

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



ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP
NGÀNH CNKT Ô TÔ

TỔNG QUAN NĂNG LƯỢNG ĐIỆN CẢM TRÊN Ô TÔ

GVHD : PGS.TS. ĐỖ VĂN DŨNG
SVTH : NGUYỄN VĂN YÊN
15145432
NGUYỄN THÀNH VINH
15145424



Tp. Hồ Chí Minh, tháng 08 năm 2020

**TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH
KHOA CƠ KHÍ ĐỘNG LỰC**

ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP

TỔNG QUAN NĂNG LƯỢNG ĐIỆN CẢM TRÊN Ô TÔ

SVTH: NGUYỄN VĂN YÊN

MSSV: 15145432

SVTH: NGUYỄN THÀNH VINH

MSSV: 15145424

GVHD: PGS.TS. ĐỖ VĂN DŨNG

Tp. Hồ Chí Minh, tháng 08 năm 2020

**TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH
KHOA CƠ KHÍ ĐỘNG LỰC**

ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP

Chuyên ngành: Công nghệ kĩ thuật ô tô

Tên đề tài:

**TỔNG QUAN NĂNG LUỢNG ĐIỆN CẢM
TRÊN Ô TÔ**

SVTH: NGUYỄN VĂN YÊN

MSSV: 15145432

SVTH: NGUYỄN THÀNH VINH

MSSV: 15145424

GVHD: PGS.TS. ĐỖ VĂN DŨNG

Tp. Hồ Chí Minh, tháng 08 năm 2020

KHOA CƠ KHÍ ĐỘNG LỰC
BỘ MÔN ĐIỆN TỬ Ô TÔ
NHIỆM VỤ ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP

TÊN ĐỀ TÀI: *Tổng quan năng lượng điện cảm trên ô tô*

Sinh viên thực hiện:

Họ và tên SV1: Nguyễn Văn Yên**MSSV:** 15145432

Họ và tên SV2: Nguyễn Thành Vinh**MSSV:** 15145424

I. NỘI DUNG:

Khái quát hệ thống năng lượng điện cảm (tái sinh) trên ô tô

Tổng quan về các hướng nghiên cứu nhằm tăng hiệu quả thu hồi năng lượng điện cảm

Phân tích và so sánh các phương án tích trữ năng lượng điện cảm

Tìm hiểu đề tài trong và ngoài nước

Biên soạn thuyết minh

II. TÀI LIỆU THAM KHẢO:

Tài liệu online, Tài liệu tại thư viện số, các web cơ sở dữ liệu uy tín.

Tài liệu học phần các học phần liên quan

Các đồ án đã thực hiện

III. TRÌNH BÀY:

- 01 quyển thuyết minh đồ án.
- Upload lên google drive của khoa file thuyết minh đồ án (word, powerpoint, poster).

IV. THỜI GIAN THỰC HIỆN:

a. Ngày bắt đầu: **10/03/2020**

b. Ngày hoàn thành: Theo kế hoạch của Khoa CKD (**10/8/2020**)

Tp.HCM, ngày...tháng...năm 2020

Trưởng Bộ Môn

Giảng viên hướng dẫn

Đỗ Văn Dũng

TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT
TP. HCM
KHOA CƠ KHÍ ĐỘNG LỰC
BỘ MÔN ĐIỆN TỬ Ô TÔ

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

PHIẾU NHẬN XÉT ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP
(*Dành cho giảng viên hướng dẫn*)

Họ và tên sinh viên.....MSSV:Hội đồng:

Họ và tên sinh viên.....MSSV:Hội đồng:

Tên đề tài:.....

.....
Ngành đào tạo:

Họ và tên GV hướng dẫn:

Ý KIẾN NHẬN XÉT

1. Nhận xét về tinh thần, thái độ làm việc của sinh viên (không đánh máy)

.....
.....
.....
.....

2. Nhận xét về kết quả thực hiện của ĐATN(không đánh máy)

2.1.Kết cấu, cách thức trình bày ĐATN:

.....
.....
.....
.....

2.2 Nội dung đồ án:

(Cơ sở lý luận, tính thực tiễn và khả năng ứng dụng của đồ án, các hướng nghiên cứu có thể tiếp tục phát triển)

.....
.....

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

2.3. Kết quả đạt được:

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

2.4. Những tồn tại (nếu có):

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

3. Đánh giá:

TT	Mục đánh giá	Điểm tối đa	Điểm đạt được
1.	Hình thức và kết cấu ĐATN	30	
	Đúng format với đầy đủ cả hình thức và nội dung của các mục	10	
	Mục tiêu, nhiệm vụ, tổng quan của đề tài	10	
	Tính cấp thiết của đề tài	10	
2.	Nội dung ĐATN	50	
	Khả năng ứng dụng kiến thức toán học, khoa học và kỹ thuật, khoa học xã hội...	5	
	Khả năng thực hiện/phân tích/tổng hợp/dánh giá	10	
	Khả năng thiết kế chế tạo một hệ thống, thành phần, hoặc quy trình đáp ứng yêu cầu đưa ra với những ràng buộc thực tế.	15	
	Khả năng cải tiến và phát triển	15	

	<i>Khả năng sử dụng công cụ kỹ thuật, phần mềm chuyên ngành...</i>	5	
3.	Đánh giá về khả năng ứng dụng của đê tài	10	
4.	Sản phẩm cụ thể của ĐATN	10	
	Tổng điểm	100	

4. Kết luận:

- Được phép bảo vệ
- Không được phép bảo vệ

TP.HCM, ngày tháng 07 năm 2020

Giảng viên hướng dẫn
(Ký, ghi rõ họ tên)

TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT
TP. HCM
KHOA CƠ KHÍ ĐỘNG LỰC
BỘ MÔN ĐIỆN TỬ Ô TÔ

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

PHIẾU NHẬN XÉT ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP
(*Dành cho giảng viên phản biện*)

Họ và tên sinh viên MSSV: Hội đồng

Họ và tên sinh viên MSSV: Hội đồng

Tên đề tài:

Ngành đào tạo:

Họ và tên GV phản biện: (Mã GV)

Ý KIẾN NHẬN XÉT

1. Kết cấu, cách thức trình bày ĐATN:

.....
.....
.....

2. Nội dung đồ án:

(Cơ sở lý luận, tính thực tiễn và khả năng ứng dụng của đồ án, các hướng nghiên cứu có thể tiếp tục phát triển)

.....
.....
.....
.....

3. Kết quả đạt được:

.....
.....
.....

4. Những thiếu sót và tồn tại của ĐATN:

.....
.....
.....

5. Câu hỏi:

5. Đánh giá:

TT	Mục đánh giá	Điểm tối đa	Điểm đạt được
1.	Hình thức và kết cấu ĐATN	30	
	Dùng format với đầy đủ cả hình thức và nội dung của các mục	10	
	Mục tiêu, nhiệm vụ, tổng quan của đề tài	10	
	Tính cấp thiết của đề tài	10	
2.	Nội dung ĐATN	50	

	<i>Khả năng ứng dụng kiến thức toán học, khoa học và kỹ thuật, khoa học xã hội...</i>	5	
	<i>Khả năng thực hiện/phân tích/tổng hợp/đánh giá</i>	10	
	<i>Khả năng thiết kế chế tạo một hệ thống, thành phần, hoặc quy trình đáp ứng yêu cầu đưa ra với những ràng buộc thực tế.</i>	15	
	<i>Khả năng cải tiến và phát triển</i>	15	
	<i>Khả năng sử dụng công cụ kỹ thuật, phần mềm chuyên ngành...</i>	5	
3.	Đánh giá về khả năng ứng dụng của đề tài	10	
4.	Sản phẩm cụ thể của ĐATN	10	
	Tổng điểm	100	

6. Kết luận:

- Được phép bảo vệ
- Không được phép bảo vệ

TP.HCM, ngày tháng 07 năm 2020

Giảng viên phản biện
(Ký, ghi rõ họ tên)

LỜI CẢM ƠN

Trong thời gian theo học tại Trường Đại Học Sư Phạm Kỹ thuật Tp.HCM em đã học và tiếp thu những kiến thức quý báu từ quý thầy cô để làm nền tảng trong việc nghiên cứu thêm tài liệu mới, giúp em hoàn thiện thêm rất nhiều lĩnh vực nhất là về lĩnh vực chuyên môn.

Trong quá trình thực hiện đồ án tốt nghiệp em xin chân thành cảm ơn đến các cá nhân, tập thể đã giúp em hoàn thành tiểu luận tốt nghiệp:

Xin cảm ơn Ban Giám Hiệu Trường Đại Học Sư Phạm Kỹ Thuật Tp.HCM đã tạo điều kiện thuận lợi cho em theo học lớp Đại Học chuyên ngành ô tô.

Đặc biệt với sự giúp đỡ của các quý thầy cô Khoa Cơ Khí Động Lực và sự chỉ bảo tận tình của Thầy PGS.TS. Đỗ Văn Dũng đã tạo điều kiện cho chúng em hoàn thành đồ án tốt nghiệp đúng thời gian quy định.

Một lần nữa, chúng em xin chân thành cảm ơn và kính chúc quý thầy cô Trường Đại Học Sư Phạm Kỹ Thuật Thành phố Hồ Chí Minh dồi dào sức khỏe, niềm vui và nhiệt huyết với nghề giáo để góp phần vào sự nghiệp trăm năm trồng người và đặc biệt là quý thầy cô khoa Cơ Khí Động Lực lời chúc sức khỏe, hạnh phúc và thành công!

Chúng em xin chân thành cảm ơn!

TÓM TẮT

Đề tài “*Tổng quan năng lượng điện cảm trên ô tô*” tìm hiểu phân tích về nguồn năng lượng điện cảm dư thừa trên hệ thống điện ô tô. Nguồn năng lượng này chủ yếu phát sinh từ hệ thống đánh lửa trên động cơ. Các thiết bị có cuộn cảm như bobine, kim phun, relay, van điện tử... trong quá trình hoạt động, khi dòng điện đi qua các thiết bị này bị đóng ngắt đột ngột bởi thiết bị điều khiển, ở các cuộn cảm sẽ xuất hiện các suât điện động tự cảm từ 80V đến 400V, gây hại cho các thiết bị điện tử khác.Thêm vào đó dao động tắt dàn xuất phát từ các xung điện nêu trên sinh nhiệt trên mạch điện là nguyên nhân gây tổn thất năng lượng.

Đồng thời bài viết tìm hiểu về các công trình nghiên cứu trong và ngoài nước có liên quan đến thiết kế, thử nghiệm và đánh giá các bộ thu hồi, lưu trữ năng lượng điện cảm và các thông số có liên quan đến hệ thống đánh lửa lai (Hybrid), nơi xuất hiện nguồn năng lượng điện cảm lớn nhất trên ô tô.

Góp phần giảm tiêu hao nhiên liệu của ô tô khoảng 1,2% nếu lưu trữ vào siêu tụ và sử dụng cho các thiết bị tải gián đoạn trên ô tô, tăng tuổi thọ các thiết bị điện tử trên ô tô. Nếu lưu trữ vào tụ điện và sử dụng cho quá trình đánh lửa điện dung trong hệ thống đánh lửa Hybrid thì nhiên liệu sẽ tổn ít hơn khoảng 55g/100km so với hệ thống đánh lửa truyền thống. Tuy năng lượng thu được là không lớn, nhưng nếu xét về số lượng ô tô đang lưu hành hiện nay thì năng lượng điện cảm cũng là một vấn đề đáng được quan tâm.

MỤC LỤC

Trang Tựa	Trang
LỜI CẢM ƠN	i
TÓM TẮT	ii
MỤC LỤC.....	iii
DANH MỤC CÁC CHỮ VIẾT TẮT VÀ KÍ HIỆU	vi
DANH MỤC CÁC HÌNH.....	vii
DANH MỤC CÁC BẢNG	x
CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN	1
1.1. Đặt vấn đề	1
1.2. Mục đích nghiên cứu.	1
1.3. Nhiệm vụ nghiên cứu.	2
1.4. Đối tượng, phạm vi và phương pháp nghiên cứu.	2
1.5. Ý nghĩa khoa học và tính thực tiễn của đề tài.	2
CHƯƠNG 2: CƠ SỞ LÝ THUYẾT	4
2.1. Tổng quan hệ thống điện ô tô.....	4
2.1.1. Hệ thống cung cấp điện.	4
2.1.2. Các loại phụ tải điện trên ô tô.	5
2.1.3. Công suất tiêu thụ của tải điện.	5
2.2. Hiện tượng tự cảm.....	7
2.2.1. Khái niệm.....	7
2.2.2. Các thiết bị có cuộn cảm.....	8
2.2.2.1. Bobine.	9
2.2.2.2. Kim phun.....	16
2.2.2.3. Relay.....	22
2.2.2.4. Van điện từ.	25
2.3. Các giải pháp đã và đang sử dụng để xử lý suất điện động tự cảm.	28
2.3.1. Phương pháp dùng diode.	28
2.3.2 Phương pháp dùng điện trở.....	29

2.3.3. Phương pháp dùng tụ điện.....	30
2.4. Nhận định khoa học.....	30
2.5. Các giải pháp thu hồi thực thi.....	31
2.5.1. Bộ thu hồi sử dụng biến áp và diode.	31
2.5.2. Bộ thu hồi sóng sin có tụ kẹo.....	32
2.5.3. Mạch thu hồi sử dụng cuộn cảm lõi xuyên.....	33
2.5.4. Tính toán cho bộ thu hồi lõi xuyên.....	36
2.5.5. Đánh giá bộ thu hồi cuộn cảm lõi xuyên.	37
2.6. Tính toán lựa chọn thiết bị lưu trữ.....	39
2.6.1. Siêu tụ là gì?.....	39
2.6.2. Cấu tạo siêu tụ.....	40
2.6.3. So sánh siêu tụ điện với các thiết bị lưu trữ khác.	40
2.6.4. Ứng dụng siêu tụ vào việc tích trữ nguồn năng lượng điện thu được từ các xung suất điện động tự cảm.	43
CHƯƠNG 3: CÁC CÔNG TRÌNH NGHIÊN CỨU TRONG NƯỚC	48
3.1. Công trình 1.....	48
3.2. Công trình 2.....	50
3.3. Công trình 3.....	53
3.4. Công trình 4.....	58
3.5. Công trình 5.....	59
3.6. Công trình 6.....	60
3.7. Công trình 7.....	62
3.8. Công trình 8.....	64
3.9. Công trình 9.....	66
3.10. Công trình 10.....	68
3.11. Công trình 11.....	69
3.12. Công trình 12.....	70
3.13. Công trình 13.....	71
3.14. Công trình 14.....	76
CHƯƠNG 4: CÁC CÔNG TRÌNH NGHIÊN CỨU NGOÀI NƯỚC	81

4.1.Công trình 1.....	81
4.2.Công trình 2.....	82
4.3.Công trình 3.....	83
4.4.Công trình 4.....	84
CHƯƠNG 5: KẾT LUẬN - KIẾN NGHỊ	86
5.1. Kết luận	86
5.2. Kiến nghị	86
TÀI LIỆU THAM KHẢO.....	87

DANH MỤC CÁC CHỮ VIẾT TẮT VÀ KÍ HIỆU

CDI: Capacitor Discharged Ignition

DI: Distributorless Ignition

FET: Field-Effect Transistor

IGF: Ignition Feedback Signal

IGT: Ignition Timing Signal

LCR: Liquidity Coverage Ratio

MATLAB: Matrix laboratory

ST: Siêu tụ

v/ph: Vòng/phút

DANH MỤC CÁC HÌNH

Hình	Trang
Hình 2.1. Sơ đồ hệ thống cung cấp điện tổng quát	4
Hình 2.2. Từ thông qua cuộn dây	7
Hình 2.3. Cấu tạo bobine.....	9
Hình 2.4. Mạch điện điều khiển bobine	9
Hình 2.5. Xung điện áp của cuộn dây sơ cấp bobine.	10
Hình 2.6. Mạch điều khiển cuộn dây sơ cấp bobine	11
Hình 2.7. Đồ thị quá trình tăng trưởng dòng điện qua cuộn sơ cấp của bobine.....	13
Hình 2.8. Quá trình tích lũy năng lượng trong cuộn dây trong bobine	14
Hình 2.9. Cấu tạo kim phun	16
Hình 2.10. Mạch điều khiển kim phun.....	17
Hình 2.11. Xung kim phun.....	17
Hình 2.12. Quá trình tăng trưởng cường độ dòng điện kim phun.....	18
Hình 2.13. Quá trình tích lũy năng lượng trong cuộn dây	19
Hình 2.14. Relay.....	22
Hình 2.15. Quá trình tăng trưởng dòng điện cuộn dây trong relay	23
Hình 2.16. Quá trình tích lũy năng lượng trong cuộn dây relay	23
Hình 2.17. Quá trình tăng trưởng dòng điện qua cuộn dây của van điện từ	26
Hình 2.18. Quá trình tích lũy năng lượng qua cuộn dây của van điện từ.	26
Hình 2.19. Mạch điều khiển van điện từ.....	27
Hình 2.20. Sơ đồ mạch điện triệt tiêu sức điện động tự cảm bằng diode	28
Hình 2.21. Sơ đồ mạch điện triệt tiêu suất điện động tự cảm bằng điện trở	29
Hình 2.22. Sơ đồ mạch điện triệt tiêu sức điện động tự cảm bằng tụ điện.	30
Hình 2.23. Bộ thu hồi tụ điện xoay chiều dung lượng 1Mf điện áp 63V.....	31
Hình 2.24. Bộ thu hồi điện cảm sóng sin có tụ kẹo	32
Hình 2.25. Mạch nguyên lý bộ thu hồi năng lượng điện cảm cho một cuộn sơ cấp bobine.....	33
Hình 2.26. Mạch nguyên lý mở rộng cho bộ thu hồi năng lượng điện cảm trên các thiết bị sử dụng cuộn dây	34

Hình 2.27. Bô thu hồi năng lượng sử dụng cuộn cảm lõi xuyến.....	34
Hình 2.28. Máy Oscilloscope, Textronic.	37
Hình 2.29. Đồ thị biểu diễn xung tự cảm của cuộn sơ cấp bobine trước khi gắn bô thu hồi ở tần số 100Hz (3000 vòng/phút).	38
Hình 2.30. Đồ thị biểu diễn xung tự cảm của cuộn sơ cấp bobine sau khi gắn bô thu hồi ở tần số 100Hz (3000 vòng/phút).	38
Hình 2.31. Biểu đồ thể hiện năng lượng riêng của một số thiết bị lưu trữ năng lượng điện	39
Hình 2.32. Siêu tụ điện 2 lớp.....	40
Hình 2.33. Siêu tụ Maxwell BCAP0350.	44
Hình 2.34. Hình ảnh mô đun siêu tụ thực tế	47
Hình 3.1. Biến thiên điện áp trên bộ lưu trữ ở tốc độ động cơ n=800 vòng/phút.....	48
Hình 3.2. Biến thiên điện áp trên bộ lưu trữ ở tốc độ động cơ n=2400 vòng/phút....	49
Hình 3.3. Kết quả thực nghiệm cường độ dòng điện qua cuộn sơ cấp của bobine ứng với thời gian tích lũy năng lượng $t_{ng} = 7\text{ms}$	51
Hình 3.4. Kết quả thực nghiệm đánh giá sức điện động tự cảm trên cuộn sơ cấp của bobine ứng với thời gian tích lũy năng lượng $t_{ng} = 3,7\text{ms}$	52
Hình 3.5. So sánh điện áp cực đại của suất điện động tự cảm tính toán V_1	53
Hình 3.6. Điện áp trên bobine (a) và trên hai bản cực của tụ điện (b)	54
Hình 3.7. Dạng sóng của dòng điện (a), điện áp qua cuộn sơ cấp của bobine đánh lửa điện cảm (b) và điện áp trên bobine đánh lửa điện dung (c) trên mô hình sử dụng một tụ điện.....	55
Hình 3.8. Hình mô hình đánh lửa hỗn hợp điện dung – điện cảm có khả năng tích lũy năng lượng tự cảm.....	55
Hình 3.9. Hệ thống đánh lửa Hybrid	58
Hình 3.10. Mô hình đánh lửa lai	59
Hình 3.11. Mô hình đánh lửa lai sử dụng hai bobine riêng biệt.....	60
Hình 3.12. Dạng sóng sức điện động tự cảm khi sử dụng hai bobine riêng biệt	61
Hình 3.13. Mô hình đánh lửa lai sử dụng một bobine	61
Hình 3.14. Dạng sóng sức điện động tự cảm sử dụng một bobine	62
Hình 3.15. Mô hình đánh lửa lai sử dụng 4 bobine.....	62
Hình 3.16. Mô hình đánh lửa lai sử dụng 6 bobine.....	63

Hình 3.17. Xung điện cao áp đo tụ phỏng qua cuộn sơ cấp bobine.....	64
Hình 3.18. Đồ thị đánh lửa điện dung thay đổi theo số vòng động cơ.....	65
Hình 3.19. Thay đổi năng lượng tích lũy trên tụ khi thay đổi điện dung tụ từ $0,22\text{ }\mu\text{F}$ – $9\text{ }\mu\text{F}$	70
Hình 3.20. Thời gian sạc thực tế và thời gian sạc đầy của tụ điện khi tăng điện dung từ $0,22\mu\text{F}$ lên $9\mu\text{F}$	72
Hình 3.21. Mô phỏng năng lượng tích lũy khi không có tổn thất và có tổn thất.	73
Hình 3.22. Điện áp trên tụ mô hình bốn xy lanh.....	74
Hình 3.23. So sánh năng lượng tích lũy ở chế độ bốn xy lanh trên thực nghiệm.	75
Hình 3.24. Hình ảnh thể hiện điện áp nạp vào tụ ở tốc độ 800 v/p.....	77
Hình 3.25. Hình ảnh thể hiện điện áp nạp vào tụ ở tốc độ 1500 v/p.....	77
Hình 3.26. Hình ảnh thể hiện điện áp nạp vào tụ ở tốc độ 2000 v/p.....	78
Hình 3.27. Hình ảnh thể hiện điện áp nạp vào tụ ở tốc độ 2500 v/p.....	78
Hình 3.28. Hình ảnh thể hiện điện áp nạp vào tụ ở tốc độ 3000 v/p.....	78
Hình 4.1. Sơ đồ hệ thống đánh lửa với chu kì điện dung điện cảm	81
Hình 4.2. Sơ đồ hệ thống đánh lửa nạp xả điện dung điện cảm điều biến	82
Hình 4.3. Sơ đồ mạch điện của hệ thống đánh lửa Hybrid cho động cơ nhiều xy lanh với một lần xả.....	83
Hình 4.4. Sơ đồ nguyên lý đánh lửa Hybrid trên động cơ đốt trong.....	84

DANH MỤC CÁC BẢNG

Bảng	Trang
Bảng 2.1. Tiêu thụ điện của các tải điện hoạt động liên tục.....	5
Bảng 2.2. Tiêu thụ điện của các tải điện hoạt động gián đoạn.....	6
Bảng 2.3. Điện trở thuần và độ tự cảm của một số cuộn cảm được sử dụng trên ô tô..	8
Bảng 2.4. Thống kê số lượng cuộn cảm ứng dụng trên cuộn sơ cấp bobine.....	14
Bảng 2.5. Tổng năng lượng tích trữ trên cuộn sơ cấp theo số vòng quay động cơ	15
Bảng 2.6. Thống kê số lượng cuộn cảm ứng dụng trên kim phun.	20
Bảng 2.7. Các phương thức điều khiển kim phun	20
Bảng 2.8. Tổng năng lượng tích lũy trên cuộn sơ cấp theo số vòng quay động cơ	21
Bảng 2.9. Thống kê số lượng cuộn cảm ứng dụng trên relay.....	24
Bảng 2.10. Thống kê các van điện tử sử dụng trên hệ thống điện ô tô.	27
Bảng 2.11. Thông số lưu trữ trên ác quy, tụ điện thường, siêu tụ và pin năng lượng.	40
Bảng 2.12. Thông kê một số siêu tụ của hãng.....	41
Bảng 2.13. Thông số kỹ thuật của một siêu tụ Maxwell BCAP0350.....	44
Bảng 2.14. Thông số mô đun siêu tụ 16,2V – 116F.....	46
Bảng 3.1. Kết quả thời gian thử nghiệm trên tải điện gián đoạn của thiết bị lưu trữ ..	49
Bảng 3.2. Năng lượng trên tụ theo dung lượng tụ	59
Bảng 3.3. Bảng tỉ lệ hoà khí thông thường theo các chế độ tải trên động cơ đốt cháy nhiên liệu cưỡng bức.....	65
Bảng 3.4. Thông kê và so sánh nguồn năng lượng thu được và năng lượng tiêu hao.	67
Bảng 3.5. Kết quả thực nghiệm thông qua điện áp trên động cơ bốn xy lanh	73
Bảng 3.6. Kết quả thực nghiệm năng lượng được tích lũy trên động cơ bốn xy lanh	74
Bảng 3.7. Bảng số liệu sự phụ thuộc của dòng nạp so với tốc độ động cơ.	79

CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN

1.1. Đặt vấn đề.

Ngày nay, các bộ phận chấp hành có kết cấu từ cuộn cảm được sử dụng rất phổ biến trên hệ thống điện ô tô như: bobine đánh lửa, kim phun, van điện tử, relay, ...

Tuy nhiên trong quá trình hoạt động, khi dòng điện đi qua các thiết bị này bị đóng ngắt đột ngột bởi thiết bị điều khiển, ở các cuộn cảm sẽ xuất hiện các suất điện động tự cảm từ 80V đến 400V, gây hại cho các thiết bị điện tử khác.Thêm vào đó dao động tắt dần xuất phát từ các xung điện nêu trên sinh nhiệt trên mạch điện là nguyên nhân gây tổn thất năng lượng.

Để hạn chế các ảnh hưởng tiêu cực trên, trước đây, sức điện động tự cảm trên sẽ được tích lũy vào một tụ điện được mắc song song với thiết bị đóng ngắt mạch. Tuy nhiên biện pháp này lại chưa tận dụng được lượng năng lượng tích lũy trên tụ. Đồ án đề ra giải pháp tiết kiệm năng lượng bằng cách sử dụng lại phần năng lượng thừa này.

Trên thế giới, việc chế tạo ra những chiếc ô tô tiết kiệm nhiên liệu và thân thiện với môi trường là một trong những tiêu chí hàng đầu của các nhà sản xuất ô tô. Bên cạnh việc sử dụng nguồn năng lượng mới thay thế cho năng lượng truyền thống như xăng và diesel thì các nhà sản xuất ô tô hiện nay đang có xu hướng trang bị hệ thống mới có khả năng thu hồi và tái sử dụng năng lượng đã qua sử dụng từ hệ thống phanh, treo, lái như hệ thống i-Loop của Mazda, ...

Sau quá trình tìm hiểu chúng tôi quyết định thực hiện đề tài: “**Tổng quan năng lượng điện cảm trên ô tô**” nhằm đánh giá khả năng tích lũy năng lượng điện cảm trên ô tô.

1.2. Mục đích nghiên cứu.

- Đánh giá sơ bộ tổng giá trị năng lượng do các sức điện động tự cảm gây ra.
- Đánh giá sơ bộ khả năng thu hồi và tái sử dụng nguồn năng lượng này.
- Nghiên cứu, phân tích, so sánh và đánh giá hiệu quả thiết bị thu hồi điện cảm.
- Nghiên cứu, phân tích về các công trình trong và ngoài nước.

1.3. Nhiệm vụ nghiên cứu.

Qua những phân tích các nghiên cứu về thu hồi năng lượng điện cảm trên ô tô. Phần lớn các xe ô tô trên thế giới hiện nay vẫn chưa ứng dụng những công nghệ vào giải quyết lượng năng lượng điện cảm thất thoát từ bộ phận điện tử mang năng lượng lớn trên xe như bobine, relay, kim phun,... Hoặc thu hồi năng lượng nhưng với hiệu suất chưa cao. Đò án “*Tổng quan về năng lượng điện cảm trên ô tô*” sẽ tập tung nghiên cứu về:

- Đánh giá sơ bộ tổng năng lượng điện tiêu hao trên các thiết bị điện.
- Nghiên cứu, phân tích, so sánh các thiết bị thu hồi và tích trữ được nguồn năng lượng điện cảm bị lãng phí.
- Xác định các thông số của liên quan năng lượng điện cảm, thiết lập phương trình toán cho hệ thống.
- Tìm hiểu nghiên cứu trong việc tăng hiệu suất thu hồi năng lượng và hiệu suất tích lũy năng lượng của ác quy, siêu tụ điện.
- Nghiên cứu, phân tích các công trình trong và ngoài nước

1.4. Đối tượng, phạm vi và phương pháp nghiên cứu.

- Đối tượng nghiên cứu: Các mạch điện có cuộn cảm, các tái điện, nguồn điện trên ô tô.
- Phạm vi nghiên cứu: hệ thống điện trên ô tô.
- Phương pháp nghiên cứu:
 - Nghiên cứu, phân tích tổng hợp, hệ thống hóa lý thuyết.
 - Đặt giả thuyết
 - Nghiên cứu, phân tích các công trình liên quan

1.5. Ý nghĩa khoa học và tính thực tiễn của đề tài.

Đề tài “*Tổng quan năng lượng điện cảm trên ô tô*” giúp tìm hiểu và đánh giá được hiệu suất tốt nhất của bộ thu hồi năng lượng điện cảm, nguồn năng lượng thu hồi được từ các xung suất điện động tự cảm phát ra từ bobine, kim phun,... góp phần bảo vệ thiết bị điện tránh hư hỏng bởi các xung điện áp cao và giảm lượng nhiệt sinh ra cho các thiết bị điện. Sử dụng nguồn năng lượng này để cung cấp cho một số phụ tải trên xe hoạt động,

hoặc có thể tích năng lượng vào tụ điện và sử dụng cho lần đánh lửa tiếp theo, giảm tiêu hao nhiên liệu.

