

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

ĐỖ QUỐC ÁM

**NGHIÊN CỨU, TÍNH TOÁN, CHẾ TẠO HỆ THỐNG ĐÁNH LỬA HỖN HỢP
ĐIỆN DUNG- ĐIỆN CẢM SỬ DỤNG BO-BIN ĐƠN**

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

Tp Hồ Chí Minh, tháng 11/ năm 2020

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

ĐỖ QUỐC ẨM

**NGHIÊN CỨU, TÍNH TOÁN, CHẾ TẠO HỆ THỐNG
ĐÁNH LỬA HỖN HỢP ĐIỆN DUNG- ĐIỆN CẢM
SỬ DỤNG BO-BIN ĐƠN
NGÀNH: KỸ THUẬT CƠ KHÍ- 9520103**

Hướng dẫn khoa học:

1 PGS. TS. Đỗ Văn Dũng

2 TS Lâm Mai Long

LÝ LỊCH CÁ NHÂN

I. LÝ LỊCH SƠ LƯỢC

Họ và tên: Đỗ Quốc Âm	Giới tính: Nam
Ngày, tháng, năm sinh: 13/07/1965	Nơi sinh: TPHCM
Quê quán: Hà nội	Dân tộc: Kinh
Chỗ ở riêng hoặc địa chỉ liên lạc	241 A Lê Văn Việt, Phường Hiệp Phú, Quận 9, TPHCM
Điện thoại	0913120175
Điện thoại nhà riêng	
E-mail: amdq@hcmute.edu.vn	

II QUÁ TRÌNH ĐÀO TẠO

1 Trung học chuyên nghiệp

Hệ đào tạo: Chính qui	Thời gian đào tạo: 1982-1984
Nơi học: Trường trung học công nghiệp Thủ Đức	
Ngành học: Cơ khí ô tô	

1 Đại học

Hệ Đào tạo: Chính qui	
Nơi học: Trường ĐHSPKT.TPHCM	Thời gian đào tạo: 1984-1990
Ngành học: Ô tô máy kéo	
Tên đề án: Viết chuyên đề về bộ điều tốc	
Ngày và nơi bảo vệ luận án tốt nghiệp: tháng 7 năm 1990, Trường ĐHSPKT.TPHCM	
Người hướng dẫn: Giảng viên Nguyễn Tố Quyên	

2 Cao học

Hệ Đào tạo: Chính qui	
-----------------------	--

Nơi học: Trường ĐHSPKT.TPHCM

Thời gian đào tạo 2000 - 2003

Ngành học: Cơ khí ô tô

Tên đề án: Nghiên cứu và đề xuất một số giải pháp nâng cao hiệu quả sử dụng các hệ thống đánh lửa ở Việt Nam

Ngày và nơi bảo vệ luận án tốt nghiệp: năm 2003, Trường ĐHSPKT.TPHCM

Người hướng dẫn: PGS.TS Đỗ Văn Dũng

III. QUÁ TRÌNH CÔNG TÁC CHUYÊN MÔN TỪ KHI TỐT NGHIỆP ĐẠI HỌC

Thời gian	Nơi công tác	Công việc đảm nhiệm
1990- 2013	Trường ĐHSPKT.TPHCM	Cán bộ giảng dạy, Phó Bộ môn Động cơ, Trưởng Bộ môn Động cơ
2013- 2020	Trường ĐHSPKT.TPHCM	Phó trưởng Khoa Cơ khí Động lực

III CÁC ĐỀ TÀI DỰ ÁN, NHIỆM VỤ KHÁC ĐÃ CHỦ TRÌ HOẶC THAM GIA

Tên đề án, dự án, nhiệm vụ khác đã chủ trì hoặc tham gia	Thời gian (bắt đầu- kết thúc)	Thuộc chương trình nếu có	Tình trạng đề tài(đã nghiệm thu, chưa nghiệm thu)
Nghiên cứu, chế tạo mô hình và đề xuất hệ thống bài giảng dạy thực hành động cơ phun xăng -2001	2001-2003	Đề tài Nghiên cứu khoa học cấp Bộ	Đã nghiệm thu

Nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm các hệ thống đang sử dụng ở Việt Nam và khả năng lắp lẫn	2002-2003	Đề tài Nghiên cứu khoa học cấp Bộ	Đã nghiệm thu
Nghiên cứu chế tạo mạch đánh lửa trên động cơ ô tô theo chương trình	2008-2010	Đề tài Nghiên cứu khoa học cấp Bộ	Đã nghiệm thu

Ngày 1 tháng 11 năm 2020

Nghiên cứu sinh

Đỗ Quốc Âm

LỜI CAM ĐOAN

Tôi cam đoan đây là công trình nghiên cứu của tôi

Các số liệu, kết quả trong luận án là trung thực và chưa từng được ai công bố trong bất kỳ công trình nào khác

Ngày 1 tháng 11 năm 2020

Nghiên cứu sinh

Đỗ Quốc Âm

LỜI CẢM ƠN



Để hoàn thành luận án này tôi nhận được sự hỗ trợ, giúp đỡ từ rất nhiều cá nhân và tổ chức.

Tôi xin cảm ơn Ban giám hiệu Trường Đại Học Sư Phạm Kỹ Thuật TP. Hồ Chí Minh đã tạo điều kiện cho tôi thực hiện luận án này.

Tôi vô cùng cảm ơn hai thầy hướng dẫn khoa học: Nhà giáo ưu tú . PGS. TS Đỗ Văn Dũng và TS Lâm Mai Long đã định hướng nghiên cứu, động viên và bỏ nhiều công sức hướng dẫn tôi thực hiện luận án này.

Tôi xin gửi lời cảm ơn sâu sắc đến quý thầy phản biện đã bỏ thời gian và công sức để đọc tập luận án này và đóng góp các ý kiến hết sức quý báu giúp tôi hoàn thiện nội dung của luận án

Xin cảm ơn các đồng nghiệp, các sinh viên đã bỏ nhiều thời gian, công sức giúp đỡ tôi trong thời gian thực hiện các nội dung trong luận án.

Tôi hết sức trân trọng sự đồng hành hỗ trợ, động viên từ gia đình và các bạn bè đã khuyến khích- động viên tôi trong thời gian thực hiện luận án

Hết sức trân trọng

Nghiên cứu sinh

Đỗ Quốc Âm

TÓM TẮT NHỮNG ĐÓNG GÓP MỚI CỦA LUẬN ÁN

Họ & tên NCS : Đỗ Quốc Âm MSNCS: 13252010301
Thuộc chuyên ngành : Kỹ thuật cơ khí Khoá: 2013-2016
Tên luận án : Nghiên cứu, tính toán, chế tạo hệ thống đánh lửa hỗn

hợp điện dung – điện cảm sử dụng bo-bin đơn

Người hướng dẫn chính : PGS. TS Đỗ Văn Dũng

Người hướng dẫn phụ : TS Lâm Mai Long

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

Trên các động cơ đốt trong cháy cưỡng bức, hệ thống đánh lửa có nhiệm vụ tạo ra tia lửa để đốt cháy hỗn hợp trong xy lanh vào cuối quá trình nén. Dựa vào cách tích lũy năng lượng, hệ thống đánh lửa trên ô tô được chia làm hai loại: hệ thống đánh lửa điện cảm, hệ thống đánh lửa điện dung, cả hai hệ thống trên đều sử dụng biến áp đánh lửa (bo-bin) nhằm tăng điện áp từ 6V hay 12V lên điện thế cao áp từ 7-40kV, tạo ra tia lửa giữa hai điện cực bugi đốt cháy hỗn hợp trong động cơ. Ở cuối giai đoạn tích lũy năng lượng trên cuộn sơ cấp của bo-bin xuất hiện sức điện động tự cảm. Điện áp tự cảm này ảnh hưởng xấu tới các thiết bị đóng ngắt, gây nhiễu và làm giảm điện áp thứ cấp trên bobin.

Nội dung đề tài tập trung vào việc nghiên cứu, chế tạo hệ thống đánh lửa lai hỗn hợp điện dung - điện cảm sử dụng trên động cơ bốn xy lanh có khả năng tích lũy năng lượng tự cảm trên các bobin đánh lửa điện cảm, để sử dụng trong giai đoạn đánh lửa điện dung. Như vậy, sẽ khắc phục được các nhược điểm đã nêu và tiết kiệm được năng lượng sử dụng cho hệ thống đánh lửa.

Những điểm mới của đề tài được thể hiện qua những đóng góp khoa học sau:

- Luận án đã đề ra được giải pháp thu hồi một phần năng lượng tự cảm trên cuộn sơ cấp của biến áp đánh lửa; qua đó góp phần giảm năng lượng sử dụng cho hệ thống đánh lửa nói riêng và cho động cơ nói chung; đồng thời làm giảm lượng phát thải ra môi trường

- Luận án đã xây dựng được mô hình toán học và xác định được các thông số của hệ thống ở các giai đoạn đánh lửa điện cảm, giai đoạn đánh lửa điện dung và khảo sát yếu tố ảnh hưởng đến đặc tính hệ thống (tổng trở của mạch sơ cấp R , hệ số tự cảm của cuộn sơ cấp bobin L_1 , dung lượng tụ điện C_1).

- Luận án đã đưa ra được cơ sở lựa chọn cấu hình hệ thống đánh lửa hỗn hợp điện dung - điện cảm (đối với động cơ nhiều xy-lanh) và phương pháp xác định dung lượng tụ - tích lũy năng lượng tự cảm. Qua đó, đáp ứng hiệu quả năng lượng đánh lửa yêu cầu cho cả hai giai đoạn đánh lửa mà vẫn đạt yêu cầu tiết kiệm năng lượng trên hệ thống.

- Luận án đã nghiên cứu và chế tạo thành công hệ thống đánh lửa hỗn hợp điện dung - điện cảm trên động cơ bốn xy-lanh (TOYOTA 1NZ-FE) có khả năng tích lũy sức điện động tự cảm trên 3 tụ điện $1\mu\text{F}$ và phục vụ cho giai đoạn đánh lửa điện dung. Với kết cấu đơn giản và tận dụng được các đặc điểm sẵn có từ hệ thống điều khiển động cơ. Hệ thống đánh lửa hỗn hợp như đã trình bày, bảo đảm hoạt động tin cậy ở các chế độ hoạt động khác nhau và tiết kiệm được 25% năng lượng sử dụng cho hệ thống (năng lượng cho một lần đánh lửa/một chu kỳ làm việc của động cơ)

Tp. Hồ Chí Minh, ngày 1 tháng 11 năm 2020

Nghiên cứu sinh

Người hướng dẫn chính

Người hướng dẫn phụ

PGS. TS. Đỗ Văn Dũng

TS Lâm Mai Long

BM13.2-ĐT-BVCS

- The thesis has presented a new concept of utilizing the self-induced emf in the primary coil so that the hybrid ignition system is not only saving energy but also reducing emission.

- The thesis has built-up equations of the primary current and self-induced emf in the discharge stage of the inductive-discharge ignition system and both stages of capacitor-discharge ignition system. The characteristic parameter of the ignition system - total resistance R , self-inductance L_1 and capacitance C_1 - are also investigated.

- The thesis has set up a basic structure for the combined ignition system of inductive-discharge and capacitor-discharge - the hybrid ignition system - in the engine with multi-cylinder. The process of calculating the accumulated energy; including the charge time of capacitor and the preferable capacitance; is also thoroughly demonstrated. The required energy for ignition process and its parameter also successfully investigated.

- The thesis has successfully designed and installed the hybrid ignition system on the Toyota 1 NZ-FE, which is the four-cylinder engine. In the first phase, the TCI phase, the self-induced energy; which is a unavoidable occurrence in the ignition system; will be stored in three $1\mu\text{F}$ capacitors (total $3\mu\text{F}$). This energy will be controlled and released in the next phase of ignition, the CDI phase. The results show that the hybrid ignition system is working steady in different phases and saving 25% energy compare with the original system.

Supervisor

(Sign and name)

HCMC, 1/11/2020

PhD candidate

(Sign and name)

Đỗ Quốc Âm

MỤC LỤC

	TRANG
Quyết định giao đề tài	
Lý lịch cá nhân	i
Lời cam đoan	iv
Lời cảm ơn	v
Tóm tắt những đóng góp	vi
Summary of contributions of the dissertation	viii
Mục lục	x
Danh sách các chữ viết tắt – ký hiệu	xvii
Danh sách các hình	xviii
Danh sách các bảng	xxiv
NỘI DUNG	
MỞ ĐẦU	1
Chương 1: TỔNG QUAN	3
1.1 Lý do chọn đề tài nghiên cứu	3
1.2 Các kết quả trong và ngoài nước về lĩnh vực nghiên cứu đã công bố	6
1.2.1 Các kết quả ngoài nước	6
1.2.1.1 Hệ thống đánh lửa điện cảm	6
1.2.1.2 Hệ thống đánh lửa điện dung	7
1.2.1.3 Hệ thống đánh lửa hỗn hợp	8
1.2.1.4 Một số nghiên cứu khác về hệ thống đánh lửa	13
1.2.2 Tình hình nghiên cứu trong nước	16
1.2.3 Kết luận – Đề xuất nghiên cứu	17
1.3 Mục tiêu nghiên cứu và mong muốn đạt được	18

1.3.1 Mục tiêu chính của luận án	18
1.3.2 Mong muốn đạt được	18
1.4 Đối tượng, phạm vi và phương pháp nghiên cứu	19
1.4.1 Đối tượng nghiên cứu	19
1.4.2 Phạm vi nghiên cứu	19
1.4.3 Phương pháp nghiên cứu	19
1.5 Các nội dung chính và dự kiến kết quả nghiên cứu	19
1.5.1 Dự kiến các nội dung trong đề tài	19
1.5.2 Dự kiến kết quả nghiên cứu	20
CHƯƠNG 2: CƠ SỞ LÝ THUYẾT	23
2.1 Nhiệm vụ của hệ thống đánh lửa	23
2.2 Quá trình cháy trên động cơ đốt trong dùng nhiên liệu xăng	23
2.3 Các thông số chủ yếu của hệ thống đánh lửa	24
2.3.1 Hiệu điện thế thứ cấp cực đại V_{2m}	24
2.3.2 Hiệu điện thế đánh lửa $V_{đl}$	24
2.3.3 Hệ số dự trữ K_{dt}	25
2.3.4 Tốc độ biến thiên của hiệu điện thế thứ cấp S	25
2.3.5 Tần số và chu kỳ đánh lửa	25
2.3.6 Thời gian tích lũy năng lượng (t_d)	26
2.4 Năng lượng đánh lửa	26
2.4.1 Phân tích năng lượng của tia lửa điện	26
2.4.2 Một số các yếu tố ảnh hưởng đến năng lượng đánh lửa	29
2.5 Hệ thống đánh lửa điện cảm	31
2.5.1 Giai đoạn tăng trưởng dòng điện sơ cấp	32
2.5.2 Giai đoạn ngắt dòng điện ở cuộn sơ cấp	33
2.5.3 Giai đoạn phóng điện ở điện cực bu-gi	35
2.5.4 Ưu, nhược điểm của hệ thống đánh lửa điện cảm	36

2.6 Hệ thống đánh lửa điện dung	36
2.6.1 Cấu tạo và nguyên lý làm việc của hệ thống đánh lửa điện dung (CDI- capacitor discharged ignition)	36
2.6.2 Ưu, nhược điểm của hệ thống đánh lửa điện dung	37
2.7 Sức điện động tự cảm	38
Chương 3: KHẢO SÁT ĐẶC TÍNH - MÔ PHỎNG VÀ THỰC NGHIỆM HỆ THỐNG ĐÁNH LỬA HỖN HỢP ĐIỆN DUNG - ĐIỆN CẢM	42
3.1. Xây dựng mô hình toán cho hệ thống đánh lửa hỗn hợp	42
3.1.1 Giới thiệu mô hình đánh lửa hỗn hợp	42
3.1.2 Các lý luận xây dựng mô hình tính toán	43
3.1.3 Xây dựng mô hình toán của hệ thống đánh lửa hỗn hợp	44
3.1.3.1 Các tính toán hệ thống đánh lửa hỗn hợp - giai đoạn đánh lửa điện cảm	44
3.1.3.2 Giai đoạn tích lũy năng lượng	45
3.1.3.3 Giai đoạn ngắt dòng điện sơ cấp	46
3.1.3.4 Đánh giá tần số của $i_1(t)$ và $V_1(t)$	48
3.1.3.5 Nhận xét	48
3.2. Hiệu chỉnh mô hình toán của mạch đánh lửa hỗn hợp với các hệ số thực nghiệm	49
3.2.1 Kiểm chứng tính hợp lệ và độ chính xác của mô hình toán cho hệ thống đánh lửa hỗn hợp đã xây dựng	50
3.2.2 Đáp ứng dòng điện sơ cấp i_1 và điện áp sơ cấp V_1 thực nghiệm	51
3.2.3 Đáp ứng dòng điện sơ cấp i_1 và điện áp sơ cấp V_1 tính toán từ mô hình	52

3.2.3.1	Đáp ứng tính toán từ mô hình	52
3.2.3.2	Đáp ứng tính toán từ mô hình hiệu chỉnh	53
3.2.3.3	Đánh giá độ chính xác của mô hình đánh lửa hỗn hợp đã xây dựng	55
3.3	Hàm truyền của hệ thống đánh lửa hỗn hợp	56
3.4	Khảo sát ảnh hưởng của các thông số trong hệ thống đến đặc tính hệ thống đánh lửa hỗn hợp	57
3.4.1	Ảnh hưởng của tổng trở mạch sơ cấp R đến giá trị $V_I(t)$, $i_I(t)$	57
3.4.2	Ảnh hưởng của hệ số tự cảm L_I của cuộn sơ cấp đến đặc tính hệ thống	58
3.4.3	Ảnh hưởng của dung lượng tụ C_I đến đặc tính hệ thống	60
3.4.3.1	Ảnh hưởng của điện dung C_I đến thời gian tích lũy năng lượng điện dung	60
3.4.3.2	Ảnh hưởng của điện dung tụ C_I đến điện áp sơ cấp cực đại V_{Im} và điện áp thứ cấp cực đại V_{2m}	62
3.4.3.3	Ảnh hưởng của điện dung tụ C_I đến năng lượng đánh lửa điện cảm W_{dc} và năng lượng đánh lửa điện dung W_{ad}	64
3.5	Cơ sở lựa chọn cấu hình hệ thống đánh lửa hỗn hợp và dung lượng tụ phù hợp	66
3.5.1	Giới thiệu các cấu hình hệ thống đánh lửa hỗn hợp	67
3.5.2	Xác định giải dung lượng của tụ thỏa mãn yêu cầu làm việc của hệ thống đánh lửa hỗn hợp	67
3.6	Các tính toán hệ thống đánh lửa hỗn hợp – giai đoạn đánh lửa điện dung	69
3.6.1	Mô hình tính toán	69
3.6.2	Xây dựng phương trình tổng quát cường độ dòng điện $i_d(t)$, sức điện động tự cảm $e_d(t)$	70

3.6.3 Khảo sát các đặc tính hệ thống đánh lửa hỗn hợp – giai đoạn đánh lửa điện dung	72
3.6.3.1 Cường độ dòng điện $i_d(t)$ và sức điện động tự cảm $e_d(t)$	72
3.6.3.2 Đánh giá ảnh hưởng tổng trở R_d đến cường độ dòng điện $i_d(t)$ và sức điện động tự cảm $e_d(t)$	73
3.6.3.3 Đánh giá ảnh hưởng của hệ số tự cảm L_d đến cường độ dòng điện $i_d(t)$ và sức điện động $e_d(t)$	75
3.6.4 Nhận xét	76
3.7 Kết luận chương 3	76
CHƯƠNG 4: CHẾ TẠO MẠCH ĐÁNH LỬA HỖN HỢP ĐIỆN DUNG- ĐIỆN CẢM	78
4.1 Khảo sát hệ thống điều khiển đánh lửa trên động cơ TOYOTA 1NZ-FE theo thiết kế của nhà chế tạo	78
4.1.1 Giới thiệu về hệ thống điều khiển động cơ	78
4.1.2 Nguyên lý làm việc của hệ thống đánh lửa sử dụng trên động cơ TOYOTA 1NZ-FE	78
4.1.3 Bộ đánh lửa	79
4.1.4 Điều khiển dòng điện qua cuộn sơ cấp của bobin	80
4.1.5 Tín hiệu đánh lửa IGT- Ignition timing	80
4.1.6 Tín hiệu IGF- Ignition feedback	81
4.1.7 Sơ đồ mô tả hệ thống đánh lửa theo thiết kế của nhà chế tạo trên động cơ TOYOTA 1NZ-FE	81
4.2 Chế tạo mạch đánh lửa hỗn hợp điện dung - điện cảm	82
4.2.1 Cơ sở lý luận khi chế tạo mạch đánh lửa hỗn hợp	82
4.2.2 Xác định dung lượng tụ C_1	82

4.2.3 Nguyên lý làm việc của hệ thống đánh lửa hỗn hợp điện cảm - điện dung (sử dụng cho động cơ 4 xy-lanh)	84
4.2.4 Chế độ đánh lửa điện cảm	87
4.2.5 Chế độ đánh lửa điện dung	88
4.2.6 Mạch tạo tín hiệu IGF	89
4.2.7 Khảo sát sức điện động trên hệ thống đánh lửa hỗn hợp	91
4.2.8 Ước lượng tuổi thọ của mạch đánh lửa hỗn hợp điện dung – điện cảm	91
4.3 Kết luận chương 4	95
Chương 5: THỰC NGHIỆM VÀ ĐÁNH GIÁ KẾT QUẢ	96
5.1 Thực nghiệm đánh giá hiệu quả làm việc của hệ thống đánh lửa hỗn hợp điện dung- điện cảm	96
5.1.1 Nội dung thực nghiệm	96
5.1.2 Đối tượng thực nghiệm	97
5.1.3 Các yêu cầu đối với thiết bị thực nghiệm	98
5.1.4 Trang thiết bị thực nghiệm	98
5.1.5 Sơ đồ bố trí trang thiết bị thí nghiệm	98
5.2 Các qui trình thực nghiệm	99
5.2.1 Xác định đặc tính Moment có ích (M_e) và công suất có ích (N_e)	100
5.2.2 Xác định lượng tiêu nhiên liệu theo giờ (G_e) và suất tiêu hao nhiên liệu riêng (g_e)	100
5.2.3 Đánh giá chất lượng khí thải	101
5.3 Kết quả thực nghiệm và nhận xét	101
5.3.1 Đặc tính công suất có ích $N_e = f(n)$ và moment có ích $M_e = f(n)$	101

5.3.2 Đánh giá tiêu hao nhiên liệu của động cơ khi sử dụng hệ thống đánh lửa hỗn hợp điện dung - điện cảm	106
5.3.3 Đánh giá chất lượng khí thải	110
5.4 Kết luận chương 5	112
KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN	115
TÀI LIỆU THAM KHẢO	118
Phụ lục 1: XÁC ĐỊNH THỜI GIAN TÍCH LŨY NĂNG LƯỢNG t_d TRÊN ĐỘNG CƠ TOYOTA 1NZ-FE	124
Phụ lục 2: XÁC ĐỊNH GIÁ TRỊ $t = t_{V1m}$ KHI V_1 ĐẠT GIÁ TRỊ CỰC ĐẠI V_{1m}	126
Phụ lục 3: MÔ TẢ BOBIN DÙNG CHO ĐỘNG CƠ TOYOTA 1MZ-FE	128
Phụ lục 4: CÁC TÍNH TOÁN TRONG CHẾ TẠO MẠCH ĐÁNH LỬA HỖN HỢP ĐIỆN DUNG- ĐIỆN CẢM	129
Phụ lục 5: TRANG THIẾT BỊ THỰC NGHIỆM	138
DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH KHOA HỌC ĐÃ CÔNG BỐ	143

