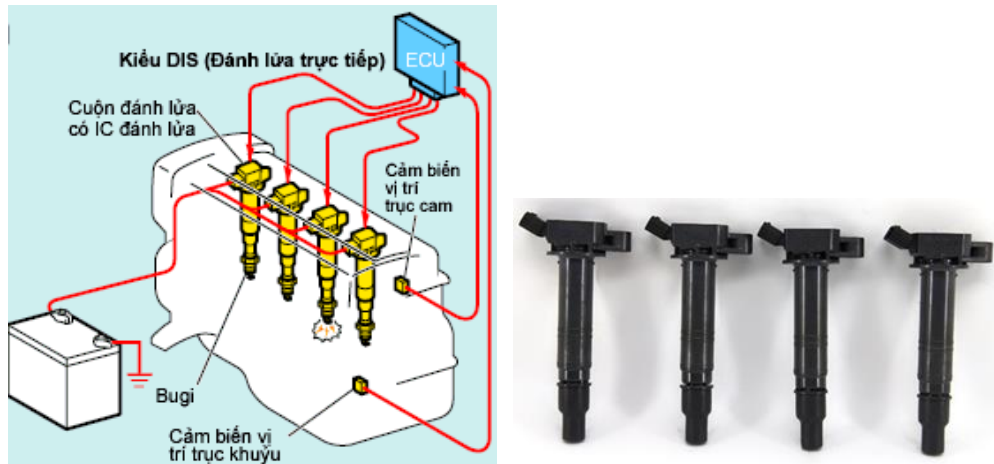
ECU động cơ điều khiển dòng điện cao áp đến các xy lanh bằng cách gửi từng tín hiệu IGT1, IGT, IGT3, IGT4 đến các IC đánh lửa theo trình tự đánh lửa dựa vào tín hiệu từ các cảm biến.



**Hình 3.4:** Nguyên lý điều khiển hệ thống đánh lửa trực tiếp [30]

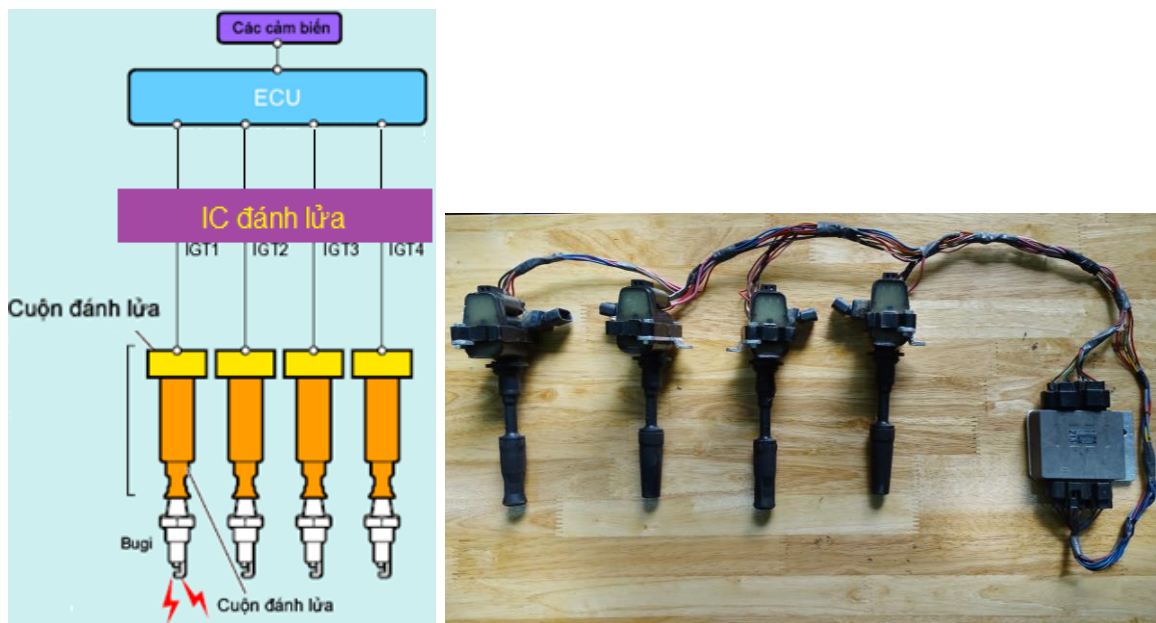
Trước khi tiến hành thu hồi năng lượng, một số điều chỉnh từ cụm đánh lửa cần phải được triển khai. Cụ thể, trên động cơ 4 xy lanh, mỗi xung IGT lệch nhau  $180^\circ$  tính theo góc quay trục khuỷu. Tín hiệu IGT dạng xung vuông chuyển đến bộ đánh lửa (IC đánh lửa) trước điểm chết trên ở quá trình nén. IC đánh lửa điều khiển dòng điện đi qua cuộn sơ cấp. Khi xung IGT ngắt dòng điện đi qua cuộn sơ cấp, cuộn thứ cấp sinh ra một suất điện động có điện áp cao, 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.

Người nghiên cứu khảo sát hệ thống đánh lửa trực tiếp trên động cơ 1TR-FE [30] có cụm đánh lửa và bobine tích hợp như hình 3.5.



**Hình 3.5:** Cụm đánh lửa có tích hợp IC [30]

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 bobine. Để giải quyết vấn đề quan tâm, người nghiên cứu đề xuất chuyển đổi kết cấu của cụm điều khiển đánh lửa có IC và bobine 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 và 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.



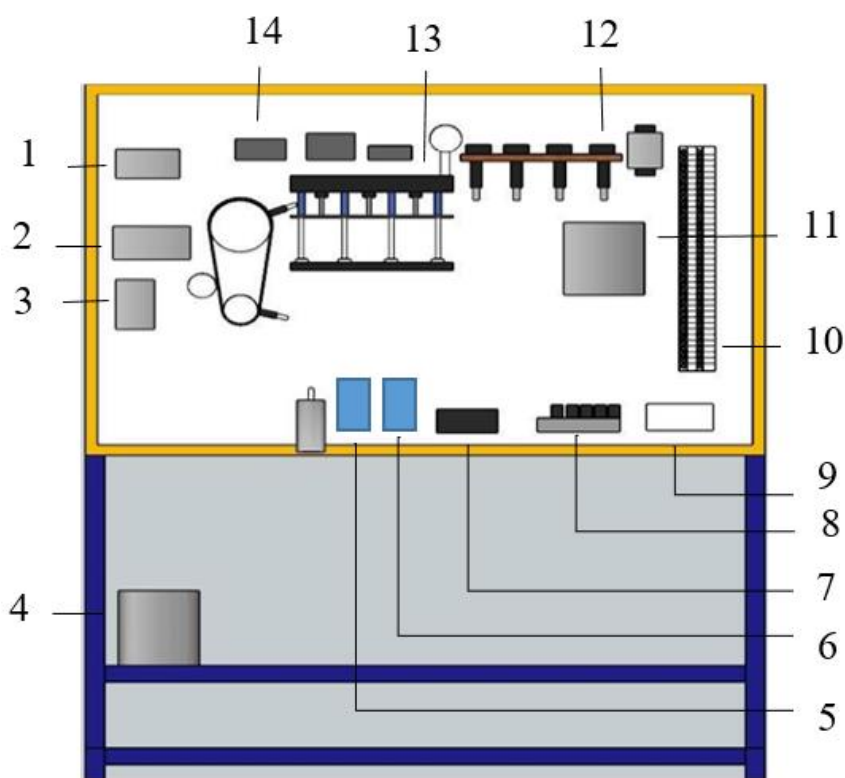
**Hình 3.6:** Cụm đánh lửa được đề xuất thay thế

Trên hình 3.6, người nghiên cứu tiến hành tách các cụm chi tiết trong hệ thống DIS ra thành ba phần chính gồm ECU, IC đánh lửa và bobine. Phần ECU và IC đánh lửa vẫn được giữ nguyên, các bobine sẽ được thiết kế một bộ thu hồi, lưu trữ năng lượng đi kèm để thực hiện việc tái sử dụng nguồn năng lượng điện cảm như mô hình lý thuyết (hình 1.16).

### 3.2.2 Thiết kế mô hình thực nghiệm

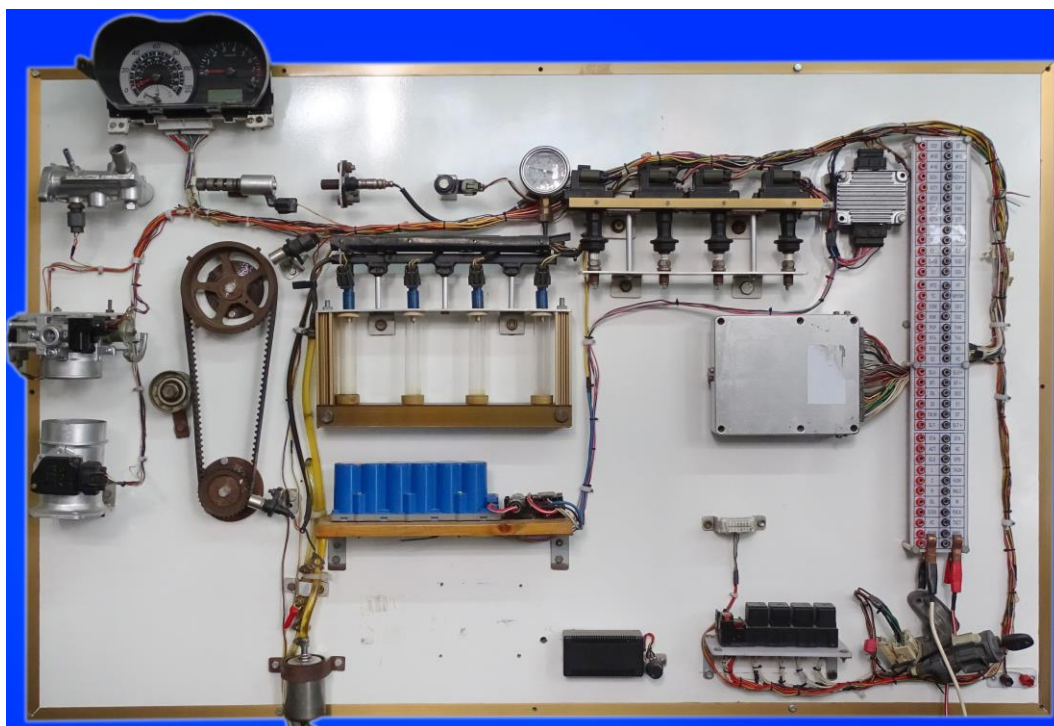
Mô hình thực nghiệm hệ thống điện điều khiển động cơ trên một khung thép kích thước: 1320 x 700 x 1690 (mm) với các cụm chi tiết của hệ thống điện điều khiển động cơ 1TR-FE có kết hợp Card NI 6009 giao tiếp dữ liệu đa năng giữa máy tính và thiết bị thông qua cổng USB, bộ tích trữ năng lượng và mạch thu hồi năng lượng điện cảm tái sinh (bảng 3.1).

Mô hình thực nghiệm được bố trí các bộ phận như hình 3.7.



**Hình 3.7:** Cụm chi tiết đề xuất trên mô hình thực nghiệm

1 – đồng hồ trung tâm; 2 – họng ga; 3 – cảm biến lưu lượng gió; 4 – thùng xăng; 5 – NI 6009; 6 – mạch điều khiển; 7 – cụm hiệu chỉnh tốc độ động cơ; 8 – hệ siêu tụ điện; 9 – công tắc nguồn; 10 – điểm đo; 11 – ECU; 12 – cụm IC và bobine; 13 – cụm kim phun xăng; 14 – van VVT-i.




**Hình 3.8:** Mô hình thực nghiệm

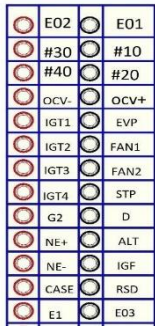



Một động cơ điện 12VDC dẫn động rotor của cảm biến vị trí trục cam và cảm biến tốc độ động cơ trong dải tốc độ 750 – 6000 vòng/phút, cùng với các tín hiệu đầu vào, ECU, tín hiệu đầu ra tạo nên hoạt động ổn định và chính xác của mô hình thử nghiệm hình 3.8.

Danh mục các bộ phận trên mô hình thực nghiệm được liệt kê ở bảng 3.1.

**Bảng 3.1:** Các bộ phận trên mô hình thực nghiệm

STT	Danh mục	Chức năng	Thông số	Hình ảnh
1	Khung mô hình	Gá lắp chi tiết, thiết bị	1320 x 700 x 1690 (mm) Khối lượng: 90 kg	Hình 3.8
2	Các tín hiệu đầu vào: lưu lượng khí nạp, nhiệt độ khí nạp, vị trí	Cơ sở quá trình điều khiển lập trình	Các cảm biến tương ứng động cơ ITR-FE	Hình 3.8

	bướm ga, vị trí trục cam, trục khuỷu...			
3	Hệ thống điện điều khiển, bộ điều khiển trung tâm (ECU)	Kết nối, hoàn thiện hệ thống	Cụm chi tiết điện của động cơ 1TR-FE	Hình 3.8
4	Các tín hiệu đầu ra: hệ thống đánh lửa, hệ thống nhiên liệu, VVT-i.....	Xác nhận kết quả quá trình điều khiển lập trình	Các bộ chấp hành tương ứng động cơ 1TR-FE	Hình 3.8
5	Bộ chuyển đổi hệ thống cụm IC đánh lửa và cuộn đánh lửa		cụm IC đánh lửa và cuộn đánh lửa tương ứng động cơ 1MZ-FE	Hình 3.8
6	Hệ thống điện nguồn, mạch bảo vệ	Cấp nguồn, đảm bảo an toàn điện	Cụm công tắc, rơle, cầu chì tương ứng động cơ 1TR-FE	
7	Bộ điều khiển tốc độ động cơ	Giả lập dải tốc độ động cơ từ 750 đến 6000 v/ph theo yêu cầu thực nghiệm	Điện áp đầu vào: 12VDC Dòng điện tĩnh: 0,025A Dòng điện định mức lớn nhất 40A	

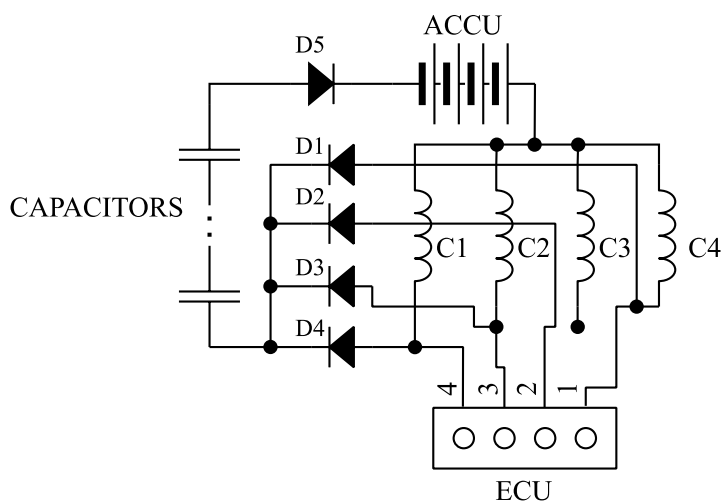
			Công suất điều khiển 480W. Tần số PWM: 12khz	
8	Thiết bị hiển thị thông tin	Trực quan thông tin cần giám sát,	Bảng táp-lô tương ứng động cơ 1TR-FE	
9	Thiết bị đo kiểm thông tin	Kết nối thiết bị đo dạng sóng, điện áp, dòng điện...	Theo yêu cầu thực tế kết nối	
10	Mạch điều khiển lập trình thu hồi năng lượng điện cảm	Thiết kế mạch lập trình thuật toán điều khiển.	Arduino Nano, vi điều khiển Atmega328 (họ 8bit), bộ nhớ EEPROM-1 KB, Dòng: 19mA Số chân digital: 14 Số chân analog: 08	
11	Card giao tiếp, thu thập dữ liệu	Thu thập dữ liệu, hiển thị trực quan thông tin cần thiết	National Instruments Card (NI 6009) Tầm đo: 0 - 10 V Độ chính xác: 0,007V	
12	Bộ tích trữ năng lượng điện cảm	Tích trữ, nguồn phát năng	Hệ siêu tụ Maxwell Điện dung: 35 F Điện áp: 24 V	



		lượng điện cảm tái sinh	Dòng rò: 25 mA	
13	Hệ thống nhiên liệu trực quan	Đánh giá quá trình điều khiển kim phun	Cụm các kim phun, bơm nhiên liệu, lọc, đồng hồ áp suất tương ứng động cơ 1TR-FE	Hình 3.8

### 3.3 Thiết kế mạch thu hồi điện cảm

Mạch được thiết kế có khả năng thu hồi nhanh, chịu được xung điện áp cao, an toàn, ổn định các suất điện động tự cảm từ các cuộn dây sơ cấp C1, C2, C3, C4 của 04 bobine về một thiết bị lưu trữ (hệ siêu tụ).



**Hình 3.9:** Mạch nguyên lý thu hồi điện áp tự cảm

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

### 3.4 Phân tích, lựa chọn bộ lưu trữ năng lượng

Trên cơ sở lý thuyết ở chương 2, mục 2.5.3 cùng với mục tiêu chọn loại thiết bị có khả năng nạp và phóng nhanh, tiếp nhận các suất điện động dạng tắt dần đồng thời là

nguồn tích trữ năng lượng có điện áp cao hơn điện áp của ắc quy và có dung lượng đủ lớn nhằm cải thiện tính đáp ứng của kim phun. Người nghiên cứu quyết định chọn hệ siêu tụ điện 27V-35F được ghép nối tiếp từ 10 siêu tụ Maxwell BCAP0350 (hình 3.10) 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 3.10:** Hệ siêu tụ điện 27V-35F

Để đảm bảo tính an toàn, tránh cháy nổ ở các tụ, người nghiên cứu chọn hệ số an toàn cho hệ thống là 1,125, tương đương mức điện áp hoạt động của hệ siêu tụ sẽ là 24V khi nạp đầy so với mức danh định là 27V.

Các thông số kỹ thuật hệ siêu tụ như bảng 3.2.

**Bảng 3.2:** Thông số kỹ thuật hệ siêu tụ

TT	Thông số kỹ thuật	Đơn vị
1	Điện dung định mức	35 F
3	Điện trở trong cực đại $ESR_{DC}$	22 m $\Omega$
4	Dòng điện định mức	45 A
5	Dòng rò cực đại tại 25°C	25 mA
6	Điện áp định mức	24 V
7	Điện áp cực đại	27 V
8	Năng lượng cực đại	0,35 Wh
9	Số siêu tụ thành phần	10

Năng lượng cực đại và công suất cực đại mà hệ siêu tụ có thể tích trữ lần lượt thể hiện ở biểu thức (3.3) và (3.4) [31].

$$\begin{aligned}
 E_{\max} &= \frac{CU^2}{2 \times 3600 \times \text{mass}} \\
 &= \frac{\frac{350}{10} \times 27^2}{2 \times 3600 \times \frac{3,2}{1000}} = 1107,42(J)
 \end{aligned}
 \tag{3.3}$$

$$\begin{aligned}
 P_{\max} &= 0,06 \frac{U^2}{ESR_{DC}} = 0,06 \frac{27^2}{\frac{60}{1000}} \\
 &= 729(W)
 \end{aligned}
 \tag{3.4}$$

Một bộ nguồn năng lượng thứ cấp trên ô tô từ hệ siêu tụ có giá trị công suất cực đại đạt đến 729W khi ở trạng thái được nạp đầy. Nguồn năng lượng này được sử dụng làm nguồn điện áp cung cấp cho hoạt động cải thiện độ nhạy kim phun trong hệ thống phun xăng điện tử.

### 3.5 Thiết kế, thi công mạch thu hồi năng lượng

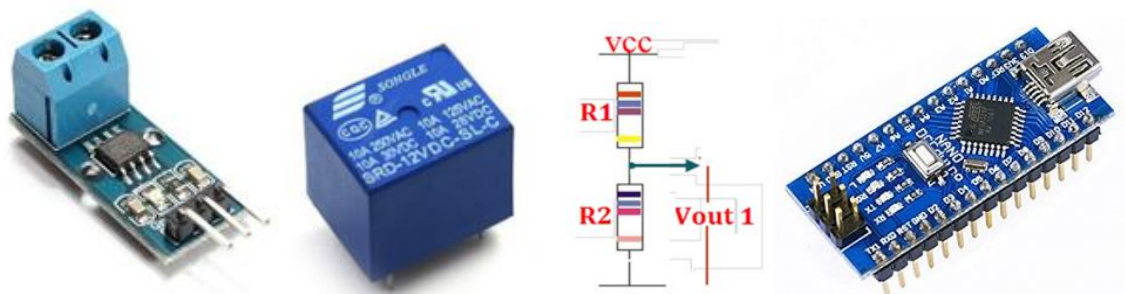
Mạch thu hồi năng lượng điện cảm tái sinh được thiết kế bao gồm các bộ phận, linh kiện như hình 3.11 và được bố trí theo nguyên lý hình 3.12.

- 01 cảm biến dòng ACS712 có dải đo dòng điện 0,2 – 5A, sử dụng nguồn điện 5V, độ nhạy đầu ra 63 – 190 mV/A, nhiệt độ hoạt động -40°C – 85°C.