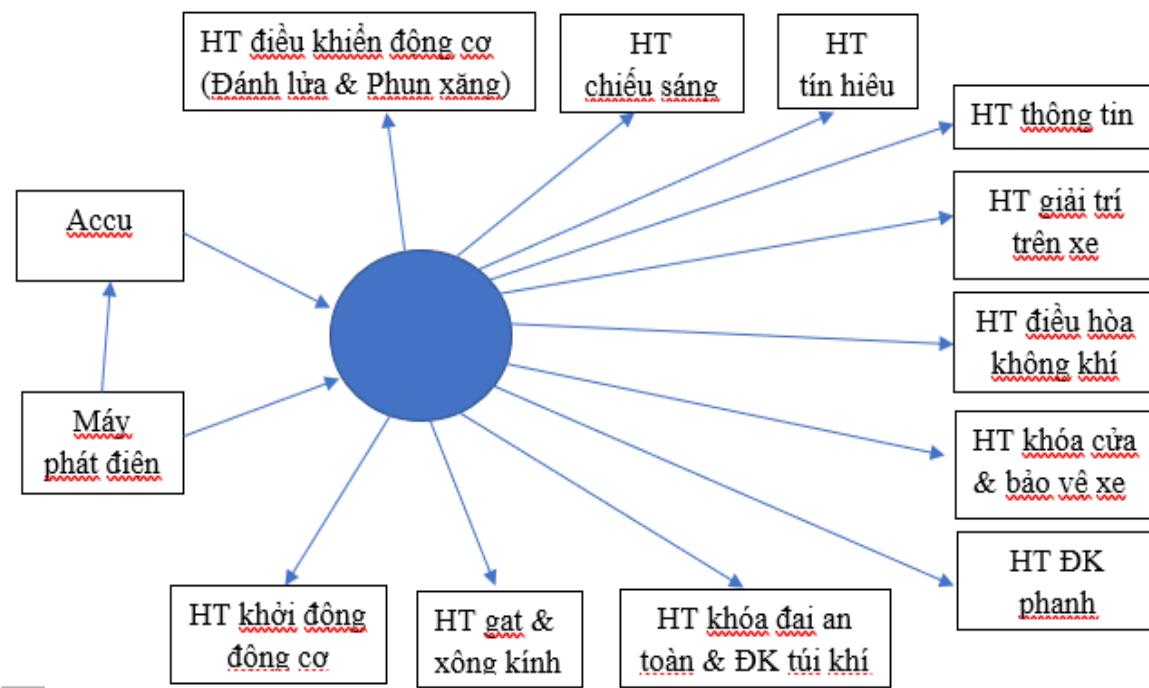
CHƯƠNG 2: CƠ SỞ LÝ THUYẾT

2.1. Tổng quan hệ thống điện ô tô.

2.1.1. Hệ thống cung cấp điện.

Hệ thống cung cấp điện trên ô tô gồm có: ắc quy-máy phát. Đảm nhiệm chức năng cung cấp năng lượng điện cho các thiết bị tải điện hoạt động với một điện áp ổn định trong mọi điều kiện làm việc của động cơ.

Sơ đồ hệ thống điện:



Hình 2.1. Sơ đồ hệ thống cung cấp điện tổng quát

Ô tô được trang bị một số hệ thống và thiết bị điện để đảm bảo an toàn và tiện nghi khi sử dụng. Chúng cần điện năng trong suốt thời gian hoạt động và cả khi động cơ đã dừng. Vì thế, chúng cần cả ắc quy và nguồn điện một chiều như nguồn năng lượng. Một hệ thống cung cấp điện trang bị trên xe cung cấp nguồn một chiều cho những hệ thống và thiết bị vừa nêu. Tuy nhiên ắc quy sẽ phóng điện khi động cơ dừng và dần hết điện.

2.1.2. Các loại phụ tải điện trên ô tô.

Phụ tải điện trên xe có thể chia ra thành 3 loại: Tải thường trực là những phụ tải liên tục hoạt động khi xe đang chạy, tải gián đoạn trong thời gian dài và tải gián đoạn trong thời gian ngắn. Các loại phụ tải điện trên ô tô được mắc song song và có thể chia làm 3 loại:

- **Phụ tải làm việc liên tục:** Bơm nhiên liệu ($50 \div 70W$); Hệ thống đánh lửa ($20W$), kim phun ($70 \div 100W$), ...
- **Phụ tải làm việc không liên tục:** Gồm các đèn pha (mỗi cái $60W$), cốt (mỗi cái $55W$), đèn kích thước (mỗi cái $10W$), radio car ($10 \div 15W$), các đèn báo trên tableau (mỗi cái $2W$), ...
- **Phụ tải làm việc trong thời gian ngắn:** Đèn báo rẽ ($4 \times 21W + 2 \times 2W$); đèn thắng ($2 \times 21W$); motor điều khiển kính $150W$, quạt làm mát động cơ ($200W$), quạt điều hòa nhiệt độ ($2 \times 80W$), motor gạt nước ($30 \div 65W$); còi ($25 \div 40W$); đèn sương mù (mỗi cái $35 \div 50W$); còi lui ($21W$), máy khởi động ($800 \div 3000W$), mồi thuốc ($100W$); hệ thống xông máy (động cơ diesel) ($100 \div 150W$), ...

Ngoài ra, người ta cũng phân biệt phụ tải điện trên ô tô theo công suất, điện áp làm việc,

...

2.1.3. Công suất tiêu thụ của tải điện.

Tiêu thụ điện của các tải điện hoạt động liên tục và các tải điện hoạt động gián đoạn.

Bảng 2.1. Tiêu thụ điện của các tải điện hoạt động liên tục.

Tải điện hoạt động liên tục	Công suất (W)
Hệ thống đánh lửa	20
Bơm nhiên liệu	70
Hệ thống phun nhiên liệu	100
Radio, cassette	12
Đèn đầu (pha hoặc cos)	110
Đèn kích thước	10

Đèn bảng số	10
Đèn soi sáng tableau	10
Tổng công suất	$P_{wI}=350W$

Bảng 2.2. Tiêu thụ điện của các tải điện hoạt động gián đoạn.

Tải điện hoạt động gián đoạn	Giá trị thực (W)	Hệ số	Công suất tương đương (W)
Quạt điều hòa giàn nóng và giàn lạnh	80	0.5	40
Xông kính	120	0.5	60
Gạt nước	60	0.25	15
Quạt tản nhiệt		0.1	
Đèn lái		0.1	
Đèn thăng	42	0.1	4.2
Đèn tín hiệu báo rẽ	70	0.1	4.2
Đèn sương mù	70	0.1	7
Đèn báo sương mù	35	0.1	3.5
Tổng công suất			$P_w = 134W$

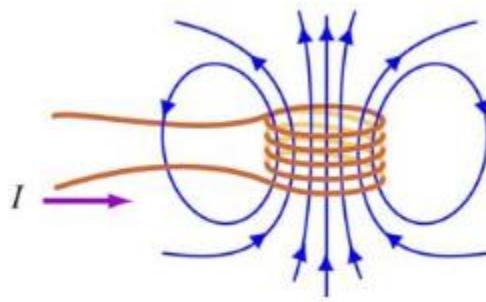
Như vậy, tổng công suất của tải hoạt động liên tục lớn hơn rất nhiều so với tải hoạt động gián đoạn

2.2. Hiện tượng tự cảm.

2.2.1. Khái niệm.

Một cuộn dây có N vòng và mang một dòng điện có cường độ I theo chiều ở hình 2.2. Trường hợp dòng điện đi qua cuộn dây là không đổi, thì từ thông đi qua cuộn dây cũng sẽ là hằng số. Trường hợp dòng điện biến thiên theo thời gian đi qua cuộn dây, thì một sức điện động sẽ được sinh ra để chống lại sự thay đổi đó.

Các đặc tính trong cuộn dây, trong đó từ trường của chính cuộn dây sẽ chống lại bất kỳ sự biến thiên nào của dòng điện trên cuộn dây đó gọi là hiện tượng tự cảm, và sức điện động sinh ra trên cuộn dây lúc này được gọi là sức điện động tự cảm, được kí hiệu là ε_L . Tất cả các cuộn dây có dòng điện đi qua thay đổi theo thời gian đều có đặc tính này.



Hình 2.2. Tùy thông qua cuộn dây

Xét một cuộn dây có N vòng dây, dòng I chạy trong mạch ngược chiều kim đồng hồ. Tùy thông qua cuộn dây:

$$\phi = BA \cos(\vec{B}, \vec{n}) \quad (2-1)$$

đơn vị: Wb (Weber), với \vec{n} là vectơ pháp tuyến của mặt phẳng vòng dây. Với cảm ứng từ B:

$$B = \frac{\mu_0 N}{l} I \quad (2-2)$$

đơn vị: T (Tesla), với

A: tiết diện (m^2)

N: số vòng quấn (vòng)

μ_0 : Đo độ từ thẩm, trong môi trường chân không: $\mu_0 = 4\pi 10^{-7}$ (H / m)

l: chiều dài cuộn dây (m)

I: cường độ dòng điện qua cuộn dây (A)

Độ từ thấm $\mu_0 = 4\pi 10^{-7}$ (H / m) là độ từ thấm của chân không. Tuy nhiên, tỉ số giữa độ từ thấm của không khí và độ từ thấm của chân không là 1,000000373 nên có thể xem độ từ thấm của không khí xấp xỉ $4\pi 10^{-7}$ (H / m).

Khi dòng điện qua cuộn dây không thay đổi, từ thông qua cuộn dây không thay đổi, sức điện động cảm ứng không xuất hiện.

2.2.2. Các thiết bị có cuộn cảm.

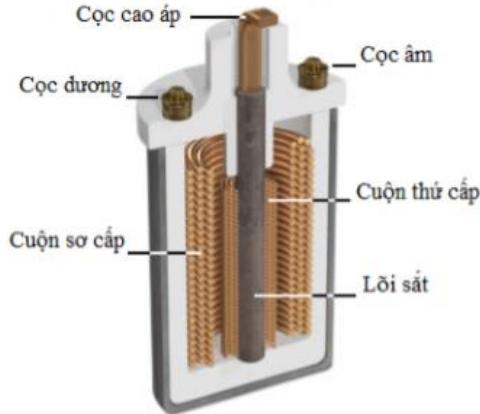
Trên các hệ thống nêu trên thì cuộn cảm được sử dụng rất nhiều với những công dụng khác nhau. Điều đó cho thấy cuộn cảm đóng vai trò rất quan trọng trong hệ thống điện và điện tử trên ôtô.

Giá trị điện trở thuận và độ tự cảm của một số cuộn cảm được sử dụng trên ôtô là:

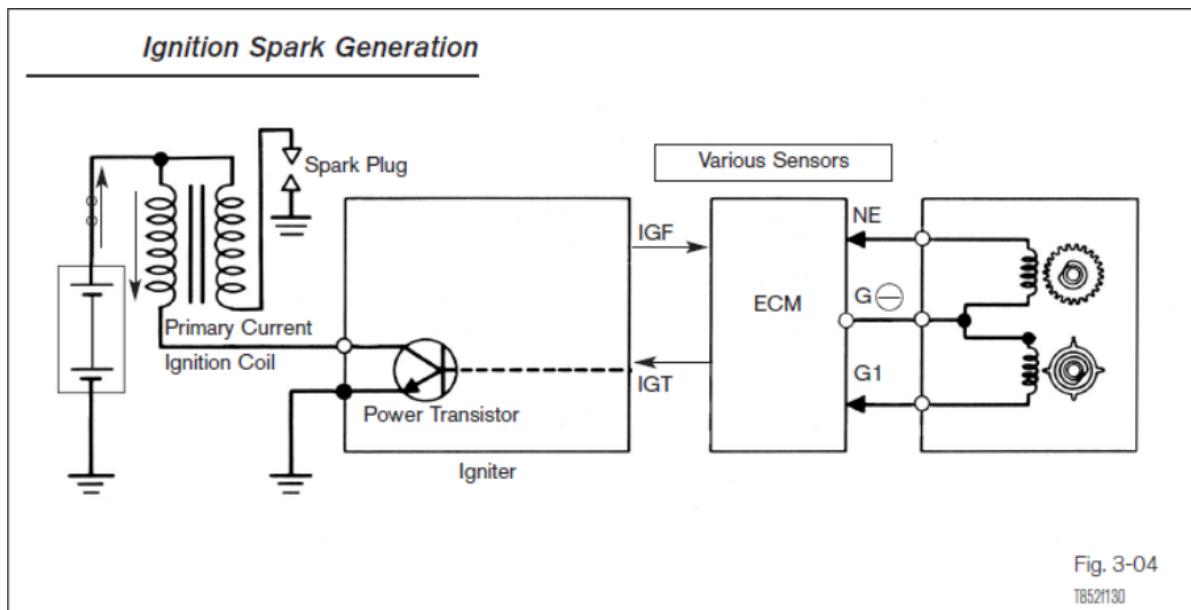
Bảng 2.3. Điện trở thuận và độ tự cảm của một số cuộn cảm được sử dụng trên ôtô.

		Điện trở (Ω)	Độ tự cảm (mH)
Relay	1	69,7	91,7
	2	70,8	96,1
	3	75,5	98,5
	4	81,2	101,6
Kim phun	1	2,3	7,3
	2	3,3	2,2
	3	11,2	12,7
	4	13,9	12,56
	5	14,3	23,8
Bobine	1	0,7	1
	2	1	6
	3	1,4	5,5
	4	1	6

2.2.2.1. Bobine.



Hình 2.3. Cấu tạo bobine.



Hình 2.4. Mạch điện điều khiển bobine

➤ *Nguyên lý hoạt động:*

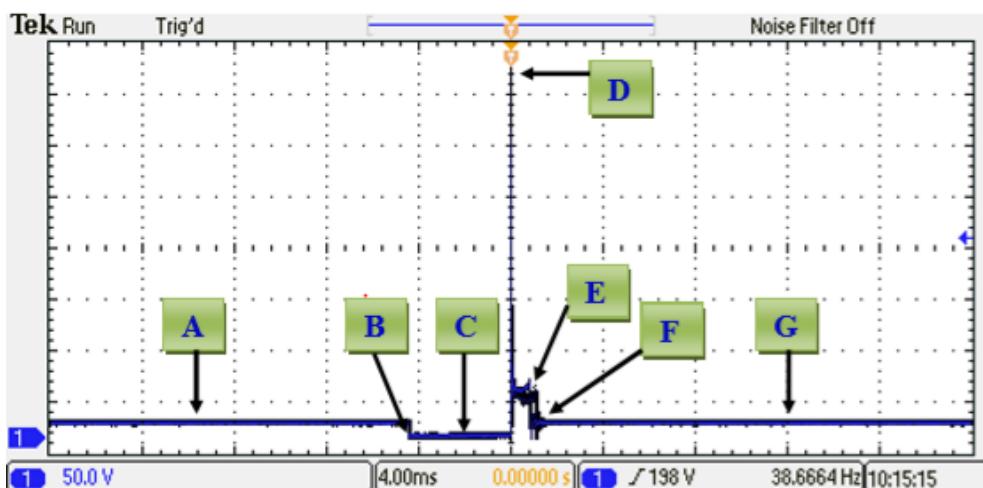
Khi Transistor T dẫn, trong mạch sơ cấp sẽ có dòng điện i_1 từ accu đến điện trở phụ R_f , rồi qua L_1 , đến T rồi về mass. Dòng điện i_1 tăng từ từ do sức điện động tự cảm sinh ra trên cuộn sơ cấp L_1 chống lại sự tăng trưởng của dòng điện. Mạch thứ cấp của hệ thống đánh

lửa ở giai đoạn T dẫn này hầu như không bị ảnh hưởng đến quá trình tăng dòng ở mạch sơ cấp.

Khi Transistor T ngắt, dòng điện i_1 của cuộn sơ cấp và từ thông đi qua đó bị giảm một cách đột ngột, điều này dẫn đến cuộn thứ cấp sẽ sinh ra một hiệu điện thế khoảng 15kV-40kV.

Khi động cơ xăng của ô tô hoạt động thì bobine cũng hoạt động, có nghĩa là dòng điện từ accu tới cuộn sơ cấp của bobine được đóng ngắt một cách liên tục, điều đó dẫn đến sức điện động tự cảm xuất hiện trên cuộn sơ cấp cũng được sinh ra một cách liên tục. Sức điện động này có giá trị khá lớn (khoảng 300V- 400V), đây là một nguồn năng lượng lãng phí đáng kể xuất hiện trên ô tô, cần được thu hồi lại để tránh gây lãng phí.

➤ *Khảo sát dạng sóng tự cảm của cuộn sơ cấp bobine:*



Hình 2.5. Xung điện áp của cuộn dây sơ cấp bobine.

➤ *Phân tích xung sơ cấp bobine:*

- Đoạn A: mức điện áp được cấp, điện áp này hoạt động bình thường là điện áp ắc quy.
- Đoạn B: thời điểm Transistor công suất trong bộ điều khiển đánh lửa nối mass làm kín mạch.
- Đoạn C: Thời gian Transistor công suất dẫn dòng điện qua cuộn sơ tăng dần và đạt đến giá trị cực đại.
- Đoạn D: Đỉnh xung điện áp tự cảm ngay khi Transistor công suất ngắt.

- Đoạn E:

+ Suất điện động tự cảm có xu hướng duy trì và làm chậm tốc độ giảm của dòng sơ cấp.

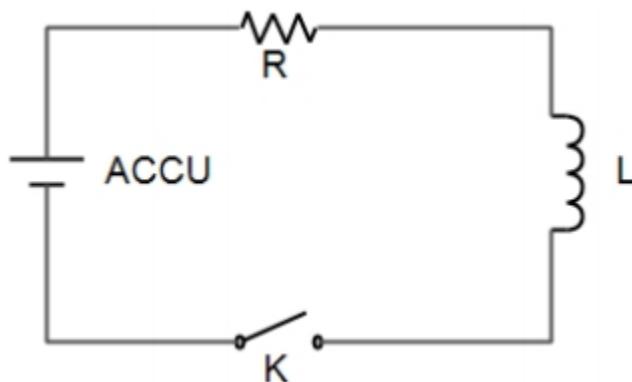
+ Năng lượng cuộn dây không còn khả năng tạo ra tia lửa điện.

+ Có nhiều sự dao động của điện áp do khi năng lượng ở cuộn thứ cấp không còn tạo ra tia lửa điện nữa nhưng vẫn tồn tại điện thế hàng trăm volt. Phần dao động này do tác dụng qua lại giữa cuộn sơ cấp và thứ cấp.

- Đoạn F: Năng lượng của cuộn sơ bị tiêu hao.

- Đoạn G: Trở lại chu kỳ hoạt động như ban đầu.

➤ *Tính toán dòng và năng lượng xung sơ cấp:* Chúng tôi mô hình hóa mạch điện điều khiển cuộn dây sơ cấp bobine như sau:



Hình 2.6. Mạch điều khiển cuộn dây sơ cấp bobine

Trong sơ đồ trên:

R: là tổng điện trở của cuộn dây

L: là độ tự cảm của cuộn dây

Tại thời điểm $t = 0$, khóa K đóng lại, sẽ có 1 dòng điện 1 chiều chạy từ cực (+) của accu $\rightarrow R \rightarrow L \rightarrow$ cực (-) của accu. Lúc này trên L sẽ xuất hiện 1 suất điện động tự cảm:

$$\xi = L \frac{d_i}{dt}.$$

ξ mang dấu dương vì $\frac{d_i}{dt} > 0$, cường độ dòng điện trong mạch lúc này đang tăng.

Áp dụng định luật Kirchoff vào sơ đồ mạch trên ta có:

$$U = IR + L_{d_t}^{d_i}$$

Thực hiện biến đổi Laplace cho phương trình ta sẽ được:

$$\frac{U}{S}I_sR + L[SI_s - i(0_+)]$$

Do mạch không tích trữ năng lượng ban đầu nên $i(0_+) = 0$ phương trình sẽ được viết lại như sau:

$$\begin{aligned} & \frac{U}{S}I_sR + LSI_s \\ \Leftrightarrow & \frac{U}{S} = (R + LS)I_s \\ \Leftrightarrow I_s = & \frac{U}{S(R+LS)} = \frac{U}{S} * \frac{1}{(SL+R)} \\ \Leftrightarrow I_s = & \frac{U}{S\left(S+\frac{R}{L}\right)L} \end{aligned}$$

Dạng của I_s không phải là dạng cơ bản, nên ta tiếp tục biến đổi phương trình trên:

$$I_s = \frac{U}{L} * \frac{1}{S\left(S+\frac{R}{L}\right)} = \frac{A}{S} + \frac{B}{S\left(S+\frac{R}{L}\right)}$$

A, B là 2 hằng số cần xác định, tiến hành quy đồng mẫu số về phải và cân bằng 2 vế ta được:

$$\frac{A\left(S+\frac{R}{L}\right)+BS}{S\left(S+\frac{R}{L}\right)} = \frac{\frac{R}{L}+(A+B)S}{S\left(S+\frac{R}{L}\right)}$$

Ta có:

$$A \frac{R}{L} = \frac{U}{L} \Rightarrow A = \frac{U}{R}$$

$$A + B = 0 \Rightarrow B = -A = -\frac{U}{R}$$

Thay A vào B ta được:

$$I_s = \frac{U}{R} \left(\frac{1}{S} - \frac{1}{S + \frac{R}{L}} \right)$$

➤ *Tiến hành biến đổi ngược Laplace cho phương trình trên ta có được:*

Cường độ dòng điện qua cuộn sơ cấp tại thời điểm transistor ngắt.

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

Trong đó:

- t : là thời gian tích lũy năng lượng.

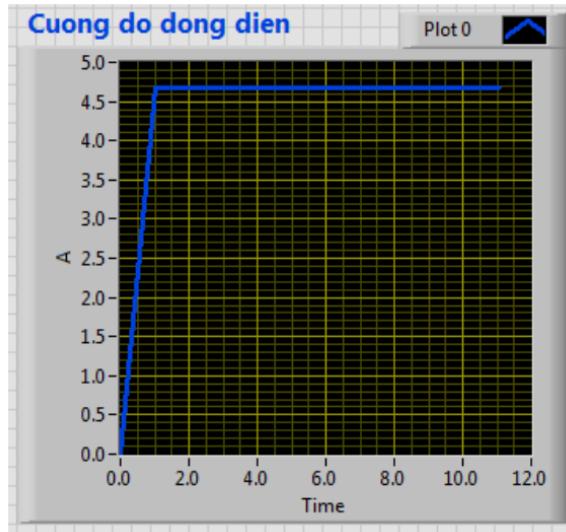
$$t = \gamma T = \gamma \frac{120}{nZ}$$

Trong đó:

- T : Chu kỳ đánh lửa (s)
- N : là số vòng quay trực khuỷu động cơ (v/p)
- Z : là số xy lanh của động cơ
- γ : là thời gian tích lũy năng lượng tương đối

Phương trình thể hiện quá trình tăng trưởng của dòng điện I trong cuộn dây.

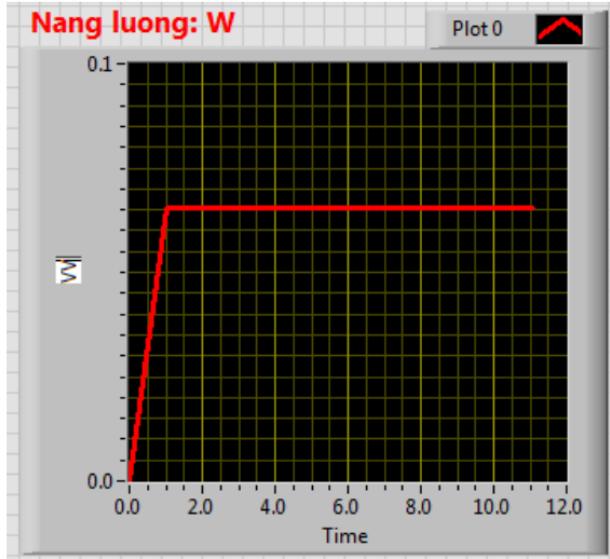
Sử dụng phần mềm Labview để vẽ đồ thị quá trình tăng trưởng của dòng trong cuộn dây dựa vào các giá trị đo được như sau: $U = 14$ (V); $R = 3$ (Ω); $L = 6 \cdot 10^{-3}$ (H).



Hình 2.7. Đồ thị quá trình tăng trưởng dòng điện qua cuộn sơ cấp của bobine

Khi dòng điện I_t đạt giá trị cực đại I_{ng} thì quá trình tích lũy năng lượng kết thúc. Cuối quá trình này, năng lượng tích lũy trên cuộn dây sơ cấp, đạt một giá trị tỷ lệ với dòng I_{ng} với công thức sau:

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



Hình 2.8. Quá trình tích lũy năng lượng trong cuộn dây trong bobine

Qua biểu đồ và công thức trên, ta nhận thấy cường độ dòng điện chạy trong cuộn sơ cấp bobine có khả năng sinh ra một năng lượng khoảng 0,07W cho mỗi xung. Năng lượng tích lũy trong cuộn dây bobine (W_1) là khá lớn, nếu thu hồi được với hiệu suất cao sẽ giảm đáng kể mức tiêu hao nhiên liệu và tăng công suất động cơ.

➤ *Thống kê số lượng các cuộn cảm ứng dụng trong hệ thống đánh lửa.*

Bảng 2.4. Thống kê số lượng cuộn cảm ứng dụng trên cuộn sơ cấp bobine

STT	CUỘN CẢM	SỐ LƯỢNG
1	Ignition Coil (No.1)	1
2	Ignition Coil (No.2)	1
3	Ignition Coil (No.3)	1
4	Ignition Coil (No.4)	1

5	Ignition Coil (No.5)	1
6	Ignition Coil (No.6)	1
Tổng:		1-6 (tùy loại động cơ)

➤ Công thức tính số xung (lần) đánh lửa theo số vòng quay cho động cơ xăng 4 kỳ:

$$X_1 = \frac{N}{2}$$

Trong đó:

- X: là số xung của cuộn sạc trong 1 phút.
- N: là số vòng quay động cơ (vòng/phút).

Từ công thức trên ta tìm được tổng số xung đánh lửa và tổng năng lượng tích trữ theo số vòng quay động cơ:

Tổng năng lượng tích trữ:

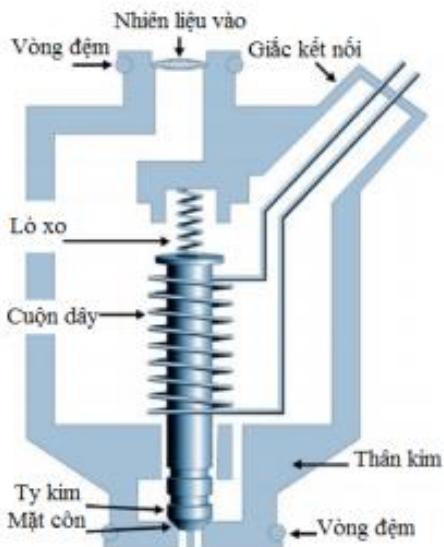
$$W_{tr} = W_1 \times X_1 \times 6 \text{ (Động cơ 6 xy lanh đánh lửa trực tiếp)}$$

Bảng 2.5. Tổng năng lượng tích trữ trên cuộn sạc theo số vòng quay động cơ

Số vòng quay động cơ (vòng/phút)	Số xung của cuộn sạc bobine trong 1 phút	Tổng năng lượng tích trữ trên cuộn sạc (W)
1000	500	35
2000	1000	70
3000	1500	105
4000	2000	140
5000	2500	175
6000	3000	210

Qua đó, ta có thể thấy số xung đánh lửa khi động cơ hoạt động trong 1 phút là rất nhiều, năng lượng tích trữ tương đối lớn.

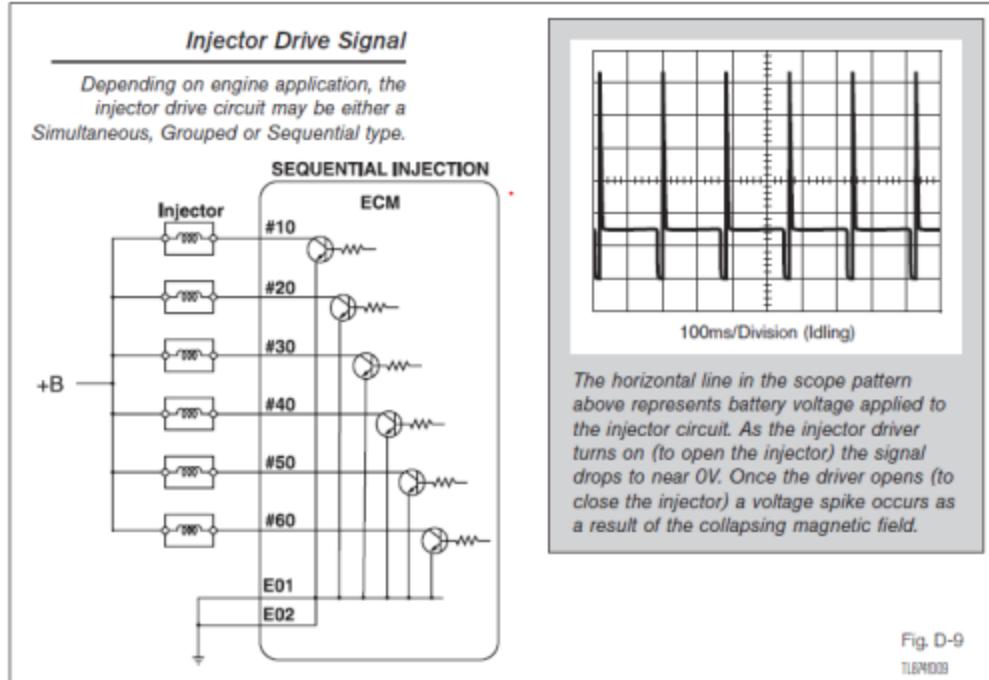
2.2.2.2. Kim phun.