DANH SÁCH CÁC TỪ VIẾT TẮT VÀ KÝ HIỆU

CDI	Capacitor discharge ignition – Hệ thống đánh lửa điện dung
HTĐL	Hệ thống đánh lửa
Engine ECU	Electronic control unit – Mô-dun điều khiển động cơ
GĐ	Giai đoạn
TI	Transistorized ignition system - Hệ thống đánh lửa sử dụng transistor
SCR	Silicon Controlled Rectifier - Linh kiện bán dẫn Thyristor
ESA	Electronic spark advanced - Đánh lửa sớm điện tử
COP	Coil- on plug - Bobin đánh lửa được bố trí phía trên bugi
IGT	Ignition timing - Thời điểm đánh lửa
IGF	Ignition feedback - Hồi tiếp đánh lửa
RPM	Revolution per minute - Vòng/ phút
ppm	Part per million - Phần triệu
Các ký hiệu	
% vol	% volume - Phần trăm theo thể tích
A/F	Air fuel ratio - Tỷ số không khí và nhiên liệu
λ	Hệ số dư lượng không khí
$\Phi = \frac{1}{\lambda}$	Độ đậm của hỗn hợp
B	Battery - Accu
R	Resistor – Điện trở
L	Inductance - Hệ số tự cảm
C	Capacitor – Tụ điện
g_e	Suất tiêu hao nhiên liệu riêng (g/kW.giờ)
G_{nl}	Lượng tiêu hao nhiên liệu theo giờ (g/giờ)
CO	Carbon monoxide (% thể tích)
HC	Hydrocarbons (ppm thể tích)

I_T	Dòng tải lớn nhất qua SCR
I_{GTmax}	Dòng điều khiển lớn nhất của SCR
I_B	Dòng điều khiển transistor
I_{Bmax}	Dòng điều khiển cực đại transistor
V_{DRM}	Điện áp ngược lớn nhất có thể đặt vào SCR
I_C	Dòng điện tải của transistor
I_{Cmax}	Dòng điện tải cực đại của transistor
V_{CBO}	Điện áp nghịch lớn nhất giữa cực C và cực B của transistor
h_{FE}	Hệ số khuếch đại của transistor
f_T	Tần số giới hạn của transistor làm việc bình thường
T_j	Nhiệt độ làm việc transistor
I_F	Dòng điện dòng điện thuận trung bình của diode
I_{FSM}	Giá trị dòng thuận chịu được lớn nhất trong thời gian xác định của diode
V_{RRM}	Điện áp ngược lớn nhất mà diode chịu đựng được

DANH SÁCH CÁC HÌNH

HÌNH	TÊN HÌNH	TRANG
Hình 1.1	Sơ đồ nguyên lý của hệ thống đánh lửa điện cảm (a), điện dung (b)	6
Hình 1.2	Sơ đồ hệ thống đánh lửa phóng - nạp xả với chu kỳ điện dung và điện cảm	9
Hình 1.3	Hệ thống đánh lửa hỗn hợp trên động cơ đốt trong	10
Hình 1.4	Hệ thống đánh lửa điện dung với khả năng kéo dài thời gian xuất hiện tia lửa điện	11
Hình 1.5	Sơ đồ khối của hệ thống đánh lửa Hybrid có thể thay đổi thời gian xuất hiện tia lửa	11
Hình 1.6	Điện thế thứ cấp đánh lửa trên hệ thống đánh lửa lai	12
Hình 1.7	Sơ đồ hệ thống đánh lửa hỗn hợp điện dung điện cảm	12
Hình 1.8	Điện áp đánh lửa trên bugi có ba cặp điện cực	13
Hình 1.9	Bugi có ba cặp điện cực	14
Hình 1.10	Cơ chế hoạt động của thiết bị cảm nhận dòng ion	14
Hình 1.11	Hệ thống đánh lửa Laser	15
Hình 2.1	Đồ thị thể hiện mối quan hệ giữa áp suất trong lòng xy lanh theo góc quay trục khuỷu.	23
Hình 2.2	Đồ thị thể hiện mối quan hệ giữa điện áp, cường độ dòng điện và thời gian đánh lửa đã của một hệ thống đánh lửa cơ bản	27
Hình 2.3	Điện áp đánh lửa theo quan hệ của độ rộng khe hở và dạng điện cực khi phóng điện trong không khí ở điều kiện áp suất khí trời	29

Hình 2.4	Năng lượng đánh lửa (điện dung) tối thiểu của hỗn hợp alkane và không khí theo độ đậm của hỗn hợp $\Phi = 1/\lambda$. [34]	30
Hình 2.5	Ảnh hưởng của thời gian phóng tia lửa đến năng lượng đánh lửa tối thiểu của hỗn hợp nghèo (2,7 vol.%), ở nhiệt độ và áp suất khí trời	30
Hình 2.6	Sơ đồ nguyên lý hệ thống đánh lửa điện cảm	31
Hình 2.7	Sơ đồ tương đương quá trình tăng trưởng dòng sơ cấp i_1	32
Hình 2.8	Đồ thị tăng trưởng cường độ dòng điện sơ cấp i_1	32
Hình 2.9	Sơ đồ mô tả quá trình phóng điện ở cuộn thứ cấp	33
Hình 2.10	Đồ thị mô tả qui luật biến đổi hiệu điện thế thứ cấp V_{2m}	34
Hình 2.11	Đồ thị mô tả quy luật biến đổi của tia lửa điện dung và điện cảm	35
Hình 2.12	Sơ đồ khối của hệ thống đánh lửa điện dung.	37
Hình 2.13	Đồ thị mô tả sự tăng trưởng của hiệu điện thế cuộn thứ cấp trong trường hợp đánh lửa TI và CDI	38
Hình 2.14	Từ trường B đi qua cuộn dây có diện tích mặt cắt A	39
Hình 2.15	Sức điện động tự cảm trên cuộn sơ cấp và điện thế trên cuộn thứ cấp của bobin	40
Hình 2.16	Mô tả các kích thước cuộn dây	41
Hình 3.1	Mô hình nguyên lý làm việc của hệ thống đánh lửa hỗn hợp điện cảm - điện dung (sử dụng cho động cơ 4 xy-lanh)	42
Hình 3.2	Mô hình hệ thống đánh lửa hỗn hợp - giai đoạn đánh lửa điện cảm	44
Hình 3.3	Mô hình tính toán hệ thống đánh lửa hỗn hợp – giai đoạn tích lũy năng lượng	45
Hình 3.4	Mô hình tính toán hệ thống đánh lửa hỗn hợp – giai đoạn ngắt dòng điện sơ cấp	46

Hình 3.5	Đáp ứng thực nghiệm của mạch đánh lửa hỗn hợp - dòng điện sơ cấp i_1 và sức điện động tự cảm V_1	51
Hình 3.6:	Đáp ứng tính toán từ mô hình - dòng điện sơ cấp i_1 - công thức (3.9)	52
Hình 3.7	Đáp ứng tính toán từ mô hình -sức điện động tự cảm V_1 - công thức (3.10)	53
Hình 3.8	Đáp ứng tính toán dòng điện sơ cấp i_1 - công thức (3.16)	54
Hình 3.9	Đáp ứng tính toán điện áp sơ cấp V_1 - công thức (3.17)	54
Hình 3.10	So sánh cực đại cường độ dòng điện sơ cấp i_{1m} theo lý thuyết và thực nghiệm ở các thời gian tích lũy năng lượng sơ cấp t_d khác nhau	55
Hình 3.11	So sánh cực đại sức điện động tự cảm V_{1m} theo lý thuyết và thực nghiệm ở các thời gian tích lũy năng lượng sơ cấp t_d khác nhau	55
Hình 3.12:	Đáp ứng điện thế trên tụ C_1	56
Hình 3.13	Quan hệ điện áp nạp tụ V_{1m} và thời gian tích lũy năng lượng t_d	57
Hình 3.14	Ảnh hưởng của tổng trở R đến giá trị cực đại của i_1	57
Hình 3.15	Ảnh hưởng của tổng trở R đến giá trị cực đại của V_1	58
Hình 3.16	Ảnh hưởng của hệ số tự cảm L_1 đến giá trị cực đại của i_1	58
Hình 3.17	Ảnh hưởng của hệ số tự cảm L_1 đến giá trị cực đại của V_1	59
Hình 3.18	Ảnh hưởng của hệ số tự cảm L_1 đến tần số dao động của V_1	60
Hình 3.19	Quan hệ giữa thời nạp đầy tụ t_{bh} và thời gian nạp tụ thực tế t_{v1m} khi giá trị dung lượng tụ C_1 thay đổi	61
Hình 3.20	Quan hệ dung lượng tụ C_1 và điện áp sơ cấp cực đại V_{1m}	62
Hình 3.21	Quan hệ dung lượng tụ C_1 và điện áp thứ cấp cực đại V_{2m}	62

Hình 3.22	Sự thay đổi của năng lượng tích lũy trên cuộn sơ cấp của bobin W_L , năng lượng tích lũy trên tụ điện W_{dd} và năng lượng phục vụ đánh lửa điện cảm W_{dc} theo điện dung của tụ C_l	64
Hình 3.23	Hệ thống đồ thị phục vụ xác định dung lượng tụ C_l trên hệ thống đánh lửa hỗn hợp	66
Hình 3.24	Mô hình tính toán hệ thống đánh lửa hỗn hợp - giai đoạn đánh lửa điện dung	69
Hình 3.25	Đáp ứng tính toán dòng điện $i_d(t)$ và sức điện động tự cảm $e_d(t)$	71
Hình 3.26	Cường độ dòng điện $i_d(t)$ và sức điện động tự cảm $e_d(t)$ của cuộn sơ cấp trên hệ thống đánh lửa hỗn hợp - GĐ đánh lửa điện dung	72
Hình 3.27	Đồ thị thực nghiệm cường độ dòng điện $i_d(t)$ và sức điện động tự cảm $e_d(t)$	73
Hình 3.28	Cường độ dòng điện $i_d(t)$ qua cuộn sơ cấp trên hệ thống đánh lửa hỗn hợp- GĐ đánh lửa điện dung- khi tổng trở R_d thay đổi	74
Hình 3.29	Sức điện động tự cảm $e_d(t)$ của cuộn sơ cấp trên hệ thống đánh lửa hỗn hợp – GĐ đánh lửa điện dung - khi tổng trở R_d thay đổi	74
Hình 3.30	Cường độ dòng điện $i_d(t)$ của cuộn sơ cấp trên hệ thống đánh lửa hỗn hợp – GĐ đánh lửa điện dung - khi L_d thay đổi.	75
Hình 3.31	Sức điện động tự cảm $e_d(t)$ của cuộn sơ cấp trên hệ thống đánh lửa hỗn hợp – GĐ đánh lửa điện dung - khi hệ số tự cảm L_d thay đổi.	75

Hình 4.1	Sơ đồ mô tả chức năng điều khiển đánh lửa trên động cơ (ESA)	79
Hình 4.2	Quan hệ cường độ dòng điện sơ cấp, tín hiệu IGT và IGF	80
Hình 4.3	Sơ đồ hệ thống đánh lửa trực tiếp trên động cơ TOYOTA 1NZ-FE - theo thiết kế của nhà chế tạo	81
Hình 4.4	Sơ đồ cấu tạo của hệ thống đánh lửa hỗn hợp điện dung – điện cảm	86
Hình 4.5	Mạch in của hệ thống đánh lửa hỗn hợp điện dung - điện cảm	87
Hình 4.6	Thiết kế mạch điều khiển đánh lửa điện cảm	87
Hình 4.7	Thiết kế mạch điều khiển đánh lửa điện dung	88
Hình 4.8	Tín hiệu điều khiển đánh lửa điện dung (SCR) - thời điểm đánh lửa	89
Hình 4.9	Thiết kế mạch tạo tín hiệu IGF	90
Hình 4.10	Quan hệ giữa tín hiệu IGT và tín hiệu IGF	90
Hình 4.11	Sức điện động tự cảm trên mạch đánh lửa hỗn hợp	91
Hình 5.1	Sơ đồ bố trí thiết bị thực nghiệm trên động cơ TOYOTA 1NZ-FE	98
Hình 5.2	Thực nghiệm đánh giá hiệu quả làm việc của hệ thống đánh lửa hỗn hợp điện dung - điện cảm	99
Hình 5.3	Đồ thị công suất có ích N_e , moment có ích M_e ở mức tải 20% của hệ thống đánh lửa (HTĐL) nguyên thủy và HTĐL hỗn hợp điện dung - điện cảm	101
Hình 5.4	Đồ thị công suất có ích N_e , moment có ích M_e ở mức tải 35% của HTĐL đánh lửa nguyên thủy và HTĐL hỗn hợp điện dung - điện cảm	102

Hình 5.5	Đồ thị công suất có ích N_e , moment có ích M_e ở mức tải 50% của HTĐL nguyên thủy và HTĐL hỗn hợp điện dung - điện cảm	103
Hình 5.6	Đồ thị công suất có ích N_e , moment có ích M_e ở mức tải 75% của HTĐL nguyên thủy và HTĐL hỗn hợp điện dung - điện cảm	104
Hình 5.7	Đồ thị công suất có ích N_e , moment có ích M_e ở mức tải 100% của HTĐL nguyên thủy và HTĐL hỗn hợp điện dung - điện cảm	105
Hình 5.8	Đồ thị lượng tiêu hao nhiên liệu theo giờ (G_{nl}) và suất tiêu hao nhiên liệu riêng (g_e)	106
Hình 5.9	Mô tả đường truyền năng lượng từ nhiên liệu - hệ thống đánh lửa	108

DANH SÁCH CÁC BẢNG

BẢNG	TÊN BẢNG	TRANG
Bảng 1.1	Lưu đồ nghiên cứu	21
Bảng 3.1	Các thông số của hệ thống đánh lửa hỗn hợp	50
Bảng 3.2	Mô tả các cấu hình của hệ thống đánh lửa hỗn hợp	68
Bảng 4. 1	Năng lượng đánh lửa tính toán được tại các tốc độ động cơ khác nhau - ứng với nhiệt độ môi trường 30 ⁰ C	83
Bảng 4.2	Giá trị các thông số của mạch đánh lửa thay đổi theo nhiệt độ	83
Bảng 4.3	Năng lượng đánh lửa tại các tốc độ động cơ khác nhau - nhiệt độ khoang động cơ 96 ⁰ C	84
Bảng 4.4	Các linh kiện sử dụng trên HTĐL hỗn hợp điện dung- điện cảm	92
Bảng 4.5	Tuổi thọ của các linh kiện	94
Bảng 5.1	Thông số kỹ thuật của động cơ TOYOTA 1NZ-FE	97
Bảng 5.2	Đánh giá năng lượng tiết kiệm trên hệ thống đánh lửa hỗn hợp điện dung - điện cảm theo tốc độ động cơ	108
Bảng 5.3	Tổng năng lượng tiết kiệm trong một giờ W_e khi tính đến sự tổn hao khi truyền năng lượng	109
Bảng 5.4	Lượng nhiên liệu qui đổi tiết kiệm được trong một giờ khi sử dụng hệ thống đánh lửa hỗn hợp điện dung - điện cảm	110
Bảng 5.5	Giới hạn cho phép của các chất gây ô nhiễm trong khí thải của động cơ bốn kỳ sử dụng nhiên liệu xăng (theo tiêu chuẩn TCVN 6438-2018)	111

Bảng 5.6	Số liệu khí thải động cơ khi thực hiện đối sánh - sử dụng HTĐL nguyên thủy và khi sử dụng HTĐL hỗn hợp điện dung - điện cảm	111
Bảng 5.7	Dự báo số lượng ô tô trên thế giới - đến năm 2030 (tính theo %)	113

MỞ ĐẦU

Hệ thống đánh lửa trên ô tô có nhiệm vụ đốt cháy hỗn hợp nhiên liệu vào cuối quá trình nén, bao gồm hai loại tiêu biểu: hệ thống đánh lửa điện dung, hệ thống đánh lửa điện cảm. Ở hệ thống đánh lửa điện cảm năng lượng được tích lũy trên cuộn dây sơ cấp của biến áp đánh lửa. Trên hệ thống đánh lửa điện dung, năng lượng được tích lũy trên tụ điện. Tuy có khác biệt về cách tích lũy năng lượng, cả hai hệ thống trên đều phải dùng biến áp đánh lửa (bobin), để nâng điện áp từ 6V hay 12V lên điện áp từ 7-40 kV, tạo ra tia lửa điện cao áp giữa hai điện cực của bugi. Vào cuối quá trình ngắt dòng sơ cấp, trên cuộn sơ cấp của bobin xuất hiện sức điện động tự cảm có giá trị từ: 100-300V. Điện áp tự cảm này có khả năng làm hỏng các thiết bị đóng ngắt (transistor công suất hay vít lửa), làm giảm điện áp đánh lửa và gây nhiễu lên hệ thống điện trên ô tô. Để khắc phục nhược điểm trên, tụ điện thường được mắc song với thiết bị đóng ngắt. Với biện pháp trên, phần năng lượng năng lượng tự cảm tích lũy trên tụ, sau đó sẽ bị tiêu tán dần trên hệ thống đánh lửa.

Luận án đặt ra mục tiêu: Nghiên cứu, tính toán và chế tạo một hệ thống đánh lửa hỗn hợp trên động cơ nhiều xy lanh, phối hợp cả hai kiểu đánh lửa điện dung và điện cảm. Ở giai đoạn đánh lửa điện cảm, năng lượng tự cảm tích lũy trên các tụ điện (mắc song song với biến áp đánh lửa) sẽ được sử dụng cho giai đoạn đánh lửa điện dung. Việc lựa chọn dung lượng của tụ phải thỏa mãn điều kiện làm việc của cả hai giai đoạn đánh lửa điện cảm và đánh lửa điện dung. Việc tận dụng năng lượng tự cảm “ thừa” này, sẽ giúp tiết kiệm năng lượng sử dụng cho hệ thống đánh lửa nói riêng và trên ô tô nói chung, góp phần giảm sự phát thải các chất khí độc hại ra môi trường.

Kết cấu luận án được gồm các phần chính sau:

- Mở đầu
- Chương 1: Tổng quan
- Chương 2: Cơ sở lý thuyết

- Chương 3: Khảo sát đặc tính, mô phỏng và thực nghiệm hệ thống đánh lửa hỗn hợp điện dung- điện cảm
 - Chương 4: Chế tạo mạch đánh lửa hỗn hợp điện dung- điện cảm
 - Chương 5: Thực nghiệm và đánh giá kết quả
- Phụ lục

Mặc dù năng lượng đánh lửa trên một chu kỳ làm việc của động cơ không lớn, nhưng nếu xem xét việc tiết kiệm năng lượng dưới góc nhìn có tính đến tổn hao trên đường truyền năng lượng, số lượng ô tô sử dụng động cơ đốt cháy cưỡng bức lên đến hàng tỷ chiếc và thời gian hoạt động của chúng, việc tiết kiệm này mang ý nghĩa hết sức thực tế, phù hợp với xu hướng phát triển sạch và xanh trên thế giới.

Chương 1

TỔNG QUAN

1.1 Lý do chọn đề tài nghiên cứu

Trên động cơ đốt trong sử dụng nhiên liệu xăng, hỗn hợp được hình thành bên ngoài động cơ và được đốt cháy bằng tia lửa điện của bugi. Hệ thống đánh lửa có nhiệm vụ biến dòng điện có điện áp thấp trên ô tô (12V hay 24V) thành các xung điện thế cao (từ 15.000V đến 40.000V) [1- 3], các xung này sẽ được phân bố đến các bugi trên các xy lanh theo đúng thứ tự làm việc và đúng thời điểm để đốt cháy hòa khí trong lòng xy lanh. Với các công dụng trên, hệ thống đánh lửa có ý nghĩa hết sức quan trọng trong việc nâng cao hiệu suất làm việc của động cơ, giảm tiêu hao nhiên liệu và ô nhiễm môi trường [1,3].

Dựa vào cách tích lũy năng lượng, hệ thống đánh lửa trên ô tô được chia làm hai loại:

- Hệ thống đánh lửa điện cảm (TI- Transistorized ignition system)
- Hệ thống đánh lửa điện dung (CDI - Capacitor discharged ignition system)

Đối với hệ thống đánh lửa điện cảm [1,2], năng lượng tích lũy trên cuộn sơ cấp bobin được viết dưới dạng:

$$W_L = \frac{L_1 i_d^2}{2} \quad (1.1)$$

Ở hệ thống đánh lửa điện dung [1,2], năng lượng tích lũy trên tụ điện được viết dưới dạng:

$$W_{đd} = \frac{C V_n^2}{2} \quad (1.2)$$

- Trong đó:
- W_L : Năng lượng tích lũy trên cuộn sơ cấp (J).
 - $W_{đd}$: Năng lượng tích lũy trên tụ điện (J).
 - C : Điện dung của tụ điện (F).
 - V_n : Điện áp trên tụ điện (V).
 - L_1 : Độ tự cảm của mạch sơ cấp (H).
 - i_d : Cường độ dòng điện qua mạch sơ cấp (A).

Lợi thế quan trọng nhất của hệ thống đánh lửa điện cảm là có thể tạo ra được thời gian tồn tại tia lửa điện khá dài, đó là một trong những yếu tố quan trọng để có thể đảm bảo đốt cháy hoàn toàn hoà khí trong xy lanh. Ban đầu, năng lượng chỉ cần cung cấp đủ để tạo ra tia lửa giữa hai điện cực của bugi, phần còn lại sẽ được sử dụng để kéo dài thời gian xuất hiện tia lửa. Đối với hệ thống đánh lửa điện dung, gần như tất cả năng lượng của tụ sẽ được xả lập tức [1,3], do đó sẽ giảm đáng kể khả năng duy trì tia lửa điện.

Do cuộn sơ cấp có độ tự cảm nên sự tăng trưởng dòng điện trên cuộn sơ cấp sẽ diễn ra tương đối chậm. Vì vậy, khi động cơ hoạt động ở số vòng quay cao, dòng điện tăng trưởng chưa đạt đến giá trị cần thiết thì đã bị ngắt, năng lượng tích trữ trên cuộn sơ cấp chưa đủ lớn và kết quả là năng lượng đánh lửa không cao. Trong khi đó, ở tốc độ thấp, dòng điện tồn tại khá lâu nên sẽ làm nóng cuộn sơ cấp [1], làm bobin dễ hỏng.

Với lợi thế điện áp thứ cấp trên biến áp đánh lửa cao, tia lửa điện dung có thể dễ dàng đốt cháy lượng hoà khí trong buồng đốt khi động cơ bị lợt dầu bôi trơn, hỗn hợp hoà khí quá giàu hoặc nhiệt độ buồng đốt thấp. Ngoài ra, điện áp cao có thể giúp tránh rò rỉ năng lượng trên sứ cách điện bugi và các điện cực gây ra bởi sự dẫn điện của các tạp chất. Một ưu điểm quan trọng nữa là thời gian nạp và xả của tụ điện rất ngắn. Do đó, nó vẫn đảm bảo được năng lượng đầu ra đủ lớn khi động cơ hoạt động ở tốc độ cao, điều này đặc biệt có lợi khi dùng trên động cơ cao tốc.

Tuy nhiên, vì sự phóng điện diễn ra quá nhanh, năng lượng trên tụ sẽ nhanh chóng cạn kiệt, vì vậy thời gian tồn tại tia lửa điện sẽ ngắn hơn so với tia lửa điện của hệ thống đánh lửa điện cảm. Do đó, sẽ khó đốt cháy hoàn toàn lượng hoà khí trong một số trường hợp đặc biệt của động cơ như: hoà khí nghèo, dẫn đến xy lanh bị bỏ lửa (misfire) và làm giảm chất lượng khí thải.