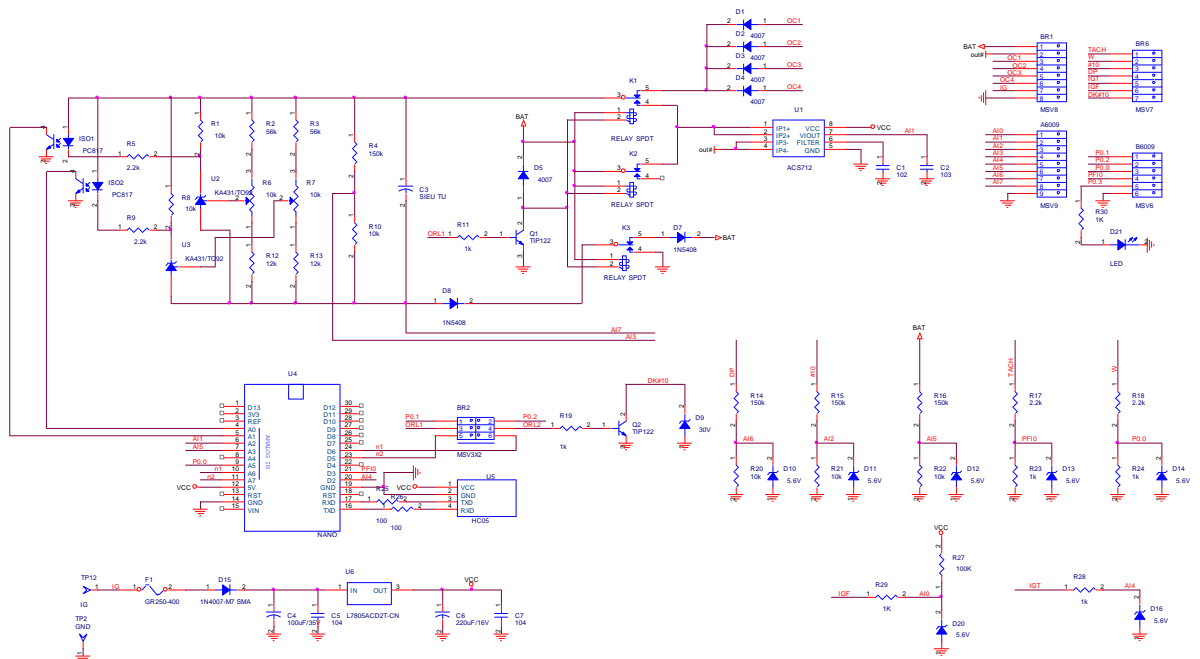
- 03 role Sòngle 12V, 4 chân SRD-12VDC-SL-A: dòng DC 6- 10 A, nhiệt độ hoạt động: - 45°C - 75°C, công suất cuộn dây: 360 mW, thời gian tác động: 10 ms, thời gian nhả tiếp điểm: 5 ms.

- 01 Arduino Nano: vi điều khiển Atmega328 (họ 8bit), bộ nhớ EEPROM-1 KB, dòng tiêu thụ: 19mA, điện áp vào 7-1VDC, số chân Digital I/O: 14, số chân Analog: 08 - đóng vai trò trung tâm trong thu thập và kiểm soát các tín hiệu.

- 07 mạch cầu chia áp hạ mức điện áp với dải đo 0,5 – 5V, không làm thay đổi hình dạng của tín hiệu khi truyền đến các chân AI0, AI4, AI2, AI5, AI6, PFIO, P0.0 của card NI 6009 (phụ lục 2) tương ứng với các tín hiệu IGF, IGT, #10, BAT, DP, TACH, W.



**Hình 3.11:** Các bộ phận, linh kiện sử dụng trong mạch thu hồi năng lượng

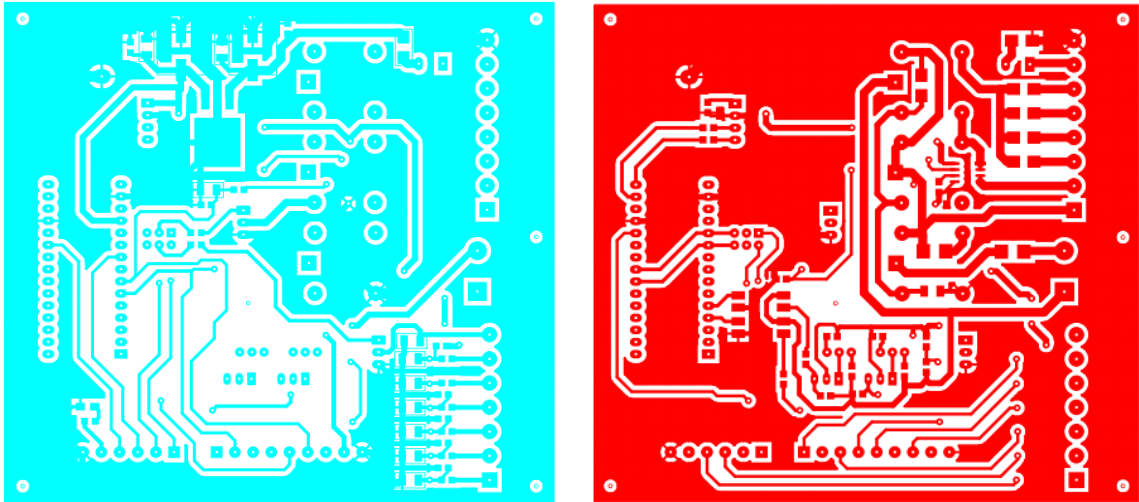


**Hình 3.12:** Sơ đồ nguyên lý mạch thu hồi năng lượng

Nguyên lý mạch thu hồi năng lượng theo hình 3.12: 03 role ở trạng thái thường đóng, 04 cực âm bobine C1, C2, C3, C4 nạp qua các diode D1, D2, D3, D4 đến tiếp điểm thường đóng K1 vào cực dương hệ siêu tụ. Lúc này dương kim phun qua điểm thường đóng K2 qua cảm biến đo dòng ASC712 đến kim phun tại chân Out#. Tiếp điểm K3 nối âm hệ siêu tụ về nguồn.

Hai điện trở R4, R10 tạo thành cầu phân áp giảm áp trên hệ siêu tụ gửi về chân A17 và A13 của Card NI 6009. Điện trở R3, R7, R13 tạo điện áp chiết áp thay đổi khi điều chỉnh biến trở tại điểm U2 để điều khiển dẫn Opto ISO1. Điện trở R2, R6, R12 tạo điện áp chiết áp thay đổi khi điều chỉnh biến trở điểm U2 điều khiển dẫn Opto ISO2. Điện áp ra tại ISO1, ISO2 gửi về vi điều khiển để kiểm soát điện áp tại chân A0, A1

Khi vi điều khiển xác định điện áp hệ tụ lớn hơn 24V tại chân A0, sẽ điều khiển tín hiệu tại chân D5 (tín hiệu ORL1) đến transistor Q1 để chuyển mạch các cuộn dây của 03 rơle, 03 tiếp điểm mở ra. Lúc này cực dương hệ siêu tụ cấp đến kim phun qua ASC712. Tiếp điểm K2 bị ngắt, tiếp điểm K3 nối mass cho hệ siêu tụ.



**Hình 3.13:** Mạch in lớp trên và lớp dưới của mạch thu hồi năng lượng



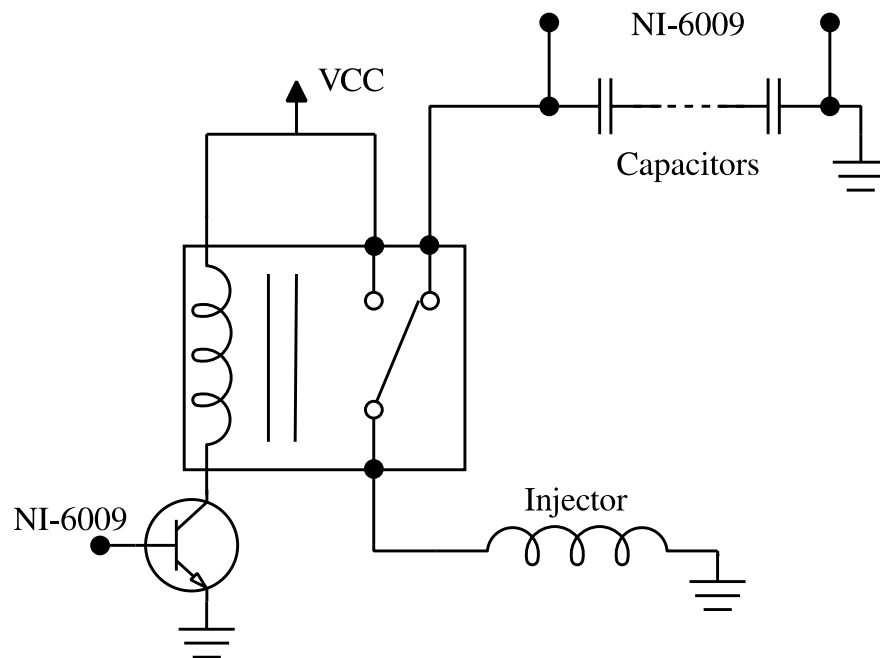
**Hình 3.14:** Sản phẩm mạch thu hồi năng lượng

Khi vi điều khiển xác định điện áp hệ siêu tụ nhỏ hơn 21V tại chân A1, sẽ điều khiển tín hiệu tại chân D5 (tín hiệu ORL1) đến transistor Q1 ngắt dòng qua các cuộn dây của 03 rơle, 03 tiếp điểm đóng lại, quá trình trở lại như ban đầu. Lập trình điều khiển trên Arduino Nano dùng vi điều khiển Atmega328 được trình bày tại phụ lục 1.

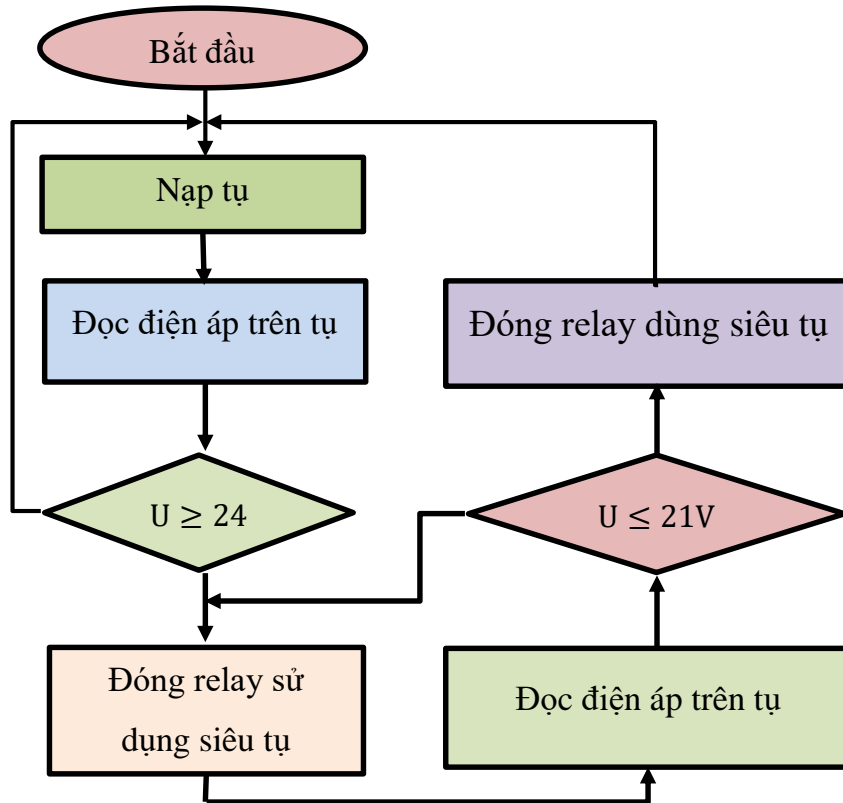
Các cầu phân áp tích còn được hợp trên mạch điều khiển để truyền các thông tin hiện hành của các tín hiệu IGF, IGT, #10, BAT, DP, TACH, W đến card NI 6009, sau đó hiển thị trên màn hình máy tính thông qua giao diện được thiết kế trên phần mềm LabVIEW hình 3.21 và code lập trình theo phụ lục 3.

### 3.6 Lập trình điều khiển

Vi điều khiển Arduino Nano (U4) ngoài việc điều khiển 03 role ở trạng thái phù hợp, còn điều khiển lựa chọn nguồn năng lượng cấp cho kim phun theo lưu đồ hình 3.16. nhằm kiểm soát quá trình cấp năng lượng theo sơ đồ chuyển đổi nguồn điện đến kim phun dùng hệ siêu tụ hoặc ắc quy như hình 3.15.



**Hình 3.15:** Sơ đồ chuyển đổi nguồn điện



**Hình 3.16:** Lưu đồ thuật toán kiểm soát năng lượng điện cảm

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

Nội dung thu thập dữ liệu, đo lường và kiểm soát năng lượng điện cảm:

- Thu thập các tín hiệu đầu vào (#10, TACH, IGT, IGF, BATT, EDLC, C1...).
- Giám sát điện áp trên thiết bị tích trữ năng lượng tái sinh (hệ siêu tụ điện).
- Điều khiển lập trình phối hợp nguồn năng lượng hiện hành từ ắc quy và hệ siêu tụ điện cung cấp đến kim phun.
- Hiển thị thông tin dữ liệu thực nghiệm trên máy tính.

Theo [31], năng lượng trên hệ siêu tụ được xác định:

$$E_{max} = \frac{C_{td}U^2}{2 \times 3600 \times mass} \quad (3.5)$$

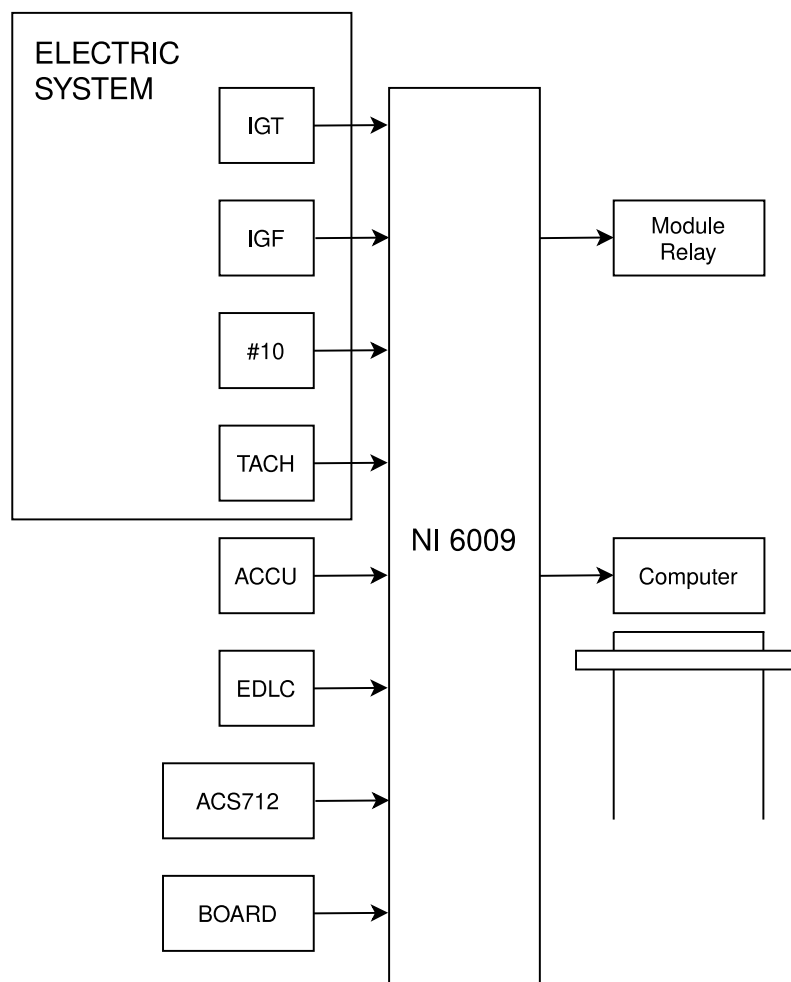
Trong đó:

$E_{max}$ : năng lượng cực đại của hệ siêu tụ.

$C_{td}$ : điện dung tương đương của hệ siêu tụ.

$U$ : điện áp nạp được trên hệ siêu tụ.

$mass$ : hệ số theo khối lượng (0,006).



**Hình 3.17:** Sơ đồ kết nối điều khiển thu thập dữ liệu [33]

Biểu thức (3.5) đưa vào lập trình để xác định năng lượng trên hệ siêu tụ.

Hệ thống thu thập dữ liệu và kiểm soát năng lượng điện cảm được thiết kế bao gồm giao diện hiển thị thông tin và điều khiển trên máy tính cài đặt phần mềm LabVIEW và card thu thập dữ liệu NI 6009 của hãng National Instruments, cảm biến dòng, vi điều khiển Arduino, mạch điện tử. Sơ đồ khối kết nối điều khiển và kiểm soát năng lượng điện cảm như hình 3.17.

Các thông số dữ liệu đầu vào và đầu ra theo bảng 3.3 và bảng 3.4.

**Bảng 3.3:** Các thông số đầu vào của hệ thống kiểm soát năng lượng

TT	Thông số đầu vào	Kí hiệu
1	Tín hiệu điều khiển đánh lửa	IGT
2	Tín hiệu điện cảm trên bobine đánh lửa	C1, C2, C3, C4



3	Tín hiệu điện áp ắc quy	BAT
4	Tín hiệu điện áp trên hệ siêu tụ	EDLC
5	Tín hiệu phun xăng	#1, #2, #3, #4
6	Tín hiệu tốc độ động cơ	TACH

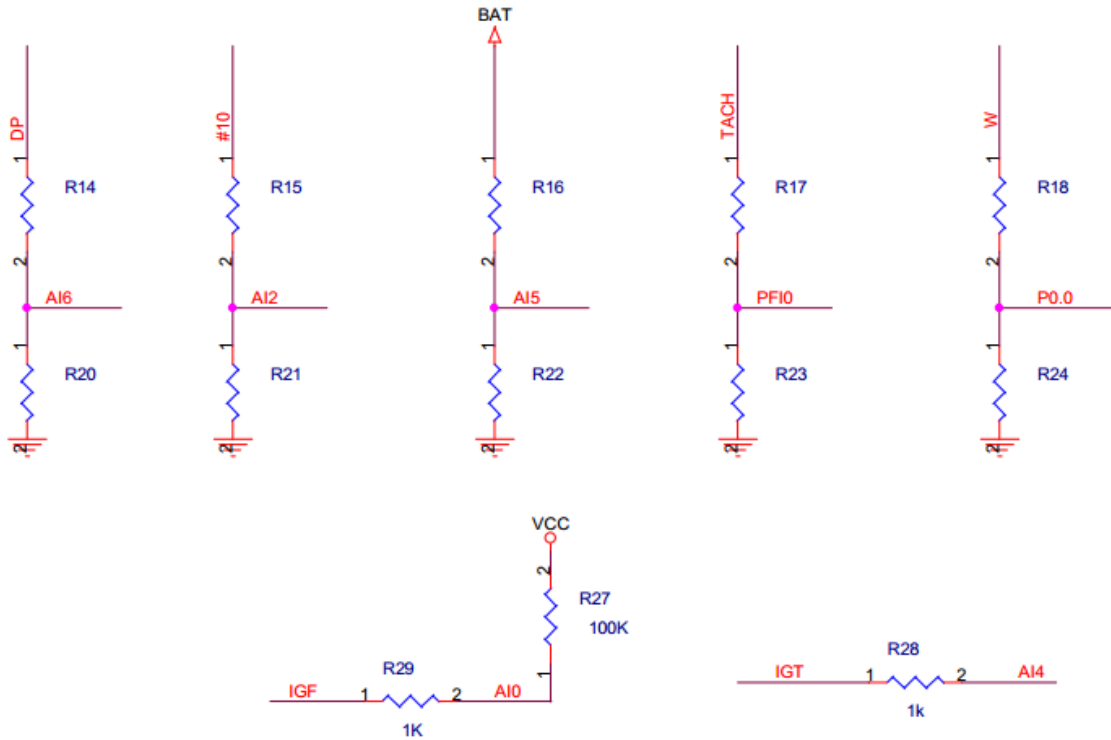
**Bảng 3.4:** Các thông số đầu ra hệ thống kiểm soát năng lượng

TT	Thông số đầu ra	Đơn vị
1	Tốc độ động cơ	v/ph
2	Hiện thị điện áp trên accu/siêu tụ	V
3	Hiện thị loại năng lượng kim phun đang sử dụng	-
4	Năng lượng điện cảm tái sinh	J
5	Thời gian kim phun hoạt động với ắc quy	s
6	Thời gian kim phun hoạt động với hệ siêu tụ	s

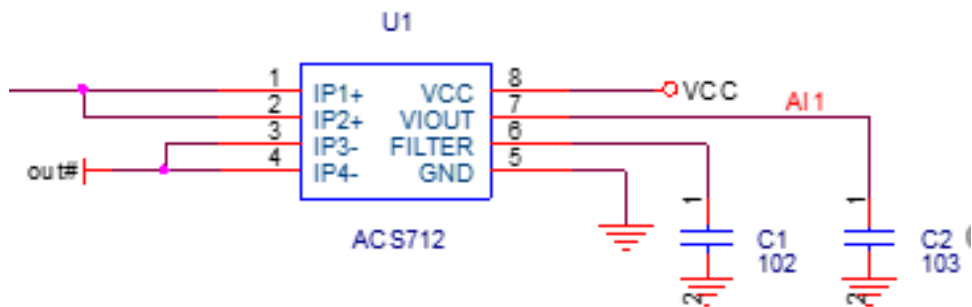


**Hình 3.18:** Card thu thập dữ liệu NI 6009 [34]

Card NI 6009 là thiết bị giao tiếp đa năng giữa máy tính và thiết bị thông qua cổng USB, có 8 kênh thu thập tín hiệu điện áp với độ phân giải 12bit. Các chân AI0, AI4, AI2, AI5, AI6, PFIO, P0.0 của card NI 6009 kết hợp 07 cầu chia áp tương ứng trên hình 3.19 nhằm thu thập tương ứng các tín hiệu IGF, IGT, #10, BAT, DP, TACH, W như trình bày ở phụ lục 2.