Hình 2.9. Cấu tạo kim phun

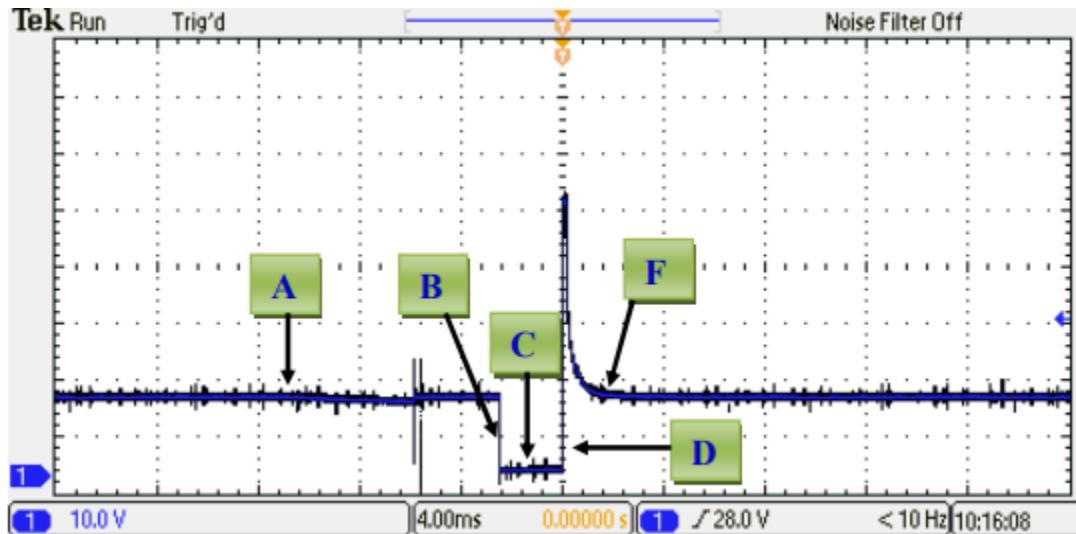
➤ *Nguyên lý hoạt động:*

Khi dòng điện đi qua cuộn dây của kim phun sẽ tạo một lực từ đủ mạnh để thắng sức căng của lò xo, thắng lực trọng trường của ty kim và thắng áp lực của nhiên liệu đè lên kim, kim sẽ được nhích khỏi bệ khoảng 0.1mm nên nhiên liệu được phun ra khỏi kim. Khi ngắt dòng điện từ trường cũng sẽ biến mất, lúc này lực lò xo sẽ tác động làm cho ty kim đi xuống và kết thúc quá trình phun.



Hình 2.10. Mạch điều khiển kim phun.

➤ Phân tích xung điện áp của cuộn dây trong kim phun:



Hình 2.11. Xung kim phun

- Đoạn A: mức điện áp được cấp đến kim phun, điện áp này hoạt động bình thường là điện áp ác quy.
- Đoạn B: thời điểm Tr công suất trong bộ điều khiển nối mass làm kín mạch, có dòng điện chạy qua kim phun.

- Đoạn C: Thời gian Tr công suất dẫn dòng điện qua kim phun và đạt đến giá trị cực đại, van kim rời khỏi bệ và được giữ ở điểm mở lớn nhất.

-Điểm D: Thời điểm ngưng cấp dòng cho kim phun. Sức điện động tự cảm được tạo ra do từ trường bị ngắt đột ngột.

- Điểm F: Năng lượng của kim phun bị tiêu hao. Kết thúc một chu kỳ.

➤ *Tính toán dòng và năng lượng tích lũy trong cuộn dây kim phun:*

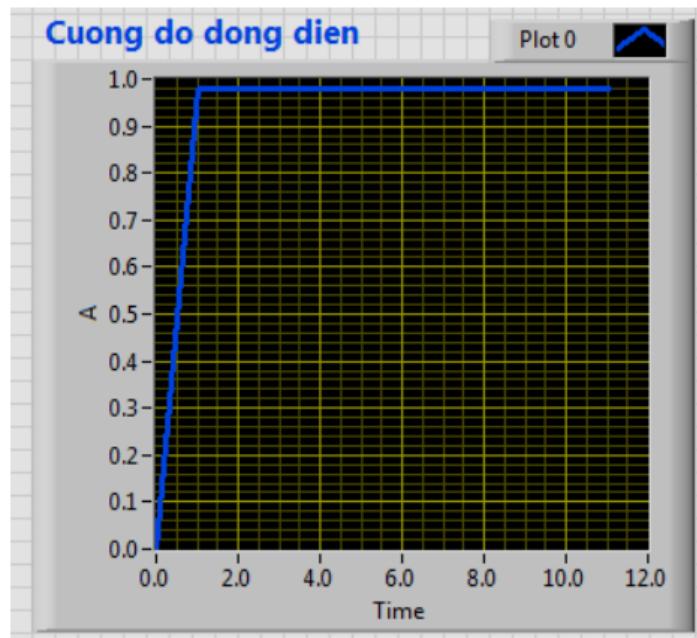
Tương tự ta tiến hành mô hình hóa mạch điện điều khiển kim phun, cường độ dòng điện tại thời điểm Transistor điều khiển kim phun ngắt:

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

Với thời gian tích lũy năng lượng:

$$t = \gamma T = \gamma \frac{120}{nZ}$$

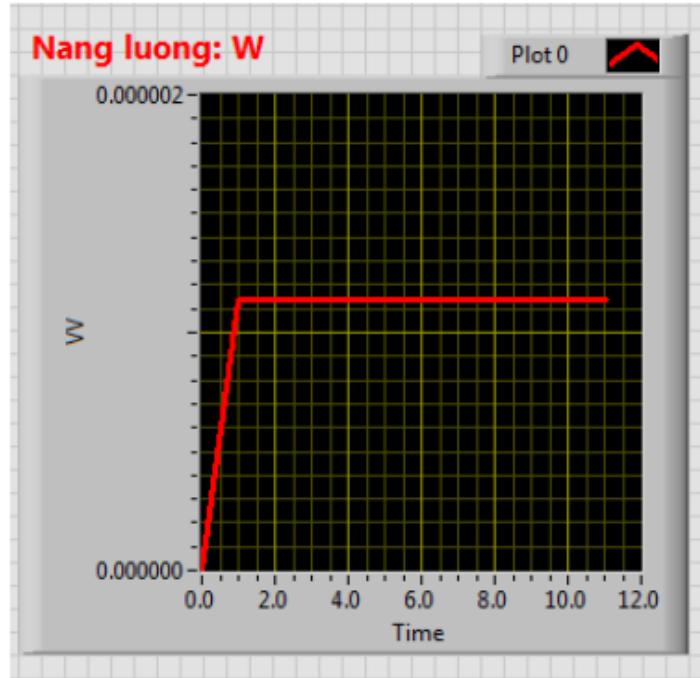
Sử dụng phần mềm Labview để vẽ đồ thị quá trình tăng trưởng của dòng trong cuộn dây dựa vào các giá trị cho trước như sau: U = 14 (V); R = 14.3 (Ω); L = $23,8 \cdot 10^{-3}$ (H).



Hình 2.12. Quá trình tăng trưởng cường độ dòng điện kim phun

Khi dòng điện I_t đạt giá trị cực đại I_{ng} thì quá trình tích lũy năng lượng kết thúc. Cuối quá trình này, năng lượng tích lũy trên cuộn dây, đạt một giá trị tỷ lệ với dòng I_{ng} với công thức sau:

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



Hình 2.13. Quá trình tích lũy năng lượng trong cuộn dây

Qua biểu đồ trên, ta nhận thấy năng lượng tích lũy trong cuộn dây kim phun (W_2) nhỏ hơn nhiều so với năng lượng tích lũy trong cuộn dây sơ cấp bobine (khoảng 0.00114W). Tuy nhiên, với số lượng xung lớn mức năng lượng do kim phun tạo ra cũng không hề nhỏ. Do đó, việc nghiên cứu bộ thu hồi năng lượng dư thừa trong các cuộn dây là ý tưởng mới, có khả năng ứng dụng thực tiễn và phát triển ngành ô tô.

➤ *Bảng thống kê số lượng cuộn dây sử dụng trong hệ thống nhiên liệu.*

Bảng 2.6. *Thống kê số lượng cuộn cảm ứng dùng trên kim phun.*

STT	CUỘN CẢM	SỐ LƯỢNG
1	Fuel Injector (No.1)	1
2	Fuel Injector (No.2)	1
3	Fuel Injector (No.3)	1
4	Fuel Injector (No.4)	1
5	Fuel Injector (No.5)	1
6	Fuel Injector (No.6)	1
Tổng:		6

➤ *Công thức tính số xung kim phun theo số vòng quay cho động cơ xăng 4 kỳ:*

$$X_2 = \frac{N}{2} \times k$$

Trong đó:

- X_2 : là số xung của cuộn sơ cấp trong 1 phút.
- N: là số vòng quay động cơ (vòng/phút).
- i: số xy lanh động cơ.

Bảng 2.7. *Các phương thức điều khiển kim phun*

Phương thức điều khiển kim phun	k
Phun theo thứ tự	= i
Phun theo nhóm	= i/(số nhóm)
Phun hàng loạt	= i/2

Ví dụ:

Ta có số vòng quay động cơ là $N = 1000$ (vòng/phút) với i là phương thức điều khiển kim phun k=4 khi phun theo thứ tự.

Vậy ta có số xung của cuộn sơ cấp trong một phút là:

$$X_2 = \frac{N}{2} \times k = \frac{1000}{2} \times 4 = 2000 \text{ (xung)}$$

Tương tự, ta cũng lập được bảng số lượng xung kim phun và năng lượng tích lũy theo số vòng quay động cơ tính theo phương thức phun theo thứ tự:

Năng lượng tích trữ:

$$W_{kp} = W_2 \times X_2 \times 6 \text{ (W)} \text{ (động cơ 6 xy lanh phun theo thứ tự công tác)}$$

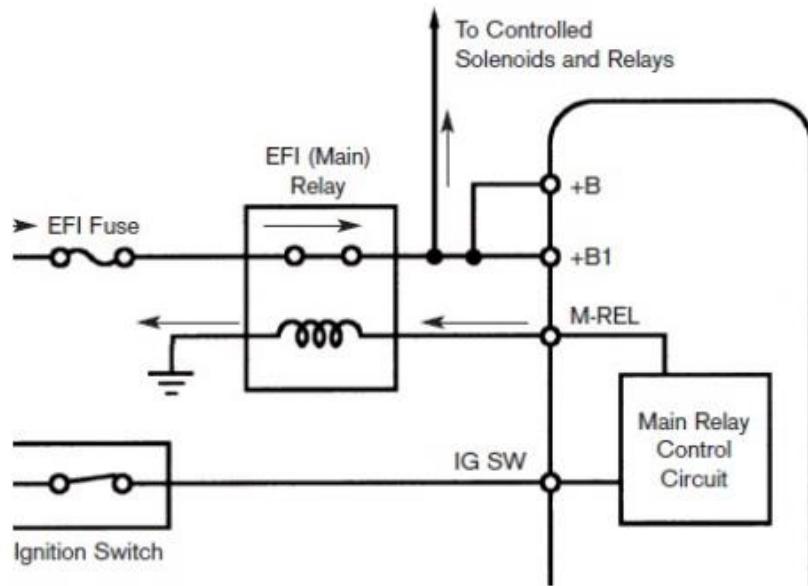
Bảng 2.8. Tổng năng lượng tích lũy trên cuộn sơ cấp theo số vòng quay động cơ

Số vòng quay động cơ (vòng/phút)	Số xung của kim phun trong 1 phút	Tổng năng lượng tích trữ (W)
1000	2000	2.28
2000	4000	4.56
3000	6000	6.84
4000	8000	9.12
5000	10000	11.4
6000	12000	13.68

Như vậy, nếu tính theo số vòng quay động cơ, năng lượng mà cuộn dây trong kim phun tích lũy cũng không hề nhỏ.

2.2.2.3. Relay.

Khi dòng điện qua cuộn dây của relay thì sinh ra từ trường xung quanh cuộn dây hút tiếp điểm đóng lại hoặc mở ra. Khi ngắt dòng điện, lực từ biến mất và relay trở về trạng thái ban đầu.

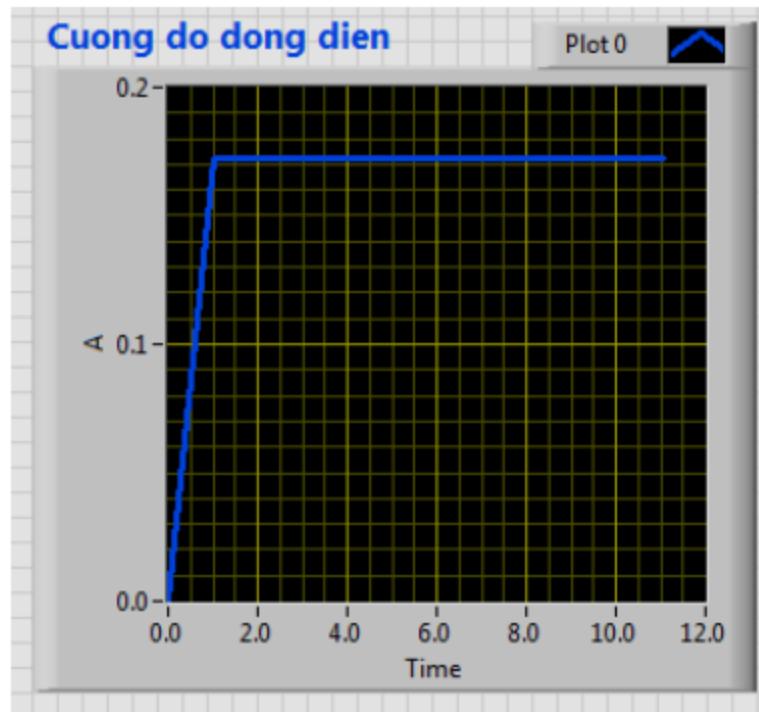


Hình 2.14. Relay

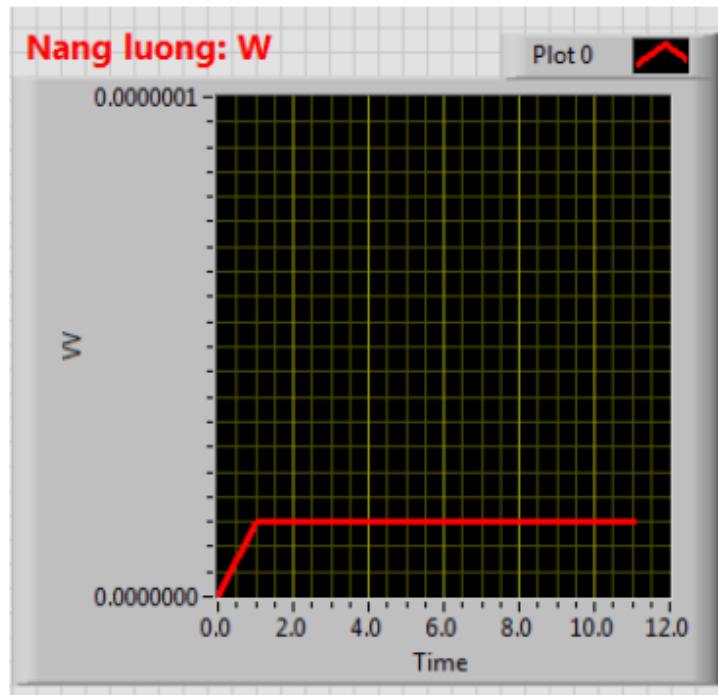
Tương tự ta tiến hành mô hình hóa mạch điện điều khiển relay, cường độ dòng điện tại thời điểm Transistor điều khiển relay ngắt:

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

Sử dụng phần mềm Labview để vẽ đồ thị quá trình tăng trưởng của dòng điện, tích lũy năng lượng trong cuộn dây dựa vào các giá trị cho trước như sau: U = 14 (V); R = 81,2 (Ω); L = 101,6.10⁻³ (H)



Hình 2.15. Quá trình tăng trưởng dòng điện cuộn dây trong relay



Hình 2.16. Quá trình tích lũy năng lượng trong cuộn dây relay

Mức năng lượng (khoảng 1.5×10^{-5} W) này khá nhỏ so với năng lượng của kim phun (khoảng 0.00114W) hay bobine (khoảng 0.07W).

Bảng 2.9. Thông kê số lượng cuộn cảm ứng dụng trên relay.

SST	Relay	SỐ LUỢNG
1	Main Relay	1
2	Circuit Opening Relay	1
3	Taillamp Relay	1
4	A/F sensor heater relay	2
5	A/C Magnetic Clutch Relay	2
6	A/C Pressure Switch Relay	2
7	Integration Relay	1
8	Engine Oil Feeder Control Mtr Relay	2
9	Fan relays	2
10	window defogger relay	2
11	Headlight Relay	3
12	Horn Relay	2
13	Pump Motor Relay	1
14	Running Light Relay	1
15	Front Fog Light Relay	1
16	ACC Cut Relay	1
17	ST Relay	1
18	FAN NO.2 Relay	1
19	FAN NO.1 Relay	1
20	HTR SUB2 Relay	1
21	H-LP/AMT Relay	1
22	HTR SUB3 Relay	1
23	IG2 Relay	1

24	HTR Relay	1
25	FLASH Relay	1
26	T-LP Relay	1
27	PWR Relay	1
28	DEF Relay	1
29	C/OPN Relay	1
30	H-LP/AMT Relay	1
31	power source relay and motor relay	1
32	HTR SUB1,2,3 Relay	1
Tổng		41

Tuy năng lượng từ 1 relay khá nhỏ so với năng lượng phát ra từ bobine hay kim phun, nhưng số lượng relay sử dụng trên hệ thống điện ô tô cũng khá nhiều, khả năng tích trữ một năng lượng cũng khá lớn.

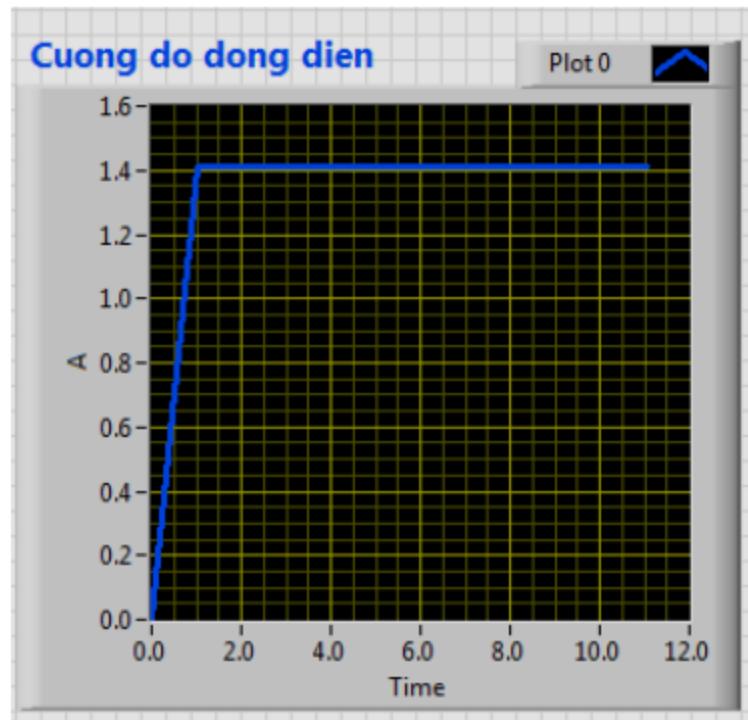
2.2.2.4. Van điện từ.

Khi cho dòng điện đi qua cuộn dây của van điện từ làm phát sinh ra từ trường xung quanh cuộn dây hút van đi lên. Khi ngắt dòng điện thì từ trường cũng biến mất, van sẽ trở về vị trí cũ nhờ lực lò xo tác động.

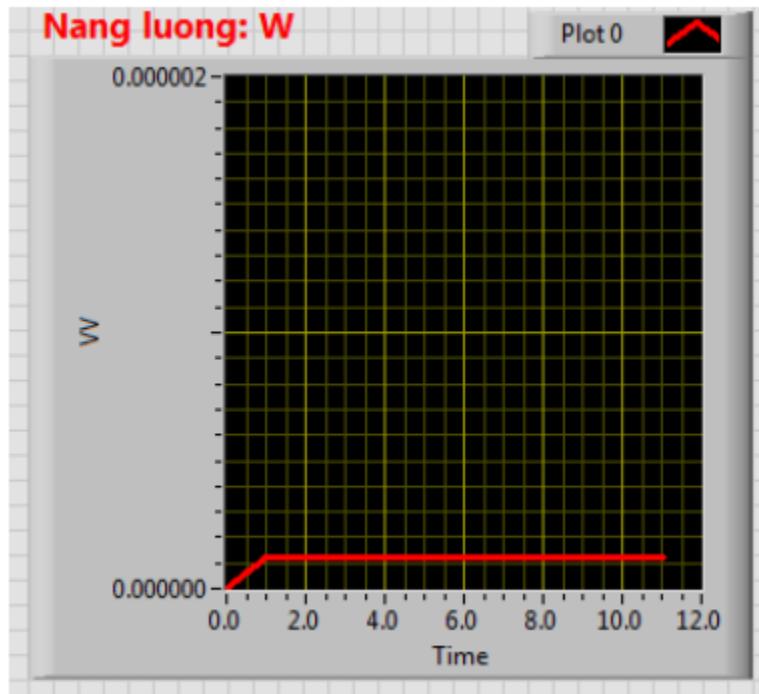
Tương tự ta tiến hành mô hình hóa mạch điện điều khiển van điện từ, cường độ dòng điện tại thời điểm Transistor điều khiển van điện từ ngắt:

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

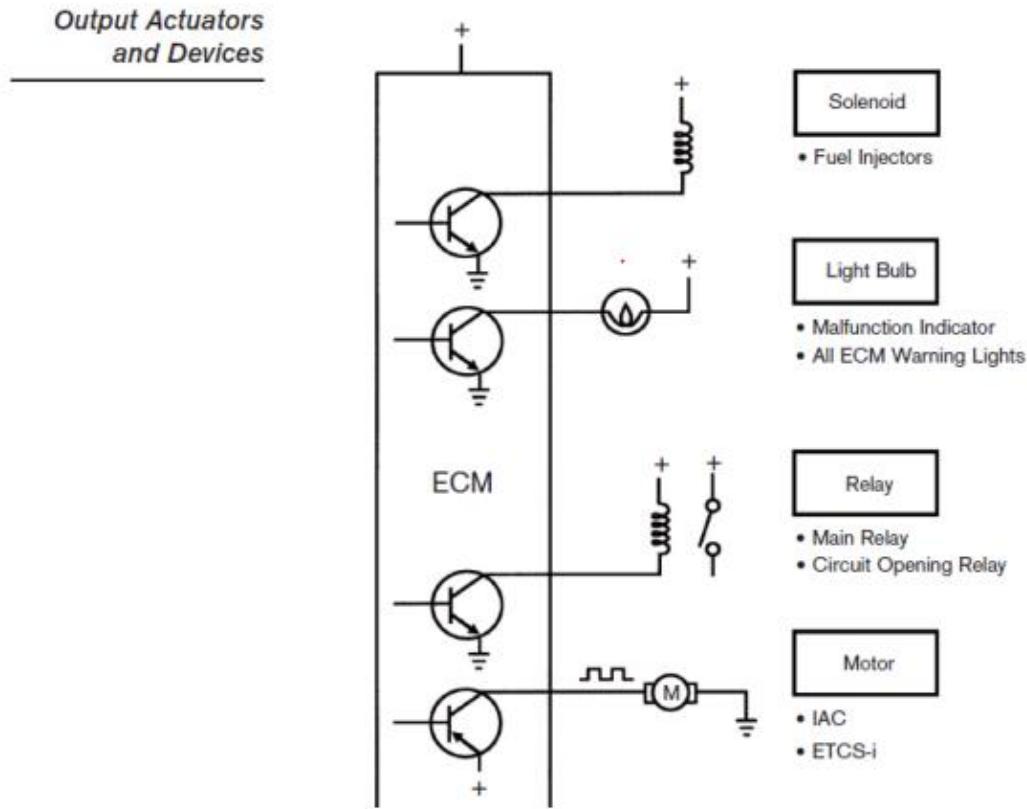
Sử dụng phần mềm Labview để vẽ đồ thị quá trình tăng trưởng của dòng điện, tích lũy năng lượng trong cuộn dây dựa vào các giá trị cho trước như sau: U = 14 (V); R = 9,9 (Ω); L = $12 \cdot 10^{-3}$ (H).



Hình 2.17. Quá trình tăng trưởng dòng điện qua cuộn dây của van điện từ



Hình 2.18. Quá trình tích lũy năng lượng qua cuộn dây của van điện từ.



Hình 2.19. Mạch điều khiển van điện từ.

Bảng 2.10. Thống kê các van điện từ sử dụng trên hệ thống điện ô tô.

SST	VAN ĐIỆN TỪ	SỐ LƯỢNG
1	Solenoids - Fuel Injectors	6
2	Rotary Solenoid IAC System	1
3	Duty Ratio Solenoid	1
4	vacuum solenoid valve (A/C)	2
5	starter solenoid	2
6	Shift Solenoid A	1
7	Shift Solenoid B	1
8	Shift Solenoid E	1
9	Accumulator Pressure Linear Solenoid	2
10	Solenoid valves SLN	2

11	Solenoid valves SLU	1
12	Solenoid valves SLT	1
13	A linear solenoid	1
Tổng		21

Như vậy, các xung điện áp tự cảm sinh ra trong quá trình hoạt động của các cuộn dây là rất nhiều. Hiện nay, người ta đã và đang tìm cách triệt tiêu các xung điện áp này để tránh hiện tượng nhiễu ảnh hưởng đến hoạt động của động cơ. Tuy nhiên, như đã phân tích ở trên, năng lượng tồn tại trong các cuộn dây rất lớn, và việc thu hồi năng lượng dư thừa sẽ đem lại lợi ích lớn về mặt kinh tế.

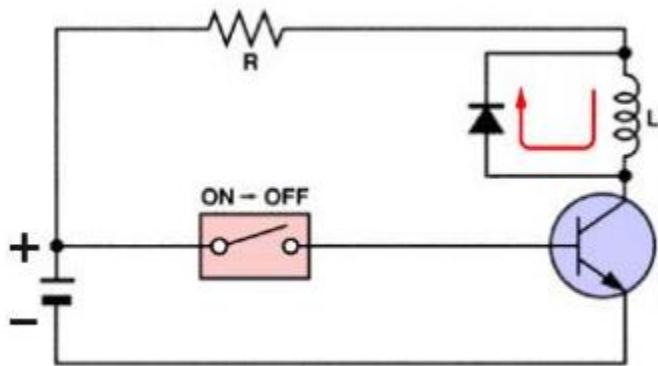
2.3. Các giải pháp đã và đang sử dụng để xử lý suất điện động tự cảm.

Phương pháp triệt tiêu suất điện động tự cảm xuất hiện trong các linh kiện điện tử khi đóng hoặc ngắt mạch:

Để bảo vệ các linh kiện điện tử không bị hư hỏng do điện áp tự cảm thì ta có thể sử dụng 3 phương pháp là:

- Dùng diode
- Dùng điện trở có giá trị lớn
- Dùng tụ điện

2.3.1. Phương pháp dùng diode.



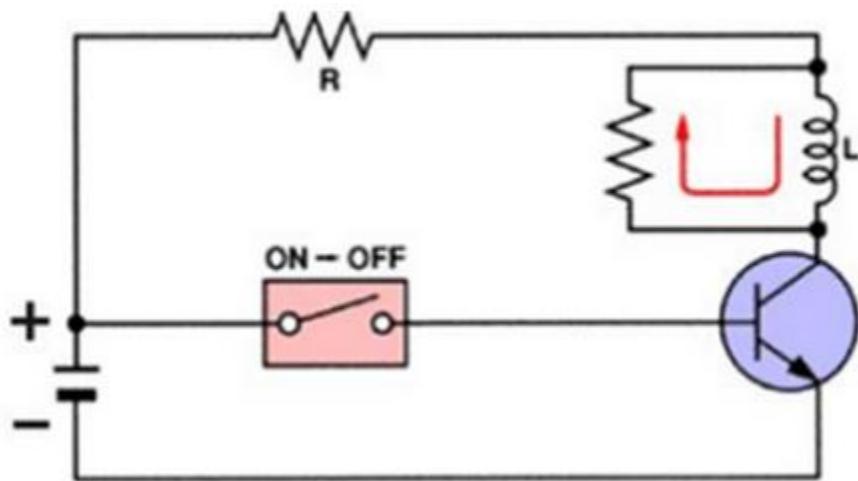
Hình 2.20. Sơ đồ mạch điện triệt tiêu súc điện động tự cảm bằng diode

Một diode ngăn dòng tự cảm được nối song song với cuộn dây, được mắc theo chiều nghịch nên khi tiếp điểm đóng thì không có dòng chạy qua diode. Khi mạch điều khiển ngắt dòng sẽ ngừng chạy qua cuộn dây, gây ra sự giảm của từ trường. Các đường súc từ xuyên qua cuộn dây và sinh ra điện áp ngược trong cuộn dây. Điện áp ngược này bắt đầu tăng lên. Khi điện áp ngược phía dưới diode tăng cao hơn điện áp dương nguồn phía trên diode 0.7V thì diode sẽ dẫn cho dòng điện áp cao đi qua. Kết quả là triệt tiêu điện áp tự cảm bằng cách điện áp ngược này sẽ đi qua diode và được xả bởi điện trở R.

Đối với những hệ thống nào có cuộn dây mà được triệt tiêu suất điện động bằng diode thì cần phải mắc thêm một điện trở có giá trị đủ lớn để hấp thụ suất điện động tự cảm ngược này, nếu không sẽ gây hư hỏng các thiết bị điện tử.

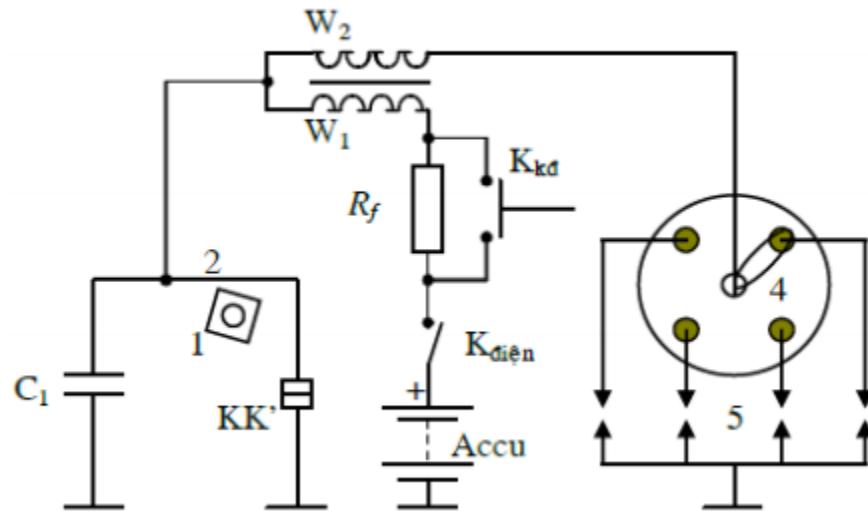
2.3.2 Phương pháp dùng điện trở.