Tuy có sự khác biệt về cách thức tích lũy năng lượng và các đặc điểm nêu trên, hai hệ thống đánh lửa trên đều giống nhau về cách tạo ra điện thế cao áp. Để tạo ra xung điện cao áp, cả hai hệ thống trên đều phải dùng biến áp đánh lửa (bobin). Kết cấu của biến áp đánh lửa gồm hai phần chính: cuộn sơ cấp và cuộn thứ cấp. Khi làm việc, trên cuộn sơ cấp của bobin xuất hiện sức điện động tự cảm $e_1 = W_1(d\Phi/dt)$ (từ

100-300V) [1, 4]. Điện áp tự cảm này là nguyên nhân chính gây hư hỏng các thiết bị đóng ngắt dòng sơ cấp (vít lửa hay transistor công suất) làm tiếp điểm bị cháy, rỗ hay làm hỏng transistor công suất lẫn các linh kiện điện tử khác và làm kéo dài thời gian triệt tiêu dòng điện qua cuộn sơ cấp của bobin. Qua đó, làm giảm giá trị cực đại của điện áp thứ cấp. Ngoài ra, sự phóng điện này cũng gây nhiễu, làm ảnh hưởng xấu đến các thiết bị điện và điện tử khác trên ô tô. Để bảo vệ các thiết bị đóng ngắt, người ta thường dùng các biện pháp như: mắc tụ điện song song với tiếp điểm, dùng diode zener mắc song song với transistor, hoặc các biện pháp bảo vệ khác. Với các biện pháp này, thiết bị đóng ngắt dòng sơ cấp được bảo vệ, nhưng lại không tận dụng được phần năng lượng tự cảm sinh ra trên cuộn dây sơ cấp.

Để tận dụng phần năng lượng “thừa” này, ta có thể tích lũy một phần sức điện động tự cảm trên vào một tụ điện và sử dụng phần năng lượng này cho các lần đánh lửa sau. Như vậy, ta vừa đạt được mục tiêu tiết kiệm năng lượng đánh lửa, vừa bảo vệ được cho thiết bị đóng ngắt dòng sơ cấp khỏi các tác hại của sức điện động tự cảm trên, nâng cao được chất lượng đánh lửa trên hệ thống và chống nhiễu cho các thiết bị điện khác trên ô tô.

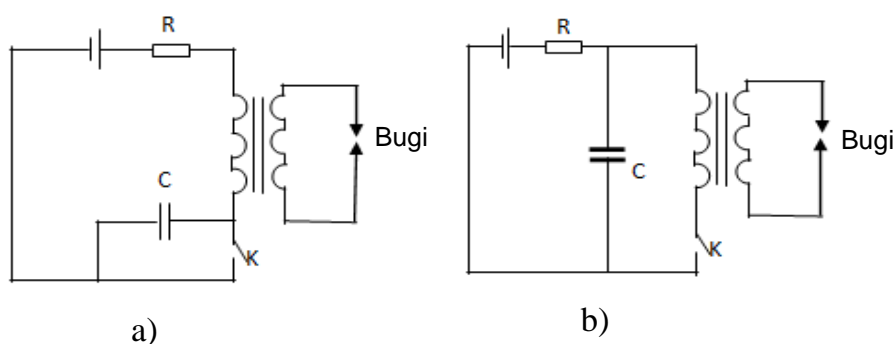
Việc tiết kiệm năng lượng dùng cho hệ thống đánh lửa bằng cách sử dụng đồng thời hai biện pháp tích lũy năng lượng (điện cảm và điện dung) giúp tiết kiệm được năng lượng sử dụng trên động cơ, giảm lượng khí thải thoát ra môi trường. Mặc dù năng lượng phục vụ cho một lần đánh lửa không lớn ($>15\text{mJ}$) [5,6]. 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 suất làm việc của bộ truyền đai, hiệu quả tích lũy của accu và các mát mát khác). Với số lượng ô tô sử dụng động cơ xăng lên đến hàng tỷ chiếc trên thế giới, việc tích lũy năng lượng tự cảm này có ý nghĩa rất lớn. Thêm vào đó, việc tận dụng lại lượng năng lượng “thừa” này sẽ giúp nâng cao độ tin cậy và giảm hư hỏng cho các các thiết bị điện khác trên ô tô.

1.2 Các kết quả trong và ngoài nước về lĩnh vực nghiên cứu đã công bố

1.2.1 Các kết quả ngoài nước

1.2.1.1 Hệ thống đánh lửa điện cảm

Hệ thống đánh lửa điện cảm được sử dụng phổ biến trên động cơ đốt trong sử dụng nhiên liệu xăng, được phát minh bởi Kettering [7] vào năm 1908. Hiện nay, với nhiều biến thể khác như: hệ thống đánh lửa bán dẫn (transistorized), hệ thống đánh lửa theo chương trình (programmed ignition) hệ thống đánh lửa trực tiếp (direct ignition), hệ thống đánh lửa điện cảm vẫn được sử dụng rộng rãi trên ô tô [8].



Hình 1.1: Sơ đồ nguyên lý của hệ thống đánh lửa điện cảm (a), điện dung (b)

Ở hệ thống đánh lửa điện cảm, năng lượng trên hệ thống được tích lũy dưới dạng năng lượng điện cảm. Hoạt động của hệ thống như sau, khi trục khuỷu quay tiếp điểm K (công tắc hay transistor) được điều khiển đóng ngắt. Hệ thống thực hiện hai quá trình như sau

Quá trình tích lũy năng lượng: Khi tiếp điểm K đóng, dòng điện từ + accu qua cuộn dây sơ cấp sẽ tăng trưởng dạng hàm mũ, từ không cho tới giá trị nhất định i [1]

$$i = \frac{U}{R} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) \quad (1.3)$$

Trong đó: U : điện thế nguồn, t : thời gian dòng điện qua cuộn sơ cấp, $\tau = \frac{L}{R}$: hằng số của hệ thống, L : hệ số tự cảm, R : điện trở mạch sơ cấp.

Năng lượng tích lũy trong hệ thống khi tiếp điểm ngắt

$$Q = \frac{Li^2}{2} \quad (1.4)$$

i : cường độ dòng điện qua cuộn sơ cấp tại thời điểm tiếp điểm ngắt.

Quá trình ngắt dòng sơ cấp

Khi tiếp điểm K ngắt dòng điện sơ cấp và từ thông do nó sinh ra mất đi đột ngột, trên cuộn thứ cấp của biến áp đánh lửa sẽ sinh ra điện thế khoảng 15- 22kV [1,4], tạo ra tia lửa điện trên hai điện cực của bugi nhằm đốt cháy hỗn hợp trong lòng xylanh.

• Ưu nhược điểm của hệ thống đánh lửa điện cảm

Ưu điểm

- Cấu trúc đơn giản, làm việc tin cậy.
- Thời gian phóng điện dài 100 μ s đến 2ms [1, 6]

Nhược điểm

- Thời gian tích lũy năng lượng dài
- Thời gian phóng điện phụ thuộc vào năng lượng tích lũy.
- Điện áp thứ cấp tăng trưởng chậm 300 - 500 V/ms [1, 9].
- Điện áp đánh lửa sẽ giảm khi tăng số vòng quay động cơ [1,10]

1.2.1.2 Hệ thống đánh lửa điện dung

Đánh lửa điện dung (CDI) được sử dụng rộng rãi trên xe gắn máy, các loại động cơ nhỏ và một số ô tô khác. Ban đầu nó được phát triển để khắc phục các nhược điểm thời gian tích lũy năng lượng dài trên hệ thống đánh lửa điện cảm, điều này làm cho chúng thích hợp hơn trên động cơ tốc độ cao [1,9,11]. Đặc trưng chính của hệ thống này là tích lũy năng lượng trên một tụ điện và giải phóng dòng năng lượng này trong thời gian rất ngắn (vào khoảng 0,1-0,4 ms) [1,3] nhằm tạo tia lửa điện trên bugi.

Với bằng sáng chế mang số hiệu #60925 tại Mỹ được đăng ký vào ngày 17-2-1897, Nikola Tesla [12] được xem là người sáng chế ra hệ thống đánh lửa điện dung. Hệ thống này được ứng dụng đầu tiên trên ô tô Ford model K vào năm 1906.

- **Nguyên lý làm việc**

Trên hệ thống CDI, tụ điện được tích lũy một điện áp cao từ mạch nạp, ngay khi tụ ngưng nạp, năng lượng tích lũy trên tụ sẽ phóng qua cuộn dây nhằm tạo tia lửa trên bugi. Nếu tụ được nạp tới điện áp U và điện dung của tụ là C , năng lượng tích trữ trên tụ được tính bằng công thức:

$$Q = \frac{CU^2}{2} \quad (1.5)$$

- **Phân loại hệ thống CDI**

Hệ thống CDI được chia làm hai loại AC-CDI và DC-CDI

Được sử dụng rộng rãi trong các động cơ nhỏ, hệ thống AC-CDI sử dụng nguồn điện xoay chiều. Ngược lại, ở hệ thống DC-CDI năng lượng cung cấp cho hệ thống được cung cấp từ accu, một biến thể được sử dụng nhằm tăng điện thế từ 12V DC lên đến: 400-600 V DC [12].

- **Ưu nhược điểm của hệ thống CDI**

Ưu điểm

- Thời gian tích lũy năng lượng ngắn. Vì vậy, đặc tính đánh lửa không phụ thuộc vào số vòng quay động cơ [1].
- Điện thế thứ cấp cao nên thích hợp với các động cơ có áp suất buồng đốt lớn [9, 5].
- Hiệu điện thế thứ cấp tăng trưởng nhanh nên (từ 3 - 10 kV/ms), độ nhạy đánh lửa tăng, ít bị ảnh hưởng của điện trở rò trên bugi [1,7, 5].

Nhược điểm

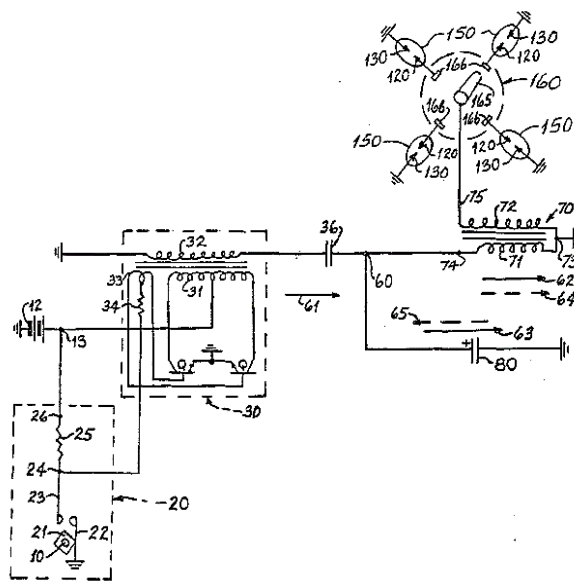
- Vì thời gian phóng điện ngắn, nên khi hòa khí nghèo tia lửa khó có thể đốt cháy được hỗn hợp [1,5].

1.2.1.3 Hệ thống đánh lửa hỗn hợp

Còn gọi là hệ thống đánh lửa lai, hệ thống này kết hợp cả hai kiểu đánh lửa điện dung và điện cảm. Có nhiều biến thể ở hệ thống đánh lửa lai, tuy nhiên các tác giả thường tập trung vào việc kéo dài thời gian xuất hiện tia lửa trên bugi nhằm kéo dài

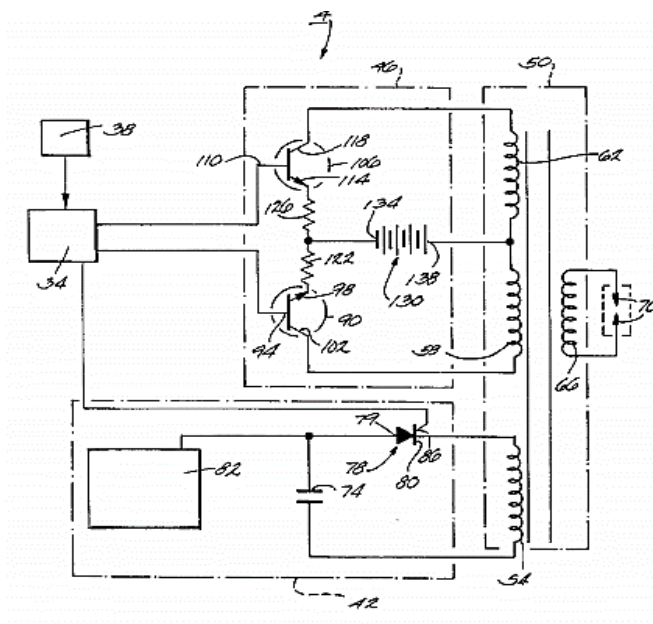
thời gian tiếp xúc giữa tia lửa điện với hỗn hợp hòa khí, giúp cho quá trình cháy xảy ra dễ dàng hơn.

Martin E. Gerry trong công trình hệ thống đánh lửa phóng - nạp với chu kỳ điện dung và điện cảm [13], đã đề cập một hệ thống bao gồm một bộ biến áp đánh lửa có cuộn sơ cấp được mắc song song với một tụ điện và được cấp xung điện áp xoay chiều nhiều lần trong một chu kỳ đánh lửa (Hình 1.2), điều này sẽ giúp cho tụ điện phóng nhiều lần qua cuộn sơ cấp. Qua đó, sẽ tạo ra nhiều xung điện áp cao thế ở cuộn thứ cấp trong một lần đánh lửa trong xy lanh động cơ.



Hình 1.2: Sơ đồ hệ thống đánh lửa phóng - nạp với chu kỳ điện dung và điện cảm [13]

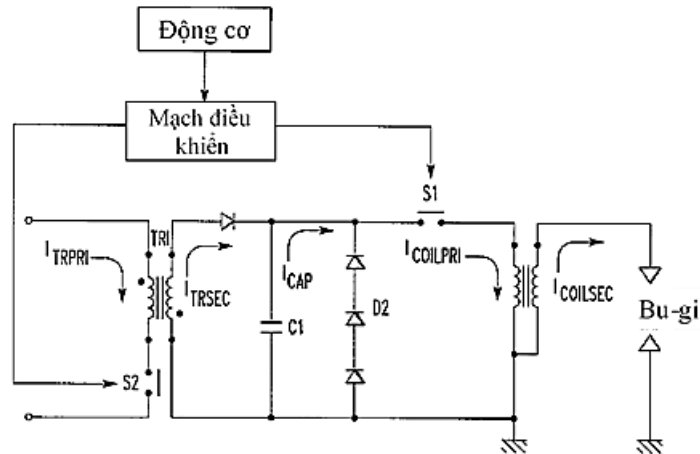
Trong công trình hệ thống đánh lửa hỗn hợp trên động cơ đốt trong (Hình 1.3), Michael J Frech và các cộng sự [14] đã sử dụng biến áp đánh lửa gồm ba cuộn sơ cấp. Đầu tiên, dòng điện từ tụ điện 74 sẽ phóng điện qua cuộn sơ cấp 54 tạo ra tia lửa ” môi” đầu tiên trên bugi, sau đó ECU điều khiển cặp transistor đóng ngắt tạo thành tia lửa trên bugi. Các transistor này sẽ được điều khiển đồng bộ với mạch nạp và xả tụ nhằm tạo ra tia lửa có đủ thời gian đốt cháy hỗn hợp hòa khí.



Hình 1.3: Hệ thống đánh lửa hỗn hợp trên động cơ đốt trong [14]

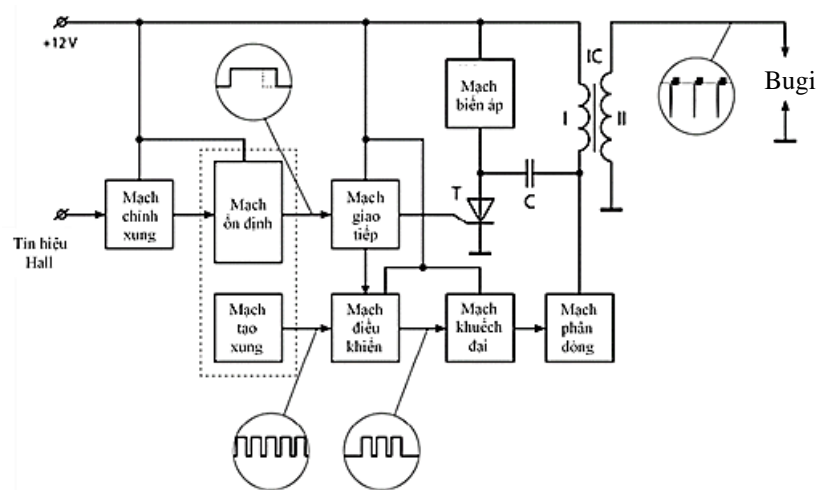
Cũng nhằm kéo dài thời gian xuất hiện tia lửa điện trên bugi, trong công trình Hệ thống đánh lửa điện dung với khả năng kéo dài thời gian xuất hiện tia lửa (Hình 1.4) Joseph M. Lepley, Girard [15] đã thiết kế một hệ thống gồm một biến áp đệm, tụ điện C1, biến áp đánh lửa, hai công tắc S1 và S2. Tụ điện C1 sẽ được mắc nối tiếp với công tắc S1 và cuộn sơ cấp bobin. Công tắc S2 sẽ được mắc nối tiếp với cuộn sơ cấp của biến áp đệm. Công tắc S1 và S2 sẽ được điều khiển thông qua bộ điều khiển (control unit).

Đầu tiên, công tắc S1 mở, công tắc S2 đóng, năng lượng sẽ được tăng trưởng trong cuộn sơ cấp của biến áp đệm, sau đó công tắc S2 mở, tụ C1 sẽ được nạp do dòng điện cảm ứng của cuộn thứ cấp biến áp đệm phóng ra. Kết thúc thời gian nạp tụ, công tắc S2 đóng lại. Đến thời điểm đánh lửa, công tắc S1 sẽ được điều khiển đóng, tụ C1 sẽ phóng điện qua cuộn sơ cấp của biến áp đánh lửa và tia lửa điện sẽ xuất hiện ở đầu bugi. Lúc này, công tắc S2 lại được mở ra và dòng điện cảm ứng từ cuộn thứ cấp của biến áp đệm sẽ phóng thêm vào cuộn sơ cấp của biến áp đánh lửa, ứng dụng này sẽ giúp kéo dài thời gian xuất hiện tia lửa điện ở đầu bugi.

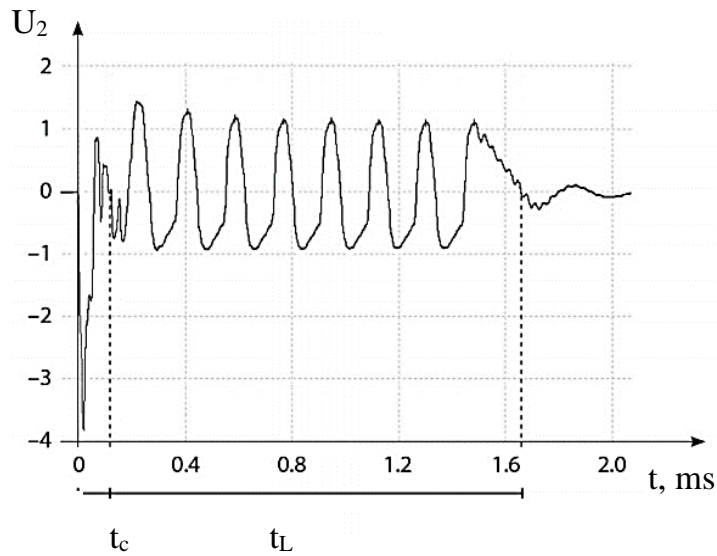


Hình 1.4: Hệ thống đánh lửa điện dung với khả năng kéo dài thời gian xuất hiện tia lửa điện [15]

Trong bài báo hệ thống đánh lửa lai có thể thay đổi thời gian xuất hiện tia lửa tác giả Audris Šimakauskas, Vilnius Gediminas Technical University [16] đã đề xuất ra một hệ thống đánh lửa hỗn hợp điện dung và điện cảm, hệ thống này bao gồm hai phần chính: mạch đánh lửa điện dung: bộ khuếch đại điện áp, thyristor, tụ điện C1; mạch đánh lửa điện cảm: bộ tạo xung, mạch điều biên, bộ khuếch đại. Bộ chia điều khiển hoạt động của cả hai mạch. Đầu tiên mạch đánh lửa điện dung sẽ làm việc cung cấp xung điện áp có thể đạt đến từ 30-40 kV, điện áp này đủ để hình thành tia lửa trên bugi. Tiếp đó, mạch đánh lửa điện cảm làm việc cung cấp các xung điện áp vài kV nhằm kéo dài thời gian hình thành tia lửa trên bugi.



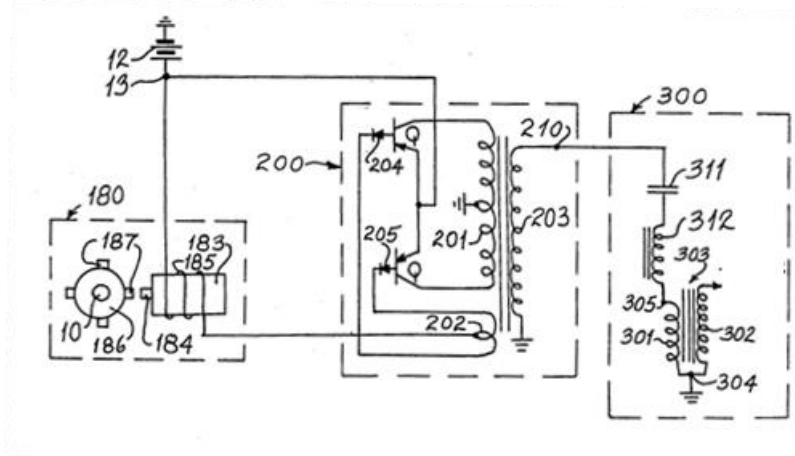
Hình 1.5: Sơ đồ khối của hệ thống đánh lửa lai có thể thay đổi thời gian xuất hiện tia lửa [16]



t_c thời gian đánh lửa điện dung, t_L thời gian đánh lửa điện cảm

Hình 1.6: Điện thế đánh lửa thứ cấp trên hệ thống đánh lửa lai [16]

Công trình “Hệ thống đánh lửa hỗn hợp điện dung điện cảm” của tác giả Martin E.Gerry, Patent US4291661 [17]



Hình 1.7: Sơ đồ hệ thống đánh lửa hỗn hợp điện dung điện cảm [17]

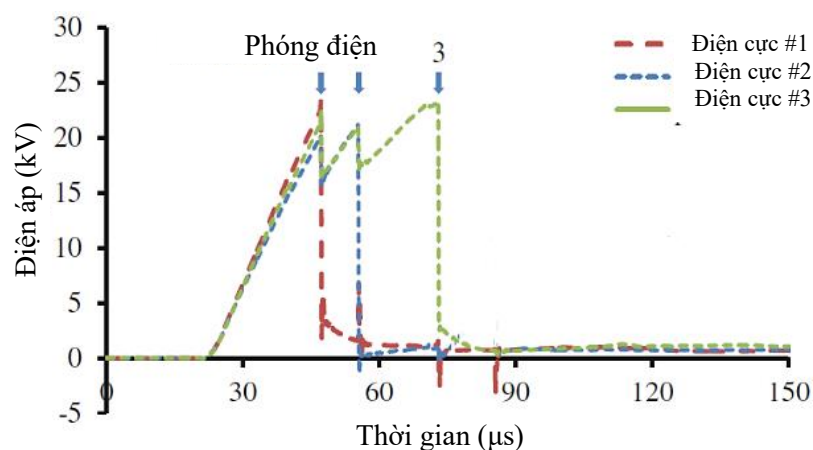
Hệ thống bao gồm mạch nguồn AC 200 cấp điện liên tục cho bộ biến áp có cuộn sơ cấp mắc nối tiếp với tụ điện trong một chu kỳ đánh lửa, làm cho tụ điện phóng nhiều lần qua cuộn sơ cấp. Mạch nguồn AC được điều khiển bởi mạch tạo xung 180, qua đó thay đổi được biên độ của dòng điện đầu ra.

Các bộ phận của hệ thống: accu 12, mạch tạo xung 180, mạch nguồn AC 200, mạch bobin 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 203 có dạng xung vuông. Ở mạch bobin 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, bobin được nạp xả nhanh chóng không cần có thêm bộ phận điều khiển và dòng điện được phóng nhiều lần qua cuộn sơ cấp làm tăng số lần đánh lửa.