**Hình 3.19:** Mạch cầu chia áp cho các tín hiệu đầu vào của card thu thập dữ liệu. Tín hiệu dòng điện qua kim phun thông qua cảm biến dòng điện ACS712 được thu thập đến chân AI1 của NI 6009 như hình 3.20.



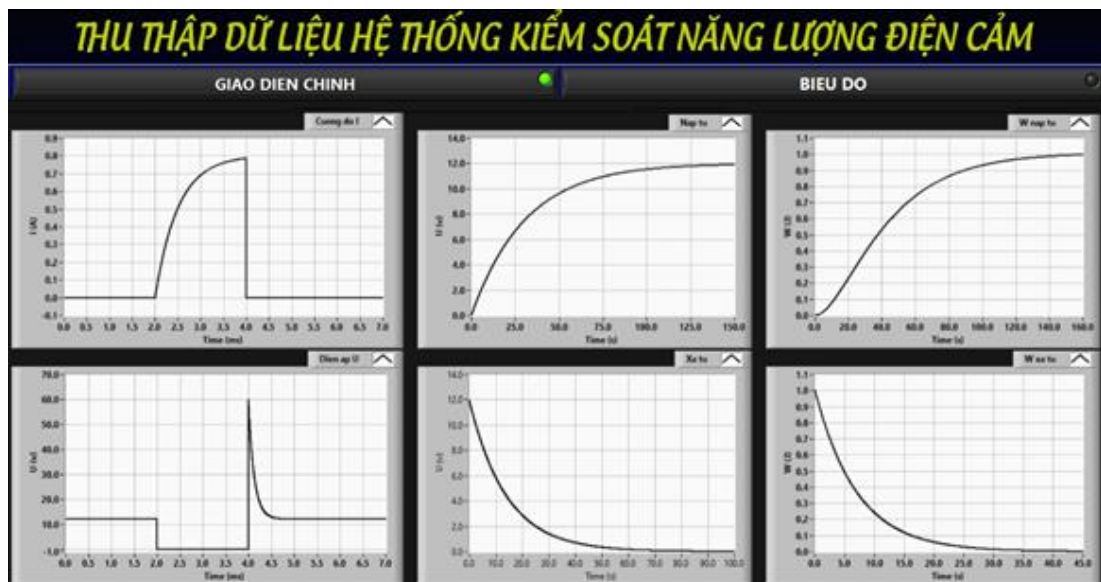
**Hình 3.20:** Tín hiệu dòng điện qua kim phun là đầu vào của NI 6009. Thiết bị thu thập sẽ đo lường và chuyển đổi dữ liệu. Nhằm hiển thị trực quan các thông số trong quá trình thử nghiệm, một giao diện trên máy tính dùng phần mềm LabVIEW (ngôn ngữ lập trình ở phụ lục 3) được thiết kế trực quan dạng bảng đồng hồ như hình 3.21.



**Hình 3.21:** Giao diện thu thập dữ liệu và kiểm soát năng lượng điện cảm

Các thông số hiển thị trên giao diện chính:

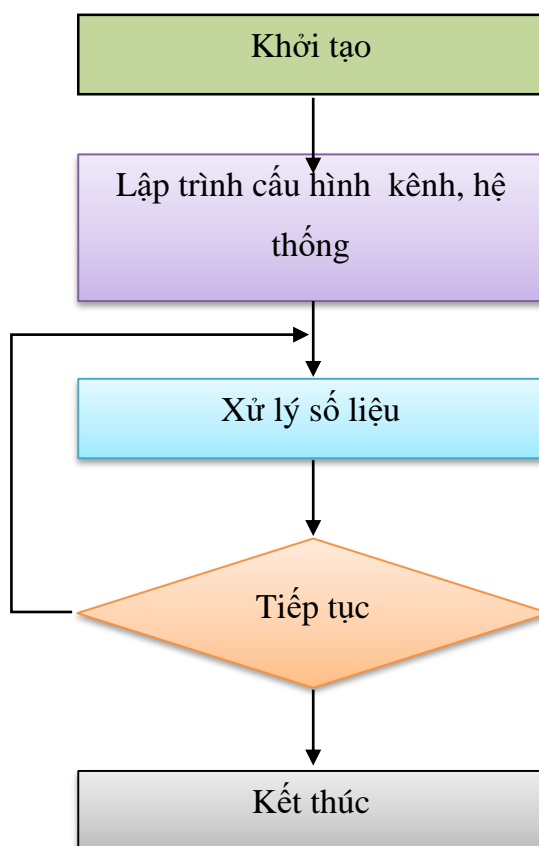
- Tốc độ động cơ (TACH).
- Điện áp ắc quy (BAT).
- Số lần phun xăng (#10).
- Số lần đánh lửa (IGT).
- Hoạt động đèn cảnh báo (W).
- Chế độ sử dụng nguồn điện: ắc quy hoặc siêu tụ.
- Năng lượng hiện tại tích trữ trên siêu tụ.



**Hình 3.22:** Giao diện phân biểu đồ đặc tuyến các thông số cường độ, điện áp, năng lượng khi siêu tụ nạp và xả

Mục biểu đồ hiển thị đặc tuyến các thông số: suất điện động tự cảm trên bobine, cường độ dòng điện trên kim phun, năng lượng điện cảm trong quá trình nạp và xả của siêu tụ biểu diễn như hình 3.22.

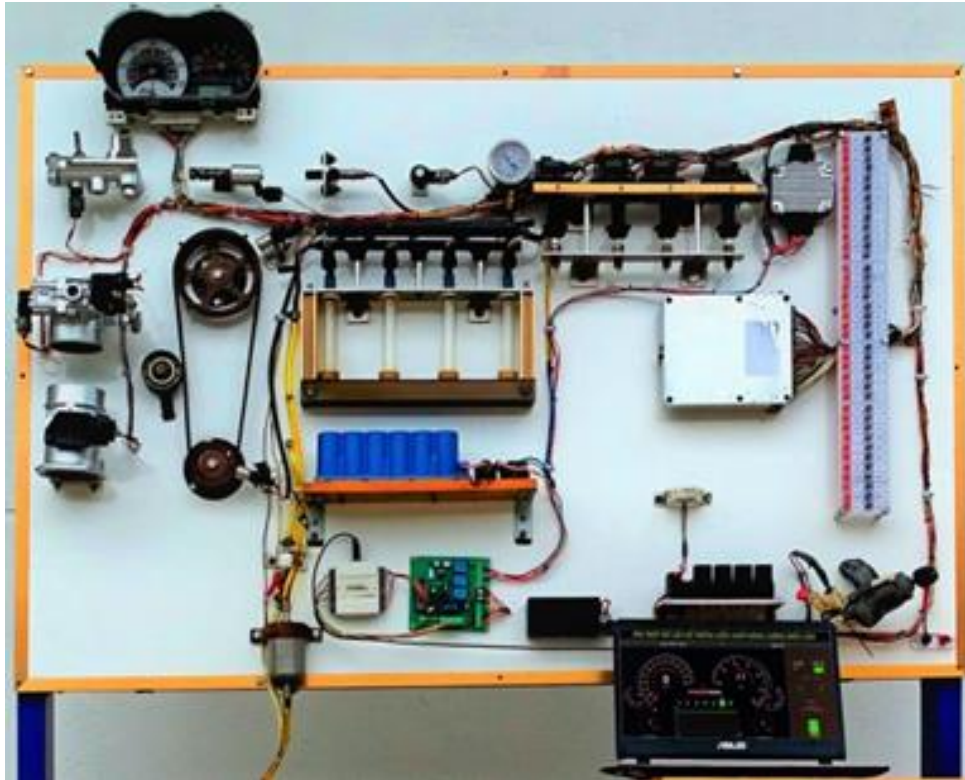
Lập trình giao tiếp giữa máy tính và card NI 6009 được thực hiện qua lưu đồ thuật toán như hình 3.23 và phụ lục 3.



**Hình 3.23:** Lưu đồ thuật toán điều khiển giao tiếp giữa máy tính và card NI 6009

### 3.8 Mô hình thực nghiệm kết nối hệ thống thu thập dữ liệu

Mô hình thử nghiệm sử dụng nguồn ắc-quy 12V-40A để vận hành động cơ một điện một chiều và các bộ phận điện cấu thành. Mô hình hỗ trợ người nghiên cứu giả lập tốc độ động cơ tương ứng giả lập dải tốc độ động cơ từ 750 đến 6000 v/ph theo mục tiêu thực nghiệm bằng cách điều chỉnh bộ điều khiển tốc độ. Mạch thu hồi năng lượng, card thu thập dữ liệu và máy tính được kết nối theo sơ đồ hình 3.17 và phụ lục 2 tạo thành một mô hình thực nghiệm trực quan như hình 3.24.



**Hình 3.24:** Mô hình thực nghiệm kết hợp mạch điều khiển và giao tiếp với máy tính. Mô hình thực nghiệm hình 3.24 minh chứng tính đồng nhất với mô hình lý thuyết (hình 1.16) như sau:

- Các bộ phận trên mô hình thực nghiệm thể hiện chi tiết về kết cấu, nguyên lý, thông số từng bộ phận tương ứng các bộ phận trong mô hình lý thuyết: đáp ứng công tác quan sát, tác động, thu thập số liệu theo yêu cầu nghiên cứu.
- Mô hình thực nghiệm hỗ trợ người nghiên cứu thuận tiện trong việc ứng dụng các phương tiện, thiết bị đo theo nội dung nghiên cứu đề ra.
- Mô hình thực nghiệm hỗ trợ công tác thu thập dữ liệu để hình thành các luận cứ thực tiễn để chứng minh giả thuyết, từ đó có thể thu thập bổ sung dữ liệu khi một vài dữ kiện và số liệu chưa chứng minh rõ ràng cho giả thuyết.
- Mô hình thực nghiệm hỗ trợ công tác đánh giá mặt mạnh, mặt yếu, chỉ ra những sai lệch đã mắc phải trong quan sát, thực nghiệm, đồng thời đánh giá ảnh hưởng của những sai lệch đó, sai số có thể chấp nhận trong kết quả nghiên cứu. Khuyến nghị khả năng áp dụng kết quả và khuyến nghị việc tiếp tục nghiên cứu.

- Mô hình lý thuyết đã hỗ trợ người nghiên cứu: nhận định bản chất sự vật cần nghiên cứu như bobine, kim phun, tuần tự sự việc cần tác động theo sự việc từ trái sang phải, từ trên xuống dưới, định hướng nội dung cần đi sâu phân tích và hình thành ý tưởng thực hiện mô hình thử nghiệm phù hợp trong phạm vi nghiên cứu có định hướng thực hiện các quan sát (trên máy đo dạng sóng) hoặc thực nghiệm (thu thập số liệu tự động ứng dụng card chuyên dụng NI 6009, kết nối máy tính có cài đặt LabVIEW).

### 3.9 Thiết kế hệ thống đánh giá độ nhạy kim phun

#### 3.9.1 Tối ưu thời gian đáp ứng kim phun bằng hệ siêu tụ

Trên hình 2.30, trong quá trình hoạt động của kim phun, khoảng thời gian  $T_1$ ,  $T_2$  và  $T_4$  là khoảng thời gian không thay đổi, còn  $T_3$  thay đổi phụ thuộc vào sự tính toán của vi điều khiển. Vì vậy, để đảm bảo độ chính xác về thời điểm phun cũng như thời gian phun, người nghiên cứu tiến hành cải thiện độ nhạy của kim bằng cách sử dụng một điện áp cao đặt vào kim nhằm giảm thời gian  $T_1$  và  $T_2$  thấp nhất có thể nhưng vẫn đảm bảo kim phun vẫn hoạt động ổn định.

$$I = \frac{U}{R} \left( 1 - e^{-\frac{T}{T_{const}}} \right) \quad (3.6)$$

Trong đó,  $T$  là tổng thời gian từ  $T_1$  đến  $T_4$ ,  $T_{const}$  là thời gian không đổi của cuộn dây, được tính bằng tỷ số giữa độ tự cảm và điện trở thuần của cuộn ( $T_{const} = R/L$ ).

Xét khoảng thời gian  $T_1$ , lúc dòng điện trong cuộn cảm sẽ tăng từ 0 đến  $i = I_{cr}$ . Khi đó:

$$T_1 = \frac{1}{T_{const}} \ln \left( \frac{I_{st}}{I_{st} - I_{cr}} \right) \quad (3.7)$$

Trong đó,  $I_{st}$  là cường độ dòng điện ở trạng thái ổn định, được xác định theo định luật Ohm,  $I_{st} = U/R$ .

Ở đây, người nghiên cứu tập trung phân tích  $T_1$  nhằm cải thiện tính đáp ứng của kim phun bằng hệ siêu tụ. Giả sử có hai mức điện áp hoạt động của kim phun, gọi  $T_1'$  là thời gian đáp ứng của kim phun ở điện áp  $U'$  từ siêu tụ với  $U' > U$ .

$$T_I' = \frac{I}{T_{const}} \ln \left( \frac{I_{st}'}{I_{st}' - I_{cr}'} \right) \quad (3.8)$$

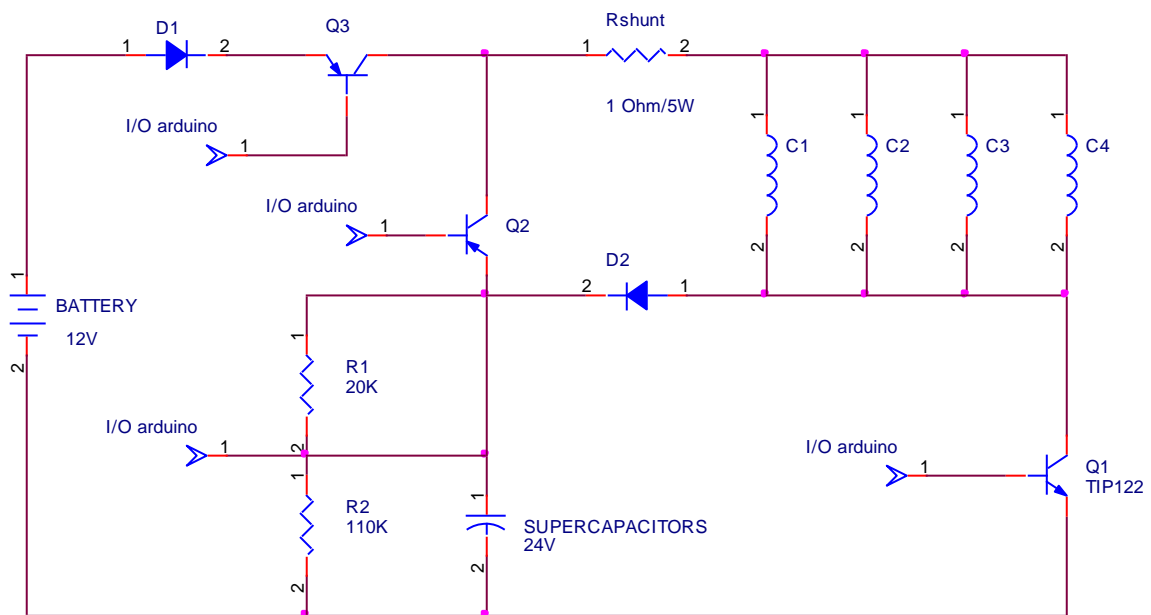
Tỷ số  $T_I'$  và  $T_I$  được biểu diễn trong (3.9).

$$\frac{T_I'}{T_I} = \log \frac{I_{st}'}{I_{st}' - I_{cr}'} \left( \frac{I_{st}}{I_{st} - I_{cr}} \right) > 1 \quad (3.9)$$

Các tham số  $I_{st}$  và  $I_{st}'$  là những tham số đã biết dựa trên điện áp hoạt động và điện trở tổng cộng của kim. Ngoài ra, tham số dòng điện rơi  $I_{cr}$  và  $I_{cr}'$  sẽ được xác định từ thực nghiệm để đánh giá tỷ số độ nhạy giữa hai mức điện áp hoạt động khác nhau của kim.

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

Sơ đồ nguyên lý của mạch được biểu diễn ở hình 3.25 bên dưới.



**Hình 3.25:** Nguyên lý thu hồi năng lượng và điều khiển trên kim phun

Khi hệ siêu tụ được nạp đầy bởi các suất điện động tự cảm tồn tại trên các cuộn sơ cấp bobine (C1, C2, C3, C4), tín hiệu điện áp sẽ được truyền về vi điều khiển thông qua một cầu phân áp gồm R1 và R2. Lúc này, vi điều khiển sẽ điều khiển transistor Q2 mở và Q3 đóng, hệ siêu tụ sẽ cung cấp điện áp hoạt động cho kim phun thay cho

ắc quy. 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.

Để tiến hành thực nghiệm, một mạch công suất điều khiển kim phun được xây dựng như hình 3.26.



**Hình 3.26:** Mạch thu hồi năng lượng điện cảm và điều khiển 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 bởi một transistor công suất TIP122.



## Chương 4

# THỰC NGHIỆM VÀ ĐÁNH GIÁ

### 4.1 Nội dung thực nghiệm

Trên cơ sở phân tích lý thuyết trong chương 2 và các kết quả nghiên cứu, thiết kế, chế tạo các sản phẩm trong chương 3, nội dung chương 4 tập trung vào việc thực nghiệm nhằm đánh giá hiệu quả sản phẩm nghiên cứu ứng dụng của đề tài cụ thể là bộ thu hồi và tích trữ năng lượng điện cảm. Nội dung thử nghiệm gồm 03 phần.

- Phần 1: thử nghiệm khả năng thu hồi và tích trữ năng lượng điện cảm.
- Phần 2: thử nghiệm ứng dụng năng lượng điện cảm, đánh giá khả năng cải thiện độ nhạy kim phun xăng.
- Phần 3: thử nghiệm đánh giá độ ổn định của ô tô 07 chỗ khi lắp đặt sản phẩm nghiên cứu.

#### 4.1.1 Đối tượng thực nghiệm

- Bộ thu hồi năng lượng điện cảm.
- Bộ lưu trữ năng lượng điện cảm.
- Mô hình hệ thống phun xăng đánh lửa - động cơ 1TR-FE.
- Hệ thống kiểm soát năng lượng điện cảm.
- Ô tô thực nghiệm 07 chỗ.

#### 4.1.2 Đặc điểm thực nghiệm

- Chú trọng tính hữu ích của sản phẩm nghiên cứu.
- Không thay đổi thông số lập trình bộ điều khiển trung tâm (ECU động cơ).
- Không thay đổi tín hiệu đầu vào của các cảm biến.
- Các số liệu thu thập được thực hiện tại cùng một chế độ thực nghiệm, điểm thực nghiệm.

#### 4.1.3 Trang thiết bị dùng trong thực nghiệm

Các thiết bị đo chính hãng có độ tin cậy cao (phụ lục 4), đáp ứng các nội dung cần nghiên cứu trong khuôn khổ luận án:

1. Máy đo dạng sóng Tektronix (model: MSO2000B).
2. Máy đo dạng sóng PicoScope 4255 và các bộ phụ kiện chuyên dụng.

3. Máy tính cài đặt LabVIEW 2018 và card giao tiếp chuyên dụng của hãng National Instruments (Model: NI 6009).
4. Đồng hồ đo điện của hãng Sanwa (model: CD800A).
5. Máy đo nhiệt độ tầm xa Hikvision (model: DS-2TP31B-3AUF).

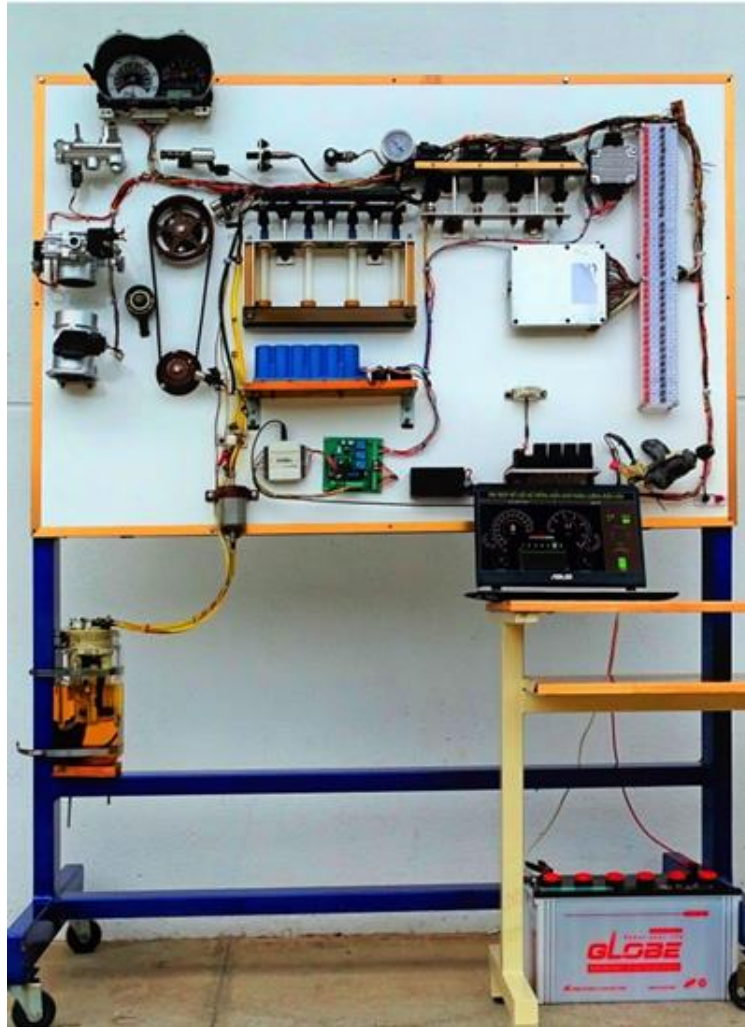
#### **4.1.4 Địa điểm thực nghiệm**

- Công tác thử nghiệm thu hồi, tích trữ, ứng dụng năng lượng điện cảm được thực hiện tại phòng thí nghiệm cơ điện tử ô tô - Khoa Cơ khí Động lực - Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP. Hồ Chí Minh, sử dụng các thiết bị chính hãng theo mục 4.1.3.
- Công tác thử nghiệm công suất và momen động cơ được thực hiện tại phòng thí nghiệm ô tô - Củ Chi Motor Sport, số 291 Quốc Lộ 22, Xã Tân Thông Hội, Huyện Củ Chi, TP.HCM. Nơi đây trang bị băng thử công suất hiện đại Mustang Dyanometer MD-500 nhập khẩu từ Mỹ.