Điện trở có giá trị điện trở cao cũng thỉnh thoảng được dùng thay cho diode. Điện trở có độ bền cao hơn và có thể triệt tiêu điện áp tự cảm tương tự như diode, nhưng điện trở sẽ cho phép dòng chảy qua mỗi khi relay mở. Vì vậy, điện trở của thiết bị khá cao để ngăn không cho dòng chảy qua nó nhiều.



Hình 2.21. Sơ đồ mạch điện triệt tiêu suất điện động tự cảm bằng điện trở

2.3.3. Phương pháp dùng tụ điện.



Hình 2.22. Sơ đồ mạch điện triệt tiêu sức điện động tự cảm bằng tụ điện.

Khi cam 1 đội làm tiếp điểm KK' chớm mở, trên cuộn sơ cấp sẽ sinh ra một suât điện động tự cảm. Suất điện động này sẽ được nạp vào tụ C₁ nên sẽ giáp tắt được tia lửa trên vít do suât điện động tự cảm gây ra.

Như vậy ngoài việc bảo vệ các linh kiện, thiết bị điện tử trong mạch, tụ điện trong hệ thống đánh lửa này còn có nhiệm vụ là nâng cao được hiệu điện thế trên cuộn thứ cấp, làm tăng hiệu quả đánh lửa, kim phun.

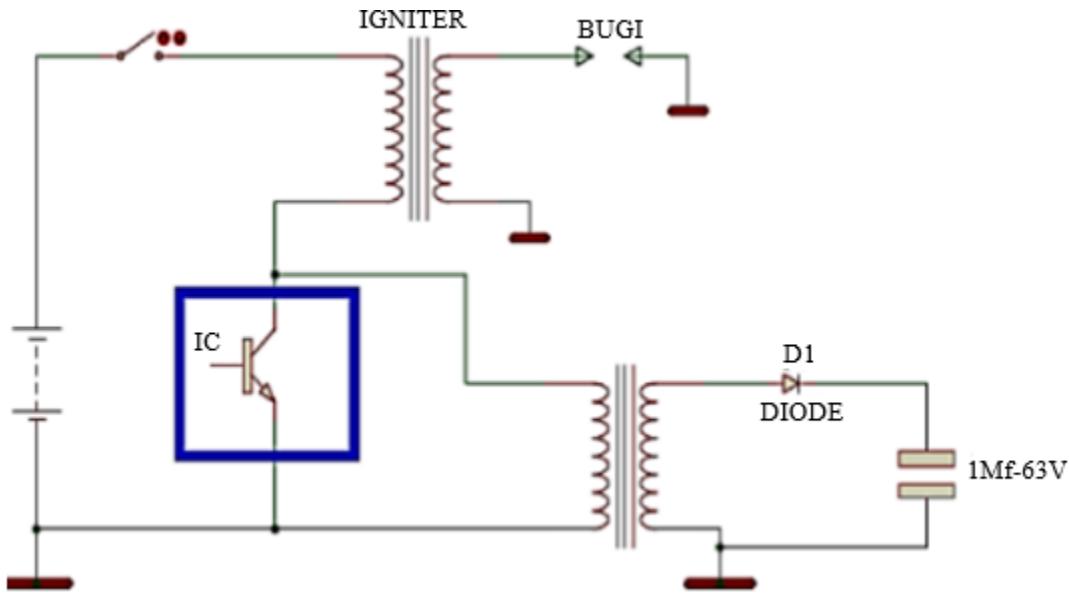
2.4. Nhận định khoa học.

Trên cơ sở quan sát sự biến thiên của suât điện động tự cảm trên các cuộn dây, chúng tôi đưa ra một số giả thuyết như sau:

- Chúng tôi nhận định rằng nguồn năng lượng từ các cuộn dây là rất lớn.
- Chúng tôi nhận định rằng các giải pháp triệt tiêu sức điện động trong cuộn dây là vô cùng lãng phí.
- Chúng tôi khẳng định rằng có thể thu hồi các xung tự cảm nêu trên và hiệu suất thu hồi là tương đối.

2.5. Các giải pháp thu hồi thực thi.

2.5.1. Bộ thu hồi sử dụng biến áp và diode.



Hình 2.23. Bộ thu hồi tụ điện xoay chiều dung lượng 1Mf điện áp 63V.

Bộ thu hồi năng lượng hình 2.23 hoạt động dựa trên cơ chế biến đổi điện áp đầu vào khoảng 300V từ xung tự cảm của các cuộn dây. Để đảm bảo không bị hư hỏng tụ, thông qua bộ biến áp chuyển đổi xung điện áp thành tín hiệu điện áp xoay chiều để nạp vào tụ với mức là 14V.

Nhược điểm của bộ thu này:

Thứ 1: Do xung bobine đưa ra không phải là biến dạng sóng sin nên khi dùng biến áp để thu thập điện áp chuyển đổi nạp vào tụ thì biến áp sẽ không phát huy hết hiệu quả, điện áp phải thật lớn để chịu được điện áp đầu vào từ bobine.

Thứ 2: Việc chuyển đổi điện áp đầu ra của biến áp không đồng đều và liên tục nên việc nạp điện áp vào tụ không được nhanh. Việc xả ngược điện áp của tụ về biến áp tạo ra xung tự cảm ngược lại dao động với tụ dẫn đến tiêu hao nhanh chóng điện áp của tụ.

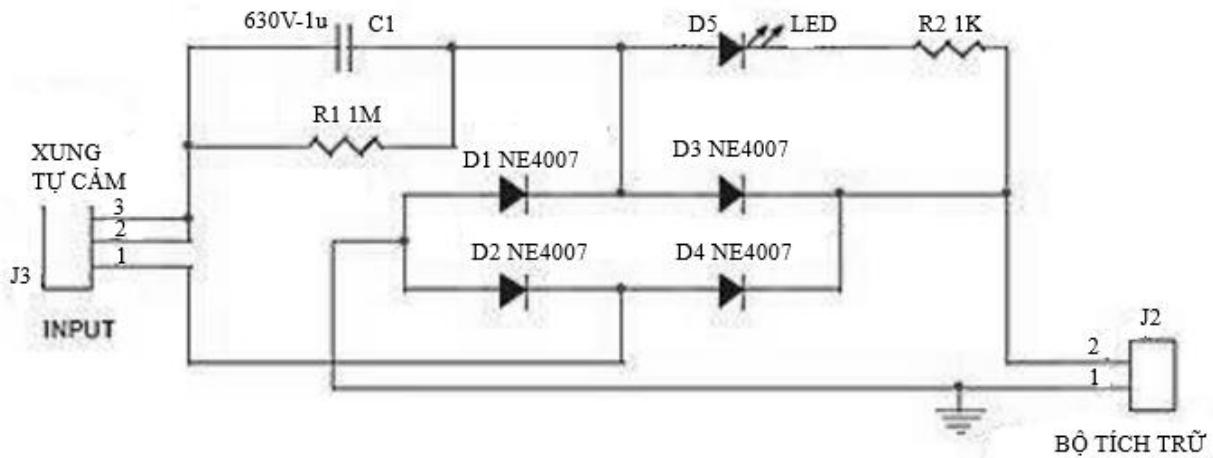
Thứ 3: Tụ điện là tụ xoay chiều là tụ thường không có khả năng lưu trữ lâu, tự động phóng xả, điện áp của tụ cao nên phải thiết kế thêm một bộ chuyển đổi điện áp khác dùng cho các thiết bị nếu thu được năng lượng vào tụ và đưa ra sử dụng.

Thứ 4: Hiệu suất động cơ giảm ở tốc độ cao.

Từ những lý do trên bộ thu hồi này đã bị loại bỏ ngay sau khi chúng tôi đã thực nghiệm, kiểm nghiệm chất lượng thu điện áp của nó. Do không đảm bảo độ ổn định, độ an toàn, khả năng quá áp và dễ hư hỏng tụ.

2.5.2. Bộ thu hồi sóng sin có tụ kẹo.

Bộ thu hồi đảm bảo yêu cầu dẫn dòng điện đúng hướng, ổn định điện áp, nhịp xung đánh lửa và thu hồi toàn bộ xung âm, xung nhiễu cũng như lượng điện dư thừa tại cuộn dây trên động cơ phát ra như bobine, relay, kim phun...



Hình 2.24. Bộ thu hồi điện cảm sóng sin có tụ kẹo

Bộ thu hồi điện áp này có nhiều ưu điểm hơn so với bộ trên. Bộ này giải quyết được vấn đề an toàn điện áp quá ngưỡng cũng như về khối lượng và thể tích nhỏ đi rất nhiều. Việc thu điện áp nạp vào thiết bị lưu trữ như ác quy, tụ thường, siêu tụ... đều đảm bảo hiệu quả.

Nguyên lý hoạt động: Đây là bộ thu hồi sử dụng một tụ kẹo dung lượng $630V - 0.1\mu F$ thực hiện chức năng tạo nhịp biên dao động đúng theo xung nhịp của tần số đánh lửa, cứ mỗi lần đánh lửa thì tụ kẹo thực hiện một lần nạp xả, khi tụ kẹo được nạp xung tự cảm dư thừa từ xung âm bobine đúng với tần số đánh lửa nên nạp và xả rất nhanh. Qua cầu diode nắn lại thành điện áp một chiều cuối cùng là nạp vào các thiết bị lưu trữ. Chúng tôi cũng sử dụng led hiển thị tần số đóng ngắt của tụ khi nạp xả để quan sát quá trình hoạt động.

Nhược điểm của bộ thu:

Thứ 1: Bộ thu này hoạt động hiệu quả, nạp ổn định nhưng tốc độ nạp chậm.

Thứ 2: Là mạch tạo mass riêng nên việc để kết hợp chung âm (mass) với các thiết bị trên hệ thống điện ô tô gấp trở ngại.

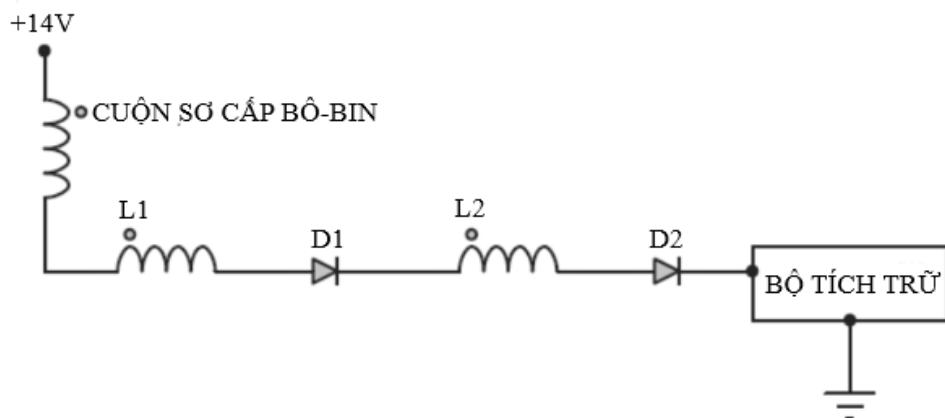
Thứ 3: Giảm hiệu suất hoạt động của động cơ.

Mạch này thu hồi hoạt động ổn định nhưng chỉ nên sử dụng vào mục đích nạp và tích trữ điện áp vào các thiết bị lưu trữ mà không dùng ngay trên xe, do hệ thống mass khác biệt có thể ảnh hưởng đến độ an toàn cho các thiết kế khác trên xe.

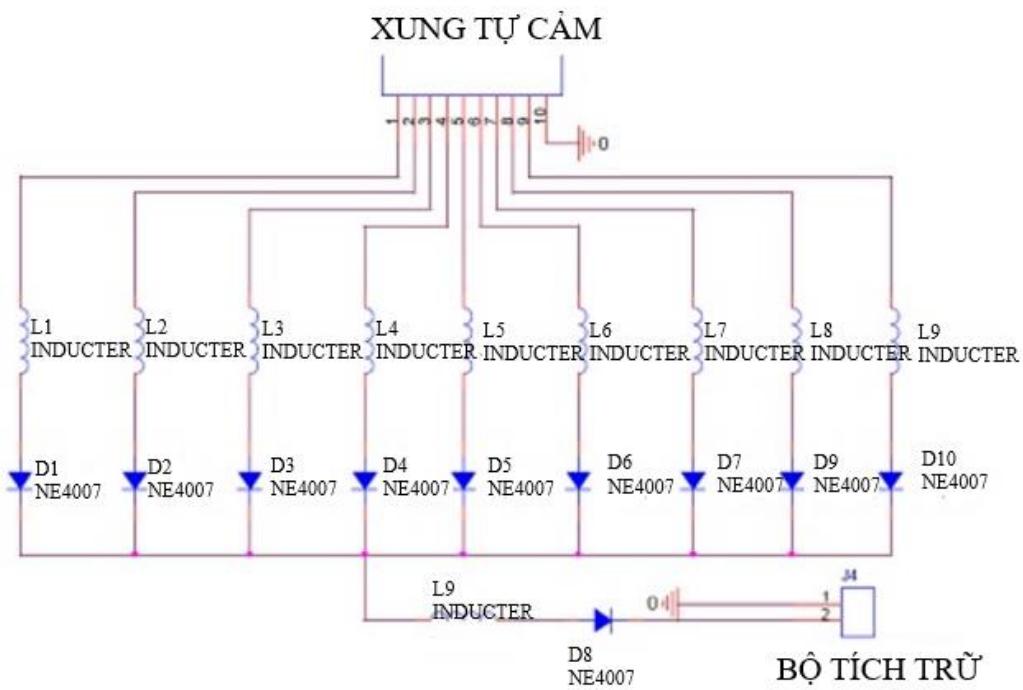
Vì vậy, mạch nạp này cũng bị loại bỏ ngay sau thời gian dài thực nghiệm. Do không đáp ứng yêu cầu nạp nhanh, hệ thống điện trên xe có thể luân chuyển giữa điện áp thu được để cung cấp ngay cho các phụ tải trên xe, không đáp ứng yêu cầu an toàn đối với linh kiện điện tử và hệ thống điện khác, ảnh hưởng tới hiệu suất của động cơ khi hoạt động ở mọi tốc độ.

2.5.3. Mạch thu hồi sử dụng cuộn cảm lõi xuyến.

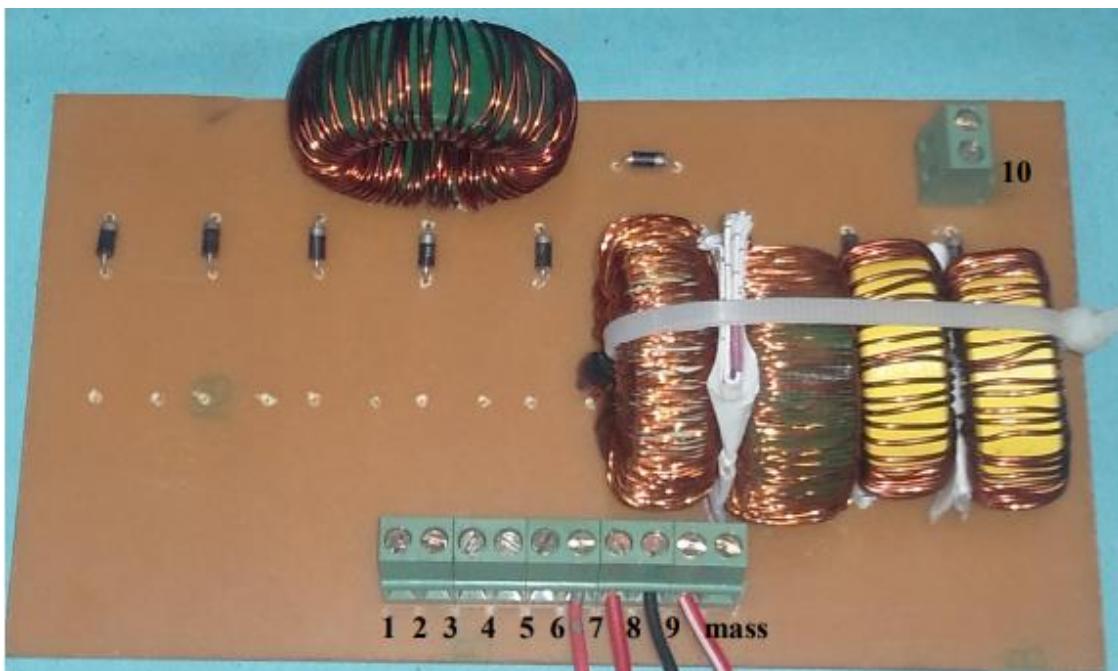
Để đáp ứng tất cả các yêu cầu trên, chúng tôi phải trải qua một quá trình thực nghiệm lâu dài, thử nghiệm độ bền lâu, độ an toàn cũng như đảm bảo hiệu suất của bộ thu hồi. Chúng tôi cho rằng đây là bộ thu hồi hoàn hảo nhất đã được thiết kế và thực nghiệm tính toán tối ưu.



Hình 2.25. Mạch nguyên lý bộ thu hồi năng lượng điện cảm cho một cuộn sơ cấp bobine.



Hình 2.26. Mạch nguyên lý mở rộng cho bộ thu hồi năng lượng điện cảm trên các thiết bị sử dụng cuộn dây.



Hình 2.27. Bộ thu hồi năng lượng sử dụng cuộn cảm lõi xuyên.

Trong đó:

- Chân số 1, 2, 3, 4, 5: Chân dự phòng (mở rộng) thu hồi điện cảm.
- Chân 6, 7: Thu hồi xung điện cảm tại âm bobine.
- Chân 8, 9: Thu hồi xung điện cảm tại kim phun.
- Chân số 10: Chân đưa đến bộ tích trữ siêu tụ điện.

Nguyên lý hoạt động:

Dựa trên hiện tượng tự cảm, khi có một xung tự cảm dư thừa tại chân âm bobine đi qua cuộn cảm thứ nhất L1, cuộn cảm này có tác dụng biến đổi từ thành điện khi đã tích lũy đủ điện áp. Khi transistor ngắt, trong cuộn cảm này sẽ được biến đổi thành điện năng, phóng qua cuộn cảm kế tiếp cũng đảm nhiệm chức năng như cuộn cảm đầu tiên này, cản trở dòng điện lớn khi đi vào, khi cuộn cảm L1 tích lũy đủ và ổn định mức điện áp thì nó thực hiện chức năng giải phóng nguồn năng lượng bên trong sang cuộn cảm L9. Cuộn cảm L9 tạo xung điện áp dao động ổn định và mức điện áp xung cao hơn so với xung điện áp phóng ra tại đầu âm bobine, do đây là xung điện áp nên nó đảm bảo cho việc bảo vệ các thiết bị tích trữ không bị sốc dẫn đến tình trạng nổ. Để điện áp không phóng ngược dẫn đến sự dao động ngược đến bobine thì diode D1 có chức năng chặn xung ngược phóng lại. Các cuộn còn lại L2, L3, L4, L5, L6, L7, L8, L10, L11 hoạt động tương tự như L1.

Ưu điểm của bộ thu hồi cuộn cảm lõi xuyên:

- Đáp ứng tất cả các yêu cầu mà một số bộ thu hồi đã thiết kế trước không đảm bảo. - Các linh kiện hoạt động ổn định.

- Không làm mất công suất hoạt động đánh lửa ở mọi tốc độ.
- Năng lượng điện áp thu được nhiều và ổn định.

Nhược điểm của bộ thu hồi cuộn cảm lõi xuyên:

- Giá thành các cuộn cảm lõi xuyên đắt.
- Công việc quấn dây và tính toán đúng điện trở trong rất khó khăn.

2.5.4. Tính toán cho bộ thu hồi lõi xuyên.

Do cuộn cảm có đặc tính lọc nguồn, tích lũy năng lượng... Để đảm bảo cho cuộn cảm hoạt động hiệu quả trong việc thu hồi điện áp dư thừa phát ra từ xung âm bobine, chúng tôi thiết lập công thức và lựa chọn linh kiện cho mạch hoạt động ổn định.

Tùy dung của cuộn cảm lõi xuyên.

$$L = \mu_0 \mu \frac{N^2 r^2}{D}$$

Trong đó:

- L: Tùy dung (H)
- μ_0 : độ từ thẩm của chân không = $4\pi 10^{-7}$ (H/m)
- μ : độ từ thẩm tương đối của vật liệu lõi
- N: số vòng quấn.
- r: Bán kính vòng quấn (m).
- D: đường kính vòng xuyên (m).

Như vậy từ công thức trên với việc quấn số vòng dây và lựa chọn vật liệu lõi ta có được tùy dung như sau:

$$L = \mu_0 \mu \frac{N^2 r^2}{D} = 4\pi 10^{-7} * \mu * \frac{300^2 0.5^2}{2} = 0.014 \mu \text{ (H)}$$

Bài toán kế tiếp đặt ra là tính cường độ dòng điện phát ra khi qua cuộn cảm lõi xuyên.

Ta biết được tùy dung $L = 0.014\mu$ (H), điện trở của cuộn cảm đo được là $R=5\Omega$ (cho cuộn thu hồi ở bobine đôi) khi điện áp phát xung âm của bobine là 300V. Thời gian đóng ngắt trong 5 giây (được tính theo công thức: $L/R = 0.014\mu/5 = 0.0028\mu$ (giây)).

Cường độ dòng điện được tính theo biểu thức:

$$i = I \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right)$$

Cường độ dòng điện khi ở trạng thái ổn định.

$$I = \frac{300}{5} \left(1 - e^{-\frac{t}{5}} \right) = 60 \left(1 - e^{-\frac{t}{5}} \right)$$

Vì vậy:

- Cường độ dòng điện khi ở trạng thái ổn định:

$$I_0 = 60 \text{ (A)}$$

- Cường độ dòng điện ngay tại thời điểm phát xung:

$$I = -60e^{-\frac{t}{5}}$$

Sau thời gian 0.0028μ (giây).

$$I_t = -60e^{-\frac{0.0028\mu}{5}} = \frac{-60}{e^{-5,6\mu \times 10^{-4}}} \text{ (A)}$$

Như vậy nếu sau khoảng thời gian (0.0028μ (giây)).

$$i = I_0 + I = 60 - \frac{60}{e^{-5,6\mu \times 10^{-4}}} \text{ (A)}$$

Giá trị cường độ dòng điện này phụ thuộc vào độ từ thâm μ của vật liệu lõi quấn dây.

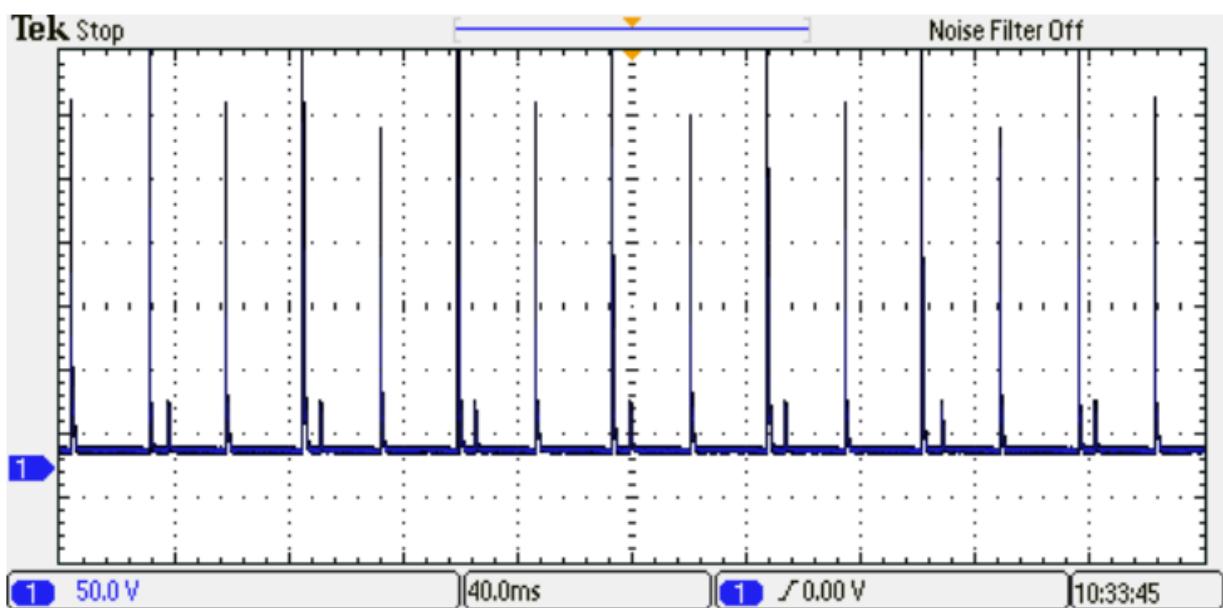
2.5.5. Đánh giá bộ thu hồi cuộn cảm lõi xuyên.

Qua quá trình thi công thử nghiệm, chúng tôi tiến hành dùng máy Oscilloscopes để đo, kiểm tra xung đánh lửa trước và sau khi lắp bộ thu hồi, đánh giá hiệu quả của bộ thu hồi.



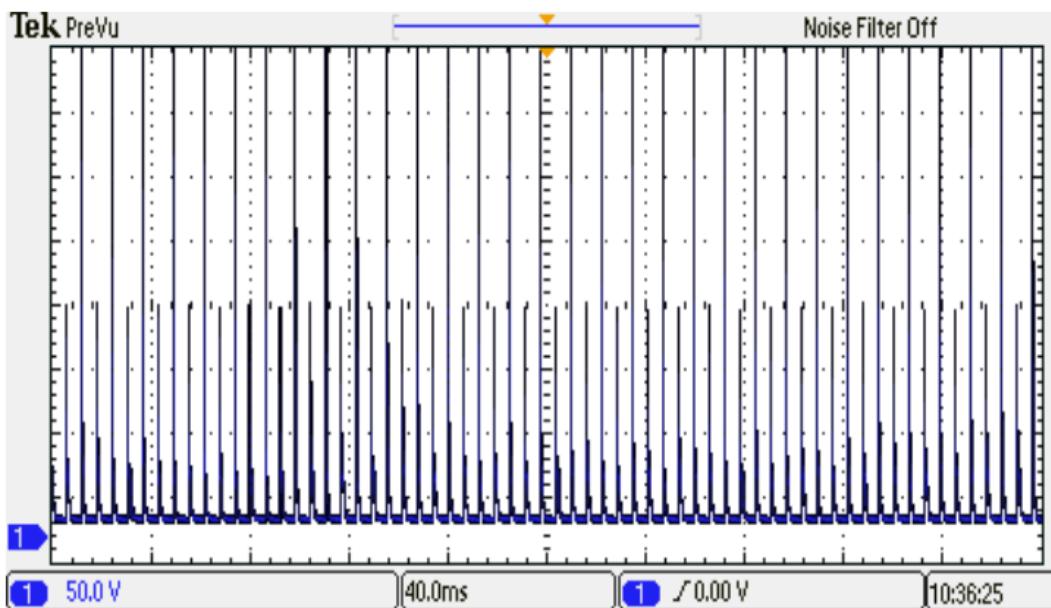
Hình 2.28. Máy Oscilloscope, Textronic.

Biểu đồ xung sơ cấp đánh lửa và kim phun trước khi lắp bộ thu hồi



Hình 2.29. Đồ thị biểu diễn xung tự cảm của cuộn sơ cấp bobine trước khi gắn bộ thu hồi ở tần số 100Hz (3000 vòng/phút).

Qua biểu đồ trên, ta nhận thấy đỉnh xung tự cảm cuộn sơ cấp bobine tương đối ổn định (khoảng 300 V).



Hình 2.30. Đồ thị biểu diễn xung tự cảm của cuộn sơ cấp bobine sau khi gắn bộ thu hồi ở tần số 100Hz (3000 vòng/phút).

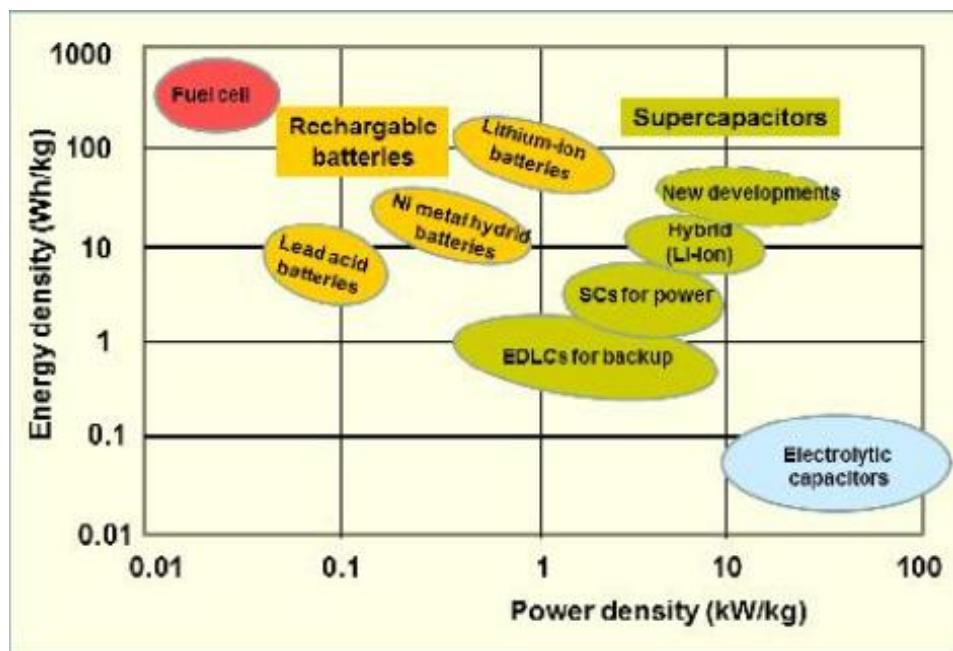
Qua biểu đồ trên, ta nhận thấy xung tự cảm cuộn sơ cấp bobine đã tăng lên đáng kể sau khi lắp bộ thu hồi (khoảng 400V). Như vậy, qua bộ thu hồi cuộn cảm lõi xuyên, năng lượng có thể thu về đã tăng lên. Để đảm bảo an toàn cho bộ tích trữ, chúng tôi dẫn các xung điện áp cao qua bộ biến áp 14 DCV để nạp vào cho bộ tích trữ.