1.2.1.4 Một số nghiên cứu khác về hệ thống đánh lửa

Trong bài viết: Hệ thống đánh lửa đa điểm năng lượng cao, Ming Zheng và các đồng nghiệp [18] đã giới thiệu một hệ thống đánh lửa sử dụng bugi có 3 cặp điện cực để tạo ra các tia lửa được phân bố đều như hình 1.9. Các bugi này được cấp năng lượng một cách riêng biệt. Do đó, có thể phóng điện đồng thời hoặc luân phiên nhau



Hình 1.8: Điện áp đánh lửa trên bugi có ba cặp điện cực [18]

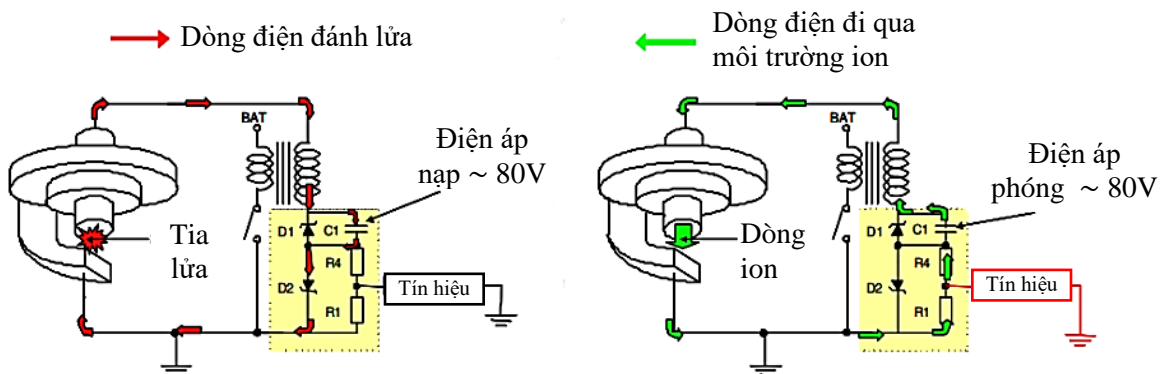
Kết quả thực nghiệm trên động cơ một xylanh cho thấy rằng trên cơ sở mức năng lượng đánh lửa như nhau, hệ thống đánh lửa sử dụng bugi có 3 cặp điện cực có thể

làm giảm sự đánh lửa trễ, ổn định quá trình cháy, và kéo dài giới hạn bắt lửa nghèo, so với bugi điện cực truyền thống.



Hình 1.9: Bugi có ba cặp điện cực [18]

Peter Weyand trong bài viết [19]: Cảm nhận dòng ion - một phương pháp mới để phát hiện sự mất lửa và hiện tượng đánh lửa sớm, đã giới thiệu về hệ thống đánh lửa của Delphi, trên hệ thống này đã bố trí thêm thiết bị “current sensing” nhằm phát hiện hiện tượng đánh lửa sớm, dòng rò trên các điện cực bugi hay sự mất lửa.

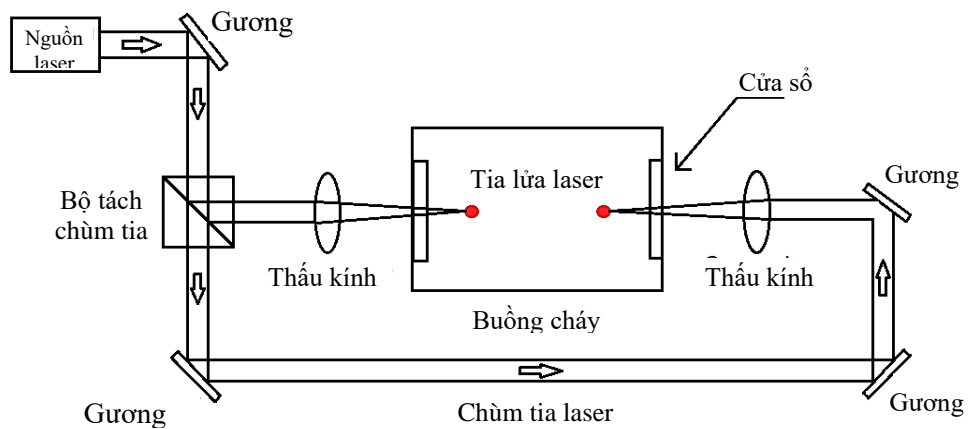


Hình 1.10: Cơ chế hoạt động của thiết bị cảm nhận dòng ion [19]

Hoạt động của thiết bị này như sau: khi quá trình đánh lửa xảy ra, tụ điện C1 được nạp từ 80V đến 120V. Điện áp cần thiết để nạp cho tụ được lấy từ năng lượng tích lũy trên biến áp đánh lửa. Kết thúc giai đoạn đánh lửa, trong trường hợp quá trình đánh lửa xảy ra, điện áp trong tụ có thể cung cấp một dòng điện đi qua môi trường đã được ion hóa giữa hai điện cực của bugi. Dòng điện này tạo ra sụt áp ở điện trở R1,

điện áp trên R1 thể hiện cho số ion được tạo ra hoặc có trong buồng đốt. Qua đó, hệ thống điều khiển động cơ sẽ phát hiện ra các điểm bất thường của quá trình đánh lửa.

Trong bài viết Hệ thống đánh lửa Laser và những ứng dụng trên động cơ đốt trong Prashant Patane [20] đã viết: Trên động cơ đốt trong, để đốt cháy hỗn hợp hòa khí nghèo yêu cầu tia lửa có năng lượng cao đáng kể. Tuy nhiên, khi tăng năng lượng đánh lửa sẽ làm giảm tuổi thọ của bugi do sự ăn mòn các điện cực. Để khắc phục các khó khăn này, đánh lửa laser đa điểm là một phương pháp thay thế sáng tạo hơn trong việc đốt các hỗn hợp hòa khí nghèo. Năng lượng tập trung từ nguồn laser có khả năng đốt cháy hỗn hợp tại nhiều vị trí khác nhau trong buồng đốt.



Hình 1.11: Hệ thống đánh lửa Laser [20]

Nhận xét

Hai công trình “Thiết bị đánh lửa cho động cơ đốt trong” của tác giả Charles F Kettering và “Thiết bị đánh lửa cho động cơ xăng” của Nikola Tesla thể hiện hai hệ thống đánh lửa cơ bản trên động cơ là hệ thống đánh lửa điện cảm và hệ thống đánh lửa điện dung. Hệ thống đánh lửa điện cảm thường được sử dụng trên ô tô nhưng có khuyết điểm là chưa tận dụng được sức điện động tự cảm sinh ra trong quá trình làm việc. Các công trình nghiên cứu về hệ thống đánh lửa hỗn hợp như đã trình bày (phần 1.2.1.3) theo xu hướng sử dụng kết hợp cả năng lượng điện dung và điện cảm, phối hợp cả hai kiểu đánh lửa nhằm tăng số lượng tia lửa hay tăng thời gian xuất hiện tia lửa trên bugi.

Một số các nghiên cứu khác trình bày trong phần 1.2.1.4, các tác giả dùng các biện pháp khác nhau, nhằm có thể cải thiện chất lượng của quá trình đốt cháy nhiên liệu hay bổ sung thêm các tính năng khác của hệ thống đánh lửa (chức năng chẩn đoán bằng current sensing)

1.2.2 Tình hình nghiên cứu trong nước

Các nghiên cứu về hệ thống đánh lửa trên ô tô ở Việt Nam tập trung chủ yếu vào điện tử hóa hệ thống đánh lửa và tối ưu hóa thời điểm đánh lửa trên động cơ, các nghiên cứu có thể kể ra như sau:

Nghiên cứu chuyển đổi hệ thống đánh lửa bán dẫn sang hệ thống đánh lửa trực tiếp, Lâm Bá Nhạ và Đỗ Văn Dũng [21] đã nghiên cứu chuyển đổi hệ thống đánh lửa bán dẫn sang hệ thống đánh lửa trực tiếp theo hai phương án sử dụng bobin đôi và bobin đơn trên động cơ Toyota 5A-FE.

Tác giả Nguyễn Văn Thịnh và các cộng sự [22] trong đề tài: Nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm các hệ thống đánh lửa đang sử dụng phổ biến trên ô tô ở Việt Nam và khả năng lắp lẫn, đã nghiên cứu chế tạo một bộ đánh lửa đa năng, có khả năng lắp lẫn trên nhiều loại ô tô khác nhau. Nội dung của đề tài đi vào khảo sát đặc tính làm việc của hệ thống đánh lửa, tính toán các thông số của hệ thống đánh lửa, chế tạo bộ đánh lửa đa năng và đánh giá hiệu quả hoạt động của chúng.

Trên đề tài nghiên cứu: Thiết kế mạch điều khiển góc đánh lửa sớm cho động cơ M161, Mercedes-benz 140 do Lê Văn Tụy và các cộng sự [23] thực hiện, các tác giả đã nghiên cứu và thiết kế mạch đánh lửa sớm cho động cơ trên, khi chuyển đổi loại nhiên liệu sử dụng từ xăng qua loại nhiên liệu kép xăng - khí hóa lỏng.

Nguyễn Duy Tấn trong đề tài [24]: Bán dẫn hóa hệ thống đánh lửa trên xe thiết giáp BTR-60BP, đã thay thế hệ thống đánh lửa sử dụng trên xe thiết giáp BTR-60BP bằng hệ thống đánh lửa bán dẫn kiểu điện dung có sử dụng má vít.

Đỗ Quốc Âm và các cộng sự [25] trong đề tài: Nghiên cứu chế tạo mạch đánh lửa trên động cơ ô tô theo chương trình, đã nghiên cứu và chế tạo thành công mạch điều khiển đánh lửa với các tham số thực nghiệm. Hệ thống sử dụng vi điều khiển

Atmega8, ngôn ngữ lập trình Bascom Avr. Các nghiên cứu trên đề tài được thực hiện trên ô tô Honda Accura.

Trong đề tài Nghiên cứu tương thích hóa đặc tuyến làm việc của IC đánh lửa theo chương trình, Đỗ Văn Dũng, Lâm Phương An, các tác giả [26] đã nghiên cứu, chế tạo và thử nghiệm bộ điều khiển được lập trình có khả năng chuyển đổi đặc tính làm việc của bộ đánh lửa (igniter) ở nhiều hãng xe. Điều này cho phép lắp lẫn bộ đánh lửa của các hãng khác nhau.

Qua việc tìm kiếm và theo dõi các thông tin về khoa học kỹ thuật người thực hiện đề tài nhận thấy các nghiên cứu về hệ thống đánh lửa hỗn hợp điện dung - điện cảm tại Việt Nam hiện chưa được thực hiện.

1.2.3 Kết luận – Đề xuất nghiên cứu

Như đã trình bày trên phần tổng quan, ta đã thấy rõ ưu nhược điểm của từng loại hệ thống đánh lửa. Các công trình nghiên cứu từ trước đến nay đã cố gắng giải quyết các nhược điểm của từng loại hệ thống đánh lửa theo những cách thức khác nhau, nhưng hầu hết là sự cải tiến trên một loại hệ thống đánh lửa duy nhất. Tổng hợp lại, ta có thể rút ra được kết luận sau:

Đối với hệ thống đánh lửa điện cảm, các nghiên cứu tập trung vào việc nâng cao năng lượng đánh lửa, đặc biệt là ở tốc độ cao.

Đối với hệ thống đánh lửa điện dung, người ta cố gắng kéo dài thời gian xuất hiện tia lửa điện.

Đối với hệ thống đánh lửa hỗn hợp (hệ thống đánh lửa hỗn hợp điện dung-điện cảm), các cải tiến tập trung vào kéo dài thời gian xuất hiện tia lửa hay tăng số lượng tia lửa trên bugi bằng cách kết hợp giữa hai dạng đánh lửa điện dung và điện cảm.

Hướng nghiên cứu phối hợp cả hai kiểu đánh lửa điện dung - điện cảm có sử dụng sử dụng một phần năng lượng tự cảm (trong giai đoạn đánh lửa điện cảm) cho giai đoạn đánh lửa điện dung chưa được đề cập trên các công trình nghiên cứu trong và ngoài nước.

Như đã trình bày trong phần đặt vấn đề, trong quá trình làm việc trên cuộn sơ cấp của bobin có xuất hiện sức điện động tự cảm, gây ra các khuyết điểm như làm

hỏng thiết bị đóng ngắt dòng sơ cấp, gây nhiễu trên các thiết bị điện khác trên ô tô, làm giảm điện áp thứ cấp. Nếu có thể tích lũy năng lượng “thừa” này vào một tụ điện và sử dụng phần chúng cho các lần đánh lửa sau sẽ tiết kiệm được năng lượng sử dụng cho hệ thống đánh lửa và khắc phục được các nhược điểm đã nêu; Đây cũng là hướng nghiên cứu của luận án.

1.3 Mục tiêu nghiên cứu và mong muốn đạt được

1.3.1 Mục tiêu chính của luận án

Nghiên cứu chứng minh tính khả thi của hệ thống đánh lửa hỗn hợp điện dung và điện cảm (HTĐL) sử dụng bobin đơn: một giải pháp tận dụng năng lượng dự trữ từ giai đoạn đánh lửa điện cảm, sử dụng cho giai đoạn đánh lửa điện dung. Qua đó tiết kiệm được năng lượng sử dụng cho hệ thống đánh lửa, giảm ô nhiễm môi trường và các tác hại xấu đến các thiết bị điện khác trên ô tô.

1.3.2 Mong muốn đạt được

Nghiên cứu, tính toán, thiết kế, chế tạo mạch đánh lửa hỗn hợp điện dung và điện cảm sử dụng bobin đơn có khả năng sử dụng một phần năng lượng tự cảm trên cuộn sơ cấp của bobin cụ thể như sau:

- Xây dựng mô hình nguyên lý của hệ thống đánh lửa hỗn hợp điện dung - điện cảm sử dụng bobin đơn (sử dụng một biến áp đánh lửa cho một bugi) có khả năng tích lũy được một phần năng lượng tự cảm nhằm phục vụ cho quá trình đánh lửa điện dung.
- Lập mô hình toán học mô tả được các quá trình xảy ra (cường độ dòng điện và sức điện động tự cảm) trong hệ thống đánh lửa đã đề xuất.
- Mô phỏng hoạt động và xác định được các thông số của hệ thống.
- Chế tạo được mô hình hệ thống đánh lửa trực tiếp sử dụng bobin đơn lai giữa đánh lửa điện cảm và điện dung như đã đề xuất.
- Thực nghiệm hoạt động của hệ thống và đánh giá kết quả thực nghiệm so sánh các kết quả thực nghiệm với các tính toán lý thuyết.

- Thực nghiệm đánh giá mức độ tác động của hệ thống đánh lửa đã đề xuất đến hoạt động của động cơ (qua các chỉ tiêu về công suất, suất tiêu hao nhiên liệu và chất lượng khí thải).

1.4 Đối tượng, phạm vi và phương pháp nghiên cứu

1.4.1 Đối tượng nghiên cứu:

Hệ thống đánh lửa hỗn hợp điện dung- điện cảm sử dụng trên động cơ xăng nhiều xy lanh.

1.4.2 Phạm vi nghiên cứu

Khảo sát, nghiên cứu, mô phỏng, thực nghiệm và chế tạo hệ thống đánh lửa trực tiếp sử dụng bobin đơn (một bobin đánh lửa cho một bugi) phối hợp giữa hệ thống đánh lửa điện cảm và điện dung (dùng trên động cơ ô tô bốn xy lanh) có khả năng tích lũy một phần năng lượng tự cảm trên các bobin đánh lửa điện cảm và sử dụng phần năng lượng này cho quá trình đánh lửa điện dung.

1.4.3 Phương pháp nghiên cứu

- Phương pháp tham khảo tài liệu

Hệ thống, phân tích, so sánh các công trình liên quan

- Phương pháp tính toán

Tính toán và xử lý các kết quả tính toán, thực nghiệm và tiến hành hiệu chỉnh các thông số.

Sử dụng các phần mềm tính toán - mô phỏng hoạt động của các thông số trên mô hình và xác định các thông số của hệ thống (Matlab).

- Phương pháp thực nghiệm

Xây dựng mô hình thực nghiệm, tiến hành thực nghiệm, đo đạc và thu thập các thông số kỹ thuật, đối chứng, phân tích và đánh giá, so sánh các kết quả thực nghiệm với các kết quả tính toán.

1.5 Các nội dung chính và dự kiến kết quả nghiên cứu

1.5.1 Dự kiến các nội dung trong đề tài

- Nghiên cứu lý thuyết về đánh lửa trên động cơ ô tô.
- Xây dựng các mô hình tính toán.

- Thiết lập các phương trình toán học mô tả các quá trình diễn biến trong hệ thống đánh lửa đã đề xuất.
- Mô phỏng hoạt động - xác định các thông số cho hệ thống đánh lửa hỗn hợp.
- Xây dựng mô hình thật.
- Thực nghiệm hoạt động của hệ thống và đánh giá các kết quả thực nghiệm.
- Đánh giá mức độ tác động của hệ thống đánh lửa đã đề xuất đến hoạt động của động cơ.
- Kết luận.

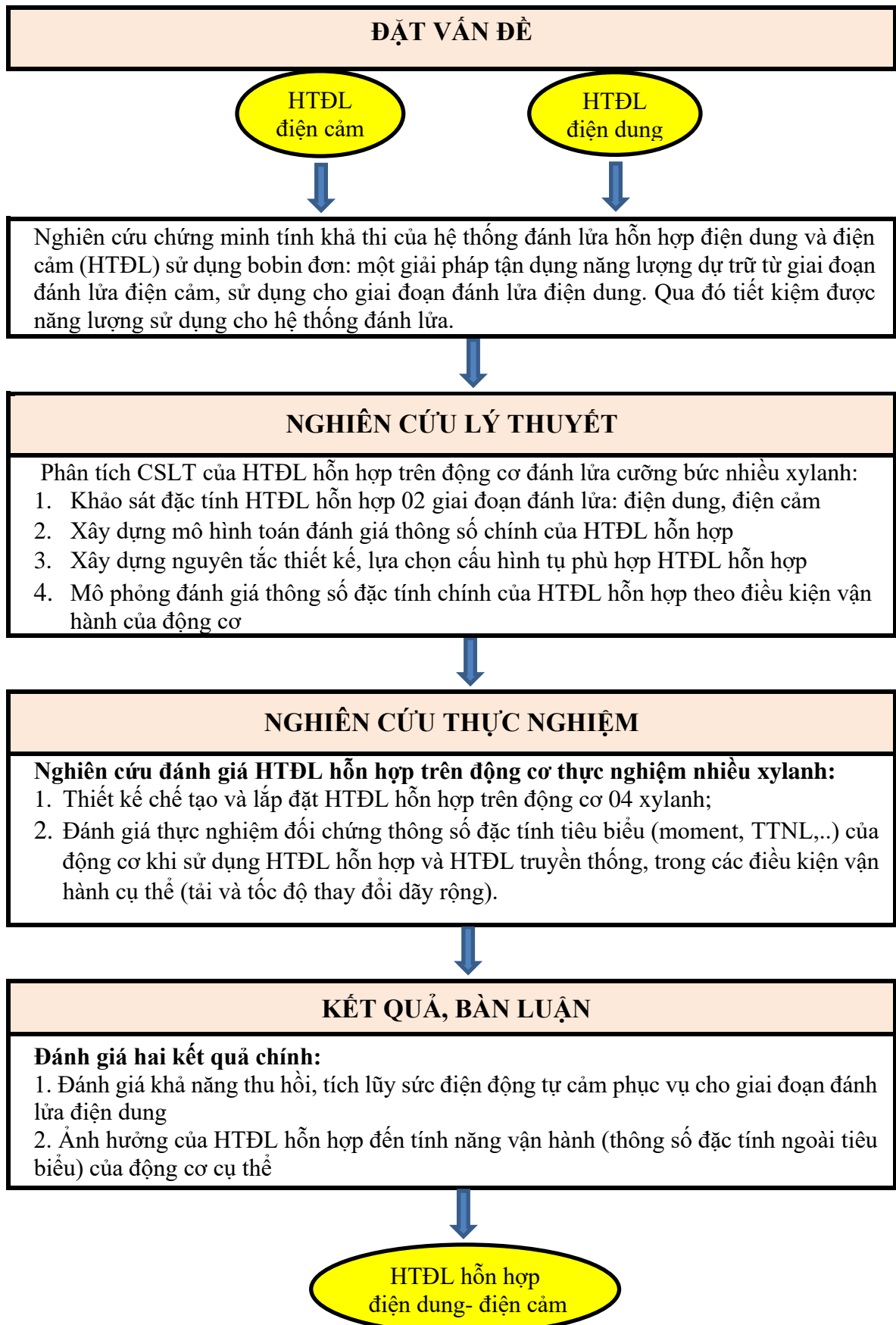
1.5.2 Dự kiến kết quả nghiên cứu

- Mô hình nguyên lý của hệ thống đánh lửa hỗn hợp điện dung - điện cảm sử dụng bobin đơn.
- Mô hình hóa toán học các quá trình xảy ra trong hệ thống đánh lửa đã đề xuất.
- Xác định được các thông số của hệ thống.
- Tính toán và thi công được hệ thống đánh lửa trực tiếp sử dụng bobin đơn kết hợp đánh lửa điện cảm và điện dung.
- Thực nghiệm hoạt động của hệ thống đánh lửa hỗn hợp và đánh giá kết quả, so sánh các kết quả mô phỏng bằng lý thuyết.
- Đánh giá mức độ tác động của hệ thống đánh lửa đã đề xuất đến hoạt động của động cơ.

Lưu đồ nghiên cứu

Những nội dung trong luận án được thực hiện theo lưu đồ nghiên cứu sau:

Bảng 1.1: Lưu đồ nghiên cứu



- Ghi chú:** - HTĐL: Hệ thống đánh lửa
- CSLT: Cơ sở lý thuyết
- TTNL: Tiêu thụ nhiên liệu

Chương 2

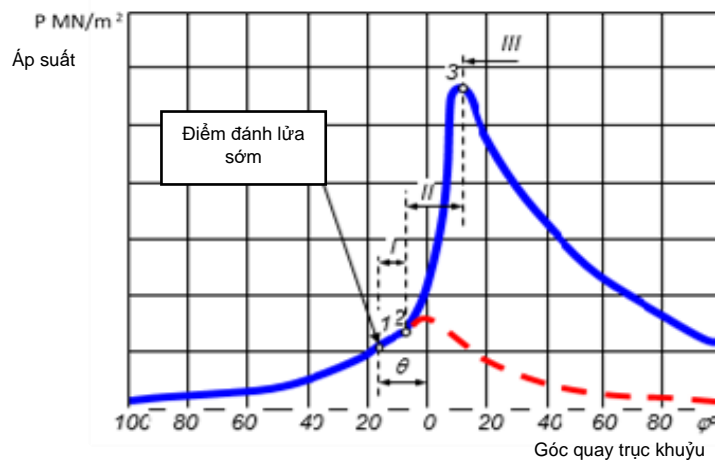
CƠ SỞ LÝ THUYẾT

2.1 Nhiệm vụ của hệ thống đánh lửa

Hệ thống đánh lửa trên ô tô có nhiệm vụ tạo ra tia lửa điện nhằm đốt cháy hỗn hợp không khí và nhiên liệu vào đúng thời điểm, với năng lượng đánh lửa cần thiết [1,2,4]. Để đạt được điều này, hệ thống đánh lửa sẽ biến nguồn điện xoay chiều hoặc một chiều (12 hay 24V) có điện thế thấp thành các xung điện cao thế (từ 15kV đến 40kV). Các xung điện cao thế này sẽ được phân bố đến các bugi đúng thời điểm để tạo ra tia lửa điện đốt cháy hòa khí.[1,2,4]

2.2 Quá trình cháy trên động cơ xăng bắt đầu khi bugi phát ra tia lửa điện và bèn vào hoà khí. Màng lửa sẽ lan rộng khắp buồng đốt và lòng xy lanh rồi tắt dần đi. Quá trình này có thể được chia thành 3 giai đoạn chính [27].

Quá trình cháy trên động cơ xăng bắt đầu khi bugi phát ra tia lửa điện và bèn vào hoà khí. Màng lửa sẽ lan rộng khắp buồng đốt và lòng xy lanh rồi tắt dần đi. Quá trình này có thể được chia thành 3 giai đoạn chính [27].