## **4.2 Thực nghiệm, đánh giá bộ thu hồi và tích trữ năng lượng điện cảm**

### **4.2.1 Chuẩn bị thực nghiệm**

- Đảm bảo khu vực thử nghiệm sạch sẽ, an toàn xung quanh cho kỹ thuật thực nghiệm và thiết bị.
- Kiểm tra lưu lượng và tính an toàn nhiên liệu.
- Kiểm tra điện áp ắc quy 12V.
- Kiểm tra độ êm dịu của các khớp truyền động.
- Kiểm tra tình trạng tất cả các bộ phận cấu thành.
- Kết nối máy tính đã cài đặt LabVIEW.
- Kết nối, lắp đặt bộ thu hồi, bộ tích trữ, hệ thống kiểm soát năng lượng trên mô hình thử nghiệm như hình 4.1.
- Sơ đồ kết nối theo mục 3.7.
- Nhiệt độ phòng thử nghiệm: 25<sup>0</sup>C – 28<sup>0</sup>C.
- Hiệu chuẩn các thiết bị đo trước khi tiến hành thí nghiệm.
- Vận hành, điều chỉnh tốc độ động cơ điện để mô hình hoạt động ổn định, chính xác, đèn MIL trên đồng hồ trung tâm tắt trong khi hệ thống hoạt động.



**Hình 4.1:** Sơ đồ kết nối bộ thu hồi, bộ tích trữ, hệ thống kiểm soát năng lượng trên mô hình thử nghiệm

#### 4.2.2 Trình tự thử nghiệm

**Bước 1:** Ngắt kết nối bộ thu hồi, bộ tích trữ, hệ thống kiểm soát năng lượng, cấp nguồn ắc quy, điều chỉnh tốc độ động cơ điện để mô hình hoạt động, đèn MIL tắt, quan sát tình trạng ổn định phun xăng và đánh lửa.

**Bước 2:** Kết nối bộ thu hồi, bộ tích trữ, hệ thống kiểm soát năng lượng.

**Bước 3:** Điều chỉnh bộ điều khiển để tốc độ động cơ ổn định tại 750 v/ph, giả lập các tín hiệu đầu vào tương ứng. Quan sát, đánh giá các thông tin trên giao diện thu thập dữ liệu (như hình 3.21 và hình 3.22).

**Bước 4:** Xuất dữ liệu năng lượng điện cảm tích lũy trên hệ siêu tụ tại tốc độ 750 v/ph.

**Bước 5:** Tương tự bước 3 với thông số tốc độ động cơ là 1000 v/ph.

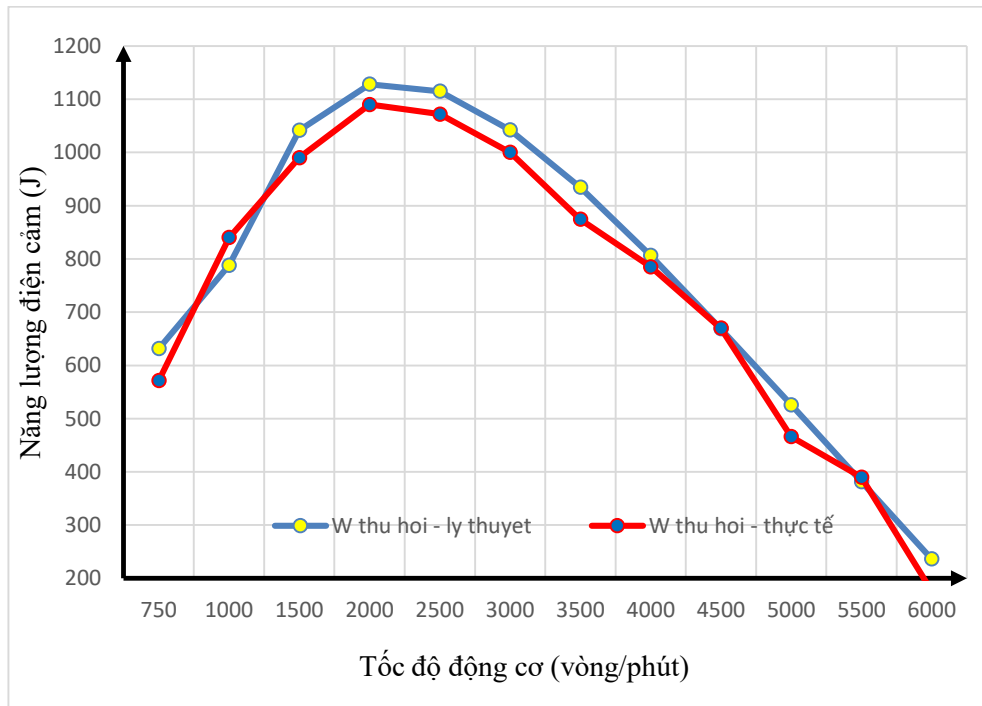
**Bước 6:** Tương tự bước 4.

**Bước 7:** Tương tự bước 5 khi gia tăng tốc độ động cơ thêm mỗi lần là 500 v/ph, tiếp tục thực hiện đến tốc độ 6000 v/ph.

**Bước 8:** Tương tự bước 6.

**Bước 9:** Truy xuất dữ liệu năng lượng điện cảm tích lũy được trên hệ siêu tụ, biểu diễn thông số trên dạng biểu đồ.

### 4.2.3 Kết quả thử nghiệm



**Hình 4.2:** Năng lượng điện cảm có khả năng thu hồi theo tốc độ động cơ

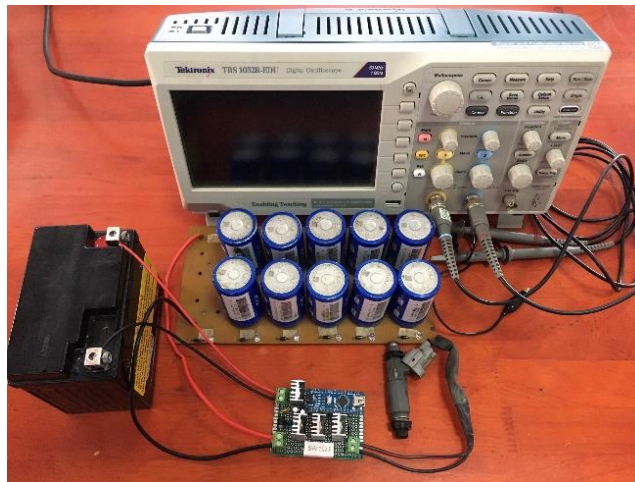
Biểu đồ trên hình 4.2 cho thấy: năng lượng điện cảm thực tế thu hồi được tại các dải tốc độ động cơ (đường màu đỏ) đạt giá trị 570J tại tốc độ cảm chừng 750 v/ph và có xu hướng tăng dần khi gia tăng tốc độ, năng lượng thu hồi cực tại đạt 1,090J tại tốc độ 2000 v/ph. Sau đó năng lượng này có xu hướng giảm dần khi tốc độ động cơ tiếp tục tăng.

Chênh lệch về trị số khoảng 4% giữa năng lượng điện cảm có khả năng thu hồi theo lý thuyết (đường màu xanh) và năng lượng thu hồi được theo thực tế (đường màu đỏ). Quá trình thực nghiệm cho thấy, việc thu hồi năng lượng điện cảm trong dải tốc độ 1500 – 2500 v/ph là tối ưu.

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

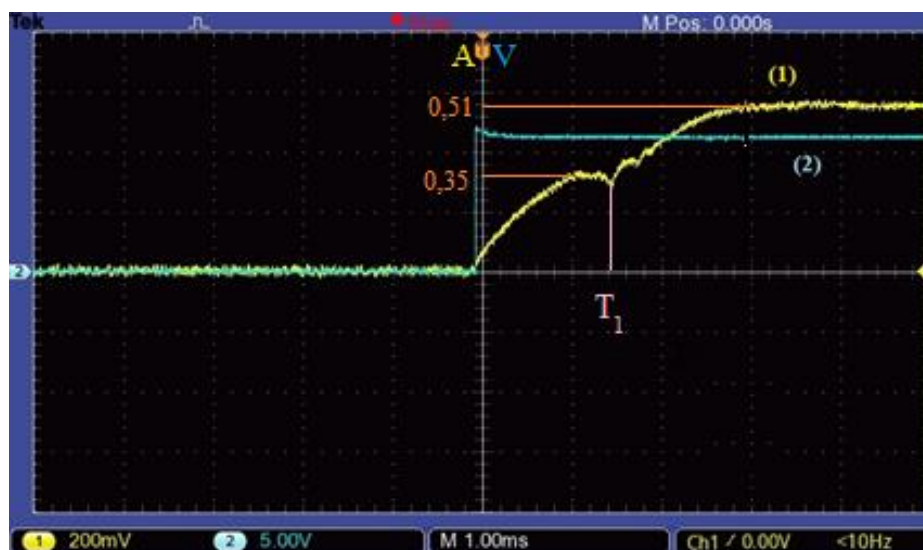
Máy đo hiện sóng Tektronix MSO2000B được dùng trong thực nghiệm để đo cường độ dòng điện và điện áp của kim phun. Các thực nghiệm trên kim phun với hai nguồn điện áp: nguồn ắc quy hiện hành 12V và nguồn 24V trên hệ siêu tụ được nạp đầy từ suất điện động tự cảm của bobine nhằm đánh giá tính đáp ứng của kim phun như hình 4.3.

Các thông số của kim phun gồm: điện trở:  $R = 14,5\Omega$ , độ tự cảm:  $L = 0,02H$ .



**Hình 4.3:** Thực nghiệm khả năng đáp ứng của kim phun

Hình 4.4 bên dưới biểu thị đường đặc tính dòng điện và điện áp của kim phun ở mức điện áp 12V từ ắc quy.

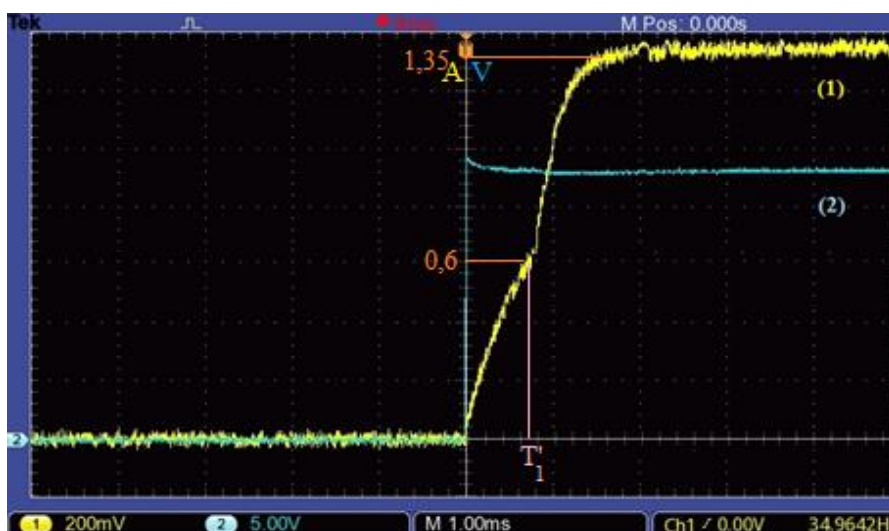


**Hình 4.4:** Đặc tính dòng điện và điện áp của kim phun khi dùng ắc quy 12V

Đường số 2 là điện áp trên kim phun, đường số 1 là cường độ dòng điện qua kim biểu diễn tăng dần từ lúc kim phun được cấp điện áp đến thời điểm dòng điện bão hòa, tại thời điểm  $T_1 = 1,59 \times 10^{-3}s$  có sự giảm sút 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, cường độ dòng điện tăng từ 0,35A đến giá trị bão hòa 0,51A sau một khoảng thời gian từ lúc kim phun hoạt động.

$$T_1 = \frac{0,02}{14,5} \ln \left( \frac{0,51}{0,51 - 0,35} \right) = 1,59 \times 10^{-3} (s)$$

Thực nghiệm kế tiếp khi khảo sát đặc tính cường độ dòng điện, điện áp khi dùng hệ siêu tụ 24V cấp cho kim phun như hình 4.5.



**Hình 4.5:** Đặc tính dòng điện và điện áp của kim phun khi dùng hệ siêu tụ 24V

Trên hình 4.5: Đường số 2 là điện áp 24V của hệ siêu tụ, đường số 1 đường biểu thị cường độ dòng điện tăng nhanh hơn so với điện áp hoạt động của kim ở mức 12V. Cụ thể, ty kim được nhấc khỏi bệ ở khoảng thời gian  $T'_1 = 0,8 \times 10^{-3}s$ . và cường độ dòng điện tăng dần từ 0,6A đến trạng thái ổn định là 1,35A.

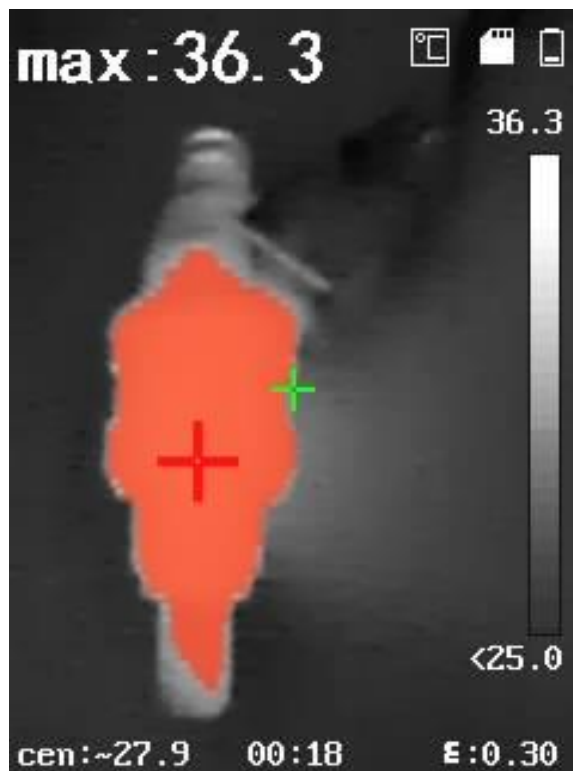
$$T'_1 = \frac{0,02}{14,5} \ln \left( \frac{1,35}{1,35 - 0,6} \right) = 0,8 \times 10^{-3} (s)$$

Từ hình 4.4 và 4.5, nhận thấy được khi tăng điện áp hoạt động của kim phun lên hai lần thì tính đáp ứng của kim phun được tăng lên tương ứng hai lần, hay nói cách khác là độ trễ của kim phun được giảm đi 02 lần.

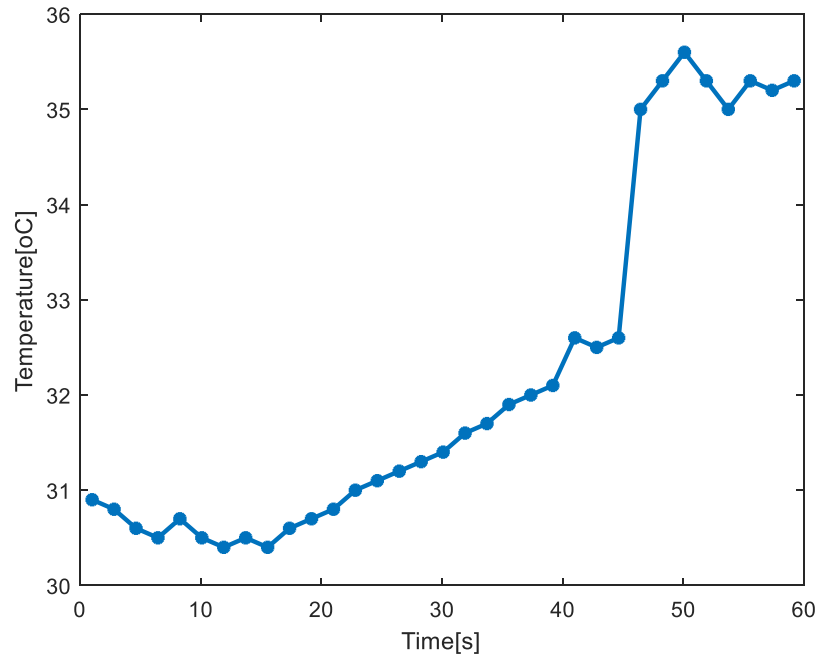
$$\frac{T'_1}{T_1} = \frac{1}{2}$$

Các thực nghiệm được thực hiện trong sáu lần, kết quả biểu diễn đặc tính đều tương tự như hình 4.4 và 4.5.

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 4.6.



**Hình 4.6:** Phân bố nhiệt độ của kim phun



**Hình 4.7:** Đặc tuyến nhiệt độ của kim phun trong quá trình thử nghiệm

Đặc tuyến theo hình 4.7 cho thấy vùng nhiệt độ hoạt động của kim phun trong khoảng  $31^{\circ}\text{C}$  -  $36^{\circ}\text{C}$  trong suốt quá trình thí nghiệm ở mức điện áp cung cấp 24V từ hệ siêu tụ. Dải nhiệt độ này nằm trong vùng nhiệt độ hoạt động ổn định của kim phun [38].

Thực nghiệm đã so sánh tính đáp ứng của kim phun ở hai mức điện áp 12V từ ắc quy và 24V từ hệ siêu tụ. Hai mức điện áp này được xem như là hai mức điện áp biên, có nghĩa là kim phun vẫn có thể hoạt động trong vùng điện áp từ 12V đến 24V mà vẫn đảm bảo được tính đáp ứng của kim phun, được cải thiện so với mức điện áp từ ắc quy. Các kết quả thực nghiệm cho thấy độ nhạy của kim phun tỉ lệ với mức điện áp đặt vào kim. Cụ thể, thực nghiệm chỉ ra rằng với mức điện áp 24V đặt vào kim phun, thì thời gian đáp ứng của kim tăng lên gấp 02 lần từ  $1,59 \times 10^{-3}\text{s}$  ở mức 12V giảm xuống còn  $0,8 \times 10^{-3}\text{s}$  ở mức 24V.

#### 4.4 Thực nghiệm trên ô tô

Mục tiêu của việc thử nghiệm trên xe để xem xét đường đặc tính công suất và đường đặc tính momen của động cơ lắp trên ô tô thử nghiệm với mong muốn rằng hai đường đặc tính này sẽ không thay đổi (giảm xuống) khi xe được lắp đặt thêm bộ thu hồi



năng lượng. Qua đó chứng minh được tính ổn định của sản phẩm nghiên cứu, ứng dụng.

Hệ thống thu hồi, ứng dụng năng lượng điện cảm được bố trí như hình 4.8.



**Hình 4.8:** Sản phẩm nghiên cứu được lắp trên ô tô thử nghiệm

#### 4.4.1 Điều kiện thử nghiệm

Sau khi lắp sản phẩm nghiên cứu, kết nối các tín hiệu cần thu thập, mạch điều khiển và bộ lưu trữ như hình 4.8. Ô tô thử nghiệm được các chuyên viên kỹ thuật vận hành trên băng thử công suất Mustang Dynamometer MD-500 (hình 4.9) tại phòng thí nghiệm ô tô tại Củ Chi Motor Sport, số 291 Quốc Lộ 22, Xã Tân Thông Hội, Huyện Củ Chi, TP. HCM.



**Hình 4.9:** Băng thử công suất và hệ thống truy xuất dữ liệu

**Bảng 4.1:** Thông số kỹ thuật của băng thử công suất Mustang Dyanometer MD-500

TT	Thông số kỹ thuật	Giá trị/ đặc tính	Đơn vị
1	Công suất đo cực đại	500	HP
2	Tốc độ đo cực đại	300	km/h
3	Đường kính ru lô	0,32	m
4	Khối lượng cực đại trên cầu	2720	kg
5	Kỹ thuật tại tải	Công nghệ dòng điện xoáy	-
6	Kỹ thuật đo moment	Tải trọng động Strain Gauge	-
7	Kỹ thuật điều khiển	Điều khiển số vòng lặp hở	-
8	Điện áp nguồn	-	220VAC, ba pha
9	Hệ thống thu thập và truy xuất dữ liệu: PowerDyne	-	Bộ



**Hình 4.10:** Màn hình hiển thị các thông số thử nghiệm



**Hình 4.11:** Ô tô thực nghiệm

Các thông số kỹ thuật của ô tô thực nghiệm theo bảng 4.2.