2.6. Tính toán lựa chọn thiết bị lưu trữ.

2.6.1. Siêu tụ là gì?

Siêu tụ điện còn được biết với các tên như Supercapacitor, Electrochemical Double Layer Capacitors (EDLC) hoặc Ultracapacitor.

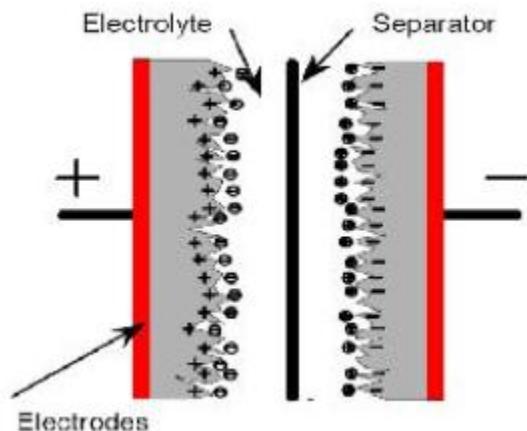
Siêu tụ và thiết bị tích trữ năng lượng , nó có mật độ năng lượng cao giúp cung cấp năng lượng cho các thiết bị điện yêu cầu khả năng cung cấp năng lượng nhanh , ta có một tụ điện nhôm tích trữ được khoảng 100 đến 300 Wh / kg trong khi đó một bình ác quy chì - axit tích trữ được khoảng 30 đến 40 Wh / kg và hiện đại hơn nữa là những loại pin lithium - ion tích trữ được từ 100 đến 265 Wh / kg . Các siêu tụ điện tích trữ gấp 10 lần so với ác quy.



Hình 2.31. Biểu đồ thể hiện năng lượng riêng của một số thiết bị lưu trữ năng lượng điện

2.6.2. Cấu tạo siêu tụ.

Cấu tạo gồm các bản cực là carbon (than hoạt tính) có cấu trúc xốp và ngầm trong chất điện phân, trong đó gồm nhiều lỗ rỗng nhỏ li ti. Nhờ cấu trúc này mà diện tích bản cực được tối ưu hóa rất nhiều. Diện tích bản cực của điện cực than hoạt tính vào khoảng 400 - 1.000 m / gam và một tấm phân cách ngăn chặn sự tiếp xúc vật lý của các điện cực nhưng cho phép ion từ các điện cực trao đổi với nhau. Một tấm kim loại chứa các ion dương, còn tấm kia chứa ion âm. Nồng độ ion ở điện cực được xác định bằng cường độ điện trường, khi điện áp tăng lên thì điện dung tăng lên. Khi sạc, các ion tích tụ trên bề mặt của hai tấm kim loại phủ carbon này. Siêu tụ giống như có hai tụ điện ghép lại làm một. Đây là lý do đôi khi siêu tụ được giới thiệu như là tụ điện hai lớp.



Hình 2.32. Siêu tụ điện 2 lớp

2.6.3. So sánh siêu tụ điện với các thiết bị lưu trữ khác.

Bảng 2.11. Thông số lưu trữ trên ác quy, tụ điện thường, siêu tụ và pin năng lượng.

Các thông số	Ác quy	Các loại pin Lithium-ion	Siêu tụ
Nhiệt độ làm việc (°C)	-20 ÷ 100	-20 ÷ 60	-20 ÷ 70
Điện áp (V)	12 ÷ 48	2,5 ÷ 4,2	2,2 ÷ 3,3
Thời gian nạp	8 ÷ 10 giờ	10 ÷ 60 phút	0,3 ÷ 30 giây

Số lần phóng/nạp (lần)	1000	$500 \div 10^4$	10^5 đến 10^6
Điện dung (F)			$100 \div 12.000$
Năng lượng riêng (Wh/kg)	$10 \div 100$	$100 \div 265$	$4 \div 9$
Công suất riêng (kW/kg)	<1	$0.3 \div 1.5$	$3 \div 10$
Thời gian tự phóng ở nhiệt độ phòng (25°C)		Dài (khoảng 1 tháng)	Trung bình (khoảng vài tuần)
Tuổi thọ (năm) ở nhiệt độ phòng ($^\circ\text{C}$)	$2 \div 4$	$3 \div 5$	$5 \div 10$

Bảng 2.12. Thống kê một số siêu tụ của hãng

Nhà sản xuất	Điện áp định mức (V)	Dung lượng (F)	Công suất riêng (W/kg)	Năng lượng riêng (Wh/kg)	Điện trở nội (mΩ)
Maxwell	2,85	3.400	18	7,7	0,29
APowerCap	2,7	550	20	4,5	
Nesscap	2,7	3.000	10	10	
Nippon Chemi-Con	2,5	2.300		4,3	1,2
WIMA	2,7	6.500	4,3	5,2	0,18
Panasonic	2,3	70		3,4	100

Một số công thức cơ bản về siêu tụ:

(Nguồn: Datasheet BC series ultracapacitor)

Các công thức tính toán cho Siêu tụ cơ bản giống như các công thức tính cho tụ điện thông thường. Với:

C_{td}: Điện dung tương đương

C_{1-n}: Điện dung của các siêu tụ thành phần

U_{c1-n}: Điện áp định mức của siêu tụ thành phần

U: Điện áp định mức của mô đun siêu tụ

Pmax: Công suất hoạt động của siêu tụ (J).

ESR_{DC}: điện trở trong của siêu tụ (Ω).

Mass: Khối lượng riêng của siêu tụ (g)

W_{max}: là năng lượng dự trữ lớn nhất của siêu tụ Maxwell (J).

W_{stored}: là năng lượng được tích trữ trong siêu tụ (J).

Dung lượng siêu tụ mắc nối tiếp:

$$\frac{1}{C_{td}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n} (F)$$

Dung lượng siêu tụ mắc song song:

$$C_{td} = C_1 + C_2 + \dots + C_n (F)$$

Điện áp siêu tụ mắc nối tiếp:

$$U = U_{c1} + U_{c2} + \dots + U_{cn} (V)$$

Công suất riêng tích trữ trong siêu tụ:

$$P = \frac{C * U^2}{2 * m} (\text{W/kg})$$

Với: m là khối lượng của mô đun siêu tụ

Công suất tối đa của siêu tụ:

$$P_{max} = \frac{U^2}{4 * ESR_{DC} * mass} (\text{W/kg})$$

Năng lượng riêng tối đa của tụ:

$$E_{max} = \frac{C_{td} * U^2}{2 * 3600 * mass} (\text{W.h/kg})$$

Năng lượng tích trữ trong siêu tụ:

$$E = \frac{Ctd * U^2}{2 * 3600} (\text{Wh})$$

Một số ứng dụng của siêu tụ điện:

Theo thống kê của Maxwell, đã có hơn 5000 xe tải được trang bị hệ thống cung cấp năng lượng khởi động bằng tụ điện (khắc phục được nhược điểm khởi động động cơ khi thời tiết lạnh).

- Ứng dụng siêu tụ thu hồi năng lượng điện khi phanh ô tô, tích trữ và cung cấp năng lượng cho hệ thống Hybrid.
- Cung cấp năng lượng để duy trì hệ thống và khởi động các động cơ phát điện hoặc các thiết bị cung cấp điện.
- Tích trữ và cung cấp năng lượng cho các tàu điện và các xe điện sử dụng công nghệ sạc điện không dây.
- Tích trữ năng lượng trong các thiết bị phát điện bằng năng lượng sạch như pin năng lượng mặt trời, các trạm điện gió...
- Ngoài ra, siêu tụ còn được ứng dụng làm nguồn năng lượng để mở cửa máy bay trong trường hợp mất điện đột ngột...

2.6.4. Ứng dụng siêu tụ vào việc tích trữ nguồn năng lượng điện thu được từ các xung suất điện động từ cảm.

Hệ thống điện ô tô thường sử dụng điện áp 12,6 – 14,2V, để không thay đổi nhiều hệ thống điện ô tô, siêu tụ Maxwell BCAP0350 được chọn để tạo thành mô đun siêu tụ điện có điện áp và dung lượng, thích hợp cho việc thu năng lượng điện cảm và sử dụng nguồn năng lượng này cung cấp năng lượng cho các thiết bị điện. Mô đun siêu tụ điện được märk 2 khối siêu tụ song song với nhau, mỗi khối bao gồm 6 siêu tụ märk nối tiếp với nhau. Mô đun siêu tụ có giá trị điện áp hiệu dụng – dung lượng: 16,2V – 116F



Hình 2.33. Siêu tụ Maxwell BCAP0350.

Bảng 2.13. Thông số kỹ thuật của một siêu tụ Maxwell BCAP0350.

ELECTRICAL	BCAP0350
Dung lượng (F)	350 F
Điện trở nội (ESR) DC	3.2 mΩ
Điện áp định mức	2.70 V
Điện áp tối đa	2.85 V
Dòng điện tối đa	170 A
Dòng điện rò ở nhiệt độ 25°C	0.30 mA
NHIỆT ĐỘ	
Thấp nhất	-40°C
Cao nhất	65°C/75°C
PHYSICAL	
Khối lượng	60g
POWER & ENERGY	BCAP0350
Công suất riêng	4,600 W/kg
Năng lượng tích trữ	5.9 Wh/kg
Thời gian sử dụng	4 năm

(Nguồn: Datasheet BC series ultracapacitor)

- Dung lượng của khối 6 siêu tụ 2,7V – 350F khi ghép nối tiếp với nhau:

Ứng dụng công thức 2.1 ta được:

$$\frac{1}{C_{\text{td}}} = \frac{1}{350} + \frac{1}{350} + \frac{1}{350} + \frac{1}{350} + \frac{1}{350} + \frac{1}{350} = \frac{6}{350}$$

$$C_{\text{td}} = \frac{350}{6} = 58,344F$$

- Dung lượng của tụ khi ghép song song 2 khói (6 siêu tụ 2,7V – 350F nối tiếp):

$$C = C_{\text{td}} \times 2 = 58,344 \times 2 = 116,667F$$

- Điện áp định mức của khói khi ghép nối tiếp 6 siêu tụ 2,7V – 350F chịu được đến mức:

$$U = U_{c1} + U_{c2} + U_{c3} + U_{c4} + U_{c5} + U_{c6} = 16,2(V)$$

- Do hệ thống điện trên ô tô sử dụng nguồn 14,2V nên chúng tôi thiết kế bộ lưu trữ điện áp như trên gồm 2 khói song song 6 siêu tụ 2,7V-350F mắc nối tiếp tạo ra một khói gồm 12 tụ 16,2V-116,667F. Bộ lưu trữ này đáp ứng tích trữ năng lượng đủ lớn, điện áp tương đương điện áp hệ thống, khả năng nạp đầy và an toàn trong quá trình nạp.
- Công suất cực đại của khói siêu tụ 16,2V-116,667F theo lý thuyết của nhà sản xuất:

$$P_{\text{max}} = \frac{U^2}{4 * ESR_{DC} * mass} = \frac{16,2^2}{4 * \frac{3,2}{1000} * \frac{60}{1000}} = 341718,75(J) = 341,718(W)$$

- Năng lượng cực đại của khói siêu tụ 16,2V-116,667F theo lý thuyết của nhà sản xuất:

$$E_{\text{max}} = \frac{C_{\text{td}} * U^2}{2 * 3600 * mass} = \frac{116,667 * 16,2^2}{2 * 3600 * \frac{3,2}{1000}} = 1328,91(J)$$

- Trên thực tế, chúng tôi đã giới hạn điện áp nạp cũng như xả của bộ tích trữ điện khoảng 14,2V để tương đương điện áp hệ thống.
- Như vậy, công suất và năng lượng cực đại của bộ tích trữ được tính như sau:

$$P_{\text{max}} = \frac{0.06 \times U^2}{ESR_{DC}} = \frac{0.06 \times 14,2^2}{\frac{60}{1000}} = 201,64(W)$$

$$E_{\text{max}} = \frac{C_{\text{td}} * U^2}{2 * 3600 * mass} = \frac{116,667 * 14,2^2}{2 * 3600 * \frac{3,2}{1000}} = 1021,3(J)$$

- Chúng tôi nhận thấy với tổng công suất của hai loại tải điện hoạt động liên tục (350W) và tải điện hoạt động gián đoạn (134W) thì ta thấy rõ công suất tiêu thụ của tải điện hoạt động liên tục là 350W lớn hơn công suất của tải gián đoạn. Công suất của siêu tụ là 201,6W. Công suất của siêu tụ lớn hơn rất nhiều so với công suất của tải điện hoạt động gián đoạn có công suất là 134W nên ta quyết định điện áp thu hồi về được nạp vào siêu tụ và mục đích duy nhất là sử dụng cho các tải điện hoạt động gián đoạn nó đảm bảo được mọi yếu tố hoạt động ổn định ở mức điện áp mà nó cấp phát ra, cũng đảm bảo độ an toàn khi sử dụng.

+ Thông số mô đun siêu tụ:

Bảng 2.14. Thông số mô đun siêu tụ 16,2V – 116F.

Mô đun siêu tụ	
Dung lượng	116F
Điện trở nội	9,6 mΩ
Test Current for Capacitance and ESRDC	35A
Điện áp hiệu dụng	16,2V
Điện áp tối đa	17,1V
Dòng điện tối đa	170A
Dòng điện rò ở nhiệt độ 25°C	1.8mA
Số lượng siêu tụ	12 cái
Khối lượng	0.72kg
Công suất riêng	9492 W/kg
Năng lượng tích trữ	4,1244 Wh
Thời gian sử dụng	4 năm



Hình 2.34. Hình ảnh mô đun siêu tụ thực tế

- Năng lượng sẽ thu được khi nạp mô đun siêu tụ từ 11.6V lên 14.5V

$$E = \frac{C(U_2^2 - U_1^2)}{2} = \frac{160(14,5^2 - 11,6^2)}{2} = 4390\text{J}$$

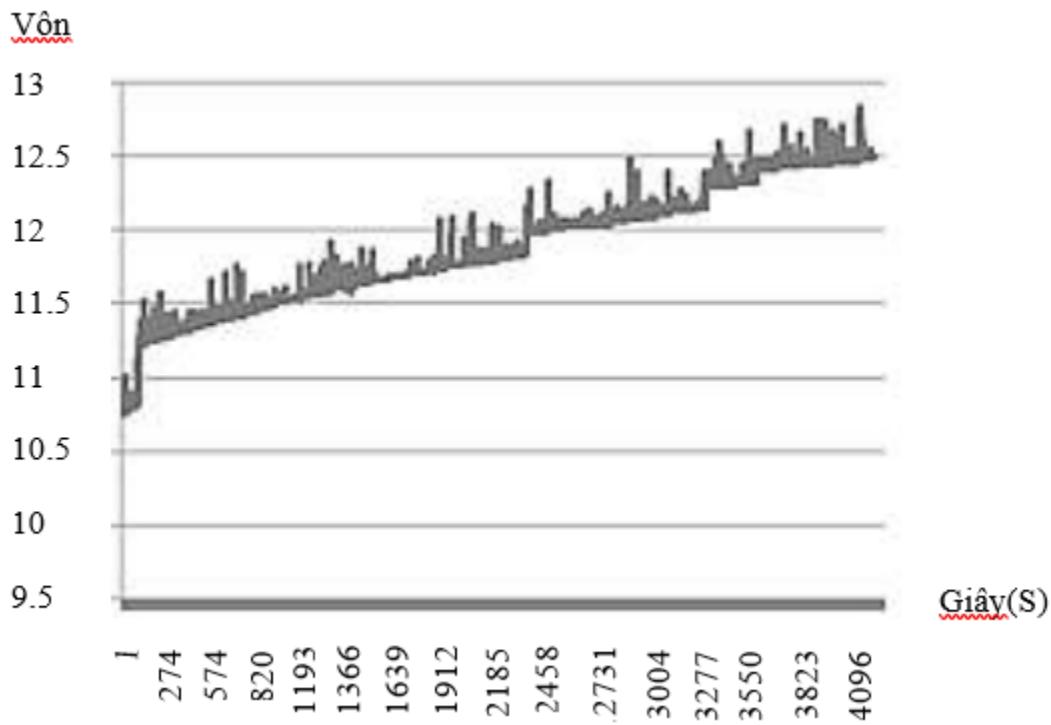
Khi nạp siêu tụ từ 11,6V lên 14,5V thì ta tích trữ được 4390J năng lượng.

CHƯƠNG 3: CÁC CÔNG TRÌNH NGHIÊN CỨU TRONG NƯỚC

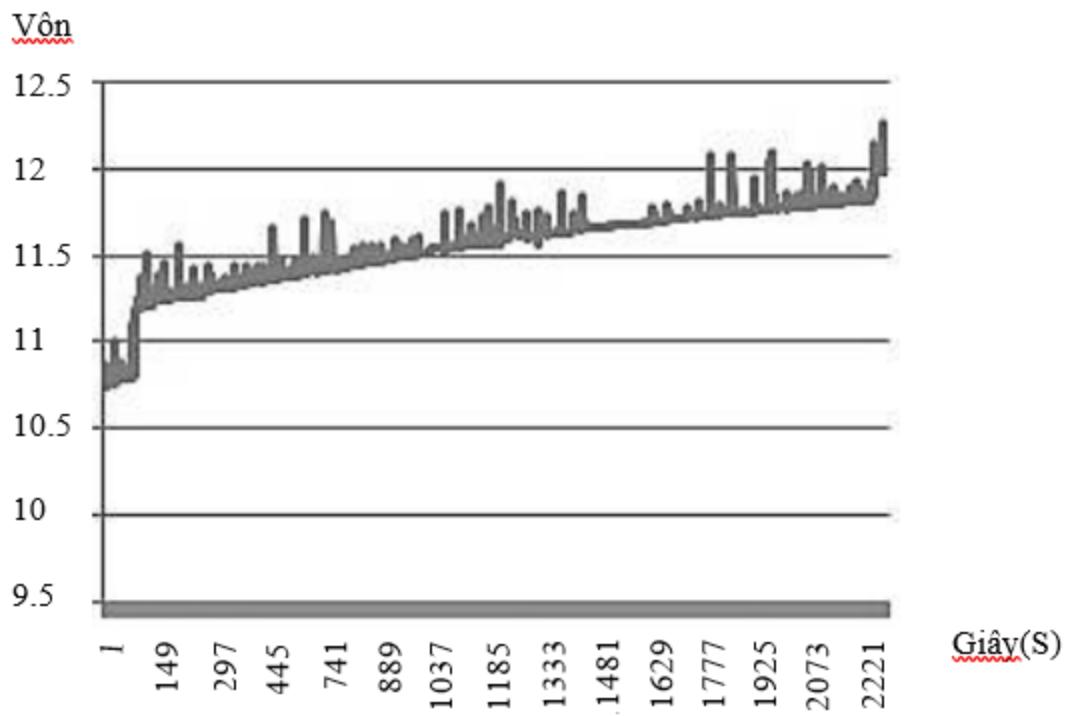
3.1. Công trình 1.

Bài báo “*Nghiên cứu, thi công hệ thống tích lũy năng lượng điện dạng cảm kháng trên hệ thống điện ô tô*” của nhóm tác giả *Phan Nguyễn Quý Tâm, Đỗ Văn Dũng, Đỗ Quốc Ám, Nguyễn Bá Hải* đăng trên tạp chí Khoa học Giáo dục Kỹ thuật số 32, 2015. Bài báo nghiên cứu và chế tạo thiết bị thu hồi năng lượng điện cảm kháng trên ô tô giúp tận dụng được điện năng cảm kháng tự phát sinh trong quá trình các cuộn dây hoạt động, giúp tiết kiệm nhiên liệu trên xe.

Các thiết bị chế tạo được lắp đặt, thử nghiệm trên hệ thống điện của xe Toyota Camry 2001, Quá trình khảo sát thời gian cần thiết để điện áp trên bộ thu hồi tăng từ 11,2V đến 14,2V nhiều tốc độ quay khác nhau của động cơ.



Hình 3.1. Biến thiên điện áp trên bộ lưu trữ ở tốc độ động cơ $n=800$ vòng/phút



Hình 3.2. Biến thiên điện áp trên bộ lưu trữ ở tốc độ động cơ $n=2400$ vòng/phút

Kết quả thử nghiệm cho thấy: khi động cơ hoạt động tại 800 vòng / phút, mất khoảng 04 phút để điện áp trên bộ lưu trữ tăng từ 11.0V đến 12,5V. Khi tốc độ động cơ càng tăng, thời gian để đạt giá trị điện áp định mức càng nhỏ.

Khả năng ứng dụng của thiết bị chế tạo

Thiết bị lưu trữ sau khi được nạp đầy ở mức 14.2V, được thử nghiệm cấp điện cho từng loại phụ tải hoạt động từ lúc đầy năng lượng cho đến khi cạn năng lượng, kết quả như bảng sau.

Bảng 3.1. Kết quả thời gian thử nghiệm trên tải điện gián đoạn của thiết bị lưu trữ

STT	Tải điện gián đoạn	Công suất điện (W)	Thời gian sử dụng (phút)
1	Máy khởi động	1200	0.1
2	Nâng hạ kính	150	1.2
3	Xông kính	120	1.4

4	Mồi thuốc	100	2.1
5	Gạt mưa	60	3.4
6	Khóa cửa	60	3.8
7	Còi	60	4.5
8	Đèn sương mù	45	4.8
9	Đèn báo rẽ	44	5.3
10	Đèn phanh	42	9.9
11	Phun nước	40	6.3
12	Radio	35	6.6
13	Đèn lùi	20	7.3
14	Đèn trần	20	8.2
15	Đèn soi biển số	15	8.9

Thời gian sử dụng sẽ dài hơn khi bộ lưu trữ này được lắp song song với accu trên xe, lúc này thiết bị sẽ được thu và tích trữ liên tục trong lúc hệ thống điện hoạt động, điều này giúp tiết kiệm khoảng 1.2 % tiêu hao nhiên liệu.

3.2. Công trình 2.

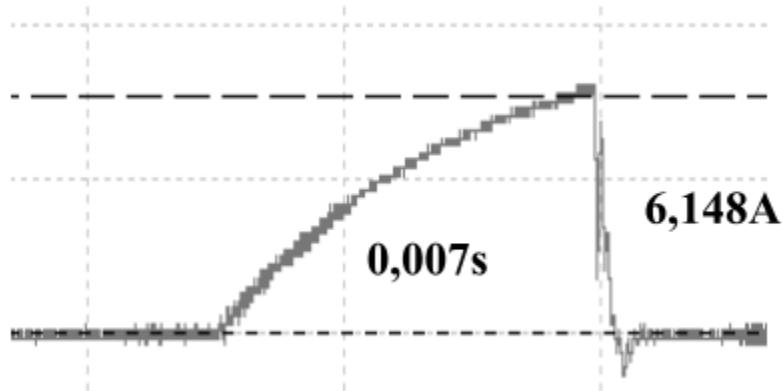
Bài báo “**Tính toán sức điện động tự cảm trên hệ thống đánh lửa lai**” của nhóm tác giả *Đỗ Quốc Ám, Đỗ Văn Dũng, Phan Nguyễn Quý Tâm, Lê Khánh Tân* đăng ở tạp chí Khoa học Giáo dục Kỹ thuật số 32, 2015.

Bài báo đưa ra được mô hình của hệ thống đánh lửa lai hỗn hợp điện dung - điện cảm, trình bày các tính toán sức điện động tự cảm trên mạch sơ cấp của hệ thống đánh lửa lai hỗn hợp điện dung điện cảm và các kết quả thực nghiệm. Các kết quả tính toán và thực nghiệm giúp xác định dạng dao động và các thông số tác động lên các dao động nêu trên.

Các thông số của mạch được xác định bằng đồng hồ LCR, nguồn điện áp sử dụng trong thực nghiệm được ổn định có giá trị DC= 12,54V. Thiết bị đóng ngắt dòng sơ cấp (Igniter) có thể thay đổi được thời gian tích lũy năng lượng và có điện trở là $0,3\Omega$, các

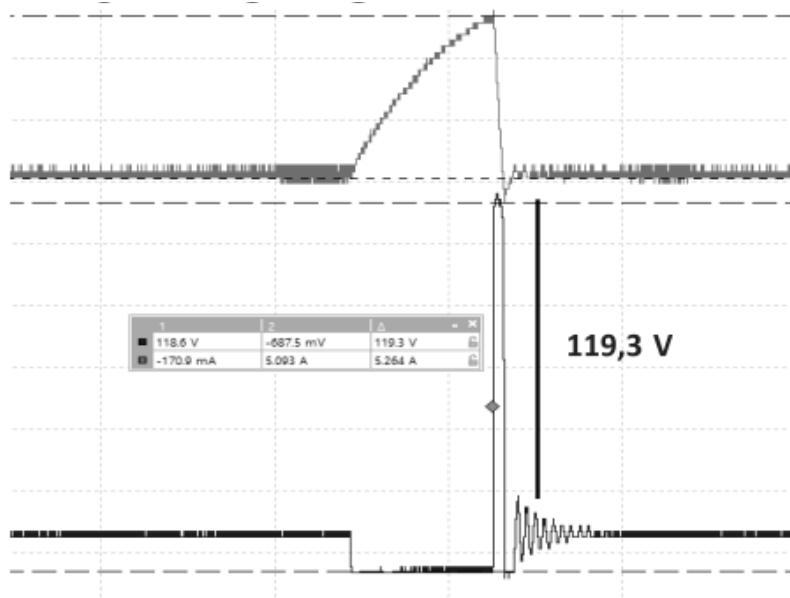
thông số của hệ thống: $V=12,54V$; $R_{\text{bobine}}=1,6\Omega$; $L_1=4,52\text{mH}$; $r_{\text{rò}}=1000000\Omega$; $C=0,33\mu\text{F}$; $R=1,9\Omega$.

Cường độ dòng điện qua cuộn sơ cấp



Hình 3.3. Kết quả thực nghiệm cường độ dòng điện qua cuộn sơ cấp của bobine ứng với thời gian tích lũy năng lượng $t_{ng} = 7ms$

Dựa vào kết quả thực nghiệm cường độ qua cuộn sơ cấp của bobine cho thấy, ở giai đoạn tích lũy năng lượng (ứng với thời gian ngậm điện $t_{ng} = 0,07s$) qui luật tăng trưởng dòng điện giống như kết quả tính toán, giá trị cực đại của cường độ dòng điện có sai lệch khoảng 1% so với kết quả tính toán. Tuy nhiên ở giai đoạn transistor ngắn, số dao động và biên độ dao động nhỏ hơn kết quả mô phỏng.



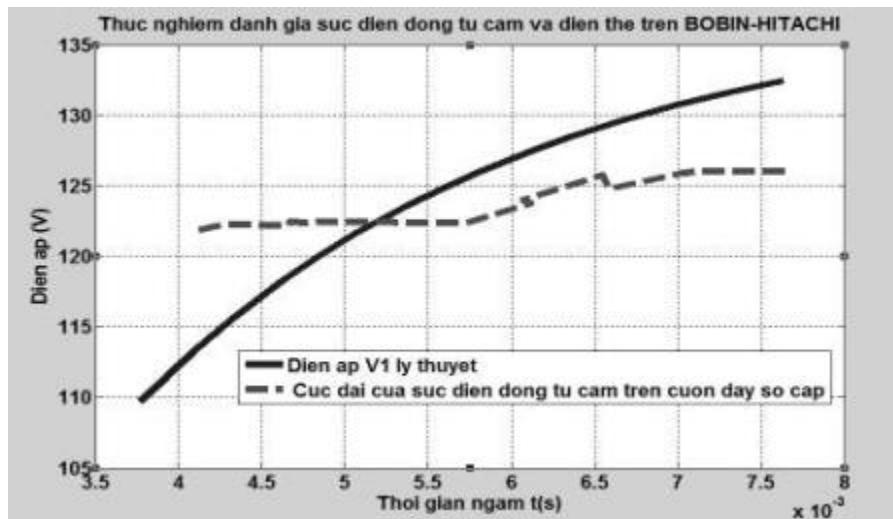
Hình 3.4. Kết quả thực nghiệm đánh giá sức điện động tự cảm trên cuộn sơ cấp của bobine ứng với thời gian tích lũy năng lượng $t_{ng} = 3,7ms$

Kết quả thực nghiệm cho thấy dạng sóng điện áp trên cuộn sơ cấp phù hợp với các tính toán và mô phỏng. Biên độ của các dạng sóng thực nghiệm vào khoảng 60% so với các giá trị tính toán. Các dao động trong mô phỏng có tần số nhiều hơn so với các số liệu thực nghiệm. Sự khác biệt này là do chưa đánh giá hết các ảnh hưởng của các yếu tố khác. Ví dụ như tốc độ đóng ngắt dòng sơ cấp. Điều này gây tổn thất năng lượng và giảm biên độ các dạng sóng điện áp.

Khi đưa vào phương trình dưới đây:

$$V_1(t) = -L_{eq}[(ax + yz)e^{xt} \cos(yt) + (xz - ay)e^{xt} \sin(yt)]$$

Một hệ số k tác động vào thông số y với ($y = k \sqrt{d - \frac{c^2}{4}}$) với $k = 0,19$ ứng với R cuộn sơ cấp $R_{bobine} = 1,6\Omega$, $k = 0,15$ ứng với $R_{bobine} = 0,9\Omega$; $k = 0,12$ ứng với $R_{bobine} = 0,6\Omega$, sai lệch về giá trị cực đại của dao động điện thế trên cuộn sơ cấp khi so sánh giữa các kết quả tính toán và thực nghiệm nằm trong khoảng 10%.



Hình 3.5. So sánh điện áp cực đại của suất điện động tự cảm tính toán V_1

Trên hình 3.5 trình bày so sánh cực đại của giá trị suất điện động tự cảm trong tính toán và thực nghiệm khi thay đổi thời gian tích lũy năng lượng trên cuộn sơ cấp của bobine Hitachi với các thông số: $U = 12,54V$; $R_{bobine} = 1,6\Omega$; $L_1 = 4,52mH$; $R_{rõ} = 1000000\Omega$; $C = 0,33\mu F$; $R = 1,9\Omega$ cho thấy sai lệch giữa thực nghiệm và kết quả tính toán là dưới 10%.