I: Giai đoạn cháy trễ; II: Giai đoạn cháy chính; III: Giai đoạn cháy rút

Hình 2.1: Đồ thị thể hiện mối quan hệ giữa áp suất trong lòng xy lanh theo góc quay trục khuỷu. [27]

- Giai đoạn từ lúc bugi đánh lửa và hình thành tâm cháy ban đầu (giai đoạn cháy trễ).
- Giai đoạn màng lửa phát triển và lan truyền màng lửa hay còn gọi là giai đoạn cháy chính

• Giai đoạn kết thúc quá trình cháy và màng lửa tắt dần đi. Giai đoạn này còn gọi là giai đoạn cháy rớt.[28]

Để đạt được moment cực đại, quá trình cháy phải diễn ra gần điểm chết trên. Toàn bộ thời gian phát triển và lan tràn màng lửa chiếm khoảng 30^0 đến 90^0 góc quay của trục khuỷu [5,29]. Ở giai đoạn I, tính từ lúc bugi đánh lửa cho đến khi đường cong áp suất cháy bắt đầu cao hơn đường cong áp suất nén [29], hàng loạt quá trình lý hóa xảy ra chuẩn bị cho sự đốt cháy hỗn hợp trong lòng xylanh, trong giai đoạn này lượng hòa khí tham gia phản ứng khoảng 1,5 % [30], sự tăng áp suất và tỏa nhiệt không rõ ràng. Trong giai đoạn II quá trình oxy hóa nhiên liệu xảy ra rất mãnh liệt, nhiệt độ và áp suất trong lòng xylanh tăng nhanh, áp suất lớn nhất trong lòng xylanh đạt được cuối giai đoạn này. Trường hợp góc đánh lửa sớm đạt tốt nhất, áp suất trong lòng xylanh sẽ đạt giá trị cực đại khoảng 16^0 sau điểm chết trên [5, 29] và ở vị trí 10^0 sau điểm chết trên có khoảng 50% hỗn hợp khí đã cháy. Giai đoạn III- cháy rớt dài hay ngắn phụ thuộc vào mức độ xoáy lốc của hỗn hợp, thành phần hòa khí và góc đánh lửa sớm. Nếu hỗn hợp quá loãng hoặc đánh lửa quá trễ sẽ làm quá trình cháy kết thúc chậm hơn [27, 28].

2.3 Các thông số chủ yếu của hệ thống đánh lửa

2.3.1 Hiệu điện thế thứ cấp cực đại V_{2m}

Là hiệu điện thế cực đại đo được ở đầu cuộn thứ cấp. Hiệu điện thế V_{2m} phải đủ lớn để tạo ra tia lửa giữa hai điện cực của bugi nhất là lúc khởi động. V_{2m} có giá trị từ 15- 40 kV [1,4]

2.3.2 Hiệu điện thế đánh lửa V_{dl}

Là hiệu điện thế thứ cấp mà tại đó quá trình đánh lửa xảy ra (V_{dl}) [1,4]

Theo định luật Paschen:

$$V_{dl} = K \frac{P\delta}{T} \text{ (kV)} \quad (2.1)$$

Trong đó:

P : Áp suất trong buồng đốt tại thời điểm đánh lửa (atm).

δ : Khe hở bugi (mm).

T : Nhiệt độ ở điện cực trung tâm của bugi tại thời điểm đánh lửa ($^{\circ}\text{K}$)

K : Hằng số phụ thuộc vào thành phần của hỗn hợp hòa khí.

- Đối với động cơ sử dụng bộ chia điện $V_{dl} = 4 - 18\text{kV}$.
- Đối với động cơ đánh lửa trực tiếp $V_{dl} = 6 - 14\text{kV}$ [31]

2.3.3 Hệ số dự trữ K_{dt}

Hệ số dự trữ K_{dt} , còn được gọi là hệ số dự trữ điện thế, là tỷ số giữa hiệu điện thế thứ cấp cực đại V_{2m} và hiệu điện thế đánh lửa V_{dl} [1, 4, 32]:

$$K_{dt} = \frac{V_{2m}}{V_{dl}} \quad (2.2)$$

Hệ số $K_{dt} < 1,5$ đối với hệ thống đánh lửa thường và bằng $1,5 \div 2$ đối với động cơ xăng dùng hệ thống đánh lửa điện tử.

2.3.4 Tốc độ biến thiên của hiệu điện thế thứ cấp S

$$S = \frac{du_2}{dt} = \frac{\Delta u_2}{\Delta t} = 300 \div 600\text{V} / \mu\text{s} \quad (2.3)$$

Δu_2 : Độ biến thiên của hiệu điện thế thứ cấp.

Δt : Thời gian biến thiên của hiệu điện thế thứ cấp.

Tốc độ biến thiên S càng lớn thì tia lửa xuất hiện tại điện cực bugi càng nhanh, nhờ đó dòng điện không bị rò qua muội than trên cực điện bugi, năng lượng tiêu hao trên mạch thứ cấp giảm [1, 32].

2.3.5 Tần số và chu kỳ đánh lửa

Tần số đánh lửa là số tia lửa xuất hiện trong 1 giây.

Đối với động cơ 4 kỳ tần số f được tính bởi công thức:

$$f = \frac{nZ}{120} (\text{Hz}) \quad (2.4)$$

Đối với động cơ 2 kỳ:

$$f = \frac{nZ}{60} (\text{Hz}) \quad (2.5)$$

- f : Tần số đánh lửa (Hz)
- n : Tốc độ động cơ. (vòng/phút)
- Z : Số xy lanh động cơ.

Chu kỳ T là thời gian giữa hai lần xuất hiện tia lửa.

$$T = 1/f = t_d + t_m \quad (2.6)$$

t_d : Thời gian vít ngậm hay transistor dẫn bão hòa.

t_m : Thời gian vít hở hay transistor ngắt.

Tần số f tỷ lệ thuận với tốc độ động cơ và số xylanh, tỷ lệ nghịch với chu kỳ. Đối với các hệ thống đánh lửa được điều khiển bằng máy tính, thời gian t_d do máy tính điều khiển nhằm bảo đảm năng lượng đánh lửa đủ lớn ở mọi chế độ hoạt động của động cơ.

2.3.6 Thời gian tích lũy năng lượng (t_d)

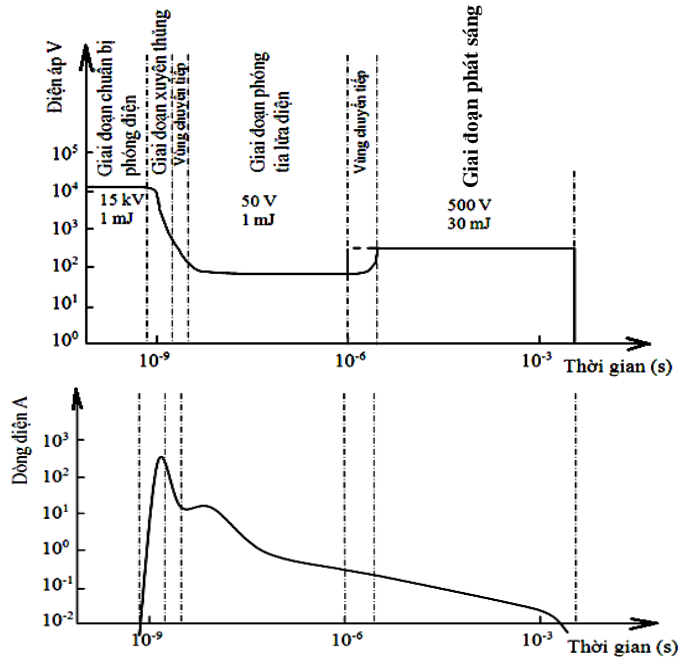
Thời gian tích lũy năng lượng t_d được xem như thời gian dòng điện đi qua cuộn sơ cấp của bobin. Cường độ dòng điện lúc ngắt, ảnh hưởng trực tiếp đến năng lượng tích lũy trên cuộn sơ cấp của bobin. Vì vậy, khoảng thời gian này thường được biết đến như thời gian tích lũy năng lượng. Trên hệ thống đánh lửa trực tiếp (một bobin chỉ sử dụng cho một bugi), t_d được ECU - Electronic control unit điều khiển [1,33] nhằm bảo đảm năng lượng đánh lửa khi thay đổi tốc độ của động cơ.

2.4 Năng lượng đánh lửa

2.4.1 Phân tích năng lượng của tia lửa điện [5,16]

Quá trình cháy của hỗn hợp xăng và không khí trong lòng xylanh vào cuối thì nén, khởi đầu bởi sự phóng tia lửa điện giữa hai điện cực của bugi. Thời điểm xuất hiện tia lửa điện dao động từ $10^0 - 30^0$ trước điểm chết trên của góc quay trục khuỷu và tùy thuộc vào điều kiện làm việc tức thời của động cơ và hình dạng của buồng đốt. Tia lửa điện chính là sự phóng ra của dòng plasma có nhiệt độ cực cao giữa hai điện cực bugi để đốt cháy lượng hoà khí ở khu vực lân cận. Lúc đầu, vận tốc cháy diễn ra khá chậm vì mất mát nhiệt, do nhiệt độ của điện cực bugi và hoà khí còn tương đối thấp và sau đó màng lửa mới bắt đầu lan nhanh dẫn đến khối hoà khí bùng cháy dữ

đội. Thông thường thời gian cháy trễ ở điều kiện làm việc bình thường tương đương với khoảng 6^0 góc quay trục khuỷu.



Hình 2.2: Đồ thị thể hiện mối quan hệ giữa điện áp, cường độ dòng điện và thời gian đánh lửa [5].

Các nghiên cứu của Maly và Vogel đã chia quá trình hình thành tia lửa điện trên bugi thành ba giai đoạn chính: Xuyên thủng, phóng tia lửa điện và phát sáng (glow discharge).

Giai đoạn xuyên thủng (Breakdown phase)

Quá trình phóng điện giữa hai điện cực chỉ xảy ra khi điện áp giữa hai điện cực đủ lớn. Trong một quá trình phóng tia lửa điện điển hình, khi điện thế trên hai điện cực tăng lên đến một giá trị nhất định, lúc này lượng ion trong hỗn hợp giữa hai điện cực đủ lớn sẽ làm phát sinh tia lửa điện giữa hai điện cực. Vì vậy, giai đoạn phóng điện này được gọi là giai đoạn xuyên thủng (hay còn gọi là giai đoạn ion hóa).

Đặc trưng cho giai đoạn này là điện áp rất cao ($\sim 10kV$). Cường độ dòng điện tăng lên đáng kể từ ~ 10 mA đến 200A, trong thời gian rất ngắn $\sim 10ns$. Lúc này, hình thành một kênh ion hóa giữa 2 điện cực bugi có đường kính khoảng 40 μm , gần

như toàn bộ năng lượng được truyền qua cột plasma này (94%). Nhiệt độ và áp suất của kênh plasma tăng rất nhanh lên đến 6.000^0K và vài trăm atm, dẫn đến sóng xung kích và kênh plasma sẽ giãn rộng ra, đồng thời áp suất và nhiệt độ kênh plasma giảm xuống. Khoảng 30% năng lượng trên kênh plasma bị mất đi do các sóng xung kích.

Giai đoạn phóng tia lửa điện (Arc phase)

Trong giai đoạn phóng tia lửa, điện áp nằm trong khoảng $<100\text{V}$ và cường độ dòng điện phụ thuộc vào điện trở của mạch. Đối với giai đoạn xuyên thủng, hòa khí trong khe hở giữa hai điện cực bị phân cực và ion hóa cao, còn giai đoạn phóng tia lửa điện mức độ phân cực vẫn cao tại điện cực, nhưng mật độ ion hóa lại thấp (1%). Năng lượng bị mất mát đáng kể do truyền nhiệt cho các điện cực và hỗn hợp trong buồng cháy (khoảng 50%).

Giai đoạn phát sáng (Glow phase)

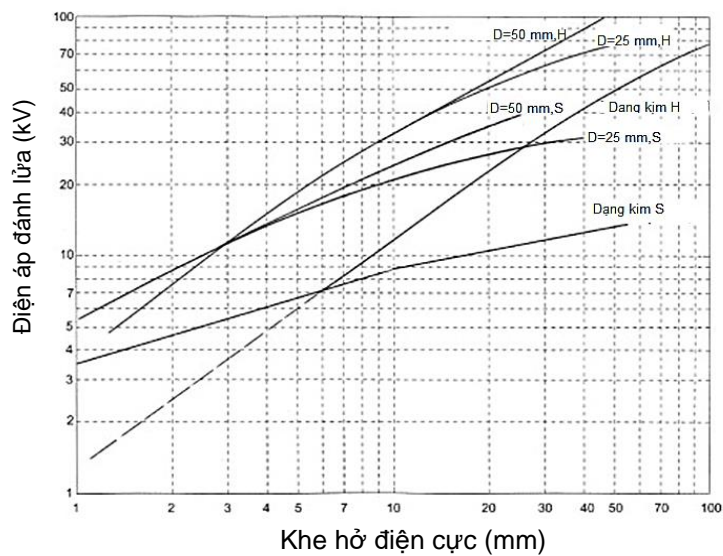
Đối với giai đoạn phát sáng cường độ dòng điện nhỏ hơn 200mA , điện áp ở trong giai đoạn này không đổi (trong khoảng $300 - 500\text{V}$) và quá trình ion hóa còn khoảng 0,01%. Tồn thất năng lượng cao hơn so với giai đoạn phóng tia lửa điện. Vì vậy, nhiệt độ của cột plasma giảm xuống (cao nhất là 3.000^0K). Thời gian phát sáng kéo dài khoảng 1ms .

Năng lượng yêu cầu để đốt cháy một tỷ lệ hòa khí lý thuyết ở điều kiện vận hành bình thường của động cơ: $0,2\text{mJ}$. Khi hòa khí quá loãng hoặc quá đậm, năng lượng cung cấp yêu cầu $>3\text{mJ}$. Nhưng do ảnh hưởng các đặc tính vật lý nêu trên, chỉ có một phần nhỏ năng lượng cung cấp qua khe hở truyền đến hỗn hợp nhiên liệu. Trong giai đoạn xuyên thủng, công suất đạt mức cao nhất (1MW) nhưng năng lượng cung cấp nhỏ ($0,3 \div 1\text{mJ}$). Ngược lại, trong giai đoạn phát sáng công suất thấp hơn ($\sim 10\text{W}$), nhưng năng lượng cao hơn ($\sim 30\text{mJ}$). Cuối giai đoạn xuyên thủng thủng khi điện cực dương nóng lên sẽ chuyển sang giai đoạn phóng tia lửa điện, tồn thất nhiệt ở các điện cực rất lớn. Vì thế, việc hạn chế mất mát nhiệt trên các điện cực trở nên quan trọng.

2.4.2 Một số các yếu tố ảnh hưởng đến năng lượng đánh lửa

Theo các nghiên cứu về năng lượng đánh lửa, đối với hỗn hợp đồng nhất, ổn định và có tỷ lệ A/F lân cận 14,7/1 năng lượng yêu cầu là 0,2 mJ [2,6]. Đối với hỗn hợp quá nghèo hay quá giàu năng lượng đánh lửa yêu cầu là 3mJ [2,6]. Ngoài ra, khi động cơ đã được làm nóng, năng lượng yêu cầu này chỉ còn khoảng 0,1mJ [34]. Đối với những hệ thống đánh lửa sử dụng bộ chia điện, năng lượng đánh lửa yêu cầu có giá trị 15mJ [6].

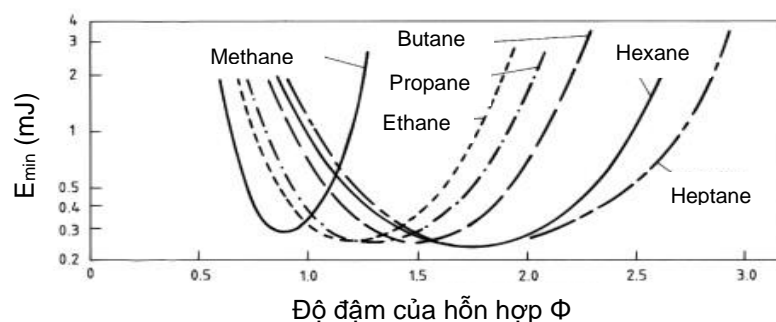
Năng lượng đánh lửa còn bị ảnh hưởng vào hình dạng điện cực, khoảng cách giữa các khe hở điện cực, thành phần hỗn hợp, thời gian xuất hiện tia lửa..... Trên hình 2-3, trình bày một số kết quả thu được ở hai phòng thí nghiệm khác nhau từ việc xác định điện áp đánh lửa trong không khí, (ở điều kiện áp suất khí quyển sử dụng các cấu hình điện cực khác nhau). Từ đồ thị cho thấy, đối với một dạng điện cực cụ thể, điện áp đánh lửa tăng lên, khi tăng khe hở giữa các điện cực. Ngoài ra, các kết quả cho thấy rằng, với một khe hở nhất định, điện áp đánh lửa thấp hơn đáng kể khi sử dụng điện cực dạng kim so với dạng tròn [35].



Hình 2.3: Điện áp đánh lửa theo quan hệ của độ rộng khe hở và dạng điện cực khi phóng điện trong không khí ở điều kiện áp suất khí trời [34]

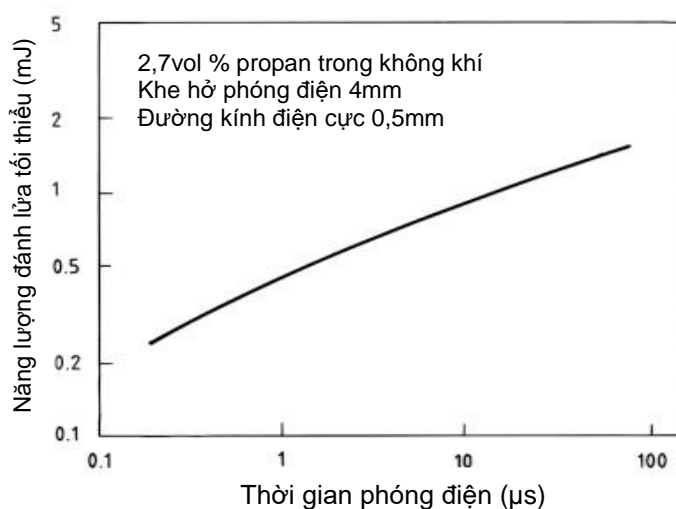
Ghi chú: “H” hiển thị các dữ liệu từ Handbook of Chemistry and Physics (1959/60) và “S” hiển thị các dữ liệu từ Smithsonian Physical Tables (1959).

Năng lượng đánh lửa phụ thuộc vào thành phần và tỷ lệ của hỗn hợp [35]. Hình 2.4 minh họa điều này, ứng với các nhiên liệu có gốc alkane. Các giá trị độ đậm của hỗn hợp ϕ , tương ứng với năng lượng đánh lửa tối thiểu (E_{min}), cho mỗi hỗn hợp khí sẽ tăng khi tăng trọng lượng phân tử, từ 0,85 đối với metan lên 1,80 đối với heptan. Người ta cũng thấy rằng giá trị E_{min} của methane (0,28 mJ) cao hơn một chút so với các alkane cao hơn (0,23 - 0,25 mJ).



Hình 2.4: Năng lượng đánh lửa (điện dung) tối thiểu của hỗn hợp alkane và không khí theo độ đậm của hỗn hợp $\Phi = 1/\lambda$. [35]

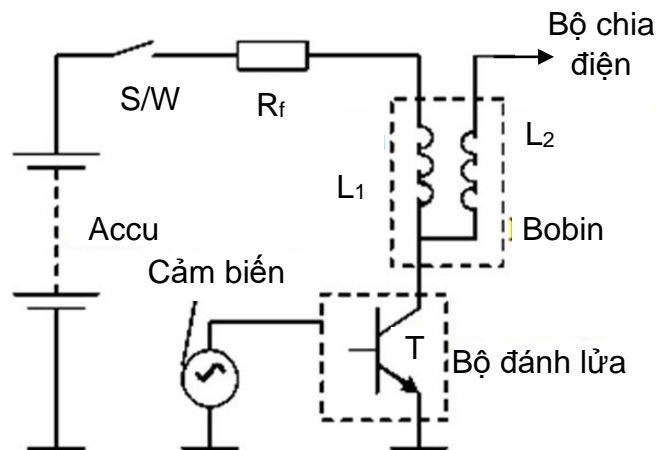
Các nghiên cứu của Parker (1985) [35] cũng chỉ ra rằng, khi tăng năng lượng đánh lửa sẽ kéo dài được thời gian xuất hiện tia lửa giữa hai điện cực. Trên hình 2.5 cho thấy năng lượng đánh lửa tối thiểu của hỗn hợp khí propan/không khí tăng từ 0,2 mJ trong thời gian phóng tia lửa điện 0,1 μs lên khoảng 2 mJ trong thời gian 100 μs .



Hình 2.5: Quan hệ giữa thời gian phóng tia lửa điện đến năng lượng đánh lửa tối thiểu của hỗn hợp nghèo (2,7 vol.%) - ở nhiệt độ và áp suất khí trời.[35]

2.5 Hệ thống đánh lửa điện cảm [1,32]

Hệ thống đánh lửa điện cảm TI (Transistorized Ignition system) được sử dụng phổ biến trên ô tô, năng lượng đánh lửa được tích trữ trên cuộn dây sơ cấp của bobin. Sơ đồ nguyên lý hệ thống đánh lửa điện cảm được mô tả trên hình 2.6.



Hình 2.6: Sơ đồ nguyên lý làm việc hệ thống đánh lửa điện cảm [1, 32]

Trong sơ đồ trên:

R_f : Điện trở phụ (một số hệ thống không dùng điện trở phụ)

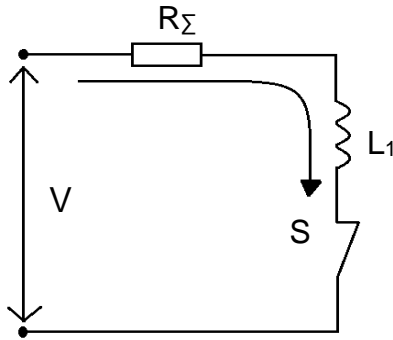
R_1 : Điện trở của cuộn sơ cấp

L_1, L_2 : Hệ số tự cảm của cuộn sơ cấp và thứ cấp của bobin

T: Transistor công suất được điều khiển bởi tín hiệu từ các cảm biến hay từ máy tính điều khiển động cơ (ECU)

Quá trình đánh lửa được chia làm ba giai đoạn: giai đoạn tăng trưởng của dòng điện sơ cấp hay còn gọi là giai đoạn tích lũy năng lượng, giai đoạn ngắt dòng điện ở cuộn sơ cấp và giai đoạn phóng điện ở điện cực bugi.

2.5.1 Giai đoạn tăng trưởng dòng điện sơ cấp



Hình 2.7: Sơ đồ tương đương giai đoạn tăng trưởng dòng sơ cấp i_l [1,32].

Khi transistor T dẫn dòng điện i_l đi từ (+) accu đến điện trở phụ (R_f), qua cuộn dây sơ cấp L_l , đến transistor T (S), đến (-) accu. Do sức điện động tự cảm sinh ra trên cuộn sơ cấp L_l chống lại sự tăng trưởng của cường độ dòng điện, nên dòng điện đi qua cuộn sơ cấp i_l tăng chậm, giai đoạn này mạch thứ cấp không chịu ảnh hưởng.

$$R_{\Sigma} = R_l + R_f \quad (2.7)$$

$$V = V_a - \Delta V_T$$

V_a : Hiệu điện thế của accu.