**Bảng 4.2:** Thông số kỹ thuật ô tô thực nghiệm

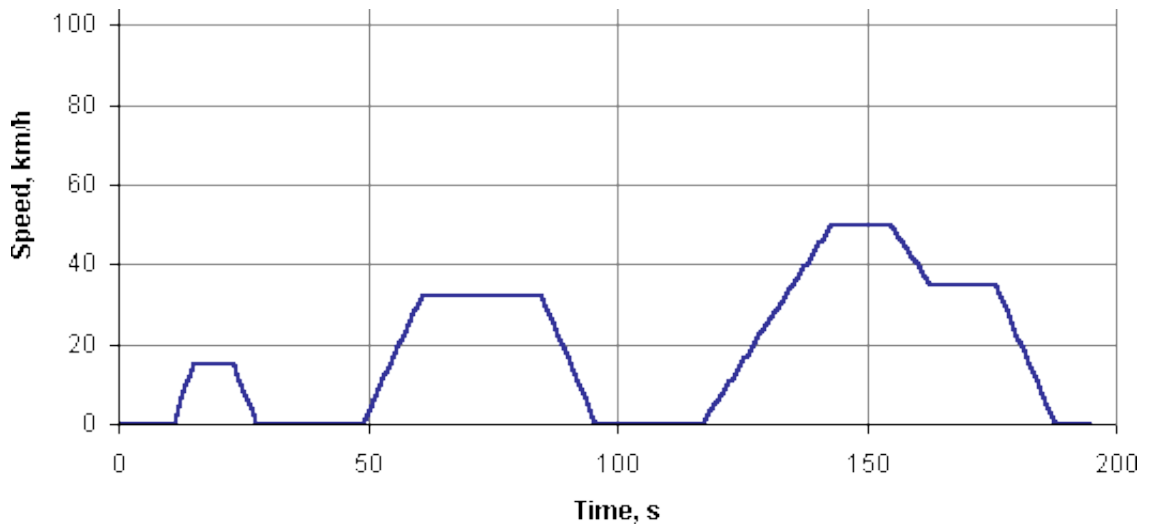
<b>TT</b>	<b>Thông số kỹ thuật</b>	<b>Giá trị</b>	<b>Đơn vị</b>
1	Loại xe: Toyota Innova	-	-
2	Kích thước tổng thể	4735 x 1830 x 1795	mm
3	Chiều dài cơ sở	2750	mm
4	Chiều rộng cơ sở	1540	mm
5	Trọng lượng	1725	kg
5	Mã động cơ	1TR-FE	-
7	Loại động cơ	I4	-
8	Dung tích công tác động cơ	1998	cm <sup>3</sup>
9	Công suất tối đa	102/5600	kW/v/ph
10	Moment xoắn tối đa	183/4000	N.m/ v/ph
11	Hộp số, 05 cấp	MT	-
12	Số chỗ ngồi	07	chỗ

Đội ngũ chuyên viên kỹ thuật tại Củ Chi Motor Sport tiến hành thử nghiệm ô tô theo chu trình thử nghiệm ECE R15 (biểu đồ hình 4.12) ở nhiệt độ phòng 30<sup>0</sup>C - 32<sup>0</sup>C, nhằm xác định đặc tính công suất và momen của động cơ trong hai trường hợp: trường hợp 1 – với hệ thống đánh lửa nguyên thủy và trường hợp 2 – với hệ thống đánh lửa có bộ thu hồi và tích trữ năng lượng điện cảm.

Chu trình thử nghiệm ECE R15 là chu trình mô tả quá trình hoạt động của xe đặc trưng cho điều kiện giao thông tại Việt Nam:

- Tại dải tốc độ thấp: tăng tốc từ 0 đến 15,2 km/h trong 4(s) và giữ tốc độ đó trong thời gian 8(s), sau đó giảm về 0 km/h trong 5(s) tương ứng với điều kiện tham gia giao thông trong nội thành, đông dân cư, nhiều xe và phải dừng đỗ liên tục.
- Tại dải tốc độ trung bình: tăng tốc từ 0 đến 32 km/h trong vòng 12(s) và giữ tốc độ đó trong 24(s), sau đó giảm về 0 km/h trong 11(s). Điều kiện này phù hợp với chế độ chạy ở khu vực ngoài khu dân cư.

- Tại dải tốc độ cao: tăng tốc từ 0 đến 15 km/h trong vòng 6(s), sau đó tăng lên 50 km/h trong vòng 20(s) và duy trì tốc độ đó trong vòng 12(s), sau đó giảm tốc độ về 35 km/h trong vòng 8(s) và giữ tốc độ này trong 15(s) tiếp theo và sau đó giảm về 0 km/h trong 10(s). Điều kiện này tương ứng với việc chạy trên đường cao tốc.

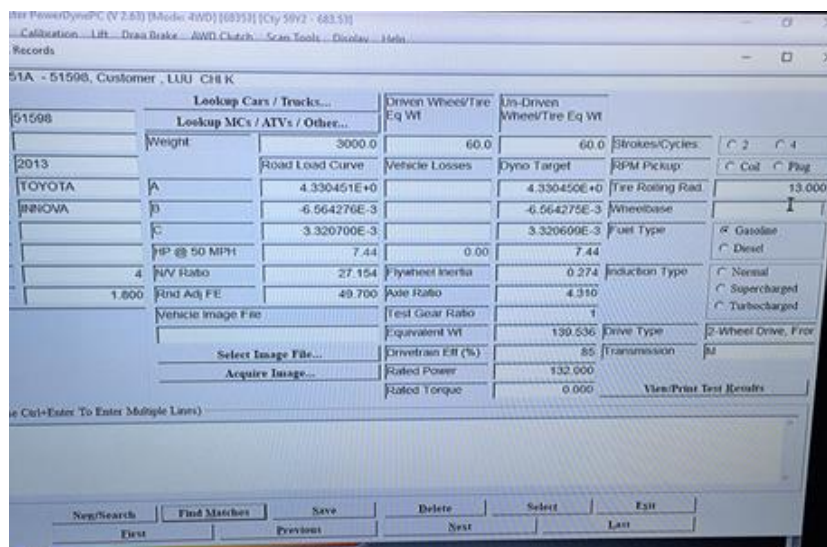


**Hình 4.12:** Biểu đồ chu trình thử nghiệm ECE R15 [35]

#### 4.4.2 Chuẩn bị thử nghiệm

- Khu vực thử nghiệm đảm bảo sạch sẽ, không có các bộ phận thừa, an toàn tuyệt đối cho các chuyên viên kỹ thuật và thiết bị.
- Xác định vị trí công tắc an toàn khẩn cấp.
- Đảm bảo hệ thống thông gió hoạt động ổn định.
- Kiểm tra tính an toàn của xe trước khi đưa vào phòng thử (hệ thống phanh, lái).
- Kiểm tra dầu bôi trơn, nước làm mát.
- Kiểm tra tình trạng tốt của các vỏ xe.
- Lái xe vận hành ô tô vào băng thử công suất đúng vị trí kỹ thuật.
- Kiểm tra an toàn xung quanh xe.
- Lắp 06 dây đai chuyên dụng cố định vị trí xe trên bệ thử.
- Lắp ống gió cấp khí tươi cho động cơ.
- Lắp 02 quạt làm mát cho két nước.
- Lắp ống dẫn khí xả ra ngoài khu vực thử nghiệm.

- Chuyên viên kỹ thuật cập nhật thông số kỹ thuật của ô tô: thời gian, loại xe, năm sản xuất, biển số, loại nhiên liệu, kiểu truyền động, kiểu hộp số, kiểu nạp không khí, số kỳ hoạt động của động cơ, tỉ lệ truyền động, thông số đường kính bánh xe vào giao diện kết nối như hình 4.13.



**Hình 4.13:** Cập nhật các thông số kỹ thuật

- Chuyên viên kỹ thuật chọn chu trình thử nghiệm ECE R15.
- Vận hành xe ở tay số 3, đạt tốc độ động cơ 1000 v/ph để ổn định, cân bằng trạng thái xe.
- Đưa xe về trạng thái ổn định.
- Siết chặt 06 dây đai chuyên dụng.
- Vận hành xe ở tay số 3 ở tốc độ động cơ 2000 v/ph đồng thời cân chỉnh đồng bộ giữa tốc độ động cơ trên đồng hồ của xe và tốc độ hiển thị trên màn hình.

#### 4.4.3 Trình tự thử nghiệm

**Bước 1:** Kỹ thuật lái xe vận hành xe, thay đổi từ tay số 1 đến tay số 3 khoảng 20 phút để ổn định tình trạng xe.

**Bước 2:** Lái xe chuyển sang tay số 4 tăng dần tốc độ đến 2000 v/ph.

**Bước 3:** Chuyên viên kỹ thuật xác định thời điểm tốc độ 2000 v/ph, chọn lệnh bắt đầu xác định các thông số cần thiết trên giao diện kỹ thuật.

**Bước 4:** Lái xe vẫn giữ tay số 4, tiếp tục tăng ga bám sát dây tốc độ xe theo biểu đồ của chu trình ECE R15 để tốc độ tiếp tục tăng từ 2000 đến 6000 v/ph.

**Bước 5:** Chuyên viên kỹ thuật xác định thời điểm tốc độ đạt 6000 v/ph, chọn lệnh kết thúc quá trình thử nghiệm trên giao diện kỹ thuật.

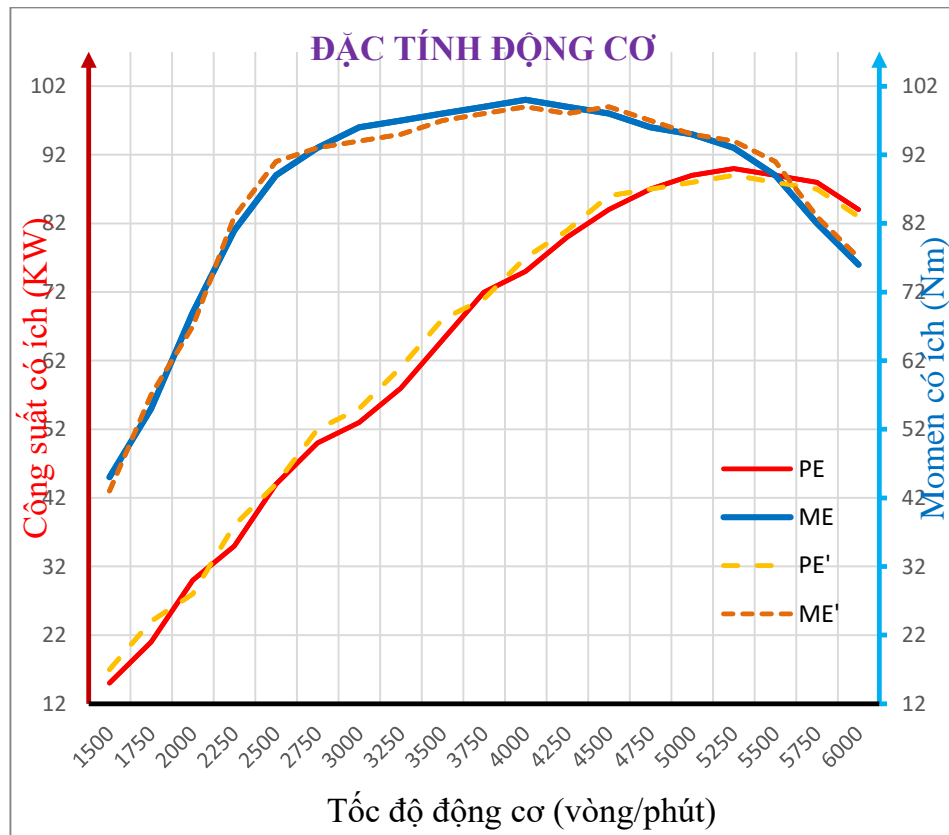
**Bước 6:** Lái xe vẫn giữ tay số 4, đồng thời tác động lên phanh để tốc độ động cơ giảm dần về 800 v/ph ở trạng thái cầm chừng, tắt khóa điện, kết thúc quá trình thử nghiệm.

**Bước 7:** Chuyên viên kỹ thuật truy xuất thông tin ở dạng đồ thị trên giao diện hoặc xuất bảng số liệu lưu trữ, báo cáo kết quả thử nghiệm được in ra giấy.

Trong khuôn khổ đề tài, số lần thử nghiệm công suất và momen động cơ được lặp lại 03 lần, đồng thời kiểm tra an toàn lần nữa, tắt quạt gió, tháo ống dẫn khí xả, tháo 06 dây đai chuyên dụng, lái xe vận hành ô tô rời băng thử. Thử nghiệm 03 lần khi lắp hệ thống đánh lửa nguyên thủy và thử nghiệm 03 lần khi lắp hệ thống đánh lửa có lắp bộ thu hồi năng lượng điện cảm.

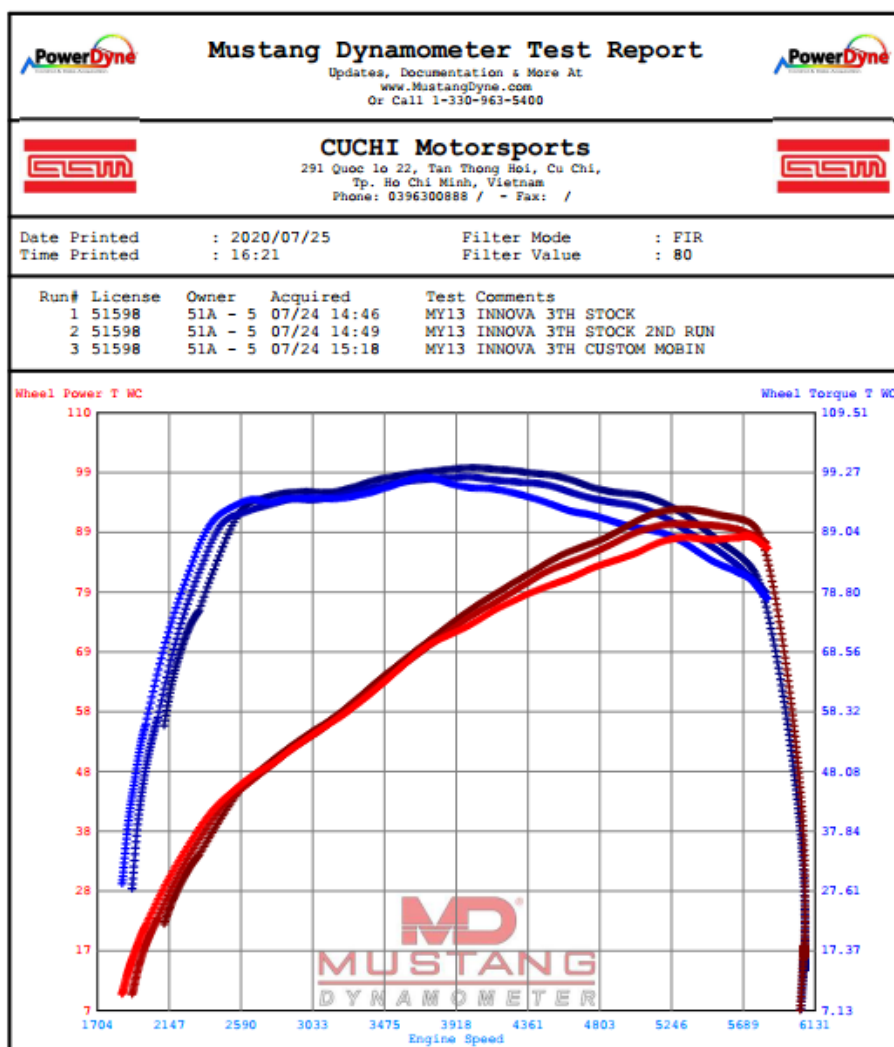
#### 4.4.4 Kết quả thực nghiệm

Kết quả thu thập được dữ liệu từ hệ thống PowerDyne (theo phụ lục 5) trong quá trình thử nghiệm ô tô trên băng thử theo đặc tuyến như hình 4.14.



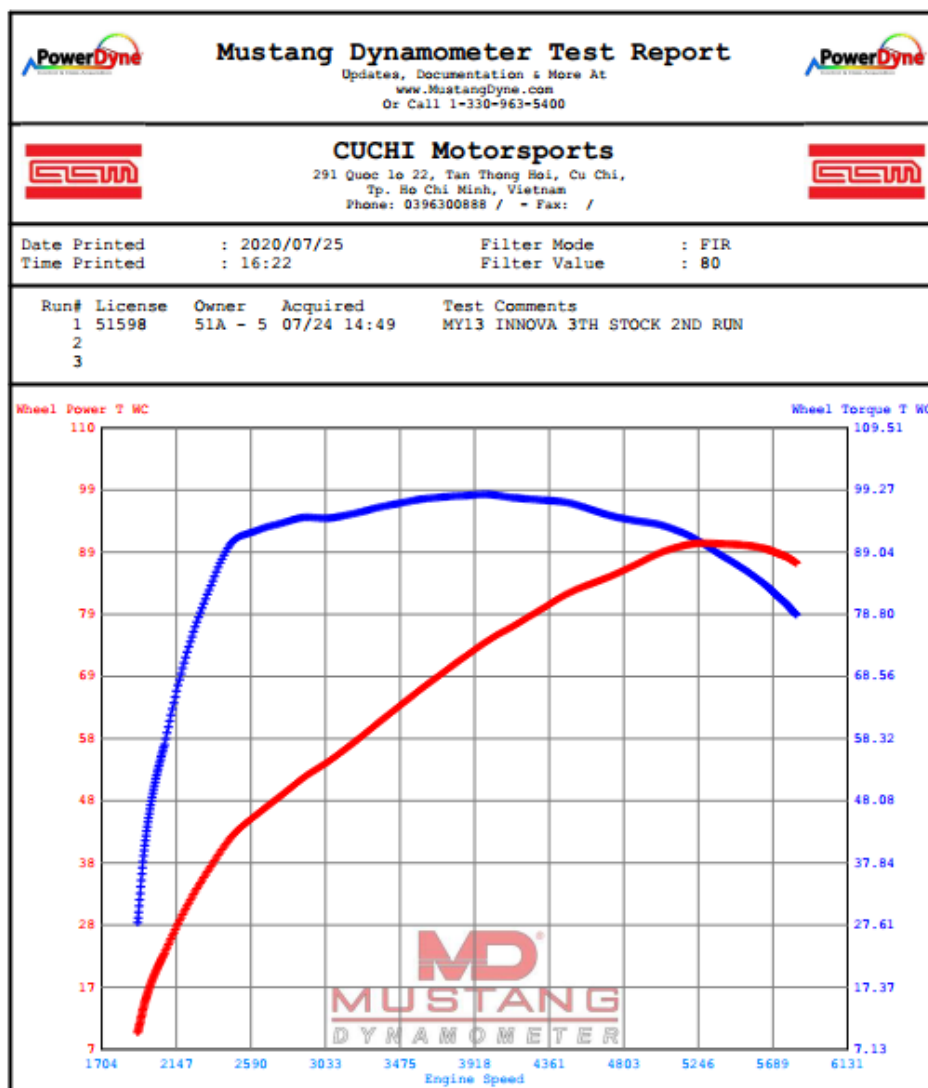
**Hình 4.14:** Đặc tính so sánh công suất và momen động cơ với hệ thống đánh lửa nguyên thủy và hệ thống đánh lửa có lắp bộ thu hồi năng lượng điện cảm

Thực nghiệm khi ô tô hoạt động với hệ thống đánh lửa nguyên thủy cho thấy công suất có ích cực đại ( $PE_{max}$ ) đạt giá trị 90,2 kW tại tốc độ 5250 v/ph và momen cực đại đạt ( $ME_{max}$ ) 100,7 Nm tại tốc độ 4000 v/ph (các đặc tuyến PE, ME trên hình 4.14). Khi ô tô hoạt động với hệ thống đánh lửa có lắp bộ thu hồi năng lượng điện cảm: công suất có ích cực đại ( $PE'_{max}$ ) đạt giá trị 89,6 kW tại tốc độ 5250 v/ph và momen đạt cực đại ( $ME'_{max}$ ) 99,8 Nm tại tốc độ 4000 v/ph (đường PE', ME' trên hình 4.14). Sai lệch các giá trị của công suất và momen tương ứng tại các tốc độ khác nhau trong toàn đặc tuyến là <5% (trên hình 4.14). Ngoài ra các kết quả dữ liệu thử nghiệm trên băng thử Mustang Dynamometer MD-500 (hình 4.15) được xuất và in ra từ hệ thống thu thập dữ liệu PowerDyne tại cơ sở thử nghiệm theo phụ lục 5.



**Hình 4.15:** Đặc tính so sánh công suất và momen động cơ với với hệ thống đánh lửa có lắp bộ thu hồi năng lượng điện cảm trong 03 lần thử nghiệm.

Trong 03 lần thử nghiệm khi lắp hệ thống đánh lửa hệ thống đánh lửa có lắp bộ thu hồi năng lượng điện cảm đều xác định các đặc tuyến tương tự nhau như hình 4.15. Hình 4.16 mô tả đặc tính so sánh công suất và momen động cơ với với hệ thống đánh lửa nguyên thủy (xuất dữ liệu từ hệ thống Power Dyne) có thông số công suất cực đại đạt giá trị 89,2 kW tại tốc độ 5260 v/ph và momen đạt cực đại 99,01 Nm tại tại tốc độ 3918 v/ph.



**Hình 4.16:** Đặc tính so sánh công suất và momen động cơ với với hệ thống đánh lửa nguyên thủy

Qua kết quả thử nghiệm như trên, người nghiên cứu khẳng định rằng: việc lắp bộ thu hồi năng lượng điện cảm không ảnh hưởng đến tính năng động học của ô tô thử nghiệm.