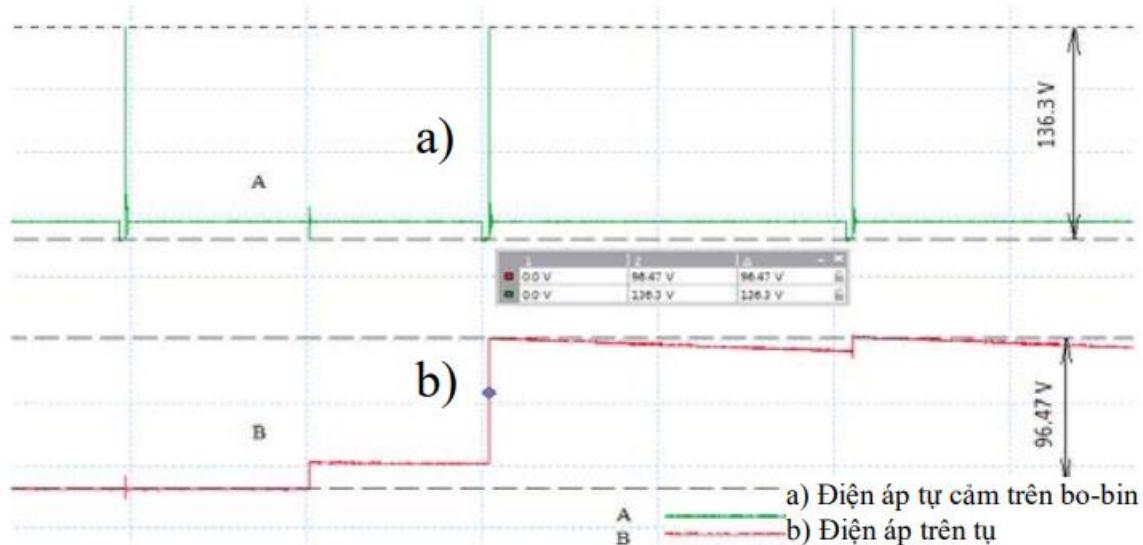
3.3. Công trình 3.

Bài báo “*Nghiên cứu mô hình đánh lửa Hybrid*” của nhóm tác giả *Đỗ Quốc Ám, Đỗ Văn Dũng, Lê Khánh Tân* đăng ở Hội nghị Khoa học và Công nghệ toàn quốc về Cơ khí lần thứ IV.

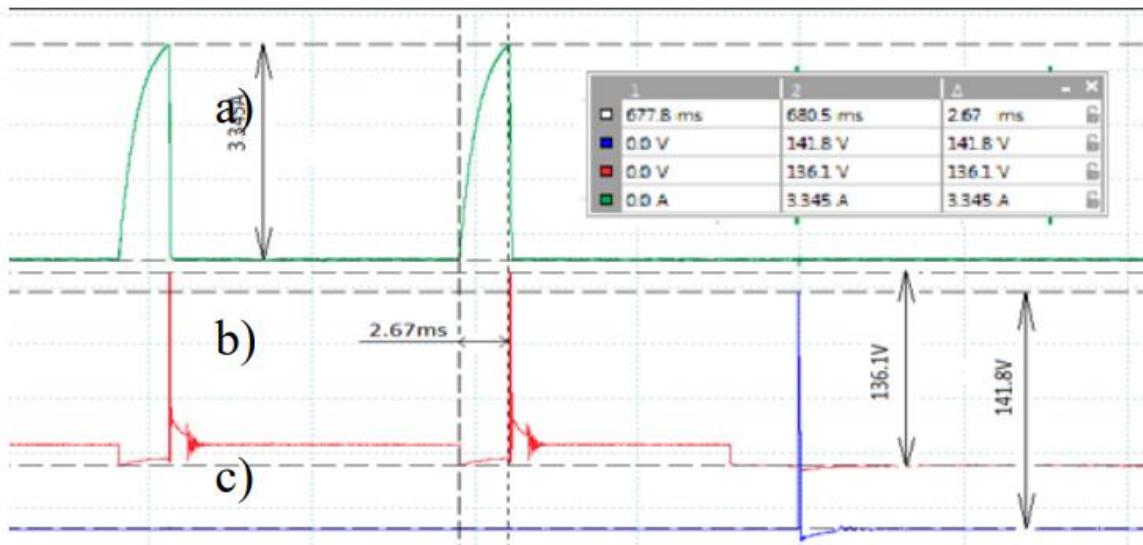
Bài báo trình bày nghiên cứu về mô hình hệ thống đánh lửa bao gồm hai kiểu đánh lửa riêng biệt, trong lần đánh lửa điện cảm, năng lượng tự cảm “thừa” sẽ được tích lũy vào một hay nhiều tụ điện và phần năng lượng này sẽ được sử dụng vào quá trình đánh lửa điện dung tiếp theo. Việc tận dụng năng lượng tự cảm này sẽ giúp tiết kiệm năng lượng sử dụng trên hệ thống đánh lửa. Qua đó tiết kiệm việc sử dụng nhiên liệu và phát thải trên ô tô.

Các kết quả thực nghiệm:

+ Các thực nghiệm xác định điện thế sử dụng thiết bị đo Picoscope PP537 chuyên dụng trên ô tô. Các thông số của hệ thống: tụ điện có dung lượng $C = 2 \mu\text{F}$; số lượng tụ = 1; điện thế làm việc của hệ thống $U = 12,54\text{V}$; biến áp đánh lửa có $R = 1,2\text{V}$; hệ số tự cảm $L = 2,765\text{mH}$; thời gian tích năng lượng $t_{ng} = 2.67\text{ms}$.

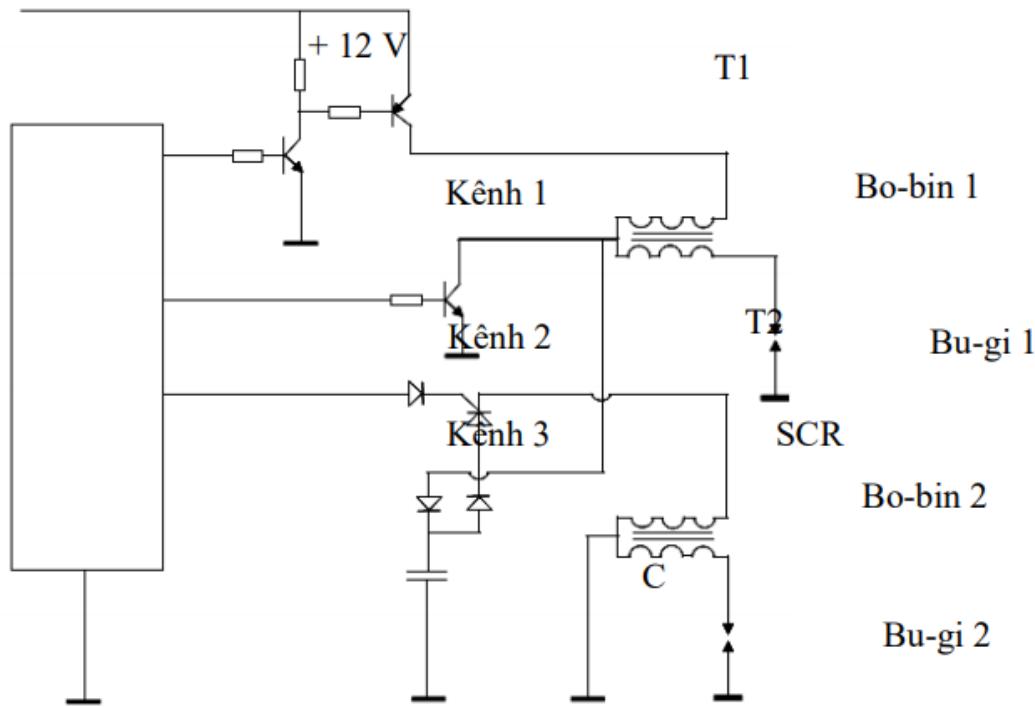


Hình 3.6. Điện áp trên bobine (a) và trên hai bản cực của tụ điện (b)



Hình 3.7. Dạng sóng của dòng điện (a), điện áp qua cuộn sơ cấp của bobine đánh lửa điện cảm (b) và điện áp trên bobine đánh lửa điện dung (c) trên mô hình sử dụng một tụ điện.

Các kết quả thực nghiệm cho thấy, khi dùng tụ có dung lượng $C=2\mu F$, cực đại điện áp sơ cấp trên bobine hầu như không thay đổi (hình 3.6), để điện áp trên tụ đạt giá trị bão hòa tụ chỉ cần hai lần nạp (hình 3.6). Với thời gian tích lũy năng lượng $t_{ng} = 2,67ms$ cực đại của dòng điện qua cuộn sơ cấp $I= 3,345A$ (hình 3.7), năng lượng khi đánh lửa điện cảm $Q_L = LI^2 /2 = 15, 55 mJ$. Đồng thời, năng lượng tích lũy trên tụ đạt giá trị $Q_C = CU^2 /2= 9,36mJ$.



Hình 3.8. Hình mô hình đánh lửa hồn hợp điện dung – điện cảm có khả năng tích lũy năng lượng tự cảm

- Các nghiên cứu trình bày trong bài báo đã đưa ra được một mô hình hệ thống đánh lửa lai (điện cảm- điện dung) có khả năng thu hồi được súc điện động từ cảm trên cuộn sơ cấp của biến áp đánh lửa (ở các chế độ đánh lửa điện cảm) và sử dụng lại năng lượng này khi đánh lửa điện dung. Tụ điện trong hệ thống này ngoài nhiệm vụ bảo vệ cho transistor công suất, còn đóng vai trò thiết bị thu hồi năng lượng tự cảm thừa trên hệ thống.

➤ **Kết quả thực nghiệm:**

- Các thực nghiệm cho thấy rằng với điện thế làm việc của hệ thống $U = 12.54$ V, hệ số tự cảm trên cuộn sơ cấp của bobine $L = 2,765\text{mH}$, hệ thống sử dụng 4 tụ (với dung lượng mỗi tụ bằng $C = 2\mu\text{F}$, khi tụ được nạp, điện thế trên tụ đạt giá trị $U_c = 96,47\text{V}$, năng lượng tích lũy trên sê là $Q_c = 37,44\text{mJ}$, giá trị này đủ để thực hiện một lần đánh lửa trên động cơ. Như vậy, cứ 8 lần đánh lửa điện cảm ta sẽ thực hiện được một lần đánh lửa điện dung.
- Năng lượng tích lũy cho một lần đánh lửa không lớn (khoảng 30mJ). Tuy nhiên, năng lượng sử dụng trên hệ thống đánh lửa được lấy từ accu, với rất nhiều tổn thất trên quá trình tích lũy năng lượng (hiệu suất làm việc của động cơ xăng, hiệu suất làm việc của máy phát điện, hiệu quả tích lũy của accu và các mất mát khác) cho thấy việc tích lũy năng lượng tự cảm này có ý nghĩa rất lớn.
- Với các mô hình đánh lửa hỗn hợp như đã trình bày, việc điều khiển số lần nạp tụ, số tụ tham gia quá trình tích lũy năng lượng tự cảm, chế độ đánh lửa (điện dung, điện cảm) hoàn toàn có thể thay đổi được, điều này tăng tính thích ứng của hệ thống đánh lửa được đề xuất ứng với các động cơ khác nhau.

➤ **Kết luận:**

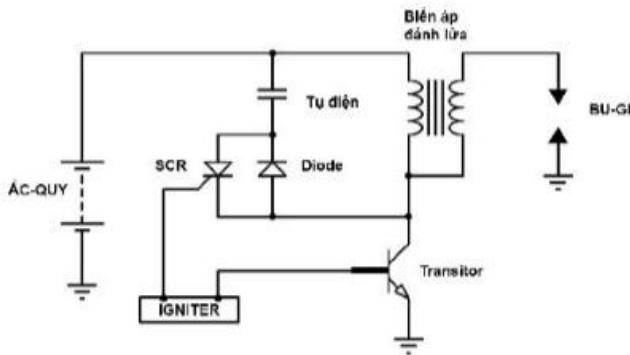
- Các nghiên cứu trình bày trong bài báo đã đưa ra được một mô hình hệ thống đánh lửa lai (điện cảm- điện dung) có khả năng thu hồi được sức điện động tự cảm trên cuộn sơ cấp của biến áp đánh lửa (ở các chế độ đánh lửa điện cảm) và sử dụng lại năng lượng này khi đánh lửa điện dung. Tụ điện trong hệ thống này ngoài nhiệm vụ bảo vệ cho transistor công suất, còn đóng vai trò thiết bị thu hồi năng lượng tự cảm thừa trên hệ thống.
- Các thực nghiệm cho thấy rằng với điện thế làm việc của hệ thống $U = 12.54$ V, hệ số tự cảm trên cuộn sơ cấp của bobine $L = 2,765\text{mH}$, hệ thống sử dụng 4 tụ (với dung lượng mỗi tụ bằng $C = 2\mu\text{F}$, khi tụ được nạp đầy điện thế trên tụ đạt giá trị $U_C = 96,47\text{V}$, năng lượng tích lũy trên sê là $Q_C = 37,44\text{mJ}$, giá trị này đủ để thực hiện một lần đánh lửa trên

động cơ. Như vậy, cứ 8 lần đánh lửa điện cảm ta sẽ thực hiện được một lần đánh lửa điện dung.

- Năng lượng tích lũy cho một lần đánh lửa không lớn (khoảng 30mJ). Tuy nhiên, năng lượng sử dụng trên hệ thống đánh lửa được lấy từ accu, với rất nhiều tổn thất trên quá trình tích lũy năng lượng (hiệu suất làm việc của động cơ xăng, hiệu suất làm việc của máy phát điện, hiệu quả tích lũy của accu và các mất mát khác) cho thấy việc tích lũy năng lượng tự cảm này có ý nghĩa rất lớn.
- Với các mô hình đánh lửa hỗn hợp như đã trình bày, việc điều khiển số lần nạp tụ, số tụ tham gia quá trình tích lũy năng lượng tự cảm, chế độ đánh lửa (điện dung, điện cảm) hoàn toàn có thể thay đổi được, điều này tăng tính thích ứng của hệ thống đánh lửa được đề xuất ứng với các động cơ khác nhau.
- Việc tính toán chọn thông số tốt nhất của tụ cần phải tiếp tục thực hiện để tăng hiệu quả làm việc của hệ thống đánh lửa đã đề xuất.
- Từ các kết quả đã thực hiện, mô hình cần được áp dụng trên động cơ để có những đánh giá thực tế qua các chỉ tiêu về tính kinh tế, tính hiệu quả và các chỉ tiêu về chất lượng khí thải).

3.4. Công trình 4.

Các công trình nghiên cứu của *Đỗ Quốc Ám* cùng các cộng sự đã đưa ra mô hình đánh lửa lại (điện cảm – điện dung) đồng thời tính toán mô phỏng, thực nghiệm và đánh giá cường độ dòng điện, sức điện động tự cảm trên cuộn dây sơ cấp.

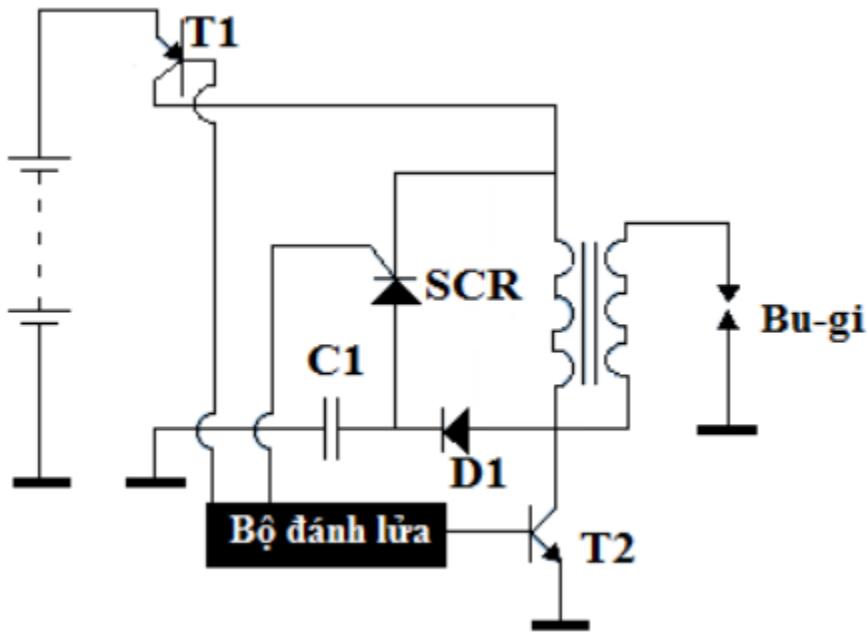


Hình 3.9. Hệ thống đánh lửa Hybrid

Bộ điều khiển (IGNITER) tạo xung điều khiển luân phiên điều khiển Transistor đóng ngắt dòng điện đi qua cuộn sơ cấp để tạo ra sự đánh lửa điện cảm. Khi ngắt năng lượng dư thừa tạo ra trên hệ thống đánh lửa điện cảm nạp vào tụ ích, tạo năng lượng dự trữ cho hệ thống đánh lửa điện dung được sử dụng ở chu kỳ kế tiếp đối với xy lanh động cơ này khi xung điều khiển luân phiên điều khiển hệ thống đánh lửa điện dung CDI (Capacitor Discharged Ignition) hoạt động. Lúc này hệ thống đánh lửa điện dung tái khai thác năng lượng dư thừa để tạo ra một lần đánh lửa tiếp theo trên xy lanh mà không cần chi phí năng lượng từ nguồn điện của xe.

3.5. Công trình 5.

Nhóm tác giả *Đỗ Quốc Âm* cùng các cộng sự cũng đã đề xuất mô hình đánh lửa lai, thay đổi phương pháp mắc tụ tích điện, tiến hành thực nghiệm và thiết lập phương trình dòng điện sơ cấp và sức điện động trên cuộn dây sơ cấp cho hệ thống đánh lửa lai.



Hình 3.10. Mô hình đánh lửa lai

Bảng kết quả thực nghiệm bảng (3.2) cho thấy tụ có dung lượng $1\mu F$ có năng lượng tích lũy cao nhất $W_c = 18,84 \text{ mJ}$ khi sử dụng bobine điện cảm có điện trở cuộn dây sơ cấp $R = 1,12\Omega$ và độ tự cảm $L = 1,25 \text{ mH}$

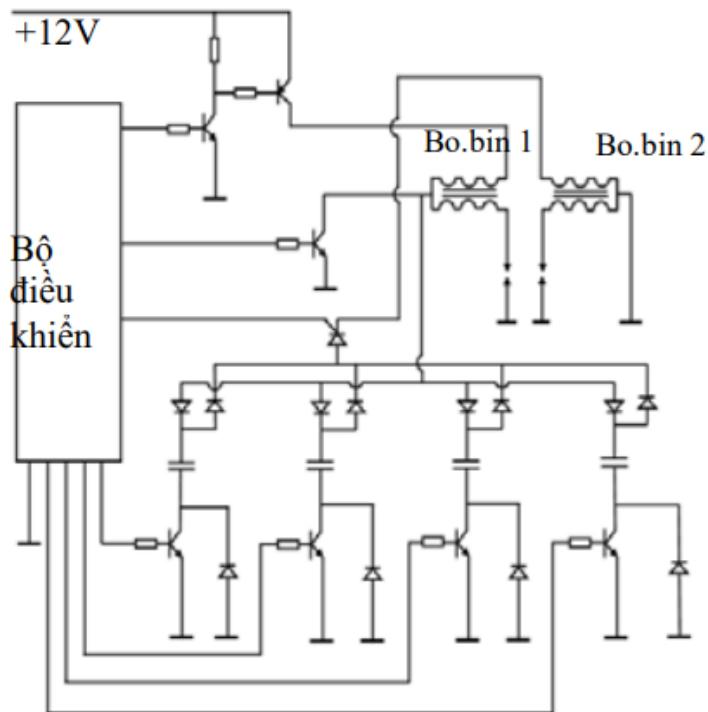
Bảng 3.2. Năng lượng trên tụ theo dung lượng tụ

C[μF]	$W_c [\text{mJ}]$	$W_4 = 3W_c [\text{mJ}]$	V ₁ [V]
0,22	11,93	35,79	433,8
0,5	17,62	52,86	284
1	18,84	56,52	197,6
2	18,56	55,68	136,6
3	17,97	53,91	109,6

4	16,58	49,74	93,47
---	-------	-------	-------

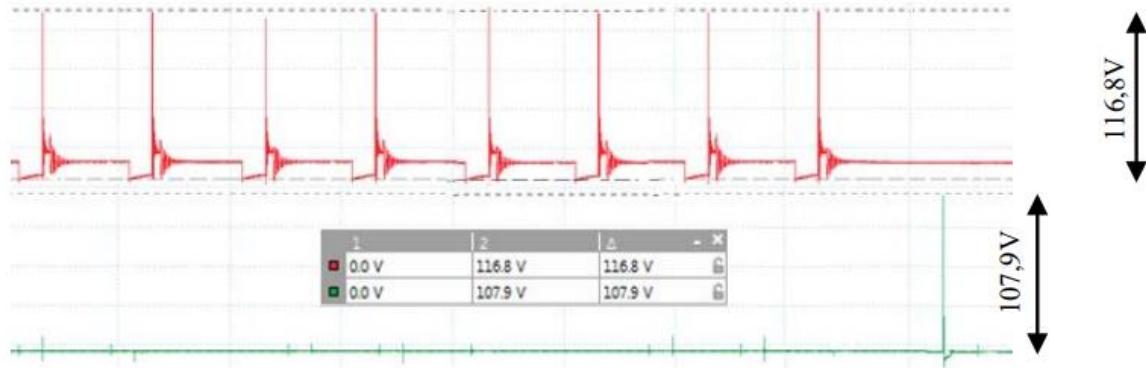
3.6. Công trình 6.

Nhóm tác giả *Đỗ Quốc Âm* cùng các cộng sự cũng đã đề xuất và thực nghiệm trên mô hình đánh lửa lại sử dụng một hoặc nhiều bobine riêng biệt đồng thời thực nghiệm đánh giá sức điện động tự cảm sinh ra nạp cho tụ điện và khi tụ điện phóng điện.



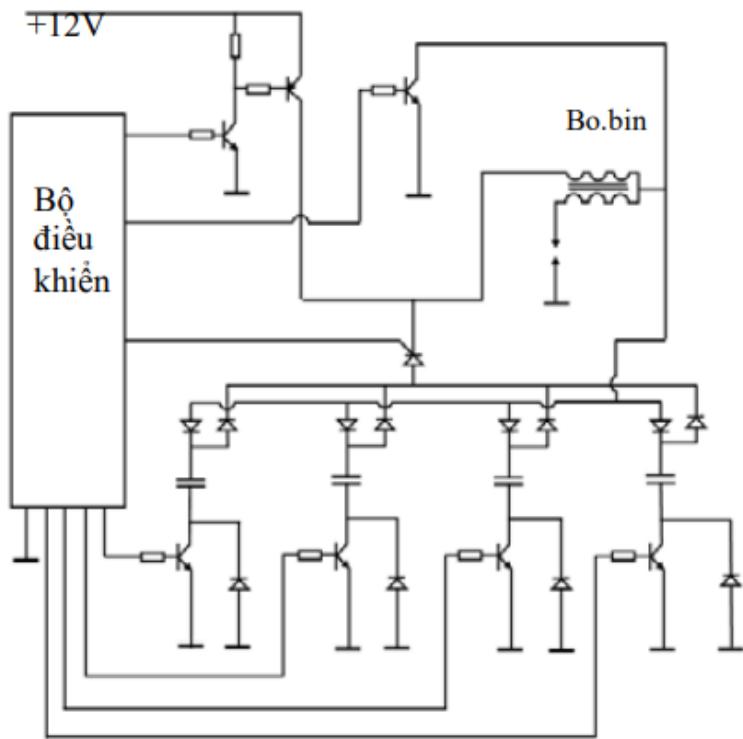
Hình 3.11. Mô hình đánh lửa lại sử dụng hai bobine riêng biệt

Mô hình đánh lửa lại sử dụng 2 bobine riêng biệt trên 3.11 có ưu điểm dễ dàng chọn từng loại bobine phù hợp cho từng loại đánh lửa điện dung hay điện cảm, tuy nhiên gặp sự khó khăn trong việc điều khiển đánh lửa.



Hình 3.12. Dạng sóng súc điện động tự cảm khi sử dụng hai bobine riêng biệt

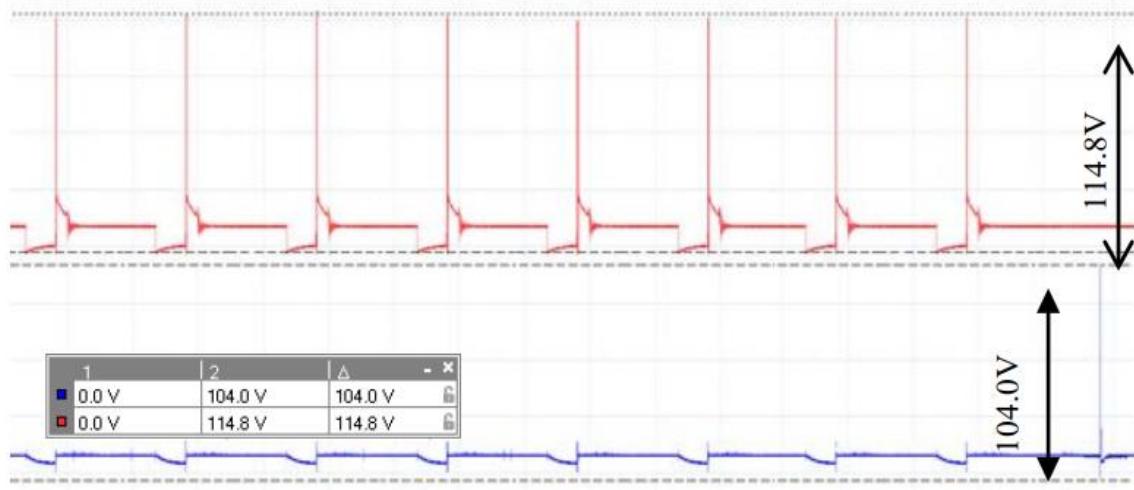
Suất điện động tự cảm trên cuộn sơ cấp đạt cực đại 116,8V, điện áp nạp vào tụ đạt cực đại 107,9V (hình 3.12).



Hình 3.13. Mô hình đánh lửa lại sử dụng một bobine

Mô hình đánh lửa lại sử dụng một bobine gặp khó khăn trong việc chọn một loại bobine đáp ứng được cho cả hai kiểu đánh lửa điện dung và điện cảm, những biện pháp này dễ

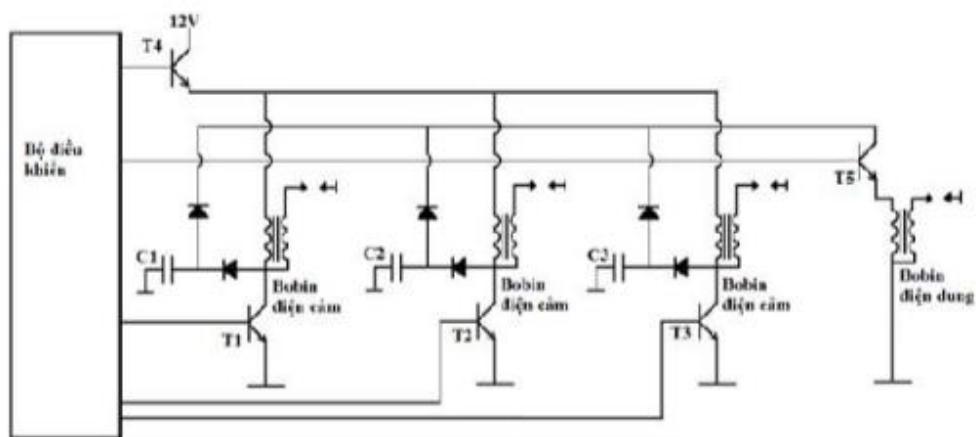
điều khiển hơn. Dạng sóng sức điện động tự cảm trên cuộn dây sơ cấp bobine được thể hiện trên hình dưới đây.



Hình 3.14. Dạng sóng sức điện động tự cảm sử dụng một bobine

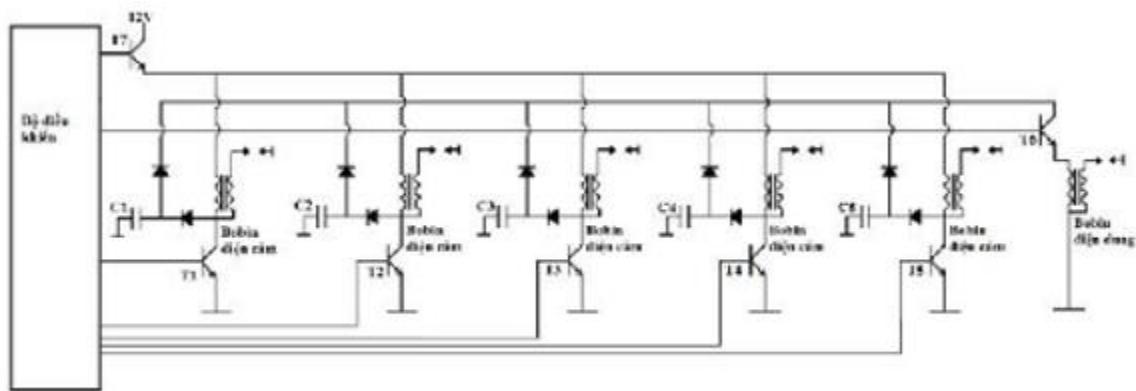
3.7. Công trình 7.

Nguyễn Tấn Ngọc cùng các cộng sự đã tính toán, mô phỏng và thực nghiệm trên mô hình đánh lửa lại dùng 4 bobine (hình 3.15) và 6 bobine (hình 3.16).