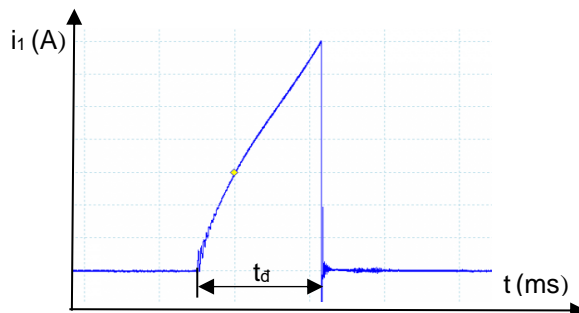
ΔV_T : Độ sụt áp trên transistor công suất ở trạng thái dẫn bão hòa

Ta thiết lập được phương trình vi phân sau:

$$i_l R_{\Sigma} + L_l \frac{di_l}{dt} = V \quad (2.8)$$

Giải phương trình ta được:

$$i_l(t) = \frac{V}{R_l} (1 - e^{-(R_{\Sigma} L_l)t}) \quad (2.9)$$



Hình 2.8: Đồ thị tăng trưởng cường độ dòng điện sơ cấp i_l

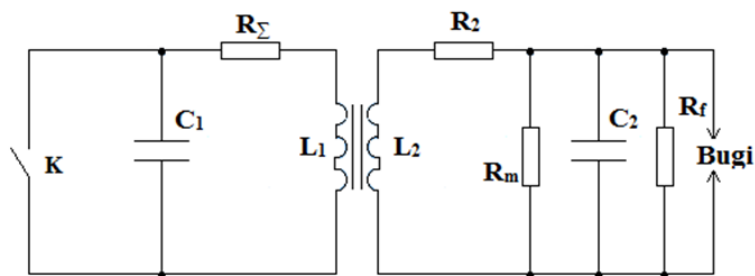
Gọi t_d là thời gian transistor dẫn bão hòa, cường độ dòng điện sơ cấp tương ứng là i_d

$$i_d = \frac{V}{R_l} (1 - e^{-(R_l/L_1)t_d}) \quad (2.10)$$

Tại thời điểm đánh lửa, năng lượng tích lũy trong cuộn sơ cấp dưới dạng từ trường:

$$W_{dc} = \frac{i_d^2 \cdot L_1}{2} = \frac{L_1}{2} \frac{V^2}{R_l^2} (1 - e^{-(R_l/L_1)t_d})^2 \quad (2.11)$$

2.5.2 Giai đoạn ngắt dòng điện ở cuộn sơ cấp [1,32]



Hình 2.9: Sơ đồ mô tả quá trình phóng điện ở cuộn thứ cấp [1,32]

Khi dòng điện đi qua cuộn sơ cấp bị ngắt (transistor ngắt) trên cuộn thứ cấp xuất hiện một hiệu điện thế khoảng 15kV đến 40kV. Giá trị này phụ thuộc vào nhiều thông số của mạch sơ cấp và thứ cấp. Ví dụ như: điện trở mất mát, điện trở rò qua điện cực bugi.v.v..Sơ đồ hình 2.9 được sử dụng để tính toán điện thế thứ cấp cực đại. Trong sơ đồ này:

R_m : Điện trở mất mát trên cuộn thứ cấp

R_r : Điện trở rò qua điện cực bugi

Năng lượng điện từ tích lũy trên mạch từ của cuộn sơ cấp lúc transistor ngắt

$$W_{dc} = \frac{L_1 \cdot i_d^2}{2}$$

Nếu không để xuất hiện tia lửa điện cao thế, năng lượng này sẽ biến thành năng lượng điện trường tích lũy trong điện dung C_1 của mạch sơ cấp và điện dung C_2 ký sinh của mạch thứ cấp, một phần mất mát khác do tỏa nhiệt và hiệu suất làm việc của bobin (A)

Như vậy, phương trình cân bằng năng lượng lúc transistor ngắt có thể viết:

$$\frac{i_d^2 L_1}{2} = \frac{C_1 V_{1m}^2}{2} + \frac{C_2 V_{2m}^2}{2} + A \quad (2.12)$$

Sau khi biến đổi, hiệu điện thế cực đại trên cuộn thứ cấp V_{2m} được xác định bởi công thức:

$$V_{2m} = K_{bb} \sqrt{\frac{2W_{dt}}{C_1 + K_{bb}^2 \cdot C_2}} \eta \quad (2.13)$$

Trong đó:

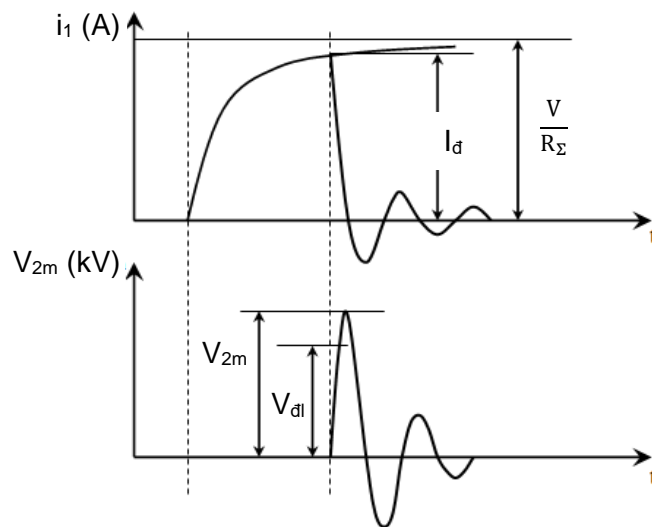
$K_{bb} = W_2/W_1$: Hệ số biến áp bobin.

η : Hệ số tính đến sự mất mát trong mạch dao động (0,7 ÷ 0,8).

W_1, W_2 : Số vòng dây của cuộn sơ cấp và cuộn thứ cấp.

C_1 : Điện dung của tụ điện mắc song song với vít lửa hay với transistor công suất.

C_2 : Điện dung ký sinh trên mạch thứ cấp.



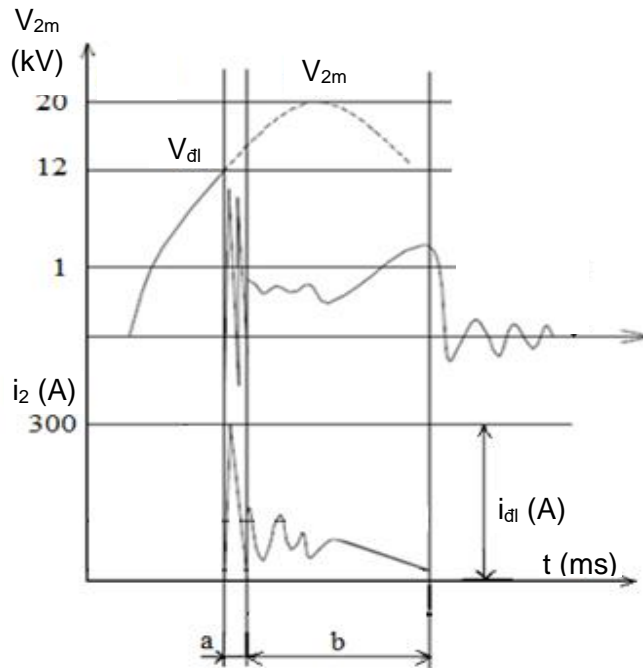
Hình 2.10: Đồ thị mô tả qui luật biến đổi hiệu điện thế thứ cấp V_{2m} [1].

Khi transistor ngắt trên cuộn sơ cấp sẽ sinh ra một sức điện động khoảng 100V đến 300V [1, 32]

2.5.3 Giai đoạn phóng điện ở điện cực bugi [1,4,32]

Khi điện áp V_{2m} đạt đến giá trị $V_{đl}$ sẽ xuất hiện tia lửa cao thế giữa hai đầu cực của bugi. Tia lửa điện trên bugi bao gồm tia lửa điện dung và tia lửa điện cảm.

Phần tia lửa điện dung: được qui ước bởi điện dung C_2 ký sinh và đặc trưng bởi sự sụt áp và tăng dòng đột ngột. Cường độ dòng điện có thể đạt đến hàng trăm Ampere, công suất của tia lửa điện dung có thể lên tới hàng chục hay hàng trăm kW. Do dao động với tần số cao ($10^6 \div 10^7$ Hz), nên tia lửa điện dung dễ gây ra ăn mòn điện cực bugi. Nó thường có màu xanh sáng kèm theo tiếng nổ lách tách. Khi xuất hiện tia lửa điện cảm: Cường độ dòng điện lúc này đạt khoảng 20 - 40 mA, hiệu điện thế giữa hai cực của bugi giảm nhanh đến giá trị từ 400 - 500 V. Thời gian kéo dài tia lửa điện cảm gấp 100 - 1000 tia lửa điện dung. Thời gian xuất hiện tia lửa điện cảm từ 1 - 2,5ms [5,6, 36]. Do đó tia lửa điện dung chỉ là một phần nhỏ của tia lửa, thời gian này phụ thuộc vào loại bugi, khe hở bugi và chế độ làm việc của động cơ.



a: Thời gian hình thành tia lửa điện dung

b: Thời gian hình thành tia lửa điện cảm

Hình 2.11: Đồ thị mô tả quy luật biến đổi của tia lửa điện dung và điện cảm [1, 4].

2.5.4 Ưu, nhược điểm của hệ thống đánh lửa điện cảm

Ưu điểm

- Thời gian phóng điện kéo dài (khoảng 1 - 2,5ms) nên sẽ đốt sạch hòa khí trong xy lanh ở hầu hết các chế độ làm việc của động cơ [5, 6, 36].
- Khe hở bugi không cần phải chỉnh quá lớn như đánh lửa điện dung nên tăng tuổi thọ của bugi [1].
- Hiệu suất sử dụng nhiên liệu cao hơn so với đánh lửa điện dung [1].

Nhược điểm

- Thời gian tích lũy năng lượng dài, nhất là khi động cơ hoạt động ở tốc độ thấp nên dễ gây lãng phí năng lượng, dễ gây nóng bobin, hỏng transistor [1, 4, 37].
- Ở tốc độ cao do không đủ thời gian tăng trưởng dòng sơ cấp nên điện áp thứ cấp sẽ giảm [1, 4, 37].
- Hiệu điện thế thứ cấp tăng trưởng chậm hơn đánh lửa CDI, nên có hiệu suất làm việc kém khi có điện trở rò ở bugi [1, 32, 37].

2.6 Hệ thống đánh lửa điện dung

Hệ thống đánh lửa điện dung thường được sử dụng trên các xe có động cơ hoạt động ở số vòng quay lớn (xe đua, mo-to và xe gắn máy)

Ở hệ thống đánh lửa điện dung năng lượng trên mạch sơ cấp của bobin được tích lũy dưới dạng điện trường được chứa trên tụ điện C :

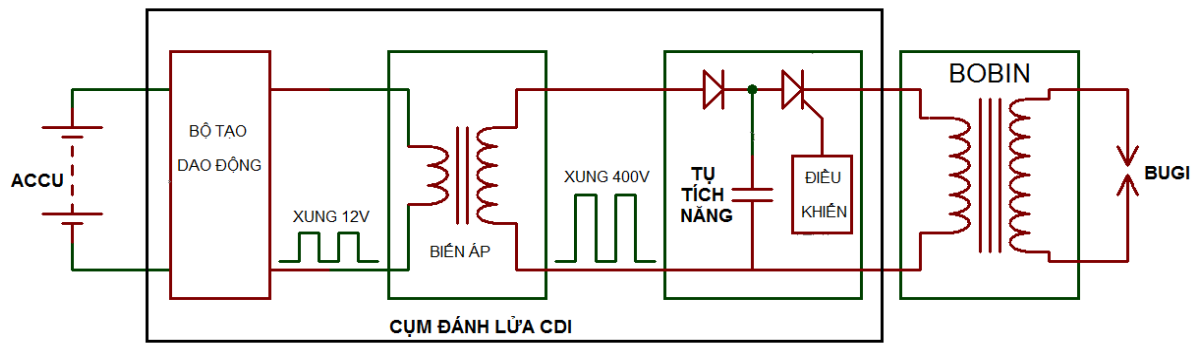
$$W_{dd} = \frac{CV^2}{2} \quad (2.14)$$

Trong đó: C : điện dung của tụ điện (F).

V : điện áp trên tụ điện (V).

2.6.1 Cấu tạo và nguyên lý làm việc của hệ thống đánh lửa điện dung (CDI-capacitor discharged ignition)[32]

Hệ thống đánh lửa CDI bao gồm một bộ tạo dao động, biến áp, tụ tích năng và bộ điều khiển quá trình xả năng lượng của tụ điện qua bobin đánh lửa. Bên trong cụm CDI có bố trí mạch kích, mạch này nhận tín hiệu từ cảm biến đánh lửa để điều khiển trạng thái hoạt động của công tắc chuyển mạch.



Hình 2.12: Sơ đồ khối của hệ thống đánh lửa điện dung.

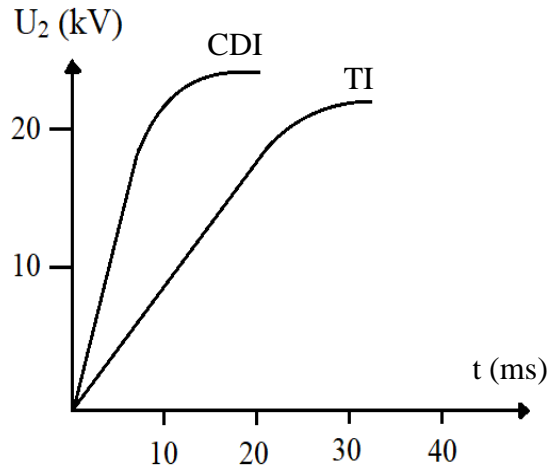
Nguyên lý hoạt động của hệ thống đánh lửa CDI

Dòng điện từ accu qua bộ tạo dao động tạo ra các xung 12V, nhờ sự đóng ngắt này mà ở cuộn thứ cấp xuất hiện các xung điện áp có giá trị khoảng 300 - 400V. Các xung này được chỉnh lưu qua diode và nạp cho tụ tích năng. Khi có tín hiệu đánh lửa, thông qua mạch điều khiển, công tắc chuyển mạch (SCR) sẽ ở trạng thái mở. Lúc này, năng lượng tích lũy trên tụ điện sẽ được phóng qua cuộn sơ cấp của bobin đánh lửa và về cực âm của tụ điện, điều này giúp tạo ra điện áp cao (30.000-60.000V) trên cuộn thứ cấp của bobin đánh lửa, năng lượng này được đưa đến các bugi để đốt cháy hoà khí bên trong các xy lanh.

2.6.2 Ưu, nhược điểm của hệ thống đánh lửa điện dung

Ưu điểm

- Đặc tính đánh lửa hầu như không phụ thuộc vào tốc độ động cơ, vì tụ điện có khả năng nạp rất nhanh và được tính toán luôn được nạp đầy, ở số vòng quay cao nhất của động cơ [1,34,37].
- Hiệu điện thế thứ cấp tăng trưởng nhanh nên tăng được độ nhạy đánh lửa, không phụ thuộc vào điện trở rò ở bugi [1,4, 34].
- Hiệu điện thế thứ cấp trên hệ thống đánh lửa điện dung (30kV- 60kV) lớn hơn trên hệ thống đánh lửa điện cảm (7 - 40kV) [1, 34].



Hình 2.13: Đồ thị mô tả sự tăng trưởng của hiệu điện thế trên cuộn thứ cấp của bobin trong trường hợp đánh lửa TI và CDI [1, 32]

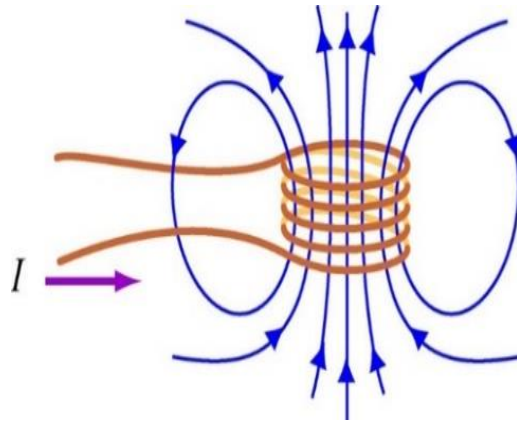
Nhược điểm

Thời gian phóng nạp của tụ điện là rất ngắn nên thời gian tồn tại tia lửa bugi là rất ngắn, chỉ từ (0,1 - 0,3) ms [5, 38] nên:

- Hòa khí sẽ khó bén lửa nếu quá loãng [1, 5, 32].
- Khe hở điện cực bugi lớn (để tăng diện tích tiếp xúc với hỗn hợp) nên điện cực bugi mau mòn [1, 32].

2.7 Sức điện động tự cảm

Như ta đã biết, sự thay đổi từ trường quanh một dây dẫn sẽ tạo nên một sức điện động cảm ứng ở trong dây đó. Nếu cho một dòng điện trị số biến đổi đi qua một dây dẫn thì từ trường chung quanh nó sẽ biến đổi và trong dây sẽ phát sinh sức điện động cảm ứng. Như vậy, sức điện động cảm ứng phát sinh ngay trong dây dẫn, khi đang có dòng điện biến đổi. Sức điện động cảm ứng ấy được gọi là sức điện động tự cảm [39, 40].



Hình 2.14: Từ trường B đi qua cuộn dây có diện tích mặt cắt A [39]

Xét một cuộn dây có N vòng dây, dòng điện I chạy trong mạch ngược chiều kim đồng hồ (hình 2.14). Từ thông Φ qua cuộn dây sẽ được viết dưới dạng:

$$\Phi = BA \cos(\vec{B}, \vec{n}) \quad (2-15)$$

Với: \vec{n} là vectơ pháp tuyến của mặt phẳng vòng dây

cảm ứng từ B :
$$B = \frac{\mu_0 N}{l} I \quad (2.16)$$

Trong đó:

Φ : Từ thông (Wb)

B : Cảm ứng từ (T)

A : Diện tích vòng dây (m^2)

N : Số vòng quấn (vòng)

μ_0 : Độ từ thẩm, trong môi trường chân không: $\mu_0 = 4\pi 10^{-7} (H/m)$ [14]

l : Chiều dài cuộn dây (m)

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

Độ từ thẩm $\mu_0 = 4\pi 10^{-7} (H/m)$ là độ từ thẩm của chân không. Tuy nhiên, tỉ số giữa độ từ thẩm của không khí và độ từ thẩm của chân không là 1,000000373 nên có thể xem độ từ thẩm của không khí xấp xỉ $4\pi 10^{-7} (H/m)$ [38, 39, 40, 41].

Khi dòng điện qua cuộn dây không đổi, từ thông qua cuộn dây không có sự biến thiên, sức điện động cảm ứng không xuất hiện.

Khi dòng điện qua cuộn dây thay đổi theo thời gian sẽ làm từ thông qua cuộn dây thay đổi, sinh ra sức điện động cảm ứng chống lại sự thay đổi đó. Từ trường sinh ra trong cuộn dây có xu hướng chống lại sự thay đổi của dòng điện trong mạch được

gọi là hiện tượng tự cảm. Sức điện động cảm ứng sinh ra trong cuộn dây gọi là sức điện động tự cảm. Sức điện động tự cảm được kí hiệu là \mathcal{E}_L .

Sức điện động tự cảm được tính theo công thức:

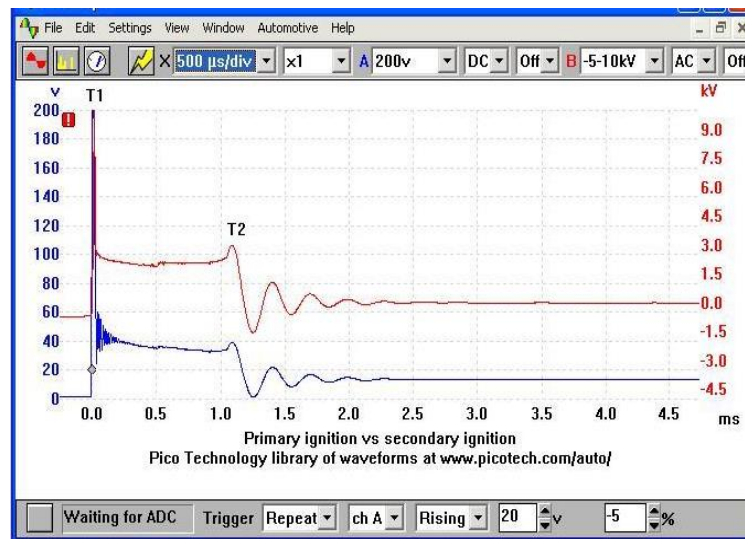
$$\mathcal{E}_L = -N \frac{d(\Phi_B)}{dt} = -N \frac{d}{dt} \iint \vec{B} \cdot d\vec{A} \quad (2.17)$$

Hệ số tự cảm có thể tính theo qua công thức:

$$\mathcal{E}_L = -L \frac{dI}{dt} \quad (2.18)$$

Từ hai biểu thức (2.17) và (2.18) ta có thể suy ra:

$$L = \frac{N\Phi_B}{I} \quad (2.19)$$



Hình 2.15: Sức điện động tự cảm trên cuộn sơ cấp và điện áp trên cuộn thứ cấp của bobin [41]

Hệ số tự cảm L của cuộn dây chính là yếu tố gây cản trở cho sự biến thiên của dòng điện. Hệ số tự cảm càng lớn thì tốc độ biến thiên của dòng điện càng nhỏ [37,39].

Hệ số tự cảm của cuộn dây được tính theo công thức: [37]

$$L = \frac{N\Phi_B}{I} = \mu_0 N^2 \Pi R^2 l \quad (2.20)$$

Trong đó:

L : Hệ số tự cảm cuộn dây (H)

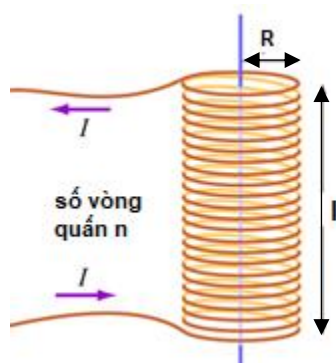
N : Số vòng quấn

R : Bán kính cuộn dây

l : Chiều dài cuộn dây

μ_0 : Độ từ thẩm của lõi sắt từ

Kích thước của cuộn dây được mô tả trên Hình 2.16.



Hình 2.16: Mô tả các kích thước cuộn dây [39]

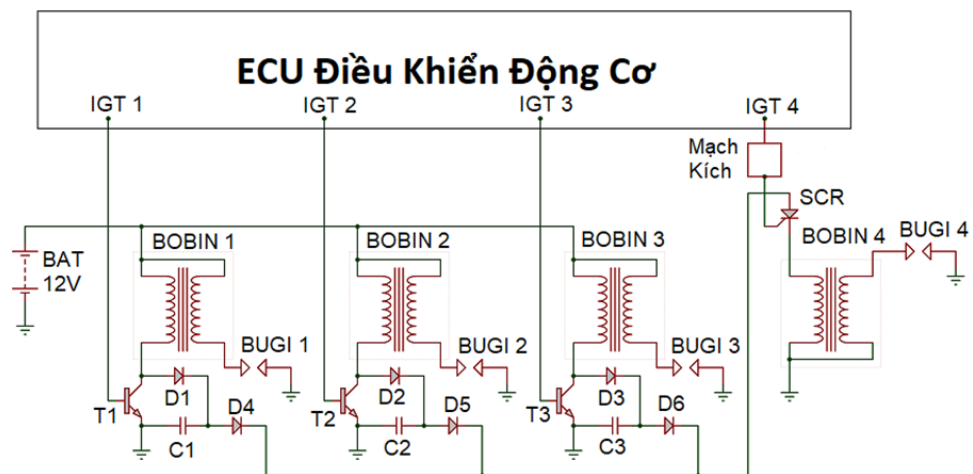
Chương 3

KHẢO SÁT ĐẶC TÍNH - MÔ PHỎNG VÀ THỰC NGHIỆM HỆ THỐNG ĐÁNH LỬA HỖ HỢP ĐIỆN DUNG - ĐIỆN CẢM

Nội dung chương 3 sẽ trình bày việc xây dựng mô hình tính toán cho hệ thống đánh lửa hỗn hợp điện dung – điện cảm (sau đây xin viết rút gọn là hệ thống đánh lửa hỗn hợp). Đồng thời, trình bày các cơ sở xác định cấu hình và dung lượng tụ phù hợp trên hệ thống đánh lửa hỗn hợp đã đề xuất.