## Chương 5

### KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

#### 5.1 Kết luận

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

- Đã xây dựng mô hình vật lý và mô hình toán cho hệ thống thu hồi năng lượng điện cảm trên kim phun bằng việc sử dụng hệ siêu tụ điện.
- Đã thiết kế, chế tạo mô hình thu hồi năng lượng điện cảm trên các cuộn dây bobine.
- Đã thiết kế, thi công hệ thống giám sát năng lượng điện cảm tái sinh ứng dụng vi điều khiển đảm bảo yêu cầu tiết kiệm năng lượng. Dù năng lượng điện cảm tiết kiệm trong mỗi chu kỳ hoạt động không lớn nhưng với số lượng ô tô rất nhiều, hoạt động liên tục thì năng lượng tiết kiệm được không nhỏ và đây là một nghiên cứu phù hợp xu thế tương lai.
- Năng lượng điện cảm thu hồi thực tế sai biệt nhỏ hơn 4% so với tính toán lý thuyết.
- Năng lượng điện cảm tái sinh được tích trữ trên hệ siêu tụ điện ở mức 24V góp phần tăng độ nhạy của kim phun lên hai lần so với ban đầu.
- Sản phẩm nghiên cứu là bộ thu hồi và tích trữ năng lượng khi lắp trên ô tô 07 chỗ không làm ảnh hưởng tính năng động học của xe. Đặc tuyến về công suất và momen động cơ thay đổi không đáng kể (nhỏ hơn 5%) khi được lắp bộ thu hồi, tích trữ năng lượng điện cảm.
- Năng lượng điện cảm được nghiên cứu và ứng dụng trên ô tô đã đạt hiệu quả bước đầu, góp phần làm nền tảng quan trọng cho các nghiên cứu kế tiếp về vấn đề này.

#### 5.2 Kiến nghị

Ngày nay, với sự phát triển mạnh mẽ của các nguồn năng lượng tái sinh 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 cảm tồn tại trên các suất điện động tự cảm của các bộ chấp hành có cấu tạo từ cuộn dây trên ô tô và sử dụng nguồn năng

lượng tái sinh này để nâng cao tính đáp ứng của kim phun nhiên liệu trên động cơ xăng.

Người nghiên cứu kiến nghị đề tài có thể được phát triển theo các hướng sau:

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

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] John Smart, Jim Francfort, Donald Karner. và cộng sự, *Advanced Vehicle Testing Activity*, Idaho National Laboratory, EVS24, Stavanger, pp. 1-13, 2009.
- [2] 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.
- [3] Xueying L., Yanju J. và cộng sự, *Research Review of a Vehicle Energy-Regenerative Suspension System*, Energies, 13, 441; doi:10.3390/en13020441, 2020.
- [4] Pasquier A., Plitz I., và cộng sự, *A Comparative Study of Li-Ion Battery, Supercapacitor and Nonaqueous Asymmetric Hybrid Devices for Automotive Applications*, Journal of Power Sources, Vol 115, pp. 171-178, 2003.
- [5] Thounthong P., Rael S. and Davat B., *Utilizing Fuel Cell and Supercapacitors for Automotive Hybrid Electrical System*, Twentieth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition, pp. 1-7, 2005.
- [6] Đỗ Quốc Âm, *Nghiên cứu, tính toán, chế tạo hệ thống đánh lửa hỗn hợp điện dung – điện cảm sử dụng bobine đơn*, luận án tiến sĩ Trường ĐH SPKT TP. HCM, tr. 1-21, tr. 44-49, tr. 115-116, 11/2020.
- [7] Huỳnh Xuân Thành, *Thực nghiệm đánh giá khả năng tích lũy năng lượng trên hệ thống đánh lửa Hybrid*, luận văn Thạc sĩ Trường ĐH SPKT TP. HCM, tr. 49-85, 2018.
- [8] Nguyễn Đỗ Minh Triết, *Mô phỏng, thử nghiệm và đánh giá thiết bị thu hồi năng lượng điện cảm trên hệ thống điện ô tô*, luận văn Thạc sĩ Trường ĐH SPKT TP. HCM, tr. 21-63, 2016.
- [9] Đỗ Văn Dũng, Phan Nguyễn Quý Tâm, Đỗ Quốc Âm, 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, tr. 27-33, 2015.
- [10] Lê Thanh Quang, Nguyễn Đức Triệu, *Nghiên cứu, tính toán thiết kế mạch thu hồi năng lượng điện cảm trên ô tô*, luận văn Thạc sĩ Trường ĐH SPKT TP. HCM,

tr. 76-78, 2017.

[11] Đặng Trí Trung, Nguyễn Đức Trọng, *Nghiên cứu chế tạo thiết bị thu hồi điện cảm trên hệ thống điện ô tô*, luận văn Thạc sĩ Trường ĐH SPKT TP. HCM, tr. 47-120, 2015.

[12] Lê Khánh Tân. Ứng dụng nền tảng Arduino và Labview trong thu thập dữ liệu động cơ. *Tạp chí Khoa học Giáo dục Kỹ thuật* số 51, tr. 44-49, 2019.

[13] Do Van Dung, Do Quoc Am, Nguyen Tan Ngoc. Effects of Resistance, Capacitance and Self-Inductance on Accumulated Energy in the Hybrid Ignition system. *International conference on system science and engineering (ICSSE) Hochiminh city*, July, pp. 1-6, 2017.

[14] Am Do Quoc, Dung Do Van, Le Khanh Diem, Le Khanh Tân. An Application of hybrid method for improving of ignition system in small power explosion engine. *International conference on advances in civil, structural and mechanical engineering*, doi: 10.15224/ 978-1-63248-039-2-2, pp. 1-5, 2015.

[15] Do Quoc Am, Do Van Dung, Nguyen Tan Ngoc. Estimation of the Accumulated Energy in the Hybrid Ignition System. *International conference on Green Technology and Sustainable Development (GTSD)*, IEEE, doi: 10.1109/GTSD.2018.8595520, 23-24 Nov. 2018.

[16] Fabio Chiara, Marcello Canova. A review of energy consumption, management, and recovery in automotive systems, with considerations of future trends. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, doi.org/10.1177/0954407012471294, 2013.

[17] Milan ŠEBŮK, Miroslav GUTTEN, Lubomír OSTRICA, Matej KUČERA, Marek MAKYDA. Analysis of Distributorless Ignition Systems. *PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY*, ISSN 0033-2097, R. 89 NR, 2013.

[18] Manoj Embrandiri, the Degree of Doctor of Philosophy, *Implementation and in-depth analyses of a battery-supercapacitor powered electric vehicle (E-Kancil)*, University of Nottingham, pp. 189-192, December 2013.

[19] Tobias Andersson and Jens Groot, *Alternative Energy Storage System for*

*Hybrid Electric Vehicles*, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden, pp. 29-34, October 2003.

[20] Power Inductors for Automotive application, Internet:

<https://industrial.panasonic.com/ww/products/inductors/automotive-inductors/automotive-inductors>.

[21] Edward B. Rosa and Louis Cohen, *Formule and Tables for the calculation of mutual and self-inductance*, pp. 116-142, 2017.

[22] Understanding relays, Internet:

<http://www.autoshop101.com/forms/ohrelay.pdf>.

[23] 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, tr. 8-12, 2015.

[24] PGS.TS. Đỗ Văn Dũng. *Điện động cơ và điều khiển động cơ*. NXB Đại học Quốc gia Tp.Hồ Chí Minh, tr. 129-132, 2013.

[25] Shuai Ban , Jiujun Zhang, Lei Zhang , Ken Tsay , Datong Song , Xinfu Zou, *Charging and discharging electrochemical supercapacitors in the presence of both parallel leakage process and electrochemical decomposition of solvent*, *Electrochimica Acta* 90, Elsevier, pp 542-549, , 2013.

[26] Fuel injector, Internet:

<https://www.pinterest.com/pin/799600108818106693/?d=t&mt=signup>.

[27] Wen-Chang Tsai ., Tung-Sheng Zhan, An Experimental Characterization for Injection Quantity of a Pressure Injector in Gasoline Engines, *Journal of Low Power Electronics and Applications*, pp. 8- 36, 2018; doi:10.3390/jlpea8040036.

[28] 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*, Vol 22, pp. 449–454, 2020.

[29] Tektronix MSO2000B, Internet:

<https://www.tek.com/oscilloscope/mso2000-dpo2000-manual-0>.

[30] Toyota Company. Toyota computer control system, step 3, vol1, pp. 6, 2015.

- [31] [https://www.maxwell.com/images/documents/bcseries\\_ds\\_1017105-4.pdf](https://www.maxwell.com/images/documents/bcseries_ds_1017105-4.pdf)
- [32] Toyota Company. Engine - 1TR-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.
- [33] 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, tr. 60-66, 2020.
- [34] NI 6009, Internet: <https://www.ni.com/pdf/manuals/371303n.pdf>.
- [35] Fanourios E. Zannikos., Evangelos. G. Tzirakis., Vehicle emissions and driving cycles: Comparison of the Athens Driving Cycle (ADC) with ECE-15 and European Driving Cycle (EDC), *Global Nest Journal*, pp. 12-22, 2006.
- [36] TS. Nguyễn Bá Hải. *Lập trình LabVIEW*. NXB Đại học Quốc gia Tp.Hồ Chí Minh, 2010.
- [37] ThS. Lê Thị Thanh Hoàng, *Giáo trình Mạch điện II*, trường ĐHSPKT TP. HCM, tháng 12/2007.
- [38] *Giáo trình Mô phỏng và mô hình hóa*, Khoa công nghệ điện tử và truyền thông - Đại học Thái Nguyên, 2011.
- [39] Tom Denton, *Automobile Electrical and Electronic Systems*, (5th Edition), Published by Elsevier, pp. 140-167, 2018.
- [40] Michael GüntherMarc Sens, Ignition Systems for Gasoline Engines, 3rd International Conference, November, Berlin, Germany, pp. 97-129, 2016.
- [41] Więclawski, Krzysztof & Maćzak, Jędrzej & Szczurowski, Krzysztof, *Electric Current Waveform of the Injector as a Source of Diagnostic Information*, *Sensors*. 20. 4151. 10.3390/s20154151, 2020.
- [42] Dương Tuấn Tùng, *Nghiên cứu nâng cao hiệu quả thu hồi năng lượng của hệ thống phanh tái sinh trên ô tô*, luận án tiến sĩ Trường ĐH SPKT TP. HCM, tr. 82-98, 06/2020.
- [43] Lương Duyên Bình, Vũ Quang, Nguyễn Xuân Chi, Đàm Trung Đôn, Bùi Quang Hân, *Vật lý 11*, Nhà xuất bản Giáo Dục Việt Nam, tr. 118-158.

# PHỤ LỤC 1

## CODE LẬP TRÌNH ĐIỀU KHIỂN TRÊN ARDUINO NANO DÙNG VI ĐIỀU KHIỂN ATMEGA328

```
//XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
#define Prelay 5
#define Pkimphun 6
#define Pumin A0
#define Pumax A1
#define Pikim A2
#define Pubat A3

unsigned long int tdtruoc, tdhientai, kctg, demxung, demxung1, demxung2,
demxung3;
unsigned char Snut, Sdata, Sdatat, Snhan, Snhant;
unsigned char umint,umin, umax, umaxt, Uthap, Ucao, dem;
unsigned long int adcIkim, adcUbat;

unsigned char demchuky,i;
unsigned long int tocdoDC, chukydo, tdtr, tdht, chu8ky,chuky[8];

void ()
{
    tdtr = tdht;
    tdht = micros();
    chukydo = tdht - tdtr;
    demchuky++; chuky[demchuky&0x07] = chukydo;
}
void setup() {
pinMode(13,OUTPUT);
pinMode(Prelay,OUTPUT);
pinMode(Pumin,INPUT_PULLUP);
pinMode(Pumax,INPUT_PULLUP);
analogReference(INTERNAL);
Serial.begin(9600); Serial.println("test");
    umint = umin; umin = digitalRead(Pumin);
    umaxt = umax; umax = digitalRead(Pumax);
    {Serial.println(umin);}
    {Serial.println(umax+5);}
}

void loop() {
while ((tdhientai) < (tdtruoc+10)) {tdhientai = millis();}
```

```

tdtruoc = tdhientai;
//=====
Snhant = Snhan;
Snhan = Serial.read();
if (Snhant != Snhan)
{
  if (Snhan<128) {Snut = Snhan; } else if (Snhan<255) {Sdata = Snhan-128;} else
{ ; }
  if ((Snut&0x01) == 0x01) {digitalWrite(13,LOW);} else
{digitalWrite(13,HIGH);}
}
//-----
if (Sdatat != Sdata)
{
  Serial.write(Sdata+128);
} //update du lieu thay doi
Sdatat = Sdata;
//=====
umint = umin; umin = digitalRead(Pumin);
umaxt = umax; umax = digitalRead(Pumax);
adcIkim = analogRead(Pikim); adcUbat = analogRead(Pubat);
//if (umint != umin) {Serial.print(umin); Serial.println(umax+5);}
//if (umaxt != umax) {Serial.print(umin); Serial.println(umax+5);}
if ((umin == 0) & (umax == 0)) {Uthap = 0; if (Ucao>100)
{digitalWrite(Prelay,HIGH);} else {Ucao++;}}
else if ((umin == 1) & (umax == 1)) {Ucao = 0; if (Uthap>100)
{digitalWrite(Prelay,LOW);} else {Uthap++;}}
else {Uthap = 0; Ucao = 0;}

if (dem++>20) {dem = 0; Serial.print(adcUbat*165/1023); Serial.print(" ");
Serial.println(adcIkim*165/1023);}

chu8ky = 0; for (byte i=0;i<8;i++) {chu8ky += chuky[i];}
if (chu8ky < 4000000) {chu8ky = 4000000;}
if ((tdhientai) > (tdht+500000)) {tocdoDC = 0;} else {tocdoDC =
240000000/chu8ky;}
}
//xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx

```

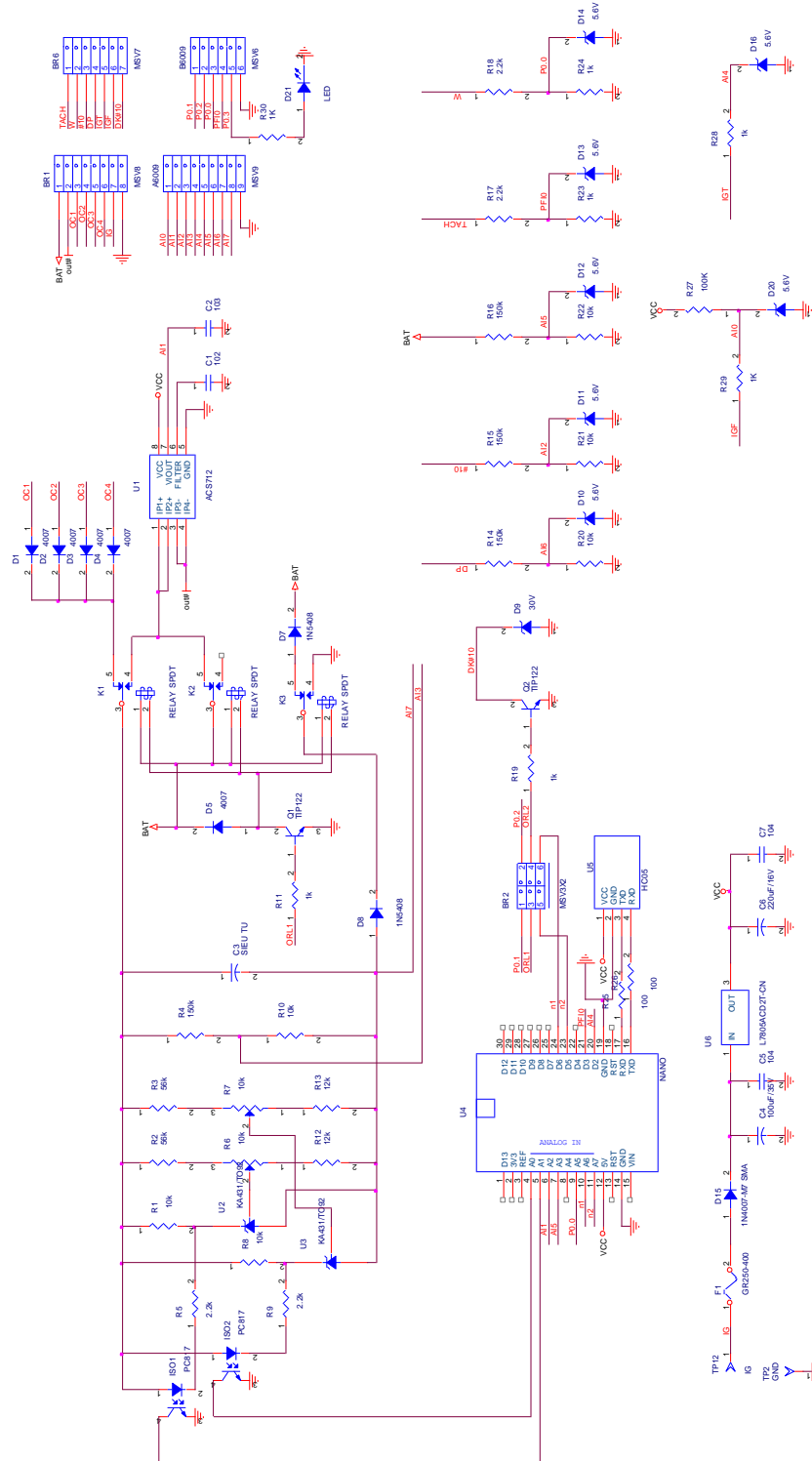
---



# PHỤ LỤC 2

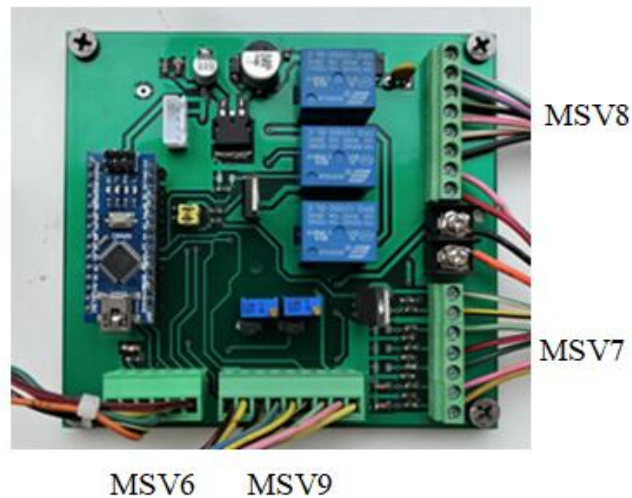
## PHÂN TÍCH VÀ TÍNH TOÁN LINH KIỆN TRÊN MẠCH THU HỒI NĂNG LƯỢNG

### 2.1.PL. Sơ đồ nguyên lý của mạch thu hồi năng lượng

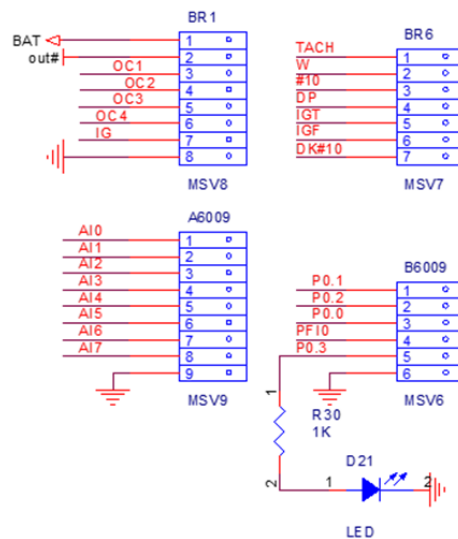


Hình PL 2.1: Sơ đồ nguyên lý của mạch thu hồi năng lượng

## 2.2.PL. Mạch thu hồi năng lượng



Hình PL 2.2: Mạch thu hồi năng lượng sau thi công



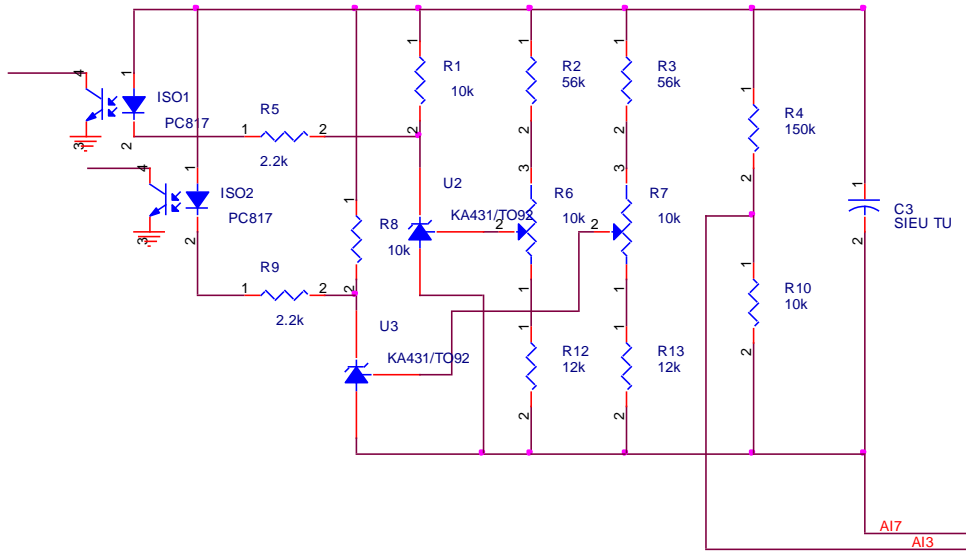
Hình PL 2.3: Sơ đồ kết nối mạch thu hồi năng lượng đến hệ thống điện trên mô hình thử nghiệm và NI 6009

Mục	Chân	Kí hiệu	Diễn giải	Ghi chú
MSV6	1	P0.1	-	Kết nối card NI
	2	P0.2	-	
	3	P0.0	Tín hiệu W	
	4	PF10	Tín hiệu TACH	
	5	P0.3	-	
	6	Mass	Cực âm nguồn	

MSV7	1	TACH	Tốc độ động cơ	Kết nối hệ thống điện điều khiển động cơ.
	2	W	Đèn MIL	
	3	#10	Điều khiển kim phun 1	
	4	BP	Dự phòng	
	5	IGT	Tín hiệu đánh lửa	
	6	IGF	Tín hiệu phản hồi đánh lửa	
	7	DK#10	Tín hiệu dự phòng kim	
MSV8	1	Batt	Dương ắc quy	Kết nối hệ thống điện điều khiển động cơ.
	2	Out #	Cấp dương đến kim phun	
	3	OC1	Âm bobine 1	
	4	OC2	Âm bobine 2	
	5	OC3	Âm bobine 3	
	6	OC4	Âm bobine 4	
	7	IG	Dương công tắc	
	8	Mass	Âm ắc quy	
MSV9	1	AI0	Tín hiệu IGF	Kết nối card NI
	2	AI1	Tín hiệu dòng điện qua kim	
	3	AI2	Tín hiệu # 10	
	4	AI3	Dương của hệ siêu tụ	
	5	AI4	Tín hiệu IGT	
	6	AI5	Tín hiệu BATT	
	7	AI6	Tín hiệu BP (dự phòng)	
	8	AI7	Âm của hệ siêu tụ	
	9	Mass	Cực âm nguồn	

**Bảng PL 2.1:** Diễn giải các chân trên mạch thu hồi năng lượng

### 2.3.PL. Tính toán công suất các điện trở trên mạch



**Hình PL 2.4:** Các điện trở trong mạch điều khiển

Các điện trở trong mạch sử dụng điện trở dán model 8085 có công suất định mức:  
 $P = 0,1W = 100mW$ .