Hình 3.15. Mô hình đánh lửa lại sử dụng 4 bobine.

Mô hình đánh lửa lại sử dụng 4 bobine trong đó có 3 bobine điện cảm và 1 bobine điện dung. Bộ điều khiển lần lượt điều chỉnh đánh lửa điện cảm bằng các transistor T1, T2, T3, súc điện động tự cảm trên cuộn dây sơ cấp một phần được nạp tuần tự vào các tụ C1, C2, C3. Khi điều khiển transistor T5 hoạt động, năng lượng chứa trong các tụ C1, C2, C3, đồng thời xả điện qua bobine điện dung tạo ra tia lửa điện tại bu-gi. Nghĩa là cứ 3 lần đánh lửa điện cảm sẽ có 1 lần đánh lửa điện dung.



Hình 3.16. Mô hình đánh lửa lại sử dụng 6 bobine.

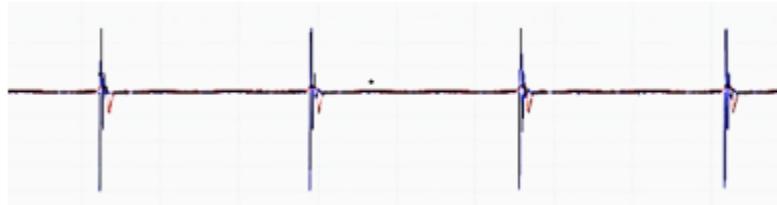
Mô hình đánh lửa lại sử dụng 6 bobine trong đó có 5 bobine điện cảm và 1 bobine điện dung, tương ứng 5 lần đánh lửa điện cảm sẽ có 1 lần đánh lửa điện dung.

Kết quả thực nghiệm trên mô hình đã chứng minh được năng lượng tích lũy đủ để tạo ra sự đánh lửa trên thực tế (hơn 45 mJ ở mô hình 4 bobine và hơn 75 mJ ở mô hình 6 bobine).

3.8. Công trình 8.

Tác giả Lê Khánh Tân cùng các cộng sự đã nghiên cứu “*Ché tạo thử nghiệm hệ thống đánh lửa kết hợp điện dung và điện cảm trên xe gắn máy*”. Đề tài đã nghiên cứu và thiết kế một hệ thống đánh lửa bao gồm hai kiểu đánh lửa riêng biệt cho động cơ với một bộ điều khiển được lập trình sẵn, ở tại từng vùng làm việc động cơ khác nhau bộ điều khiển sẽ điều khiển hệ thống đánh lửa điện dung hay hệ thống đánh lửa điện cảm để phát huy ưu điểm của từng hệ thống đánh lửa.

Khảo sát điện áp nạp tụ trực tiếp từ dạng sóng của điện áp phóng qua cuộn sơ cấp bobine. Giá trị điện áp tại đỉnh xung cao nhất đầu tiên chính là giá trị điện áp tụ nạp được trước khi phóng qua cuộn sơ cấp bobine.

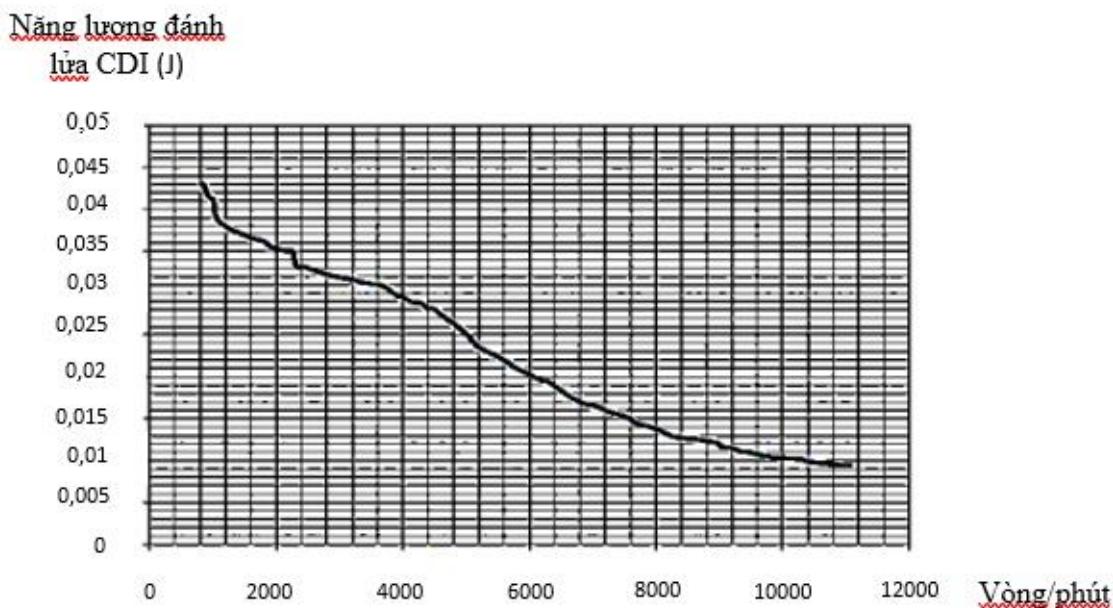


Hình 3.17. Xung điện áp đo tụ phóng qua cuộn sơ cấp bobine.

Khảo sát cấu tạo bên trong IC đánh lửa của hãng Honda, tụ điện dùng để tích năng lượng có thông số là 225K400. Tụ này có giá trị điện dung là $2.2\mu F$, điện áp là 400V

Với công thức tính năng lượng đánh lửa:

$$W = \frac{CU^2}{2}$$



Hình 3.18. Đồ thị đánh lừa điện dung thay đổi theo số vòng động cơ

Bảng 3.3. Bảng tỉ lệ hoà khí thông thường theo các chế độ tải trên động cơ đốt cháy nhiên liệu cưỡng bức.

STT	CÁC CHẾ ĐỘ LÀM VIỆC	TỈ LỆ HÒA KHÍ PHÙ HỢP
1	Khởi động lạnh 0°C	1:1
2	Khởi động 20°C	5:1
3	Cầm chừng nhanh (hâm nóng)	10:1
4	Cầm chừng	11:1
5	Tải nhỏ	12-13:1
6	Tải trung bình	16-18:1
7	Toàn tải	12-13:1
8	Tăng tốc	8:1
9	Giảm tốc	0

Tỉ lệ hoà khí trong lồng xy lanh không phải là hằng số, nó sẽ thay đổi liên tục theo các chế độ tải của động cơ.

Lượng tiêu hao nhiên liệu:

Mặc dù lượng nhiên liệu tiêu thụ đo được có phần cao hơn 0,5g nhưng quãng đường đi được cũng nhiều hơn (4294m so với 4102m) khi sử dụng kiểu đánh lửa truyền thống. Từ đây, ta tính được lượng nhiên liệu tiêu thụ trung bình trong 100km tương ứng khi sử dụng hệ thống đánh lửa kết hợp và hệ thống đánh lửa nguyên thuỷ là 1432.23g và 1487.08g. Từ đó, ta có thể kết luận rằng lượng nhiên liệu tiêu hao khi sử dụng hệ thống đánh lửa kết hợp sẽ ít hơn 55g/100km so với khi sử dụng hệ thống đánh lửa truyền thống

Mức độ khí thải:

Đối với nồng độ CO, ta thấy gần như không có sự chênh lệch đáng kể khi ta thay đổi kiểu đánh lửa. Tuy nhiên, đối với nồng độ HC thì khi sử dụng kiểu đánh lửa TI thì thấp hơn rõ rệt so với khi dùng kiểu đánh lửa CDI. Điều này có được là do thời gian tồn tại tia lửa điện cảm dài hơn so với thời gian tồn tại của tia lửa điện dung. Do đó, hoả khí sẽ cháy kiệt hơn và lượng HC thải ra do hòa khí chưa cháy hết sẽ giảm xuống.

Vì vậy việc sử dụng đúng kiểu đánh lửa sẽ mang lại nhiều hiệu quả cho động cơ và người sử dụng như tiết kiệm nhiên liệu, giảm ô nhiễm môi trường,...

3.9. Công trình 9.

Đề tài “*Mô phỏng, thử nghiệm và đánh giá thiết bị thu hồi năng lượng điện cảm trên hệ thống điện ô tô*” của tác giả Nguyễn Đỗ Minh Triết. Đề tài mô phỏng nguồn năng lượng thu được từ các xung suất điện động tự cảm ở các tốc độ động cơ khác nhau. Đồng thời thực nghiệm thu hồi năng lượng, đo kiểm nguồn năng lượng thu được vào thiết bị lưu trữ siêu tụ điện, từ đó so sánh kết quả từ thực nghiệm và mô phỏng. Kết quả hiệu suất thu hồi năng lượng từ các xung suất điện động tự cảm đạt được $11,81 \div 15,6\%$ trong mô phỏng và hiệu suất thu được từ thực nghiệm là $10,42 \div 13,32\%$. Đề tài góp phần hoàn thiện bộ thu hồi năng lượng điện cảm trên hệ thống điện ô tô. (*Đề tài được thực hiện trên mô hình động cơ Toyota 4S-FE*).

Bảng 3.4. Thông kê và so sánh nguồn năng lượng thu được và năng lượng tiêu hao.

Tốc độ động cơ (v/ph)	Năng lượng thu được từ thực nghiệm (J)	Năng lượng thu được từ mô phỏng (J)	Năng lượng tiêu hao cho hệ thống phun xăng đánh lửa (J)	Tỉ lệ thu được bằng thực nghiệm (%)	Tỉ lệ thu được bằng mô phỏng (%)	Tỉ lệ năng lượng thực nghiệm và mô phỏng (%)
900	226,84	256	2170	10,42	11,81	88,21
1200	309,35	363	2322	13,32	15,6	85,22
1500	325,97	380	2770	11,77	13,7	85,78
1800	401,44	419	3267	12,29	12,83	95,81
2100	442,76	472	3760	11,78	12,55	93,8

Kết luận:

- Trong quá trình thử nghiệm, cho thấy khi lắp đặt bộ thu hồi năng lượng lên mô hình động cơ 4S-FE động cơ hoạt động ở trạng thái ổn định và lượng năng lượng thu được cũng khá lớn so với năng lượng tiêu thụ cho thiết bị bobine, kim phun (10,42% đến 13,32%). Tuy nhiên, khi mô hình động cơ xăng 4S-FE vận hành ở tốc độ cao dẫn đến một số hư hỏng cho động cơ, như nhiệt độ động cơ tăng cao, bể két nước làm mát, ảnh hưởng tuổi thọ động cơ.
- Tỉ lệ năng lượng thực nghiệm và năng lượng mô phỏng từ 85,22 đến 95,81%, cho thấy hiệu suất nạp của bộ thu hồi năng lượng đạt hiệu quả cao.
- Dựa vào bảng số liệu thu được từ thực nghiệm và mô phỏng cho thấy, khi tốc độ động cơ tăng lên thì năng lượng thu được từ các xung suất điện động tự cảm tăng lên, tỉ lệ năng lượng thu được cao nhất với tốc độ động cơ 1200 vòng/phút và thấp nhất với tốc độ 900 vòng/phút.

3.10. Công trình 10.

Đề tài “*Thực nghiệm đánh giá khả năng tích lũy năng lượng trên hệ thống đánh lửa hybrid*” của nhóm tác giả *Huỳnh Xuân Thành, Lý Vĩnh Đạt, Đỗ Quốc Âm*. Công trình này nghiên cứu, thiết kế mạch đánh lửa lai, thử nghiệm, đánh giá khả năng tích tụ năng lượng và so sánh các thông số công suất, moment, suất tiêu hao nhiên liệu và chất lượng khí phát thải.

Tác giả đề tài đã thiết kế thành công mạch đánh lửa Hybrid trên động cơ đánh lửa trực tiếp 4 xy lanh sử dụng ba bobine điện cảm và một bobine điện dung. Hệ thống đánh lửa Hybrid có khả năng thu năng lượng từ ba bobine điện cảm để thực hiện quá trình đánh lửa cho xy lanh còn lại mà không cần chi phí thêm năng lượng cho quá trình đánh lửa điện dung.

Hệ thống đánh lửa Hybrid được lắp đặt trên động cơ thực tế 1NZ-FE của hãng Toyota. Hệ thống đánh lửa Hybrid đảm bảo khả năng vận hành ở tất cả các chế độ hoạt động của động cơ nguyên thủy.

Vùng chế độ tải 20% vị trí bướm ga, tốc độ động cơ từ 1500 – 3000 vòng/phút hệ thống đánh lửa Hybrid sinh ra công suất, moment thấp hơn và suất tiêu hao nhiên liệu có ích cao hơn so với khi sử dụng hệ thống đánh lửa nguyên thủy. Ở vùng chế độ hoạt động này hệ thống đánh lửa Hybrid gây nên hiệu quả kinh tế thấp hơn so với hệ thống đánh lửa nguyên thủy.

Vùng chế độ tải 50%, 75% và 100%, tốc độ động cơ từ 1000 – 6000 vòng/phút hệ thống đánh lửa Hybrid vẫn đảm bảo công suất, moment của động cơ tương đương hệ thống đánh lửa nguyên thủy và đạt hiệu quả kinh tế cao hơn so với hệ thống đánh lửa nguyên thủy. Tiết kiệm được 25% năng lượng đánh lửa cung cấp cho toàn bộ hệ thống đánh lửa.

Tại chế độ không tải: chất lượng khí thải khi sử dụng hệ thống đánh lửa Hybrid có phần cao hơn so với hệ thống đánh lửa nguyên thủy, tuy nhiên kết quả kiểm tra chất lượng khí thải cho thấy động cơ sử dụng hệ thống đánh lửa nguyên thủy hay hệ thống đánh lửa Hybrid đều đạt tiêu chuẩn khí thải ở mức 4 TCVN 6438:2001.

3.11. Công trình 11.

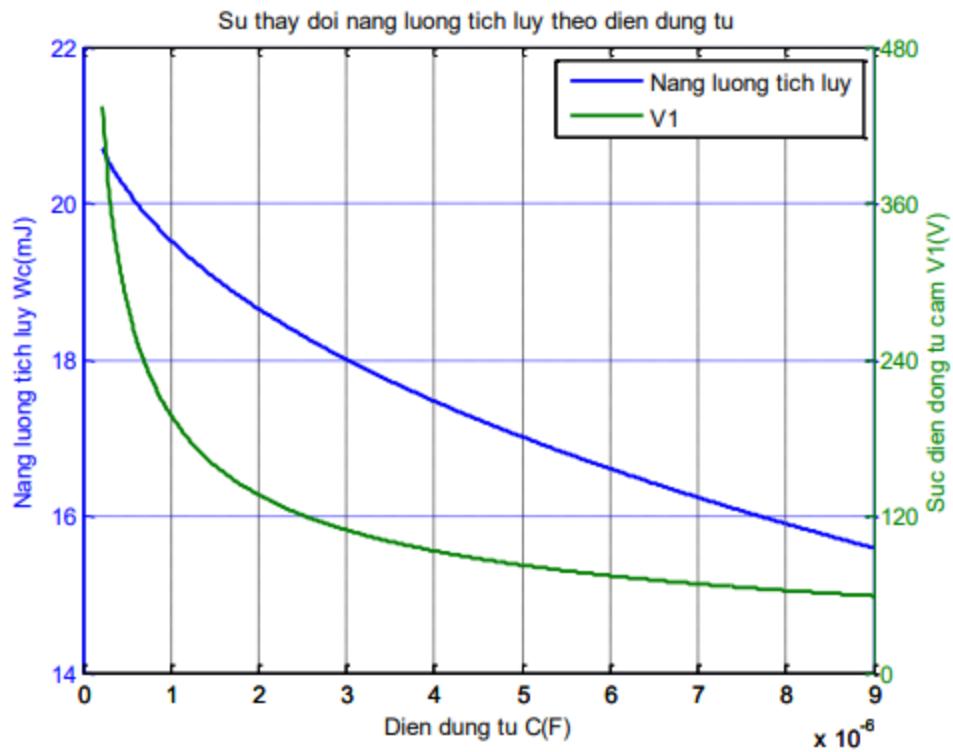
Đề tài “*Ảnh hưởng của các thông số R, L, C đến khả năng tích lũy năng lượng tự cảm trên hệ thống đánh lửa Hybrid*” của nhóm tác giả *Đỗ Văn Dũng, Đỗ Quốc Âm, Nguyễn Tân Ngọc*. Đề tài xem xét sự ảnh hưởng của các thông số điện trở, điện dung và độ tự cảm đến năng lượng tích lũy trên hệ thống đánh lửa Hybrid. Các kết quả mô phỏng và thực nghiệm xác định sự ảnh hưởng của các thông số trên đến năng lượng tích lũy, đồng thời là căn cứ để hiệu chỉnh phương trình sức điện động tự cảm và cường độ dòng sơ cấp.

Ở quá trình đánh lửa điện cảm, năng lượng đánh lửa điện cảm phụ thuộc vào hai thông số là cường độ dòng sơ cấp và độ tự cảm ($W_{dl} = \frac{I_{ng}^2 L}{2}$). Ở quá trình đánh lửa điện dung, năng lượng đánh lửa phụ thuộc vào hai thông số là điện áp trên tụ V_C (vốn phụ thuộc vào cực đại sức điện động tự cảm và thời gian nạp tụ) và điện dung tụ C ($W_C = \frac{1}{2} CV_C^2$).

Như vậy, khi thay đổi các thông số điện trở, điện dung và điện cảm, năng lượng đánh lửa điện cảm và năng lượng tích lũy cho đánh lửa điện dung đều bị thay đổi.

Khi thay đổi điện dung tụ, sức điện động tự cảm sẽ thay đổi, nhưng cường độ dòng sơ cấp lại không bị ảnh hưởng. Do đó, năng lượng đánh lửa điện cảm không thay đổi. Do thời gian nạp tụ lớn hơn thời gian nạp tụ nhiều lần nên tụ được nạp đầy với điện áp nạp tụ gần bằng sức điện động tự cảm cực đại. Năng lượng tích lũy giảm khi tăng điện dung tụ.

Đối với các hệ thống đánh lửa thông thường, năng lượng đánh lửa yêu cầu là 15 mJ. Tuy nhiên để tăng thời gian duy trì tia lửa trên bu-gi và tính các tổn thất trên hệ thống thì năng lượng đánh lửa vào khoảng 30 mJ ÷ 50 mJ. Theo mô phỏng ở hình 3.19, năng lượng tích lũy trên một tụ thấp nhất là 15,9 mJ ở tụ có điện dung $C = 9 \mu F$ và cao nhất là 20,7 mJ ở tụ có điện dung $C = 0,22 \mu F$.



Hình 3.19. Thay đổi năng lượng tích lũy trên tụ khi thay đổi điện dung tụ từ $0,22 \mu F - 9 \mu F$

Như vậy, năng lượng tích lũy trên một tụ cao hơn mức tối thiểu để hệ thống đánh lửa hoạt động. Khi sử dụng hệ thống Hybrid trên động cơ bốn xy lanh, có ít nhất ba tụ được sử dụng nên năng lượng tích lũy sẽ lên đến ít nhất là 45 mJ, vượt nhiều lần mức năng lượng tối thiểu cần thiết để đánh lửa.

3.12. Công trình 12.

Đề tài “*Dánh giá khả năng tích lũy năng lượng tự cảm trên hệ thống đánh lửa lai*” của tác giả Nguyễn Tấn Ngọc. Nội dung đề tài tập trung vào đánh giá khả năng tích lũy năng lượng điện cảm trên hệ thống và khảo sát các yếu tố liên quan.

Kết luận:

- Hệ thống đánh lửa lai hỗn hợp điện dung – điện cảm được đề xuất có khả năng thu hồi sức điện động tự cảm sinh ra ở cuộn sơ cấp (chế độ đánh lửa điện cảm) và tận dụng năng

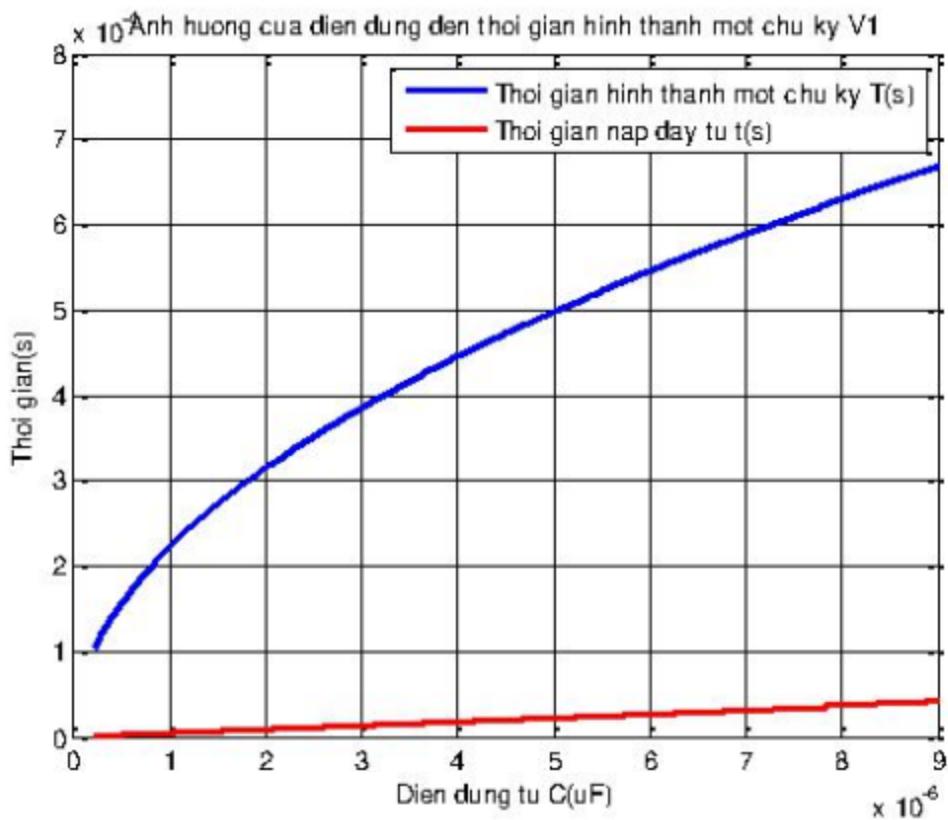
lượng này cho lần đánh lửa sau (chế độ đánh lửa điện dung). Tụ điện trong hệ thống có công dụng bảo vệ Transistor công suất và thu hồi năng lượng tụ cảm “thừa” trên hệ thống.

- Với mô hình đánh lửa lai hỗn hợp điện dung – điện cảm tác giả đã trình bày, việc điều khiển số lần nạp tụ, số tụ tham gia quá trình tích lũy năng lượng tụ cảm, chế độ đánh lửa hoàn toàn có thể điều chỉnh được, điều này làm tăng thích ứng với các động cơ khác nhau.
- Mô hình đánh lửa tác giả đã khảo sát chứng minh việc sử dụng nhiều tụ điện tích trữ sức điện động tụ cảm vẫn đảm bảo tích trữ đủ năng lượng cho lần đánh lửa sau.
- Với mô hình đánh lửa sử dụng bốn bobine, cứ 3 lần đánh lửa điện cảm sẽ có 1 lần đánh lửa điện dung. Với mô hình đánh lửa sử dụng sáu bobine, cứ 5 lần đánh lửa điện cảm sẽ có 1 lần đánh lửa điện dung. Như vậy ta tiết kiệm được $1/4$ năng lượng đánh lửa ở mô hình đánh lửa sử dụng bốn bobine và $1/6$ năng lượng đánh lửa ở mô hình đánh lửa sử dụng sáu bobine.

3.13. Công trình 13.

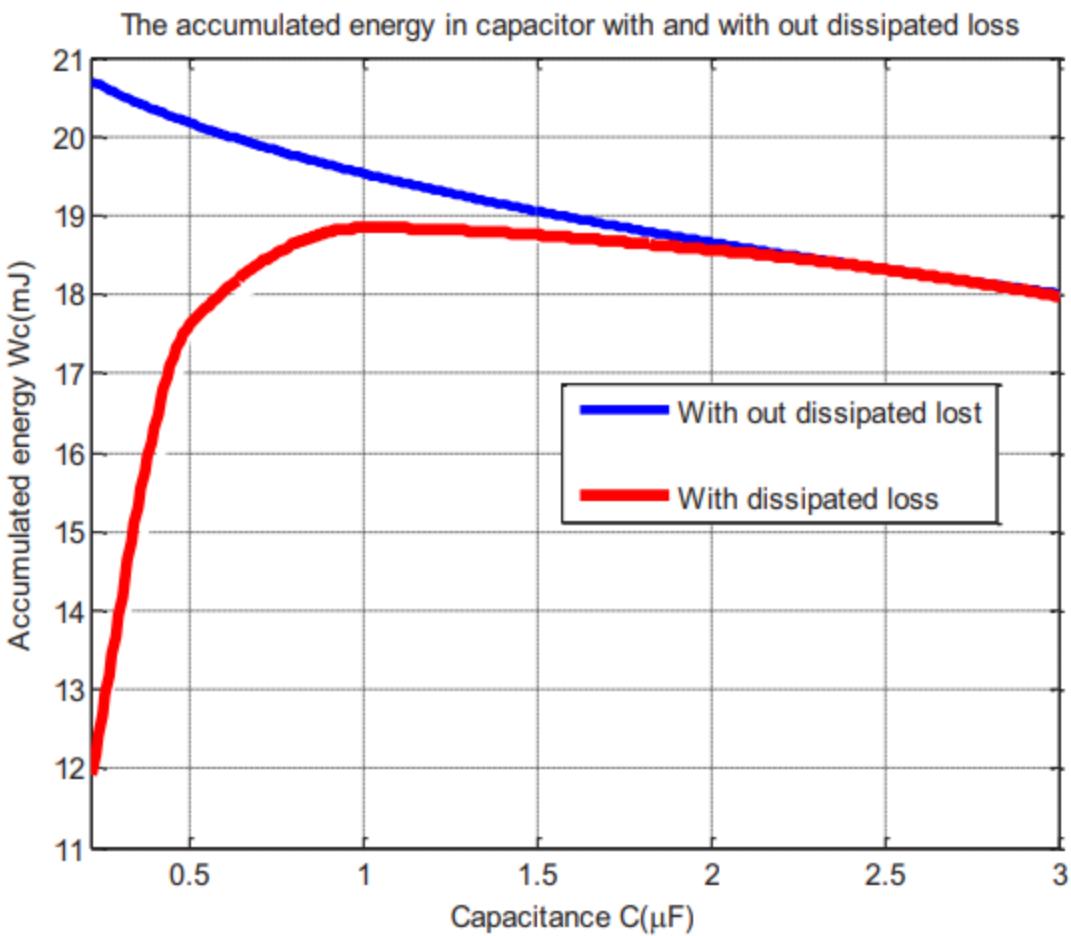
Bài báo “*Ước tính khả năng tích lũy năng lượng trong hệ thống đánh lửa lai*” của nhóm tác giả *Đỗ Quốc Ám, Đỗ Văn Dũng, Nguyễn Tân Ngọc*. Trong bài báo này, tác giả nghiên cứu và phân tích khả năng tiết kiệm năng lượng trong hệ thống đánh lửa lai. Các mô hình làm việc tác giả nghiên cứu ở đây là mô hình đánh lửa hybrid của động cơ 4 xy lanh, có hai giai đoạn đánh lửa riêng biệt: giai đoạn đánh lửa điện cảm và giai đoạn đánh lửa điện dung. Kết quả cho thấy năng lượng tích lũy được lưu trong các tụ điện là đủ cho giai đoạn đánh lửa điện dung. Tần số dao động được thu thập trong động cơ thông qua máy dao động ô tô PicoScope 4425 và được mô phỏng bởi Matlab để xác định ảnh hưởng của điện trở, điện dung và tụ cảm lên hệ thống đánh lửa lai.

Bài viết này phân tích năng lượng tích lũy được lưu trữ trên hệ thống đánh lửa lai trong cả mô hình và thử nghiệm. Hai yếu tố quyết định của năng lượng tích lũy là hằng số thời gian và điện áp được cung cấp. Hình 3.20 cho thấy các tụ điện được sạc đầy vì thời gian sạc là lớn hơn nhiều so với hằng số thời gian tối đa.



Hình 3.20. Thời gian sạc thực tế và thời gian sạc đầy của tụ điện khi tăng điện dung từ $0,22\mu F$ lên $9\mu F$.

Điều đó dẫn đến kết luận rằng điện áp cung cấp $V_c = 99\% V_{cung cấp}$. Hình 3.21 cho thấy năng lượng tích lũy cao nhất là 18,84 mJ tại $C = 1\mu F$.



Hình 3.21. Mô phỏng năng lượng tích lũy khi không có tổn thất và có tổn thất.
 Kết quả thí nghiệm từ đánh lửa lai bốn xi lanh hệ thống được mô tả trong bảng 3.5, 3.6 và
 hình 3.22, 3.23.