3.1. Xây dựng mô hình toán cho hệ thống đánh lửa hỗn hợp

3.1.1 Giới thiệu mô hình đánh lửa hỗn hợp



Hình 3.1: Mô hình nguyên lý làm việc của hệ thống đánh lửa hỗn hợp điện dung - điện cảm (sử dụng cho động cơ 4 xy-lanh)

Hệ thống đánh lửa hỗn hợp (trên Hình 3.1), bao gồm hai giai đoạn làm việc: giai đoạn đánh lửa điện cảm và giai đoạn đánh lửa điện dung. Ở giai đoạn đánh lửa điện cảm, ECU động cơ sẽ điều khiển quá trình đánh lửa của các tổ máy 1, 2, 3 (đánh lửa điện cảm), thông qua các tín hiệu IGT1, IGT2, IGT3. Năng lượng tự cảm “thừa” trên các BOBIN1, BOBIN2, BOBIN3,... sẽ được tích lũy vào các tụ C1, C2, C3. Ở giai

đoạn đánh lửa điện dung, tương ứng với thời điểm làm việc của tổ máy 4, tín hiệu IGT4 sẽ điều khiển SCR mở. Năng lượng tích lũy trên các tụ C1, C2, C3 sẽ được giải phóng đến cuộn dây sơ cấp của BOBIN 4, tạo ra quá trình đánh lửa ở tổ máy 4.

3.1.2 Các lý luận xây dựng mô hình tính toán

Các mô hình toán cho mạch đánh lửa hỗn hợp trình bày ở các phần sau cho phép biểu diễn các đáp ứng quá độ của dòng điện sơ cấp i_1 , điện áp sơ cấp V_1 . Các đáp ứng quá độ này là những đặc trưng quan trọng của mạch đánh lửa hỗn hợp, giúp tính toán được: (1) độ lớn của điện áp thứ cấp cực đại V_{2m} để đảm bảo xuất hiện được tia lửa điện ở bugi; (2) năng lượng tích lũy được cho đánh lửa điện dung $W_{đd}$ và năng lượng còn lại cho đánh lửa điện cảm $W_{đc}$. Nhằm đảm bảo cả hai giai đoạn làm việc của hệ thống, đều có khả năng hình thành tia lửa điện ban đầu và năng lượng đủ lớn để đốt cháy được hòa khí.

Do hệ thống đánh lửa hỗn hợp là một hệ thống phức tạp, nghiên cứu này sử dụng các giả thiết sau trong quá trình xây dựng mô hình toán, nhằm đơn giản hóa quá trình tính toán nhưng vẫn cho phép xác định tốt nhất các đặc trưng của mạch đánh lửa hỗn hợp:

- a. Không xét đến ảnh hưởng của dòng điện thứ cấp i_2 (tia lửa điện trên bugi) lên mạch sơ cấp.
- b. Không xét đến các tổn hao từ thông, tổn hao trên điện trở mạch thứ cấp trong quá trình tính toán.
- c. Không xét đến quá trình chuyển đổi năng lượng điện thành nhiệt ở tia lửa điện.
- d. Không xét đến vai trò của diode D trong quá trình tính toán để giảm bớt đặc tính phi tuyến của mạch đánh lửa. Đáp ứng của mạch đánh lửa hỗn hợp thực tế (cụ thể là điện áp trên tụ C_1) có thể được suy ra từ đáp ứng tính toán không có diode D.
- e. Đáp ứng quá độ sau khi được tính toán từ mô hình sẽ được hiệu chỉnh bằng các hệ số thực nghiệm.

f. Tại thời điểm ngắt dòng sơ cấp sức điện động tự cảm xuất hiện rất lớn so với điện áp accu. Vì vậy có thể giả thuyết là điện áp trên mạch sơ cấp xấp xỉ với sức điện động tự cảm.

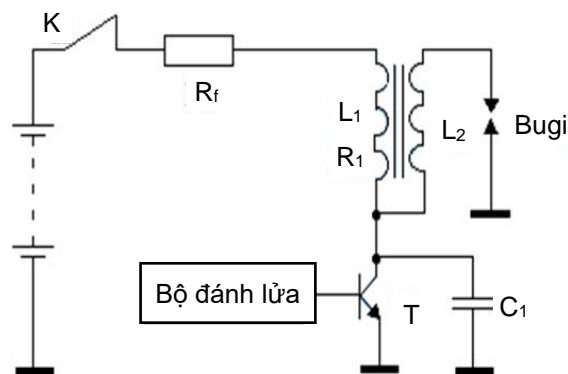
Trong nghiên cứu này, mô hình toán của mạch đánh lửa hỗn hợp như biểu diễn ở các hình 3.3 và 3.4 được xây dựng qua 2 bước:

- Bước 1: xây dựng mô hình toán của mạch đánh lửa hỗn hợp sử dụng các giả thiết trên.
- Bước 2: hiệu chỉnh mô hình toán với các hệ số thực nghiệm.

3.1.3 Xây dựng mô hình toán của hệ thống đánh lửa hỗn hợp

3.1.3.1 Các tính toán hệ thống đánh lửa hỗn hợp - giai đoạn đánh lửa điện cảm [43 - 45]

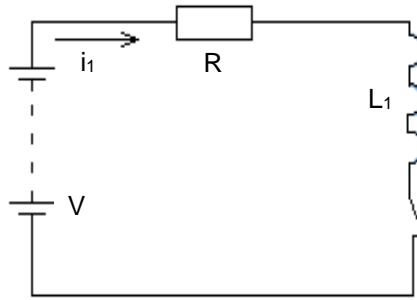
Như đã đề cập trong chương một, để tích lũy một phần năng lượng tự cảm có thể gây ra các ảnh hưởng xấu trong hệ thống đánh lửa và sử dụng lượng năng lượng này cho các lần đánh lửa tiếp theo. Năng lượng tự cảm sẽ được tích lũy lại trên một tụ điện như trong hình 3.2 và sẽ được giải phóng qua cuộn sơ cấp của bobin đánh lửa điện dung trong lần đánh lửa sau.



Hình 3.2: Mô hình hệ thống đánh lửa hỗn hợp - giai đoạn đánh lửa điện cảm

Giai đoạn đánh lửa điện cảm được chia ra hai phần: giai đoạn tích lũy năng lượng và giai đoạn ngắt dòng điện sơ cấp.

3.1.3.2 Giai đoạn tích lũy năng lượng



Hình 3.3: Mô hình tính toán hệ thống đánh lửa hỗn hợp - giai đoạn tích lũy năng lượng

Áp dụng định luật Kirchhoff cho sơ đồ trên hình 3.3, ta được phương trình vi phân [1, 32]

$$V = I_1 R + L_1 \frac{di_1}{dt} \quad (3-1)$$

Với: R : Tổng trở mạch sơ cấp ($R = R_f + R_l$)

Trong đó:

R_f : Điện trở phụ của hệ thống, điện trở transistor công suất lúc dẫn, điện trở dây dẫn

R_l : Điện trở cuộn sơ cấp của bobin đánh lửa điện cảm

L_l : Hệ số tự cảm của cuộn sơ cấp bobin

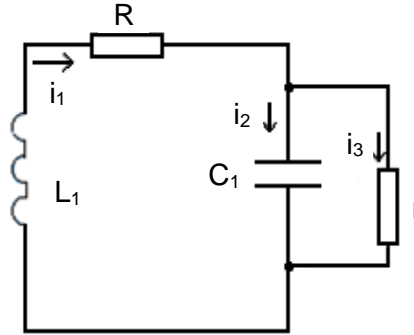
i_l : Cường độ dòng điện sơ cấp

Giải phương trình (3-1):

$$i_d = \frac{V}{R} (1 - e^{-\frac{R}{L_1} t_d}) \quad (3-2)$$

i_d : Cường độ dòng điện lúc transistor công suất ngắt, t_d : thời gian tích lũy năng lượng

3.1.3.3 Giai đoạn ngắt dòng điện sơ cấp



Hình 3.4: Mô hình tính toán hệ thống đánh lửa hỗn hợp - giai đoạn ngắt dòng điện sơ cấp

R: Tổng trở mạch sơ cấp (Ω)

r: Điện trở rò tụ $C_1 = 10^6 \Omega$ [42]

i_1 : Dòng điện đi qua điện trở R (A)

i_2 : Dòng điện đi qua tụ điện C_1 (A)

i_3 : Dòng điện rò của tụ (A)

L_1 : Hệ số tự cảm cuộn sơ cấp (H)

C_1 : Dung lượng của tụ (F)

Áp dụng định luật Kirchhoff cho sơ đồ trên ta có:

$$\begin{cases} -L_1 \frac{di_1}{dt} = i_2(t)R + i_3(t)r \\ i_1(t) = i_2(t) + i_3(t) \\ ri_3(t) = \frac{1}{C_1} \int i_2(t) dt \end{cases} \quad (3-3)$$

Biến đổi Laplace (3.3)

$$\begin{cases} -L_1[sI_{1s} - i(0_+)] = I_{2s}R + I_{3s}r \\ I_{1s} = I_{2s} + I_{3s} \\ I_{3s}r = \frac{1}{C_1s} [I_{2s} + q(0_+)] \end{cases} \quad (3.4)$$

Với: $\begin{cases} i(0_+) = I_0 \\ q(0_+) = 0 \end{cases}$

với I_0 là cường độ dòng điện ở mạch sơ cấp cuối thời gian tích trữ năng lượng, q là điện tích tích lũy.

$$\rightarrow \begin{cases} -L_1[sI_{1s} - I_0] = I_{2s}R + I_{3s}r \\ I_{1s} = I_{2s} + I_{3s} \\ I_{3s}r = \frac{I_{2s}}{C_1s} \end{cases}$$

$$\rightarrow I_{1s} = \frac{I_0s + \frac{I_0}{C_1r}}{s^2 + s\left(\frac{L_1 + RC_1r}{L_1C_1r}\right) + \frac{R+r}{L_1C_1r}} \quad (3.5)$$

$$\text{Đặt} \begin{cases} a = I_0 \\ b = \frac{I_0}{C_1r} \\ c = \frac{L_1 + RC_1r}{L_1C_1r} \\ d = \frac{R+r}{L_1C_1r} \end{cases} \quad (3.6)$$

$$\rightarrow I_{1s} = \frac{a\left(s + \frac{c}{2}\right)}{\left(s + \frac{c}{2}\right)^2 + \left(\sqrt{d - \frac{c^2}{4}}\right)^2} + \frac{b - \frac{ac}{2}}{\sqrt{d - \frac{c^2}{4}}} \frac{\sqrt{d - \frac{c^2}{4}}}{\left(s + \frac{c}{2}\right)^2 + \left(\sqrt{d - \frac{c^2}{4}}\right)^2} \quad (3.7)$$

$$\text{Đặt} \begin{cases} x = -\frac{c}{2} \\ y = \sqrt{d - \frac{c^2}{4}} \\ z = \frac{b - \frac{ac}{2}}{\sqrt{d - \frac{c^2}{4}}} = Z(t_d) \end{cases} \quad (3.8)$$

Biến đổi ngược Laplace (3.7), ta có phương trình cường độ dòng sơ cấp $i_1(t)$

$$i_1(t) = ae^{xt} \cos(yt) + ze^{xt} \sin(yt) \quad (3.9)$$

Sức điện động tự cảm trên cuộn sơ cấp khi transistor công suất ngắt $V_1(t)$

$$V_1(t) = -L_1 \frac{di_1}{dt} = -L_1 [ae^{xt} \cos(yt) + ze^{xt} \sin(yt)]'$$

$$V_1(t) = -L_1 [(ax + zy)e^{xt} \cos(yt) + (xz - ay)e^{xt} \sin(yt)] \quad (3.10)$$

3.1.3.4 Đánh giá tần số của $i_I(t)$ và $V_I(t)$

Tần số của $i_I(t)$

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

Phương trình tổng quát của hệ thống:

$$i_1(t) = A_1 e^{-\alpha t} \sin(\omega_d t + \varphi)$$

Từ phương trình tổng quát của $i_1(t)$, qua các phép biến đổi ta được

$$i_1(t) = A_1 e^{-\alpha t} \sin(\omega_d t + \varphi) = \sqrt{a^2 + z^2} e^{xt} \sin \left[yt + \arctan \left(-\frac{z}{a} \right) + \frac{\pi}{2} \right]$$

Ta có tần số của $i_I(t)$ là
$$\omega_d = y = \sqrt{d - \frac{c^2}{4}} \quad (3.11)$$

Tần số của $V_I(t)$

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

Từ phương trình tổng quát:

$$\begin{aligned} V_1(t) &= A_2 e^{-\alpha t} \cos(\omega_d t + \varphi_{sin}) \\ &= -L_1 \sqrt{(ax + zy)^2 + (xz - ay)^2} e^{xt} \cos \left[yt + \arctan \left(-\frac{xz - ay}{ax + zy} \right) \right] \end{aligned}$$

Ta có tần số của $V_I(t)$:
$$\omega_d = y = \sqrt{d - \frac{c^2}{4}} \quad (3.12)$$

Như vậy, tần số của $V_I(t)$ và $i_I(t)$ giống nhau, cùng là $\omega_d = y = \sqrt{d - \frac{c^2}{4}}$. Đây là tần số của cường độ dòng điện và điện áp nạp vào tụ C_1 , trong quá trình làm việc của hệ thống đánh lửa hỗn hợp điện dung - điện cảm.

3.1.3.5 Nhận xét

Đáp ứng quá độ của dòng điện sơ cấp i_1 và điện áp sơ cấp V_1 tại thời điểm ngắt dòng sơ cấp bao gồm các thành phần $\sin(yt)$ và $\cos(yt)$ và thành phần $e^{(xt)}$, nên sẽ có dạng dao động tắt dần. Các đáp ứng quá độ tính từ mô hình đơn giản hóa được minh họa ở Hình 3.6 và 3.7 trong phần 3.2.3.1

Đáp ứng quá độ của dòng điện sơ cấp i_1 từ sau thời điểm ngắt dòng sơ cấp (công thức 3-9):

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

Sức điện động tự cảm xuất hiện trên cuộn sơ cấp V_1 từ sau thời điểm ngắt dòng sơ cấp (công thức 3.10)

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

Tần số của $V_1(t)$ và $i_1(t)$ (công thức 3-12): $\omega_d = y = \sqrt{d - \frac{c^2}{4}}$

Chu kỳ dao động của hệ:

$$\tau = \frac{2\pi}{\omega_d} = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{1}{L_1 C_1} \left[1 - \left(\frac{R}{2\sqrt{L_1/C_1}} \right)^2 \right]}} \quad (3.13)$$

$$\text{Với } \begin{cases} x = -\frac{c}{2} \\ y = \sqrt{d - \frac{c^2}{4}} \\ z = \frac{b - \frac{ac}{2}}{\sqrt{d - \frac{c^2}{4}}} \end{cases} \text{ và } \begin{cases} a = I_0 \\ b = \frac{I_0}{C_1 r} \\ c = \frac{L_1 + RC_1 r}{L_1 C_1 r} \\ d = \frac{R+r}{L_1 C_1 r} \end{cases}$$

3.2 Hiệu chỉnh mô hình toán của hệ thống đánh lửa hỗn hợp với các hệ số thực nghiệm

Như đã nêu trong phần giả thiết khi xây dựng mô hình, để đơn giản hóa quá trình tính toán, các công thức (3.7) và (3.8) biểu diễn đáp ứng dòng điện sơ cấp i_1 và sức điện động tự cảm V_1 sau thời điểm ngắt dòng sơ cấp ($t = t_d$) được xác định với giả thuyết không bị ảnh hưởng của mạch thứ cấp (ảnh hưởng của dòng i_2), các tổn hao từ thông và điện trở mạch thứ cấp.

Trong thực tế, khi điện áp trên mạch thứ cấp V_2 tăng vọt từ 0 đến giá trị $V_{dl} < V_{2m}$ thì xuất hiện tia lửa điện ở khe hở bugi. V_{dl} được gọi là điện áp đánh thủng điện trở cách điện của hòa khí ở khe hở bugi, còn được gọi là điện áp đánh lửa. Khi bị đánh thủng, điện trở khe hở giảm mạnh, cho phép hình thành dòng điện thứ cấp i_2 phóng qua khe hở bugi dưới dạng plasma, đốt cháy hòa khí. Năng lượng tích lũy ở mạch sơ cấp của bobin được truyền qua bên thứ cấp, biến thành nhiệt và bức xạ bởi

plasma. Năng lượng sơ cấp vì thế nhanh chóng sụt giảm, làm giảm giá trị cực đại của sức điện động tự cảm V_{1m} .

Bên cạnh đó, khi xuất hiện dòng điện thứ cấp (tia lửa điện), năng lượng trong hệ thống cũng được tiêu tán nhanh hơn do tổn hao trên mạch thứ cấp bao gồm: tổn hao từ thông, tổn hao do sinh nhiệt trên các điện trở cuộn dây thứ cấp, điện trở chống nhiễu, điện trở khe hở giữa hai điện cực bugi, điện trở tiếp xúc tại các điểm nối dây điện. Dao động điện trong mạch sơ cấp và thứ cấp vì thế tắt dần nhanh hơn trường hợp không có tia lửa điện ở bugi.

Mô hình toán cho hệ thống đánh lửa hỗn hợp, vì thế cần sử dụng các hệ số hiệu chỉnh để có thể mô tả chính xác hơn đáp ứng của hệ thống đánh lửa trong điều kiện thực tế (có đánh lửa và các tổn thất năng lượng đã nêu), cụ thể:

$$i_1(t) = \alpha_0 [ae^{\beta_0 xt} \cos(yt) + ze^{\beta_0 xt} \sin(yt)] \quad (3.14)$$

$$V_1(t) = -\alpha_0 L_1 [(\beta_0 xa + zy)e^{\beta_0 xt} \cos(yt) + (\beta_0 xz - ay)e^{\beta_0 xt} \sin(yt)] \quad (3.15)$$

Trong đó: α_0 đặc trưng cho sự sụt giảm của i_1 và V_1 ; và β_0 đặc trưng cho sự tắt dần nhanh hơn của i_1 và V_1 .

3.2.1 Kiểm chứng tính hợp lệ và độ chính xác của mô hình toán cho hệ thống đánh lửa hỗn hợp đã xây dựng

Để kiểm chứng tính hợp lệ và độ chính xác của mô hình toán cho mạch đánh lửa hỗn hợp đã xây dựng trong nghiên cứu này, một hệ thống đánh lửa như mô tả ở hình 3.1 đã được xây dựng để thu nhận dữ liệu thực nghiệm. Các thông số của hệ thống đánh lửa khảo sát được trình bày trong Bảng 3.1

Bảng 3.1: Các thông số của hệ thống đánh lửa hỗn hợp

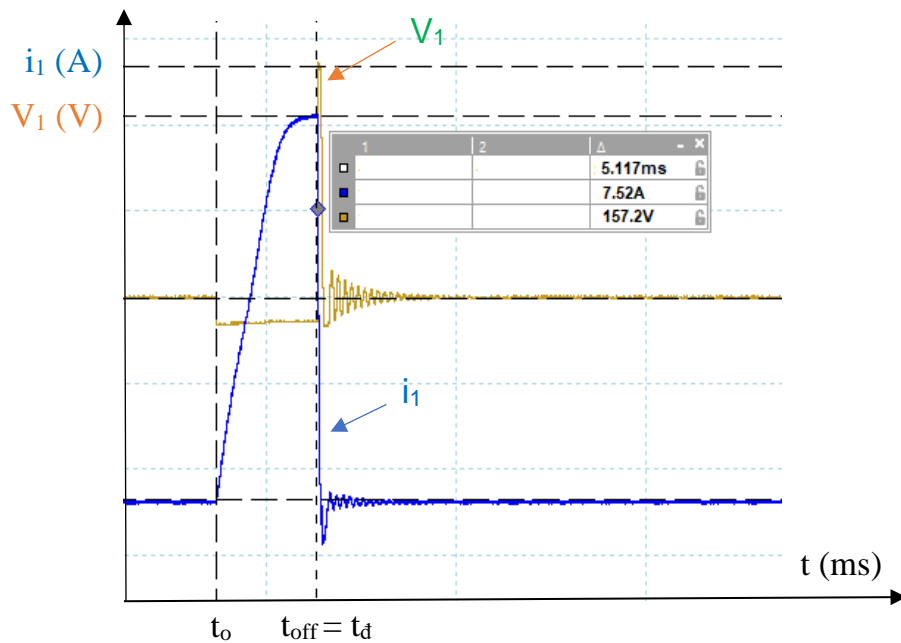
Thông số	Thời gian tích lũy năng lượng (s)	Dung lượng của tụ (F)	Điện trở rò của tụ (Ω)	Tổng trở mạch sơ cấp (Ω)	Hệ số tự cảm của cuộn sơ cấp (H)	Điện áp hệ thống (V)
Giá trị	$t_d=5.10^{-3}$	$C_1=1.10^{-6}$	$r=10^6$	$R=1,5$	$L_1=1,25.10^{-3}$	$U=12,6$

Thiết bị đo tín hiệu hệ thống đánh lửa chuyên dụng Pico Automotive oscilloscopes 4425 được sử dụng để đo đáp ứng của dòng điện sơ cấp i_1 và sức điện động tự cảm V_1 .

Mô hình tính toán cho mạch đánh lửa hỗn hợp đã xây dựng ở phần 3.1 (công thức (3.9) và (3.10) được kiểm nghiệm bằng cách so sánh các đáp ứng tính toán từ mô hình với các đáp ứng thực nghiệm. Các hệ số hiệu chỉnh của mô hình toán được xác định sao cho các đáp ứng tính toán từ mô hình, gần đúng với các đáp ứng thực nghiệm.

Độ chính xác của mô hình toán cho mạch đánh lửa hỗn hợp, được đánh giá bằng cách so sánh các thông số mạch, (bao gồm dòng điện sơ cấp cực đại i_{1m} và điện áp sơ cấp cực đại sau khi ngắt dòng sơ cấp V_{1m}), được tính toán từ mô hình sử dụng cùng bộ hệ số hiệu chỉnh với các kết quả thực nghiệm, khi thay đổi thời gian tích lũy năng lượng sơ cấp t_d khác nhau.

3.2.2 Đáp ứng dòng điện sơ cấp i_1 và điện áp sơ cấp V_1 thực nghiệm



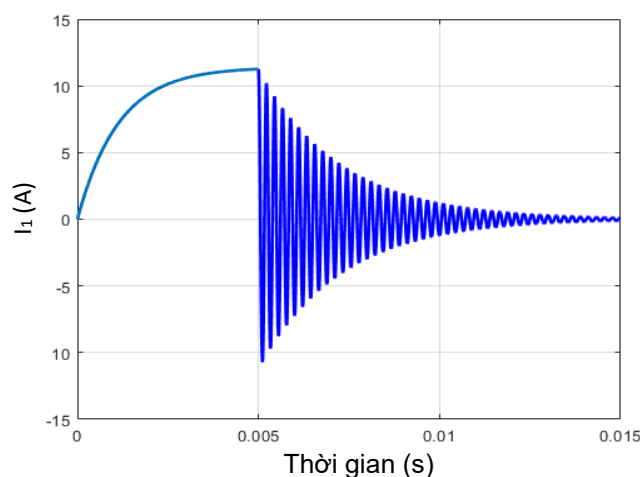
Hình 3.5: Đáp ứng thực nghiệm của mạch đánh lửa hỗn hợp - dòng điện sơ cấp i_1 và sức điện động tự cảm V_1

Trước thời điểm t_d , mạch ở trạng thái nghỉ nên $i_1 = 0$ (Hình 3.5). Từ thời điểm t_{on} , transistor công suất T dẫn điện, i_1 tăng dần theo hàm mũ từ 0 đến giá trị 7,52 A (thời điểm transistor T ngắt $t_{off} = t_d$). Khoảng thời gian $t_{on} - t_{off}$ tương đương với khoảng thời gian tích lũy năng lượng từ trường trong cuộn sơ cấp $t_d = 5\text{ms}$, sức điện động tự cảm V_1 (cũng là điện áp trên tụ C) bằng với điện áp bão hòa $V_{CE.sat}$ của transistor T nên có giá trị gần bằng 0. Từ thời điểm t_d , transistor ở trạng thái off (đóng) nên i_1 giảm đột ngột, sinh ra điện áp tự cảm lớn. Điện áp V_1 vì thế tăng vọt từ gần bằng 0 tiến đến giá trị đỉnh khoảng 157,2 V. Trong lúc V_1 tăng trưởng, tụ C_1 được nạp điện và một phần năng lượng từ trường trong cuộn sơ cấp được chuyển thành năng lượng điện trường tích lũy trong tụ C_1 . Tương ứng với giá trị V_1 , điện áp trên cuộn thứ cấp của bobin đạt đến giá trị $V_2 = V_{đl}$ (điện áp đánh lửa). Khi tia lửa xuất hiện giữa hai điện cực của bugi kéo theo sự biến đổi năng lượng điện thành nhiệt năng bức xạ bởi hồ quang điện, tổn hao từ thông trên bobin và tổn thất nhiệt trên các điện trở có mặt trong mạch thứ cấp. Năng lượng đã tích lũy trong cuộn sơ cấp bị tiêu tán nhanh nên dòng điện sơ cấp i_1 và sức điện động V_1 tắt nhanh.