Công suất điện trở khi hoạt động thực tế được xác định:

$$P_R = (U/R_{\Sigma})^2 \times R$$

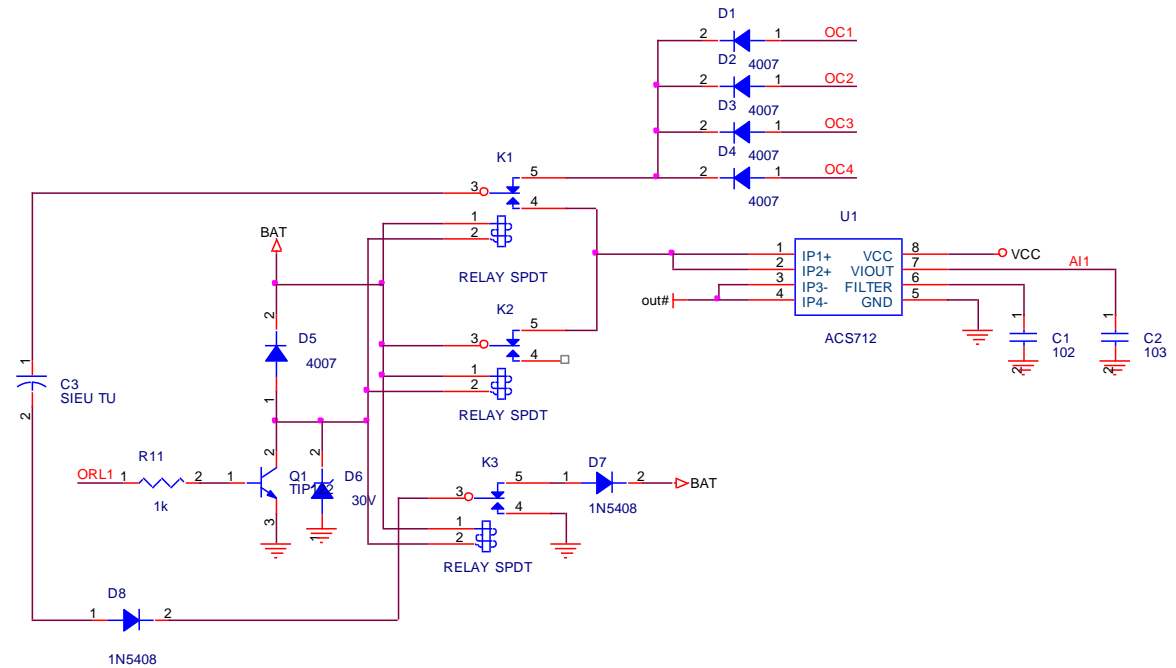
Thông số công suất của các điện trở qua tính toán như sau:

TT	Kí hiệu công suất	Điện áp (V)	Tổng trở (kΩ)	Điện trở (kΩ)	Công suất (mW)
1	$P_{R1} = (U/R_{\Sigma})^2 \times R_1$	14	12,2	10	13,2
2	$P_{R2} = (U/R_{\Sigma})^2 \times R_2$	14	78	56	1,8
3	$P_{R3} = (U/R_{\Sigma})^2 \times R_3$	14	78	56	1,8
4	$P_{R4} = (U/R_{\Sigma})^2 \times R_4$	14	160	150	1,4
5	$P_{R5} = (U/R_{\Sigma})^2 \times R_5$	14-2	12,2	2,2	2,2
6	$P_{R6} = (U/R_{\Sigma})^2 \times R_6$	14	78	56	1,8
7	$P_{R7} = (U/R_{\Sigma})^2 \times R_7$	14	78	10	0,3
8	$P_{R8} = (U/R_{\Sigma})^2 \times R_8$	14	12,2	10	13,2
9	$P_{R9} = (U/R_{\Sigma})^2 \times R_9$	14-2	12,2	2,2	2,2
10	$P_{R10} = (U/R_{\Sigma})^2 \times R_{10}$	14	160	10	1,5
11	$P_{R12} = (U/R_{\Sigma})^2 \times R_{12}$	14	78	56	1,8
12	$P_{R13} = (U/R_{\Sigma})^2 \times R_{13}$	14	78	12	0,4

**Bảng PL 2.2:** Các thông số trong tính toán công suất tỏa nhiệt trên các điện trở

Bảng PL 2.2 cho thấy công suất hoạt động của các điện trở nhỏ hơn nhiều so với công suất điện trở đã chọn ( $P=100\text{mW}$ ). Vì vậy, các điện trở sử dụng trong mạch thoả mãn điều kiện làm việc lâu dài.

#### 2.4.PL. Tính toán trên transistor Q1



**Hình PL 2.5:** Transistor công suất Q1 trong mạch

Chọn transistor Q1 là TIP 122, có mối nối BE là 1,4V, có hệ số khuếch đại  $\beta=2000$ . Vì điều khiển phát ra tín hiệu ORL1 dạng xung vuông có điện áp  $V_{ORL1} = 0$  hoặc 5V qua điện trở nối tiếp có giá trị  $R11 = 1\text{K}\Omega = 1000\Omega$ , đến Q1.

Dòng  $I_B$  qua transistor Q1:  $I_{B-Q1} = (V_{ORL1} - V_{D6}) / R11 = (5 - 1,4) / 1000 = 3,6 \times 10^{-3} \text{A}$

Dòng  $I_C$  qua transistor Q1:  $I_{C-Q1} = I_{B-Q1} \times \beta = 3,6 \times 10^{-3} \times 2000 = 7,2 \text{A}$

Dòng cực đại qua 03 cuộn dây rơle là  $3 \times 100 = 300 \text{mA} = 3 \times 10^{-3} \text{A}$

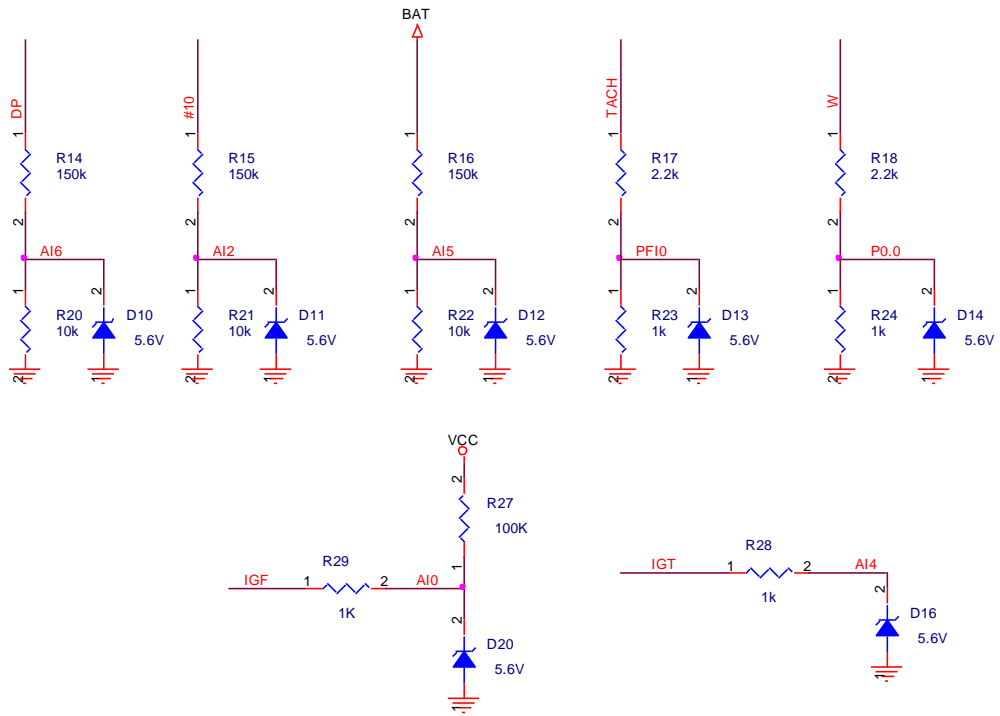
Vì vậy transistor Q1 đủ điều kiện làm việc lâu dài.

#### 2.5.PL. Tính toán trên cảm biến dòng ASC712

Cảm biến dòng ASC712 có khả năng chịu được 5A trong khi 04 kim phun nếu hoạt động cùng một lúc sẽ tạo ra dòng 4A.

Vì vậy cảm biến dòng ASC712 đủ điều kiện làm việc lâu dài.

#### 2.6.PL. Tính toán điện áp đầu vào card NI 6009



**Hình PL 2.6:** Các cầu phân áp tạo tín hiệu đầu vào card NI 6009

Các ngõ vào của card NI 6009 có điện áp định mức 5V.

Điện áp vào của các chân AI0, AI4, AI2, AI5, AI6, PFIO, P0.0 được tính:

$$U_R = (U/R_{\Sigma}) \times R$$

Điện áp cực đại ngõ vào thực tế khi hoạt động của các điện trở:

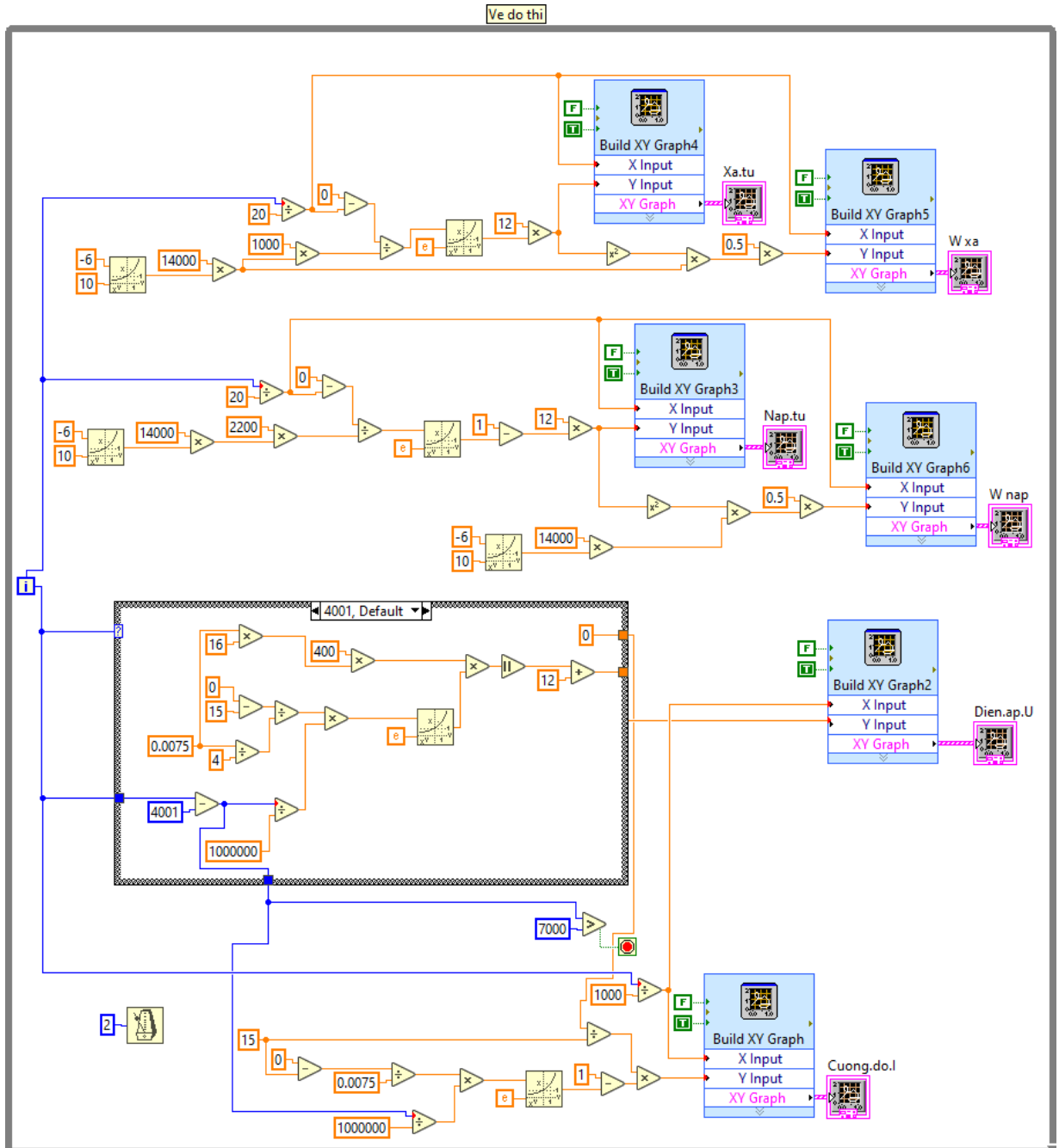
TT	Kí hiệu điện áp	Điện áp (V)	Tổng trở (kΩ)	Điện trở (kΩ)	Điện áp (V)	Ngõ vào
1	$U_{R20} = (U/R_{\Sigma}) \times R_{20}$	70	160	10	4,4	AI6
2	$U_{R21} = (U/R_{\Sigma}) \times R_{21}$	70	160	10	4,4	AI2
3	$U_{R22} = (U/R_{\Sigma}) \times R_{22}$	14	160	10	0,9	AI5
4	$U_{R23} = (U/R_{\Sigma}) \times R_{23}$	14	3,2	1	4,4	PFIO
5	$U_{R24} = (U/R_{\Sigma}) \times R_{24}$	14	3,2	1	4,4	P0.0
6	$U_{R28} = (U/R_{\Sigma}) \times R_{28}$	5	101	1	0,05	AI4
7	$U_{R29} = (U/R_{\Sigma}) \times R_{29}$	5	101	1	0,05	AI0

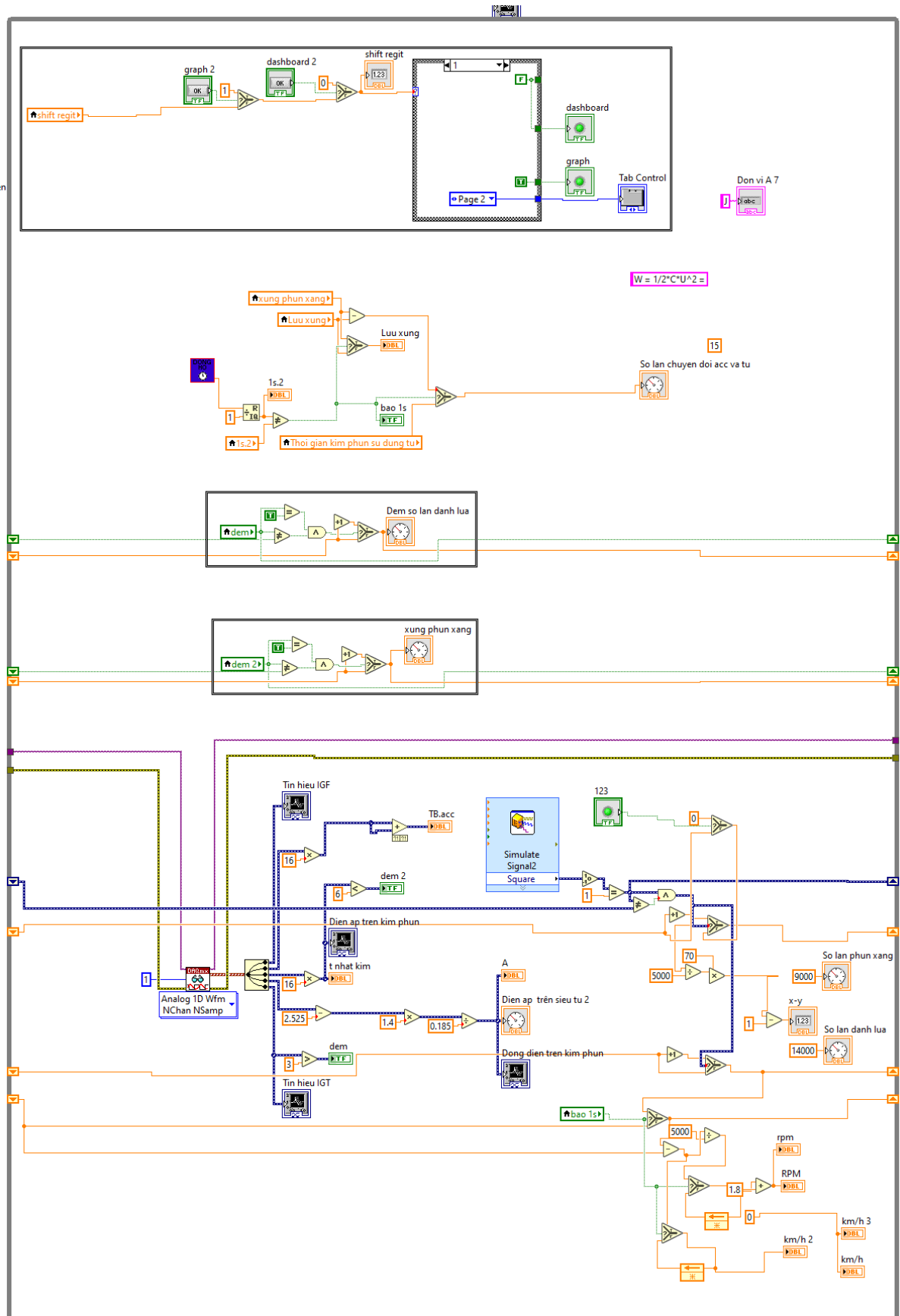
**Bảng PL 2.7:** Các thông số trong tính toán công suất tỏa nhiệt trên các điện trở

Bảng PL 2.7 cho thấy điện áp cực đại ngõ vào nhỏ hơn so với điện áp định mức (U=5V). Vì vậy, các điện trở sử dụng trong mạch đảm bảo làm việc lâu dài.