Bảng 3.5. Kết quả thực nghiệm thông qua điện áp trên động cơ bốn xi lanh

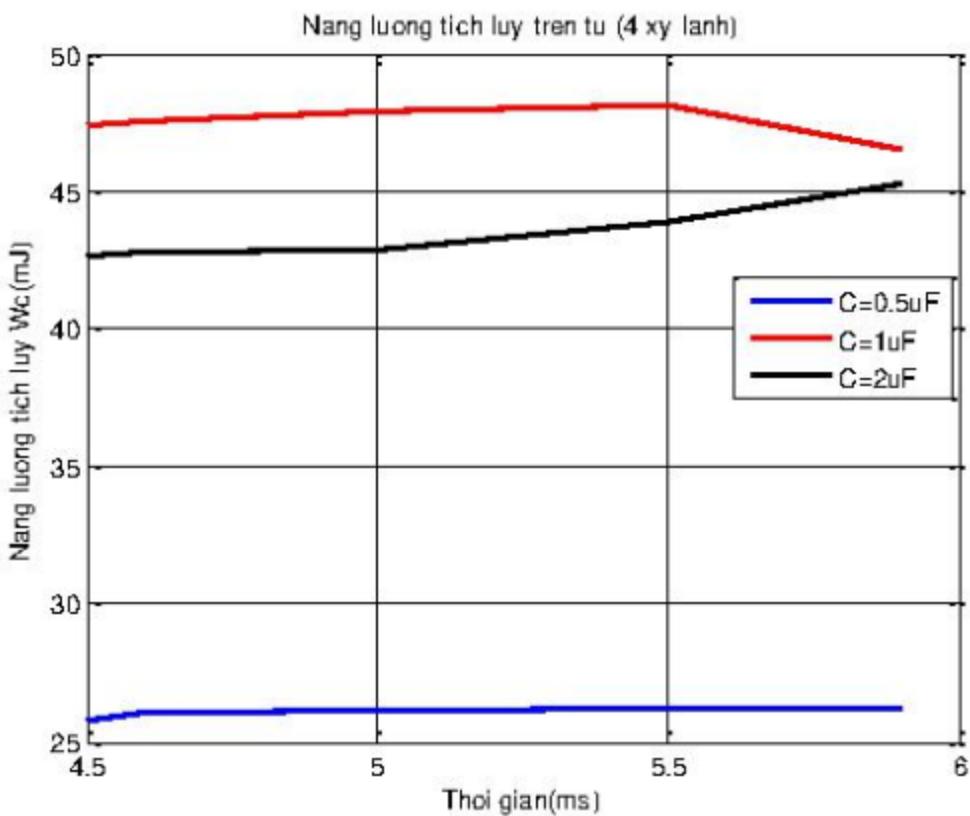
t_{ng} (ms)	Điện áp cung cấp (V)		
	Tụ điện 1	Tụ điện 2	Tụ điện 3
5.9	170.1	178.5	179.5
5.5	173	181.7	182.7
5	172.5	181.3	182.1
4.6	171.9	180.6	181.6
4.5	171.6	180.1	181.6

Bảng 3.6. Kết quả thực nghiệm năng lượng được tích lũy trên động cơ bốn xy lanh

t_{ng} (ms)	W _C một tụ (mJ)			W _C tổng (mJ)
	Tụ điện 1	Tụ điện 2	Tụ điện 3	
5.9	14.47	15.93	16.11	46.51
5.5	14.96	16.51	16.69	48.16
5	14.89	16.43	16.58	47.9
4.6	14.77	16.31	16.49	47.57
4.5	14.72	16.22	16.49	47.43



Hình 3.22. Điện áp trên tụ mô hình bốn xy lanh



Hình 3.23. So sánh năng lượng tích lũy ở chế độ bốn xy lanh trên thực nghiệm.

Năng lượng đánh lửa trong giai đoạn tự cảm là không bị ảnh hưởng bởi điện dung nên hybrid hệ thống đánh lửa có thể hoạt động tốt trong cả hai giai đoạn đánh lửa điện cảm – đánh lửa điện dung. Sự khác biệt giữa mô phỏng và thử nghiệm kết quả không vượt quá 15%. Các nghiên cứu trong hệ thống đánh lửa chứng minh rằng cần thiết năng lượng đánh lửa ít nhất là 30 mJ đến 50 mJ. Năng lượng tích lũy trong đánh lửa lai bốn xy lanh hệ thống đang chạy trong khoảng 46,51 mJ đến 48,16 mJ (bảng 3.6). Điều này đảm bảo rằng hệ thống đánh lửa lai có thể hoạt động một cách bình thường.

3.14. Công trình 14.

Bài báo “*Nghiên cứu thực nghiệm hệ thống đánh lửa lai bobine đôi trên động cơ đốt trong*” của nhóm tác giả *PGS-TS. Đỗ Văn Dũng, Phan Văn Tuấn*. Sau khi nghiên cứu và thực nghiệm, tác giả đã thiết kế được hệ thống đánh lửa lai, đó là sự kết hợp giữa hệ thống đánh lửa điện dung và đánh lửa điện cảm. Hiệu quả của hệ thống: Tiết kiệm nhiên liệu, giảm thiểu ô nhiễm môi trường và đặc biệt là giá thành sản phẩm thấp so với các hệ thống đánh lửa ngày nay.

Kết quả thực nghiệm:

- *Kết quả thực nghiệm điện áp nạp tụ.*

Thời gian nạp tụ phụ thuộc rất nhiều yếu tố như:

- Giá trị của tụ bao nhiêu.
- Tốc độ động cơ nhanh hay chậm.
- Nguồn điện sau quá trình đánh lửa thứ nhất là bao nhiêu Volt.
- Giá trị của tụ không được lớn quá nhưng cũng không được nhỏ quá.

Giá trị của tụ nhỏ thì về phương diện lý thuyết thì dù tốc độ thấp hay tốc độ cao của động cơ đều đảm bảo được điện áp nạp tụ. Tuy nhiên giá trị tụ nhỏ lại không đảm bảo về năng lượng đánh lửa. Giá trị của tụ lớn thì đảm bảo năng lượng đánh lửa nhưng ở tốc độ cao thì dòng nạp tụ không đảm bảo đủ cho tụ nén năng lượng đánh lửa yếu dẫn đến thời gian tồn tại tia lửa ở các bu-gi CDI sẽ ngắn và yếu.

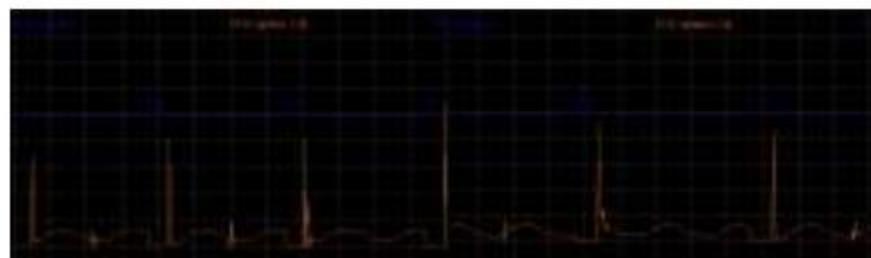
Qua rất nhiều các thí nghiệm cũng như các thuật toán lập trình thì tìm ra được tụ có giá trị là $1.55 \mu F$, và thuật toán lập trình như sau.

Trước hết vi điều khiển nhận tín hiệu IGT1 và vi điều khiển sẽ kích hoạt cho transistor dẫn bảo hòa. Khi hết tín hiệu IGT1 là quá trình đánh lửa điện cảm. Hết quá trình đánh lửa điện cảm là quá trình nạp cho tụ. Tuy nhiên thời gian nạp này không đủ nên tiếp tục delay một khoảng thời gian là 150 micro giây (con số này cũng chỉ là tính toán dựa trên cơ sở thời gian nạp tụ), với thời gian này thì hoàn toàn tụ sẽ được nạp đầy. Khi có tín hiệu lửa IGT2 thì vi điều khiển tiếp nhận. Nếu vi điều khiển kích SCR lúc này tụ sẽ xả qua SCR và qua cuộn đánh lửa thứ hai. Như vậy bản chất hai máy đánh lửa CDI sẽ là đánh lửa sớm

còn hai máy đánh lửa TI là đúng thời điểm, như vậy là hoàn toàn sai. Để khắc phục điều này thì thuật toán lập trình như sau. Khi có tín hiệu IGT2 thì vi điều khiển tiếp nhận khi hết tín hiệu IGT2 thì mới kích hoạt SCR để tự xả. Với cách lập trình này cùng với khoảng thời gian delay phù hợp thì quá trình đánh lửa được đảm bảo, và dưới đây là hình ảnh quá trình nạp tụ theo tốc độ động cơ ở các vòng tua, qua đó bằng phương pháp đồ thị xây dựng một đồ thị thể hiện điện áp nạp theo tốc độ động cơ.



Hình 3.24. Hình ảnh thẻ hiện điện áp nạp vào tụ ở tốc độ 800 v/p
1- tín hiệu điện áp nạp tụ; 2 - Tín hiệu IGT1



Hình 3.25. Hình ảnh thẻ hiện điện áp nạp vào tụ ở tốc độ 1500 v/p
1- Tín hiệu điện áp nạp tụ; 2 - Tín hiệu IGT1



Hình 3.26. Hình ảnh thể hiện điện áp nạp vào tụ ở tốc độ 2000 v/p
1- Tín hiệu điện áp nạp tụ; 2 - Tín hiệu IGT1



Hình 3.27. Hình ảnh thể hiện điện áp nạp vào tụ ở tốc độ 2500 v/p
1 - Tín hiệu điện áp nạp tụ; 2 - Tín hiệu IGT1



Hình 3.28. Hình ảnh thể hiện điện áp nạp vào tụ ở tốc độ 3000 v/p
1 - Tín hiệu điện áp nạp tụ; 2 - Tín hiệu IGT1

Trên hình thể hiện xung điện áp của tín hiệu đánh lửa ở đường thứ 2 còn đường thứ 1 là điện áp nạp vào tụ. Điện áp nạp vào tụ có giá trị khoảng 270V đến 280V ở tốc độ cầm chừng 800v/p. Như vậy dựa vào biểu đồ ta thấy thời gian nạp vào tụ là hoàn toàn đủ cho tới khi có tín hiệu đánh lửa tiếp theo.

Khi có tín hiệu đánh lửa tiếp theo thì tụ xả rất nhanh đồng thời có dòng nhiễu, dòng nhiễu này do quá trình đánh lửa CDI ảnh hưởng lên cuộn sơ cấp của TI nên trên biểu đồ thể hiện dòng nhiễu trên đường thứ nhất của điện áp nạp. Hình 3.26 thể hiện tốc độ 2000v/p lúc này điện áp nạp giảm xuống khoảng 180V đến 200V.

Như vậy khi tốc độ động cơ tăng lên thì điện áp nạp của tụ sẽ giảm xuống do thời gian nạp của tụ ngắn lại. Để giải quyết vấn đề này tác giả đã đưa ra hai phương pháp.

- Giảm thời gian ngậm lửa của IGT1 để bù cho thời gian nạp tụ khi tốc độ động cơ cao, điều này nhận biết được dựa vào tín hiệu Ne+, Ne-.

- Dùng tín hiệu IGT2 kích hoạt SCR sớm hơn khi kết thúc IGT2, ở tốc độ cầm chừng thì dòng kích sẽ diễn ra vào thời điểm sườn sau IGT2.

Tuy nhiên để đảm bảo được thời điểm đánh lửa thì sườn sau TI và sườn đầu CDI phải đều nhau.

Hình 7 thể hiện tốc độ động cơ 3000v/p thì dòng nạp cũng có giảm xuống khoảng 160V đến 180V.

Qua các bảng thực nghiệm trên ta xây dựng được bảng số liệu sự phụ thuộc của dòng nạp so với tốc độ động cơ như sau:

Bảng 3.7. Bảng số liệu sự phụ thuộc của dòng nạp so với tốc độ động cơ.

Tốc độ (Vòng/phút)	800	1000	1200	1500	1700	2000	2500	3000
Điện áp nạp tụ (V)	275	250	240	220	200	190	180	170

Các số liệu trên bảng mang tính ước lượng dựa vào hình ảnh thu được ở máy đo oscilloscope, ở các vòng tua hiển thị trên đồng hồ tần số của mô hình. Số liệu cũng mang tính tương đối do sai số trong quá trình thao tác và chụp hình ảnh từ màn hình máy oscilloscope đồng thời sự đáp ứng của máy khi chụp ở các xung điện áp tạo ra quá nhanh nên sẽ không bắt được các điểm điện áp phù hợp với yêu cầu của tác giả cần. Vì vậy các số liệu chưa được sát với lúc quan sát hình ảnh của xung.

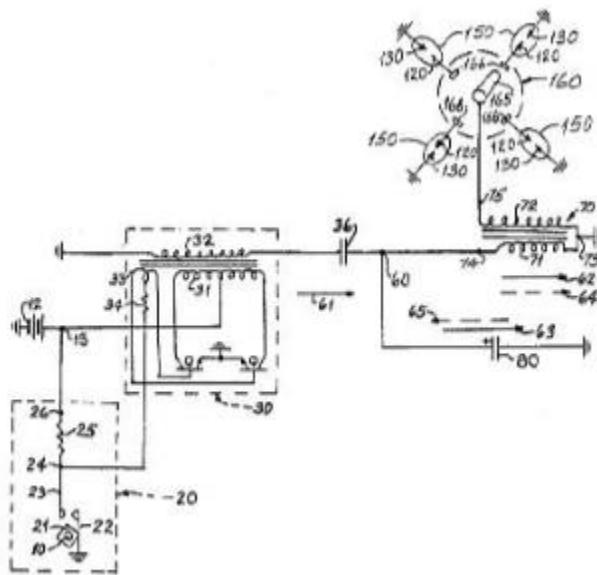
➔ Kết luận: Mạch điện hệ thống đánh lửa lai có thể được ứng dụng vào giảng dạy lý thuyết và thực hành tại các trường dạy nghề, cao đẳng hoặc đại học chuyên ngành công nghệ ô

tô. Đồng thời nghiên cứu này cũng là tài liệu giúp cho việc nghiên cứu chế tạo các mô hình dạy học sau này mang tính thực tế cao hơn. Cao hơn nữa là sẽ hoàn thiện đầy đủ các thông số cũng như tiến hành nhiều thí nghiệm cần thiết để ráp lên trên xe ô tô.

CHƯƠNG 4: CÁC CÔNG TRÌNH NGHIÊN CỨU NGOÀI NƯỚC

4.1. Công trình 1.

Công trình “*Hệ thống đánh lửa nạp xả với chu kỳ điện dung điện cảm*” của tác giả *Martin E.Gerry*.



Hình 4.1. Sơ đồ hệ thống đánh lửa với chu kỳ điện dung điện cảm

Hệ thống bao gồm một bộ biến áp có cuộn sơ cấp mắc song song với tụ điện (tụ 80) và được cấp một xung điện xoay chiều liên tục trong một chu kỳ đánh lửa, làm cho tụ điện phóng nhiều lần qua cuộn sơ cấp. Việc phóng nạp liên tục của tụ giúp tạo ra nhiều xung điện áp cao thế ở cuộn thứ cấp trong một chu kỳ đánh lửa.

Ấc - quy 12 cung cấp dòng điện đến tiếp điểm 21 và cuộn dây 31 của mạch tạo nguồn AC 30, cuộn dây 32 cung cấp điện áp đến cuộn sơ cấp 71 và tụ điện 80. Khi tiếp điểm 21 đóng, dòng chạy từ nguồn 12 đến cuộn dây 31, không có dòng chạy trong cuộn dây 32. Khi tiếp điểm 21 ngắt, dòng AC sinh ra ở cuộn 32 cấp cho cuộn sơ cấp 71 và tụ điện 80.

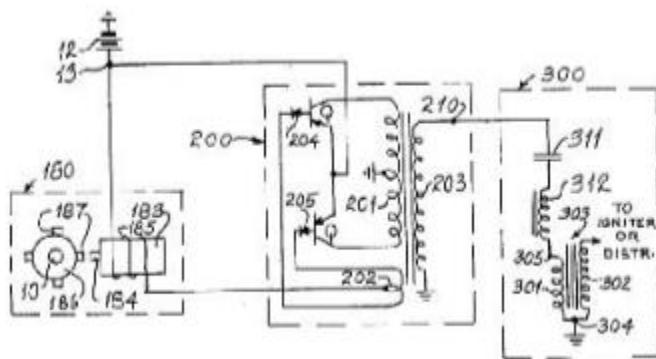
Tụ điện được sạc đầy và rất nhanh trong khoảng thời gian từ t_0 đến t_1 , trong khoảng thời gian từ t_1 đến t_2 tiếp theo, tụ điện phóng điện qua cuộn sơ cấp 71, trong khoảng từ t_2 đến t_3 tụ tiếp tục được sạc và tiếp tục phóng điện trong khoảng thời gian từ t_3 đến t_4 . Tiếp

tục như vậy, trong một chu kỳ đánh lửa, tụ điện phóng nhiều lần qua cuộn sơ cấp, có thể làm thay đổi từ thông đến 60 lần thay vì chỉ một lần trong các hệ thống thông thường.

Hệ thống này chỉ sử dụng có một tiếp điểm là tiếp điểm 21 nên giảm tổn thất năng lượng. Đồng thời trong một chu kỳ đánh lửa, tụ phỏng nạp liên tục lên cuộn sơ cấp 71 giúp tăng năng lượng đánh lửa và tạo ra nhiều xung điện áp cao liên tục trên cuộn thứ cấp.

4.2. Công trình 2.

Công trình “*Hệ thống đánh lửa nạp xả điện dung, điện cảm điều biến*” của tác giả *Martin E.Gerry*.



Hình 4.2. Sơ đồ hệ thống đánh lửa nạp xả điện dung điện cảm điều biến

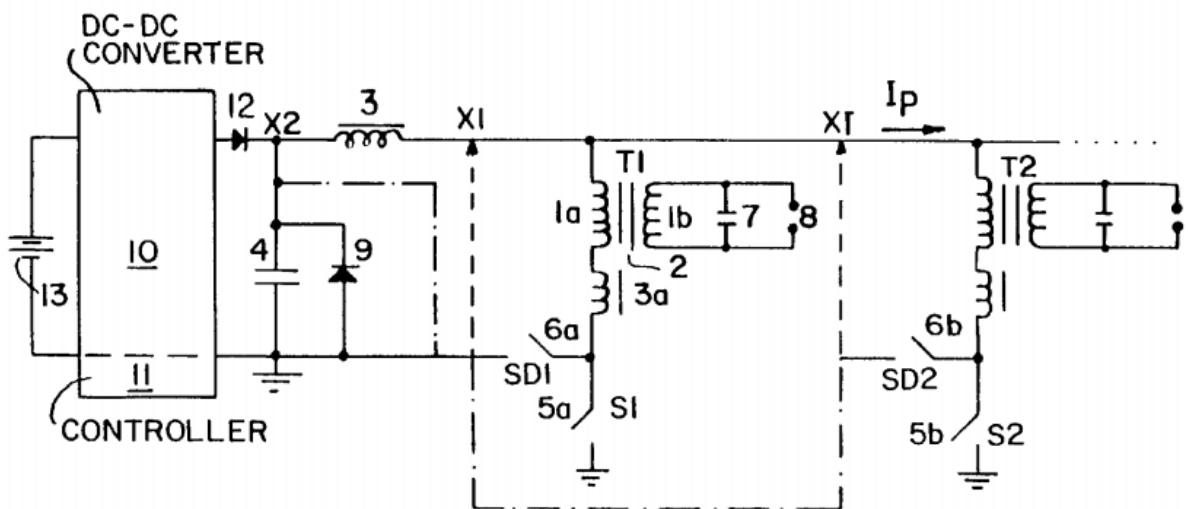
Hệ thống bao gồm mạch nguồn AC 200 cấp điện liên tục cho bộ biến áp có cuộn sơ cấp mắc nối tiếp với tụ điện trong một chu kỳ đánh lửa, làm cho tụ điện phóng nhiều lần qua cuộn sơ cấp. Mạch nguồn AC được điều khiển bởi mạch tạo xung 180, qua đó thay đổi được biên độ của dòng điện đầu ra.

Các bộ phận của hệ thống: Ấc quy 12, mạch tạo xung 180, mạch nguồn AC 200, mạch bobine 300. Mạch tạo xung 180 bao gồm cuộn dây 185 quấn quanh nam châm 183 và bánh răng 186 được dẫn động từ động cơ. Mạch tạo xung 180 phát tín hiệu cho transistor 204 và 205 của mạch nguồn AC 200. Mỗi transistor điều khiển dòng luân phiên đi qua nửa cuộn sơ cấp 201. Dòng ra cuộn 200 có dạng xung vuông. Ở mạch bobine 300, tụ 311 được gắn nối tiếp với cuộn tích 312; cuộn tích 312 nối tiếp với cuộn sơ cấp 301. Cuộn tích 312 được nạp rất nhanh và là nguồn cung cấp năng lượng cho cuộn sơ cấp 301.

Hệ thống này có cuộn sơ cấp được tích điện rất nhanh, mạch bobine được nạp xả nhanh chóng mà không cần có thêm bộ phận điều khiển và dòng điện được phóng nhiều lần qua cuộn sơ cấp làm tăng năng lượng đánh lửa.

4.3. Công trình 3.

Công trình: “*Hệ thống đánh lửa hybrid với cuộn dây cân bằng điện áp*” của nhóm tác giả Michael A. V. Ward, Lexington



Hình 4.3. Sơ đồ mạch điện của hệ thống đánh lửa Hybrid cho động cơ nhiều xy lanh với một lần xả.

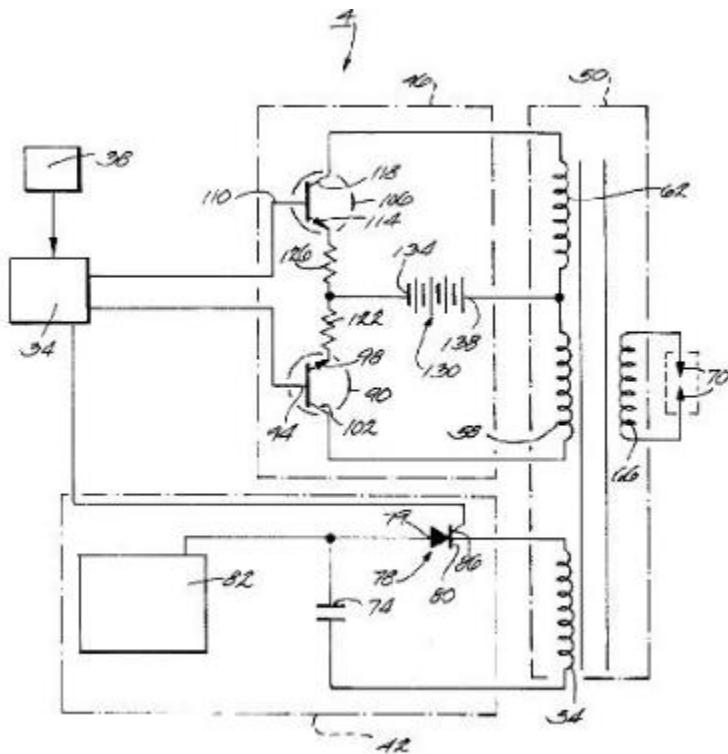
Một hệ thống đánh lửa điện dung/cảm ứng lai với hiệu suất năng lượng cao được cải thiện với cuộn dây T_1 cho động cơ đốt trong, sử dụng một hoặc nhiều tụ lưu trữ năng lượng được tiến hành bằng cách sử dụng nhiều diode. Với các cuộn dây có độ rò rỉ năng lượng cao, cuộn dây T_1 có cuộn dây sơ cấp và thứ cấp đặt cạnh nhau, một công tắc đơn hướng Si cho mỗi cuộn T_1 , và diode. công tắc phân dòng hiệu quả cao cho mỗi cuộn T_1 làm ngắt cuộn dây chính của mỗi cuộn T_1 , do đó, theo sau một tia lửa điện dung chu kỳ đầu tiên với dòng điện cực đại trong phạm vi phóng điện hồ quang 0,2 đến 3 amp.

Hệ thống đánh lửa phóng điện dung (CDI) hiện tại không đạt hiệu quả cao, với hiệu suất thường từ 15% đến 25% và thường chỉ cung cấp 20mJ đến 30mJ năng lượng tia lửa trên

mỗi xung đánh lửa đơn, trong khi các giả thuyết chỉ ra một yêu cầu trên 100 mJ năng lượng cho một lần đánh lửa cho động cơ mới đạt hiệu suất tốt nhất. Ngoài ra, cuộn dây đánh lửa CDI thường, cuộn dây sơ cấp và thứ cấp đồng tâm để cho độ tự cảm rò rỉ tương đối cao. Điều đó góp phần làm cho hiệu suất của quá trình đánh lửa không được cao so với hệ thống đánh lửa Hybrid sử dụng cuộn dây cân bằng điện áp.

4.4. Công trình 4.

Công trình “*Hệ thống đánh lửa hỗn hợp trên động cơ đốt trong*” của tác giả *Michael. J. French và Matthew Joseph Edwards*.



Hình 4.4. Sơ đồ nguyên lý đánh lửa Hybrid trên động cơ đốt trong.

Hệ thống sử dụng biến áp đánh lửa gồm ba cuộn sơ cấp 54, 58, 62; ECU (bộ điều khiển) 34 điều khiển cặp transistor đồng bộ với mạch nạp và xả tụ 82 để kéo dài thời gian tạo tia lửa.

Tụ 74 có thể được sạc bằng bất kỳ nguồn nào trên xe, ví dụ như lấy nguồn từ ác-quy, máy phát...

Bộ phát điện xoay chiều 46 bao gồm hai transistor 90 và 106 được điều khiển bởi ECU 34. Khi hoạt động, tụ 74 được sạc xấp xỉ 300 V. Khi đến thời điểm đánh lửa, ECU 34 phát tín hiệu cho SCR 78 hoạt động, tụ 74 sẽ phóng điện qua cuộn sơ cấp 54, làm xuất hiện tia lửa đầu tiên trên bu-gi. Sau đó, ECU điều khiển cặp transistor 90 và 106 đóng ngắt dòng qua cuộn 58 và 62 để tiếp tục tạo tia lửa trên bu-gi. Các transistor được điều khiển đồng bộ với mạch nạp và xả tụ để tạo tia lửa đủ sức đốt cháy hòa khí.

Hệ thống này có thể điều khiển dễ dàng với ECU. Kéo dài thời gian xuất hiện tia lửa trên bu-gi, qua đó làm tăng hiệu suất của động cơ.

CHƯƠNG 5: KẾT LUẬN - KIẾN NGHỊ

5.1. Kết luận

Qua quá trình thực hiện đồ án, chúng tôi đã tìm hiểu về cơ sở lý thuyết của năng lượng điện cảm trên ô tô, và tầm quan trọng của việc xử lý và tận dụng triệt để nguồn năng lượng này. Kết hợp với tham khảo các đề tài trong và ngoài nước về việc thu hồi và sử dụng nguồn năng lượng này một cách hợp lý.

Tụ điện trong hệ thống đánh lửa điện cảm – điện dung ngoài công dụng bảo vệ transistor công suất còn có chức năng thu hồi năng lượng tự cảm “thừa” trên hệ thống.

Các đề tài nghiên cứu về năng lượng điện cảm trên ô tô trong và ngoài nước đa phần là nghiên cứu về hệ thống đánh lửa hybrid, và tận dụng năng lượng điện cảm sử dụng cho các thiết bị tải gián đoạn. Nơi mà năng lượng dư thừa xuất phát từ bobine và kim phun là lớn nhất, những nguồn năng lượng phát ra từ relay, và các van điện tử thì lại quá nhỏ dẫn đến gặp khó khăn trong quá trình thu hồi và lưu trữ. Điều đó dẫn đến một nhược điểm là chúng ta vẫn chưa khai thác được hết nguồn năng lượng điện cảm dư thừa này trên ô tô.

5.2. Kiến nghị

Do hạn chế về thời gian nên đề tài chỉ dừng lại ở việc khai thác, tìm hiểu những công trình nghiên cứu có liên quan đến nguồn năng lượng điện cảm trên ô tô trong và ngoài nước chứ chưa thể đi sâu vào giải quyết vấn đề làm sao để có thể thu hồi và tái sử dụng triệt để những nguồn năng lượng đó, tránh cho việc gây ra những hư hỏng lên các thiết bị điện khác, và làm nhiễu các tín hiệu sóng điện từ trên ô tô.

Sử dụng nguồn năng lượng thu được vào mô đun siêu tụ một cách hợp lý, chọn thiết bị phụ tải phù hợp để cung cấp. Ứng dụng điều khiển điện tử hiện đại để tối ưu hóa việc sử dụng năng lượng thu hồi được.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Tiếng Việt:

- [1] PGS.TS Đỗ Văn Dũng, Điện động cơ và điều khiển động cơ, NXB Đại học Quốc gia Tp.HCM, 2013.
- [2] Đỗ Quốc Âm, Đỗ Văn Dũng, Phan Nguyễn Quý Tâm và Lê Khánh Tân, “Tính toán sức điện động tự cảm trên hệ thống đánh lửa lai,” Tạp chí giáo dục khoa học kỹ thuật, tập 32, pp. 8-12, 2015.
- [3] Nguyễn Tân Ngọc, Đỗ Văn Dũng và Đỗ Quốc Âm, “Đánh giá khả năng tích lũy năng lượng tự cảm trên hệ thống đánh lửa lai,” 2016.
- [4] Đỗ Quốc Âm, Đỗ Văn Dũng, Lê Khánh Tân và Phan Nguyễn Quý Tâm, “Nghiên cứu mô hình đánh lửa Hybrid,” *Kỷ yếu hội nghị khoa học và công nghệ toàn quốc về cơ khí lần IV*.
- [5] Lê Khánh Tân, Đỗ Văn Dũng và Đỗ Quốc Âm, “Chế tạo thử nghiệm hệ thống đánh lửa kết hợp điện dung và điện cảm trên xe gắn máy,” Tạp chí giáo dục khoa học kỹ thuật, tập 27, pp. 30-37, 214.
- [6] Phan Nguyễn Quý Tâm, Đỗ Văn Dũng và Đỗ Quốc Âm, Nguyễn Bá Hải “Nghiên cứu, thi công hệ thống tích lũy năng lượng điện cảm kháng trên ô tô” ,” Tạp chí giáo dục khoa học kỹ thuật, tập 32, 2015.

Tiếng Anh:

- [7] N. Tesla, "Electrical Igniter for Gas Engines". US Patent 609,250, 16 8 1898.
- [8] Gerry, "Inductive-capacitive modulated ignition system". US Patent 65,891, 13 8 1979.
- [9] Gerry, "Inductive-capacitive cyclic charge-discharged ignition system". US Patent 112,714, 16 1 1980.
- [10] Do Van Dung, Do Quoc Am and Nguyen Tan Ngoc, "Effects of resistance, capacitance and self-inductance on accumulated energy in the Hybrid ignition system," ICSSE, 2017.

Website:

<https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp>

<http://thuvienso.hcmute.edu.vn/>

<https://scholar.google.com/>

<http://www.stinet.gov.vn/>

Link Drive các đê tài trong và ngoài nước:

https://drive.google.com/drive/folders/1kOg9OtHgo6t9gvs2PsXxIhTKn1NvDqSG?fbclid=IwAR1GhvrSiVB1cjhDNDsxRoPRKcYjUmfYTuD4FtJiwM4Tx_ruEcLYSc2GI0