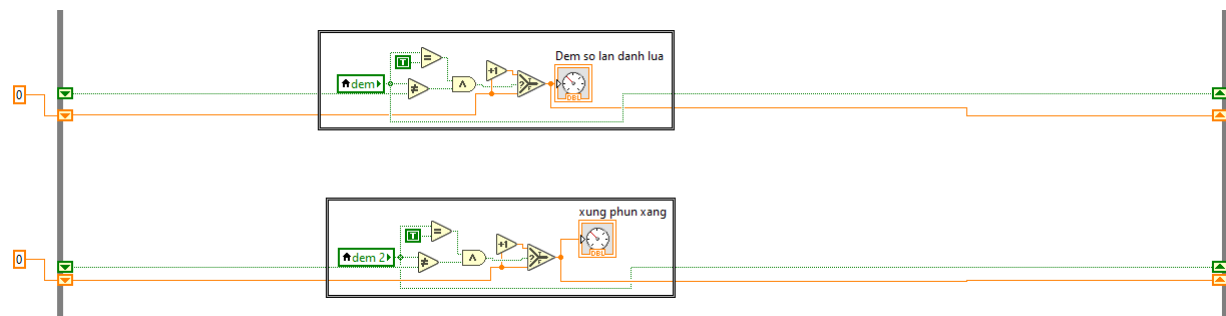
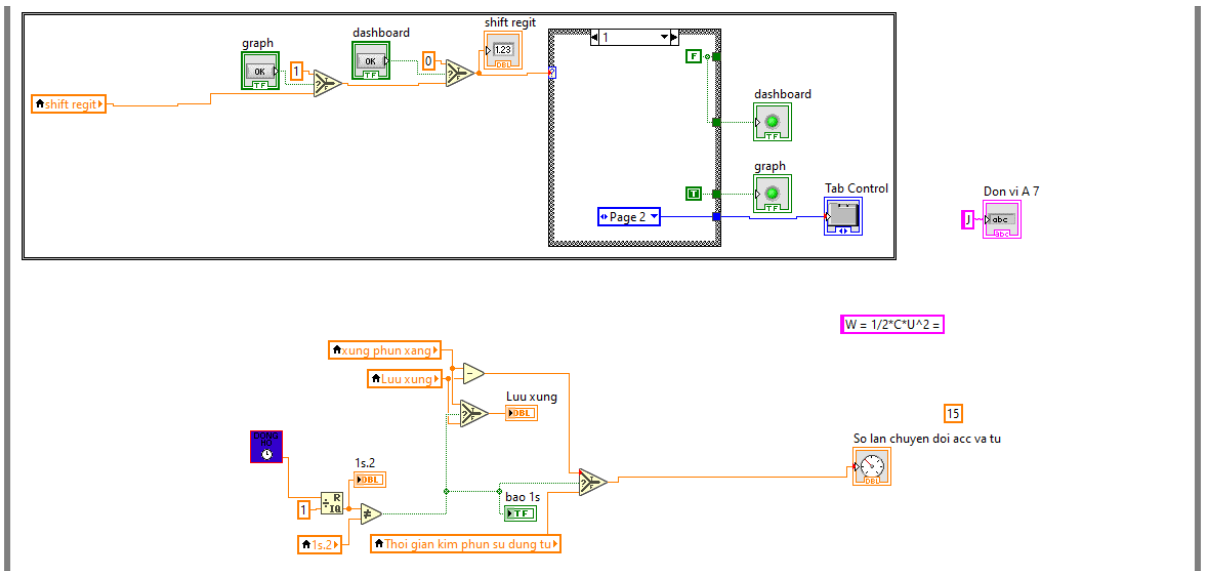
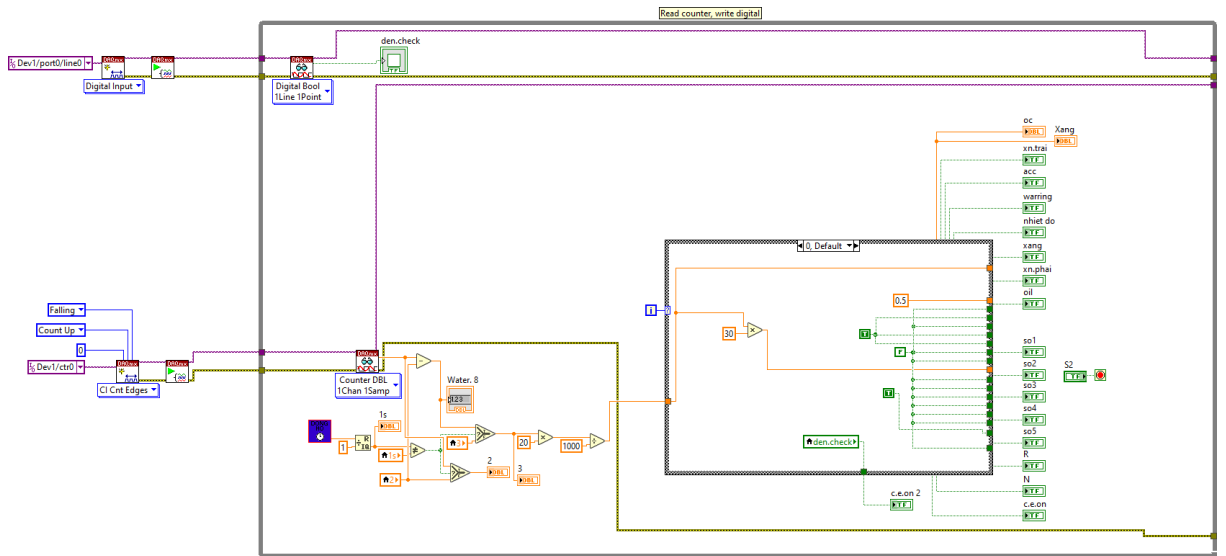
# PHỤ LỤC 3

## CODE LẬP TRÌNH LABVIEW TRONG THU THẬP DỮ LIỆU VÀ KIỂM SOÁT NĂNG LƯỢNG ĐIỆN CẢM









Các đối tượng trên Front Panel được thể hiện bằng các thiết bị đầu cuối trên Block Diagram. Cấu trúc của một Block Diagram gồm các thiết bị đầu cuối (Terminal), nút (Node) và các dây nối (Wire).

## PHỤ LỤC 4

### CÁC THIẾT BỊ DÙNG TRONG THÍ NGHIỆM

#### 4.1.PL. Máy đo sóng Tektronix (model: MSO2000B)

Các thực nghiệm đo dạng sóng sơ cấp, thứ cấp trên bobine, dạng sóng kim phun, role, cuộn điện từ sử dụng máy đo sóng Tektronix (model: MSO2000B) có 4 kênh đo, lưu trữ dữ liệu sóng với các thông số kỹ thuật theo bảng PL 4.1.



**Hình PL 4.1:** Máy đo sóng Tektronix (model: MSO2000B)

Thông số kỹ thuật	Đặc tính
Tầm đo (băng thông)	70Mhz
Độ chính xác trục tung	$\pm 100$ mV
Độ chính xác trục hoành	$\pm 25$ ppm
Độ dài sóng	1Mega
Độ phân giải	8 bit
Tốc độ chụp dạng sóng	5000 dạng sóng/s
Khoảng dịch chỉnh	2mV/div ~ 5V/div
Thời gian lấy mẫu tối đa	1ms
Màn hình	TFT 7 inch 480x234mm
Giao tiếp	USB 2.0
Nguồn	220 VAC
Khối lượng	3,6 Kg
Kích thước	(180 x 377 x 134)mm

**Bảng PL 4.1:** Thông số kỹ thuật máy đo sóng Tektronix - MSO2000B

#### 4.2.PL. Máy đo sóng PicoScope Automotive 4225

Thiết bị dùng trong thí nghiệm đo đặc dạng sóng điện áp và dòng điện trên kim phun và bobine: có 4 kênh đo, lưu trữ dữ liệu, các thông số kỹ thuật theo Bảng PL-4.2.



**Hình PL 4.2:** Máy đo sóng PicoScope Automotive (model: 4225)

Thông số kỹ thuật	Đặc tính
Tầm đo	20Mhz
Độ chính xác	0,05%
Độ phân giải	12 bit
Tốc độ lấy mẫu	400 Ms/s
Khoảng đo	$\pm 50$ mV đến $\pm 200$ V
Giao tiếp	USB 2.0
Nguồn	5V - USB
Khối lượng	3,6Kg
Kích thước	(180 x 377 x 134)mm

**Bảng PL-4.2:** Thông số kỹ thuật máy đo sóng PicoScope 4225

### 4.3.PL. Card NI 6009

Thiết bị thu thập dữ liệu đa năng có độ tin cậy cao của hãng National Instruments sử dụng kết hợp với máy tính cài đặt phần mềm LabVIEW. Trong đề này này, card NI 6009 dùng trong thực nghiệm thu thập dữ liệu trong quá trình kiểm soát năng lượng điện cảm. Thiết bị có thông số kỹ thuật theo bảng PL- 4.3.



**Hình PL 4.3:** Card NI 6009

Thông số kỹ thuật	Đặc tính
Tầm đo	-10 đến 10 V
Độ chính xác	$\pm 7\text{mV}$
Chuẩn kết nối	USB
Kiểu đo	điện áp
Số kênh	8 SE/4 DI
Tốc độ lấy mẫu	48 kS/s
Độ phân giải	32 bits
Tần số nguồn lớn nhất	5 MHz
Độ rộng xung vào nhỏ nhất	100 ns
Hỗ trợ hệ điều hành	Windows, Linux
Kích thước	(85 x 82 x 23)mm

**Bảng PL- 4.3:** Thông số kỹ thuật Card NI 6009

#### 4.4.PL. Đồng hồ đo điện Sanwa (Model: CD800A)

Đồng hồ dùng trong đo điện trở các cuộn dây, đo điện trở các linh kiện, đo điện áp nguồn và các tín hiệu, đo tần số xung. Thiết bị này có các thông số theo bảng PL-4.4.



**Hình PL 4.4:** Đồng hồ đo điện Sanwa (Model: CD800A)

Thông số kỹ thuật	Đặc tính	Độ chính xác
DCV	400m/4/40/400/600V - 0.1m	±0.7%
ACV	4/40/400/600V - 0.001V	±1.6%
DCA	40m/400mA - 0.01mA	±2.2%
ACA	40m/400mA - 0.01mA	±2.8%
Điện trở Ω	400/4k/40k/400k/4M/40MΩ - 0.1Ω	±1.5%
Tụ điện F	50n/500n/5u/50u/100uF - 0.01nF	±5%
Tần số Hz	5Hz ~ 100kHz -	±0.5%
Băng thông	40 ~ 400Hz	
Nguồn	R6P x 2	
Khối lượng	340g	
Kích thước	(176x104x46)mm	

**Bảng PL-4.4:** Thông số kỹ thuật đồng hồ đo điện Sanwa - CD800A

#### 4.5.PL. Máy đo nhiệt độ tầm xa Hikvision (model: DS-2TP31B-3AUF)

Thiết bị này dùng đo nhiệt độ kim phun xăng trong suốt quá trình thử nghiệm.

Thông số thiết bị theo bảng PL-4.5.



**Hình PL 4.5:** Máy đo nhiệt độ tầm xa Hikvision (model: DS-2TP31B-3AUF)

Thông số kỹ thuật	Đặc tính
Tầm đo	30 đến 45°C
Độ chính xác	$\pm 0,25^{\circ}\text{C}$
Độ phân giải đầu dò nhiệt độ	160×120 pixels
Độ phân giải màn hình 2,4“ LCD	320×240 pixels
Nhiệt độ làm việc	-10°C đến 50 °C
Nguồn	Pin Lithium 3,7 VDC
Quy tắc hiển thị hình ảnh	03 điểm đo nhiệt: nhiệt độ cao nhất, nhiệt độ thấp nhất, nhiệt độ trung tâm
Khối lượng	350g
Kích thước	(196x117x59)mm

**Bảng PL-4.5:** Thông số kỹ thuật máy đo nhiệt độ Hikvision DS-2TP31B-3AUF

## PHỤ LỤC 5

### DỮ LIỆU THỬ NGHIỆM Ô TÔ 07 CHỖ

#### TRÊN BẢNG THỬ MUSTANG DYANOMETER MD-500

##### 5.1.PL. Số liệu thử nghiệm thu thập từ ứng dụng PowerDyne

Số liệu thử nghiệm PE, ME, PE', ME' thu thập từ ứng dụng PowerDyne của hệ thống bảng thử công suất (hình 4.14).

PE: công suất động cơ với hệ thống đánh lửa nguyên thủy.

ME: momen động cơ với hệ thống đánh lửa nguyên thủy.

PE': công suất động cơ với hệ thống đánh lửa có lắp bộ thu hồi năng lượng điện cảm.

ME': momen động cơ với hệ thống đánh lửa có lắp bộ thu hồi năng lượng điện cảm.

ne (vòng /phút)	PE (KW)	ME (Nm)	PE' (KW)	ME' (Nm)
1500	15	45	17	43
1750	21	55	24	57
2000	30	69	28	67
2250	35	81	38	83
2500	44	89	44	91
2750	50	93	52	93
3000	53	96	55	94
3250	58	97	61	95
3500	65	98	68	97
3750	72	99	71	98
4000	75	100	77	99
4250	80	99	81	98
4500	84	98	86	99
4750	87	96	87	97
5000	89	95	88	95
5250	90	93	89	94
5500	89	89	88	91
5750	88	82	87	83
6000	84	76	83	77

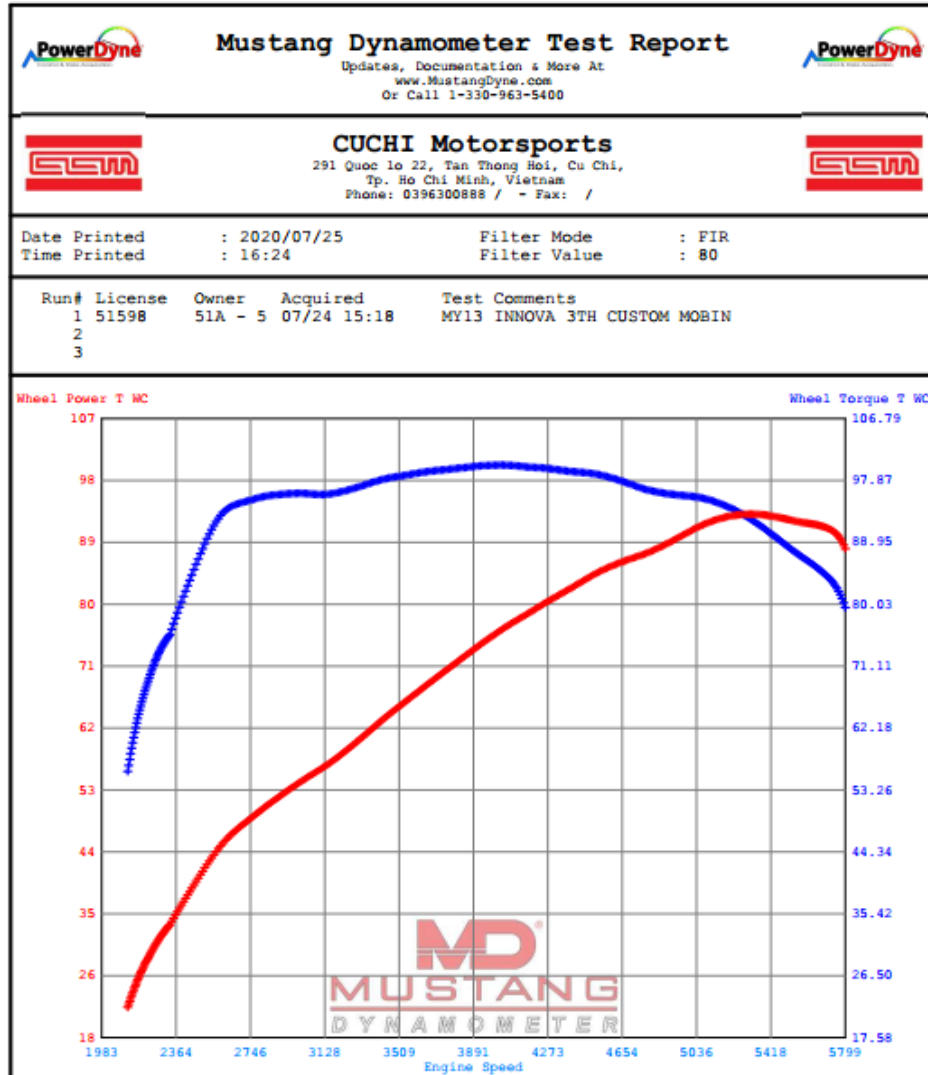
**Bảng PL-5.1:** Thông số thu thập PE, ME, PE', ME' theo tốc độ động cơ với hệ thống đánh lửa nguyên thủy và hệ thống đánh lửa có lắp bộ thu hồi năng lượng điện cảm

**5.2.PL. Số liệu thử nghiệm thu thập công suất và momen động cơ với với hệ thống đánh lửa có lắp bộ thu hồi năng lượng điện cảm trong 03 lần thử nghiệm**

<b>ne (vòng /phút)</b>	<b>PE',1 (KW)</b>	<b>ME',1 (Nm)</b>		<b>PE',2 (KW)</b>	<b>ME',2 (Nm)</b>		<b>PE',3 (KW)</b>	<b>ME',3 (Nm)</b>
1908	7	28		9	30		12	32
2147	28	68		33	70		31	72
2590	46	92		50	86		50	94
3033	55	95		59	90		59	98
3475	65	98		67	92		69	99
3918	75	100		77	94		79	102
4361	81	99		83	93		85	101
4803	87	97		88	92		90	99
5246	91	94		89	91		92	97
5689	90	90		90	88		93	96
6131	85	78		88	78		88	82

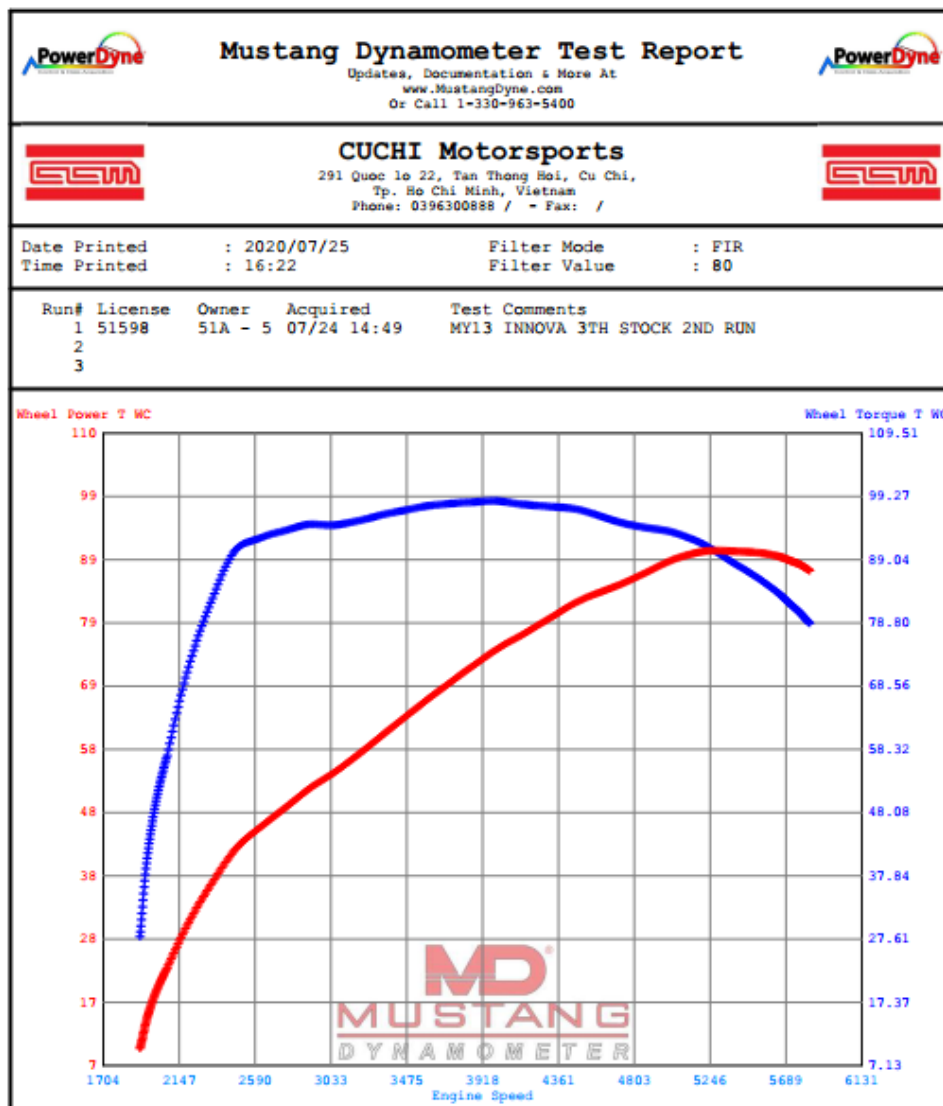
**Bảng PL-5.2:** Thông số thu thập từ ứng dụng PowerDyne công suất và momen động cơ theo tốc độ động cơ với hệ thống đánh lửa có lắp bộ thu hồi năng lượng điện cảm trong 03 lần thử nghiệm (hình 4.15) .





ne (vòng /phút)	PE,1 (KW)	ME,1 (Nm)
2102	22	54
2364	38	79
2746	50	94
3128	58	97
3509	67	99
3891	74	101
4273	80	101
4654	88	98
5036	91	96
5418	92	92
5799	89	81

**Bảng PL-5.3:** Biểu đồ và thông số thu thập PE, ME theo tốc độ động cơ với hệ thống đánh lửa nguyên thủy từ ứng dụng PowerDyne.



ne (vòng /phút)	PE',1 (KW)	ME',1 (Nm)
1908	6	28
2147	28	68
2590	46	92
3033	55	95
3475	65	98
3918	75	100
4361	81	99
4803	87	97
5246	91	94
5689	90	90
6131	85	78

**Bảng PL-5.4:** Biểu đồ và thông số thu thập PE', ME' theo tốc độ động cơ với với hệ thống đánh lửa có lắp bộ thu hồi năng lượng điện cảm.

## DANH MỤC CÔNG TRÌNH 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 ISSN 1859-1272)*, số 32, trang 27-33, 2015.
- 2. 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 ISSN 1859-1272)*, số 32, trang 8-12, 2015.
- 3. 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 ISSN 1859-1272)*, số 61, trang 79-84, 2020.
- 4. 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 ISSN 1859-1272)*, số 61, trang 100-106, 2020.
- 5. Phan Nguyễn Quý Tâm, Đỗ Văn Dũng.** Phân tích năng lượng điện cảm trong hệ thống đánh lửa. *Tạp chí Khoa học và công nghệ (số ISSN 1859-3585)*, Trường Đại Học Công Nghiệp Hà Nội, tập 57 - số 01, trang 67-71, 2021.
- 6. Phan Nguyễn Quý Tâm, Đỗ Văn Dũng, Đinh Cao Trí.** Ứng dụng siêu tụ nâng cao tính đáp ứng của kim phun nhiên liệu trên động cơ xăng. *Tạp chí Cơ Khí Việt Nam (số ISSN 2615-9910)*, số 01+02, trang 16-22, 2021.
- 7. Phan Nguyen Qui Tam, Do Van Dung, Dinh Cao Tri,** Evaluation of Applying Various High Voltage Levels to Improve Fuel Injector Response Time on Gasoline Engines. *International Journal of Transportation Engineering and Technology (ISSN Online: 2575-1751)*, Special Issue: *Transportation Engineering Technology and Education*, Vol. 7, No. 1, 2021, pp. 19-23. doi: 10.11648/j.ijtet.20210701.13.
- 8. 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 ISSN 1859-1272)*, số 63, trang 91-97, 2021.