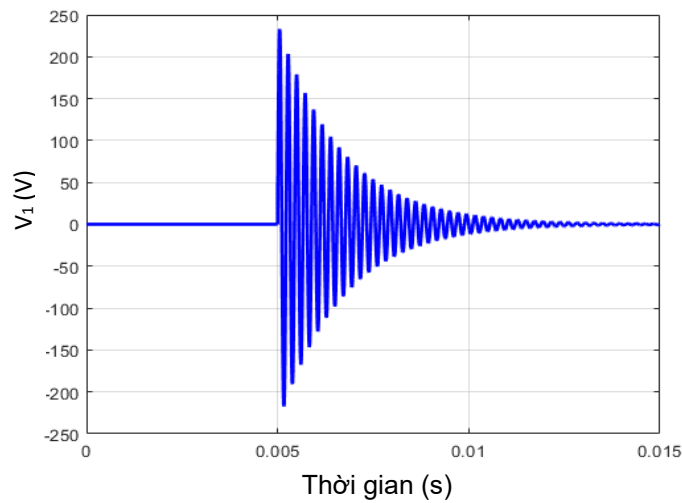
3.2.3 Đáp ứng dòng điện sơ cấp i_1 và điện áp sơ cấp V_1 tính toán từ mô hình

3.2.3.1 Đáp ứng tính toán từ mô hình

Sử dụng các thông số như trình bày ở Bảng 3.1, đáp ứng dòng điện sơ cấp i_1 và điện áp sơ cấp V_1 được tính toán từ mô hình (Hình 3.3 và 3.4)



Hình 3.6: Đáp ứng tính toán từ mô hình - dòng điện sơ cấp i_1 - công thức (3.9)



Hình 3.7: Đáp ứng tính toán từ mô hình -
sức điện động tự cảm V_1 - công thức (3.10)

So với các đáp ứng thực nghiệm (Hình 3.5), các đáp ứng tính toán từ mô hình thể hiện cùng tính chất mạch điện, cụ thể: dòng điện sơ cấp i_1 tăng theo hàm mũ trong quá trình tích lũy năng lượng sơ cấp, và giảm nhanh khi transistor công suất bị ngắt. Do không xét đến quá trình biến đổi năng lượng điện và các tổn hao thứ cấp, i_1 vì thế dao động lớn và tắt dần chậm. Với cùng lý do này, điện áp sơ cấp cực đại V_{1m} trong tính toán đạt gần 240 V thay vì 157,2 V như thực nghiệm. Do mô hình tính toán điện áp sơ cấp V_1 từ thời điểm ngắt dòng sơ cấp $t_d = 5$ ms bằng cách đạo hàm trực tiếp dòng điện sơ cấp i_1 , điện áp xác lập vì thế có giá trị 0 V (thay vì 12,6 V) như thể hiện ở đáp ứng thực nghiệm. Tuy vậy, sự sai khác này không ảnh hưởng đến kết quả và các đặc trưng của hệ thống đánh lửa hỗn hợp mà mô hình đơn giản hóa biểu diễn được.

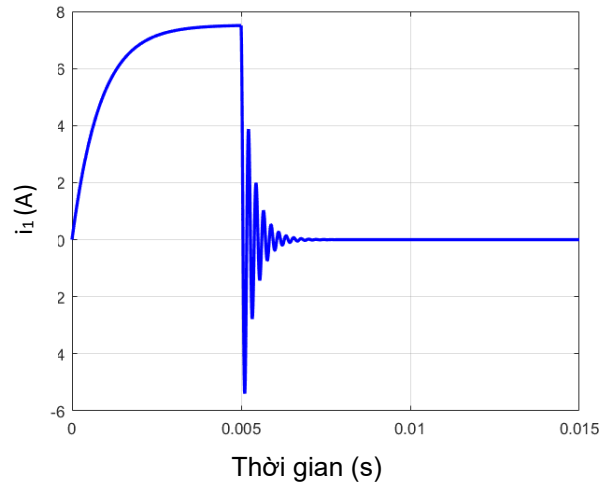
3.2.3.2 Đáp ứng tính toán từ mô hình hiệu chỉnh

Hình 3.6 và 3.7 trình bày đáp ứng tính toán từ mô hình hiệu chỉnh (công thức (3.14) và (3.15) với $\alpha_0 = 0,7$ và $\beta_0 = 5$). Việc xác định được bộ hệ số hiệu chỉnh α_0 và β_0 phù hợp, để đáp ứng tính toán từ mô hình hiệu chỉnh có thể bám sát theo đáp ứng thực nghiệm như mô tả ở hình 3.5 đã xác thực tính hợp lệ của mô hình toán cho mạch đánh lửa hỗn hợp được xây dựng.

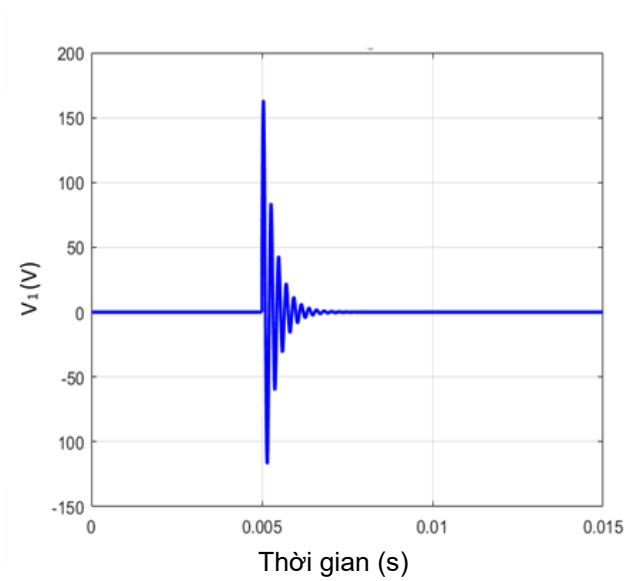
Các phương trình $i_1(t)$ và $V_1(t)$ sau hiệu chỉnh

$$i_1(t) = 0,7[ae^{5xt} \cos(yt) + ze^{5xt} \sin(yt)] \quad (3.16)$$

$$V_1(t) = -0,7L_1[(5xa + zy)e^{5xt} \cos(yt) + (5xz - ay)e^{5xt} \sin(yt)] \quad (3.17)$$



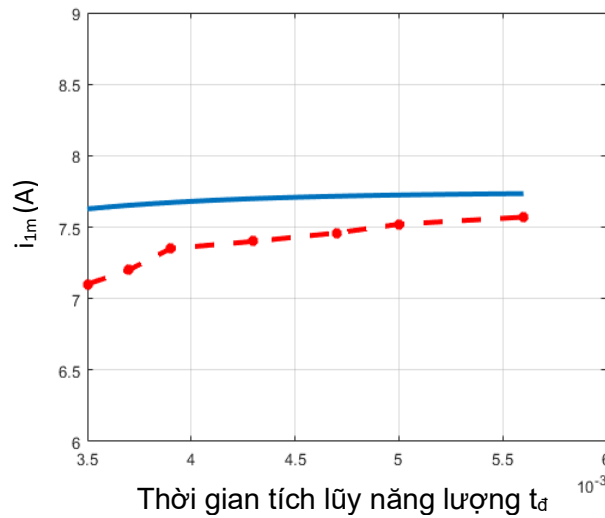
Hình 3.8: Đáp ứng tính toán dòng điện sơ cấp i_1 - công thức (3.16)



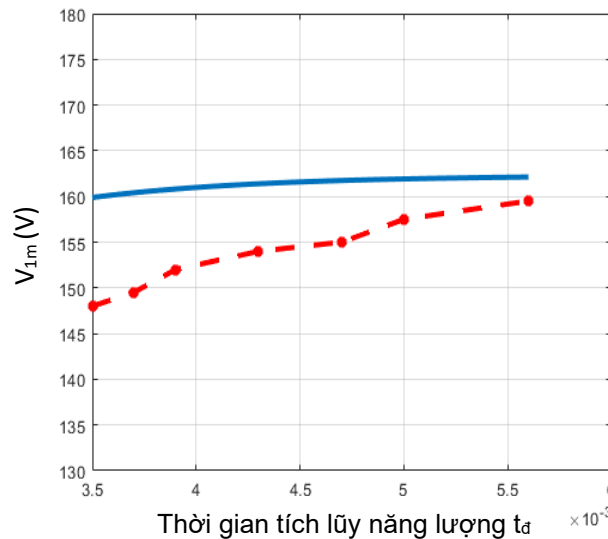
Hình 3.9: Đáp ứng tính toán điện áp sơ cấp V_1 - công thức (3.17)

3.2.3.3 Đánh giá độ chính xác của mô hình đánh lửa hỗn hợp đã xây dựng

Sử dụng cùng bộ hệ số hiệu chỉnh $\alpha_0 = 0,7$ và $\beta_0 = 5$, dòng điện sơ cấp bão hòa trước khi ngắt dòng sơ cấp i_{1m} và điện áp sơ cấp cực đại sau khi ngắt dòng sơ cấp V_{1m} xác định từ mô hình hiệu chỉnh có sai lệch không quá 7% so với giá trị thực nghiệm tương ứng với các thời gian tích lũy năng lượng sơ cấp t_d khác nhau (hình 3.10 và 3.11).



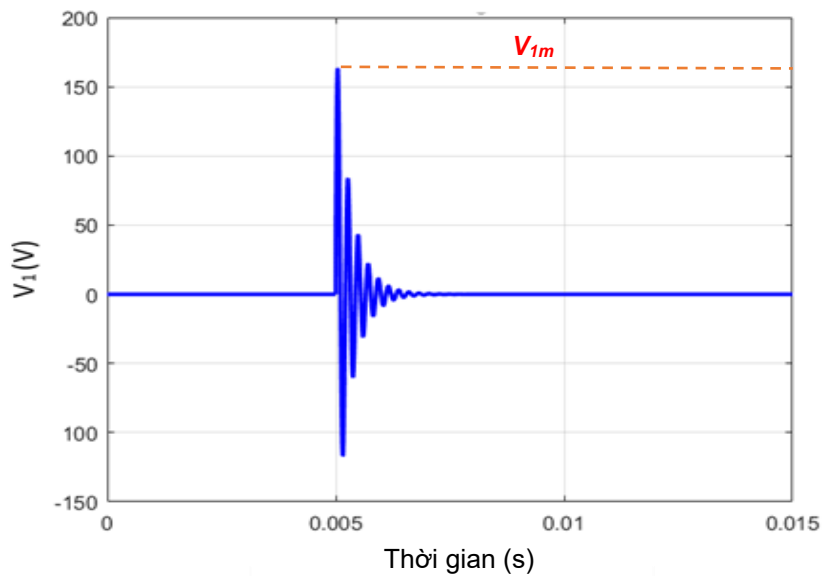
Hình 3.10: So sánh cực đại cường độ dòng điện sơ cấp i_{1m} theo lý thuyết và thực nghiệm ở các thời gian tích lũy năng lượng sơ cấp t_d khác nhau.



Hình 3.11: So sánh cực đại sức điện động tự cảm V_{1m} theo lý thuyết và thực nghiệm ở các thời gian tích lũy năng lượng sơ cấp t_d khác nhau.

3.3 Hàm truyền của hệ thống đánh lửa hỗn hợp

Như đã nêu ở giả thiết d (phần 3.1.2), đáp ứng thực tế của điện áp tụ khi xét đến ảnh hưởng của diode D, có thể được suy ra từ đáp ứng tính toán bởi mô hình được trình bày ở hình 3.4. Khi không có diode D, điện áp tụ tăng vọt đến giá trị V_{1m} sau khi ngắt dòng sơ cấp và sau đó dao động tắt dần. Khi có diode D, khi điện áp tụ cảm giảm nhỏ hơn điện áp tụ, diode D khóa dòng điện. Vì vậy, điện áp trên tụ bằng điện áp cực đại của V_1 (V_{1m}), (đường màu đỏ trên Hình 3.12). Năng lượng tích lũy trên tụ sẽ đạt giá trị $W_{đd} = C_1 V_{1m}^2 / 2$.



Hình 3.12: Đáp ứng điện thế trên tụ C_1

Thời gian nạp tụ thực tế cũng chính là thời gian để $V_1(t)$ đạt cực trị (t_{V1m})

Giá trị t_{V1m} được xác định bởi tính toán sau:

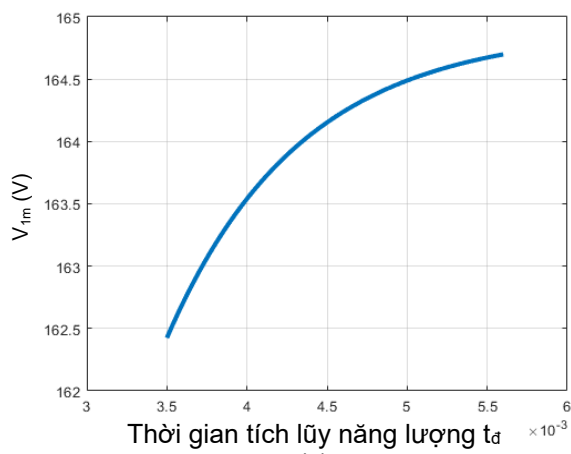
$$V_1'(t) = 0, \text{ khi } t = \text{arc tg} \left(-\frac{y}{\beta_0 x} \right), \text{ với } \beta_0 = 5 \quad (3.18)$$

$$\text{Hay } t_{V1m} = t = \text{arc tg} \left(-\frac{y}{5x} \right) \quad (3.19)$$

V_1 sẽ đạt giá trị cực đại V_{1m} khi $t = t_{V1m}$ (xem Phụ lục 2).

Do các giá trị của y và x trong biểu thức (3.19) chỉ phụ thuộc vào các hệ số tự cảm L_1 , tổng trở R của mạch đánh lửa điện cảm (công thức 3.6, 3.8); trong khi đó các hệ số a và z (công thức 3.17) phụ thuộc vào thời gian tích lũy năng lượng trên cuộn sơ cấp t_d . Vì vậy, $V_{1m} = V(t = t_{V1m})$ có thể được biểu diễn tổng quát là một hàm số theo

t_d (thời gian tích lũy năng lượng). $V_{1m} = f(t_d)$. Đây chính là hàm truyền của hệ thống thể hiện mối quan hệ giữa điện áp nạp tụ V_{1m} với thời gian tích lũy năng lượng t_d . Quan hệ này được biểu diễn bởi Hình 3.13.



Hình 3.13: Quan hệ điện áp nạp tụ V_{1m} và thời gian tích lũy năng lượng t_d

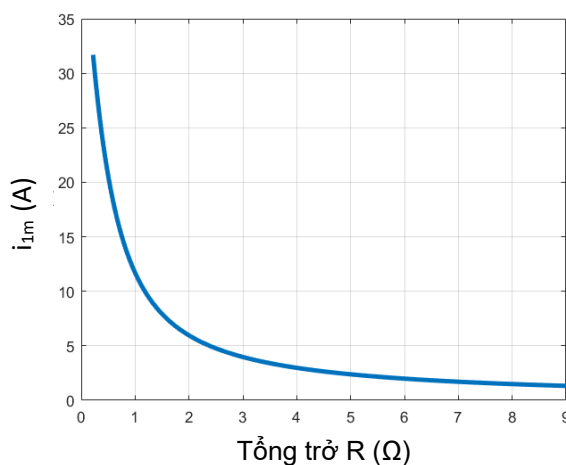
Từ quan hệ này ta thấy khi tăng thời gian tích lũy năng lượng t_d , điện áp nạp tụ sẽ tăng. Lúc này, năng lượng tích lũy trên tụ C_1 sẽ tăng theo ($W_{ad} = C_1 V_{1m}^2 / 2$).

3.4 Khảo sát ảnh hưởng của các thông số trong hệ thống đến đặc tính hệ thống đánh lửa hỗn hợp

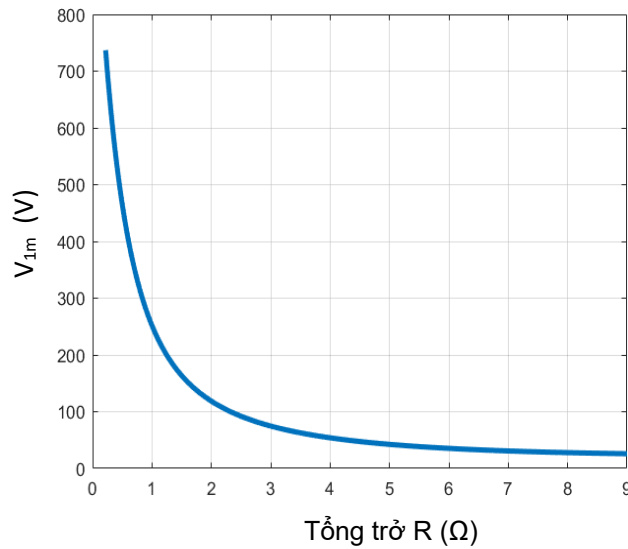
3.4.1 Ảnh hưởng của tổng trở mạch sơ cấp R đến giá trị $V_I(t)$, $i_I(t)$

Sử dụng các phương trình $i_I(t)$ (3.16) và $V_I(t)$ (3.17) sau hiệu chỉnh để tiến hành mô phỏng. Các thông số thực hiện mô phỏng theo Bảng 3.1

Ảnh hưởng của tổng trở mạch sơ cấp R đến cực đại của giá trị i_I



Hình 3.14: Ảnh hưởng của tổng trở R đến giá trị cực đại của i_I

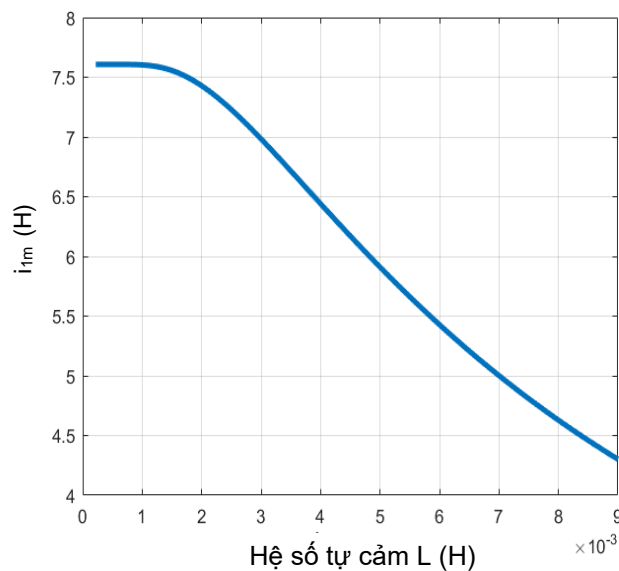


Hình 3.15: Ảnh hưởng của tổng trở R đến giá trị cực đại của V_I

Khi giá trị tổng trở R tăng, năng lượng cung cấp cho hệ thống giảm xuống. Vì vậy, các giá trị cực đại của $i_I(t)$ giảm, giá trị $V_I(t) = L_I \frac{di_I}{dt}$; Vì vậy, khi giá trị i_I giảm xuống sẽ kéo theo giá trị $V_I(t)$ giảm.

3.4.2 Ảnh hưởng của hệ số tự cảm L_I của cuộn sơ cấp đến đặc tính hệ thống

Ảnh hưởng của hệ số tự cảm L_I của cuộn sơ cấp đến giá trị cực đại i_{Im}



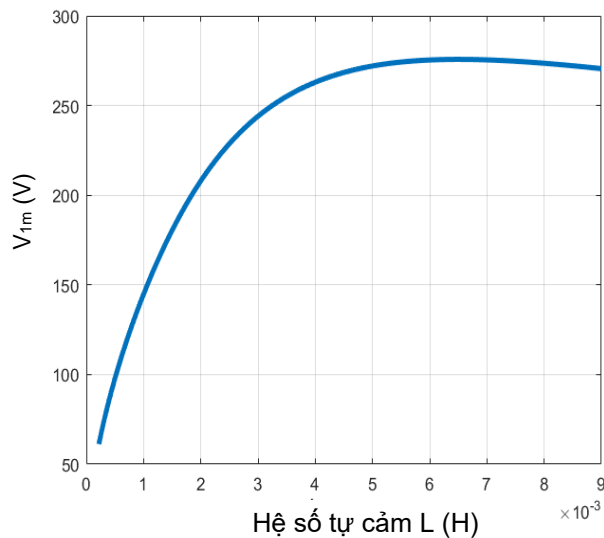
Hình 3.16: Ảnh hưởng của hệ số tự cảm L_I đến giá trị cực đại của i_I

Từ hình 3.16 ta thấy khi tăng hệ số tự cảm của cuộn sơ cấp L_1 sẽ làm giảm giá trị cực đại của dòng điện đi qua cuộn sơ cấp của bobin. Từ phương trình mô tả cường độ dòng điện đi qua cuộn sơ cấp của bobin i_d .

$$i_d = \frac{V}{R} (1 - e^{-\frac{R}{L_1} t_d})$$

Ta thấy, cường độ dòng điện đi qua cuộn sơ cấp của bobin phụ thuộc vào hàm mũ. Vì vậy, nếu giữ nguyên các thông số của hệ thống, khi tăng giá trị của hệ số tự cảm L_1 sẽ làm giá trị cực đại của dòng điện sơ cấp i_1 giảm, điều này sẽ làm giảm năng lượng điện cảm tích lũy trên cuộn sơ cấp của bobin.

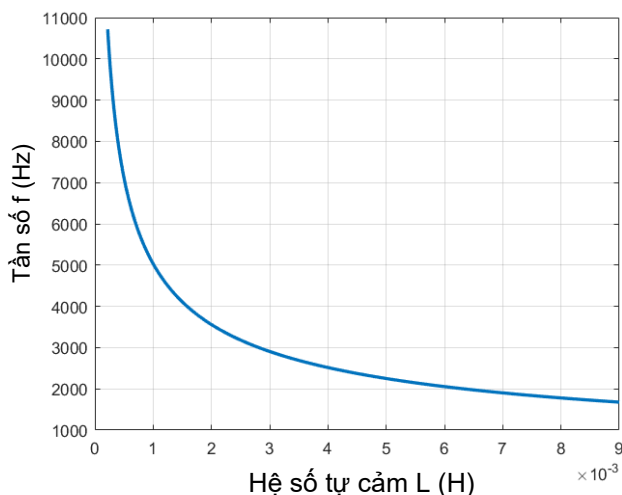
Ảnh hưởng của hệ số tự cảm L_1 cuộn sơ cấp đến giá trị cực đại của V_1



Hình 3.17: Ảnh hưởng của hệ số tự cảm L_1 đến giá trị cực đại của V_1

Từ hình 3.17 cho thấy, khi hệ số tự cảm L_1 tăng, giá trị cực đại của V_1 sẽ lớn nhất tại $L_1 = 6,52$ mH, điều này có thể giải thích như sau: khi tăng giá trị của hệ số tự cảm, nhưng thời gian tích lũy năng lượng t_d không đổi, giá trị cường độ dòng điện i_d sẽ giảm. Tuy nhiên, giá trị $V_1 = -L_1 \frac{di_d}{dt}$ nên giá trị V_{1m} sẽ lớn nhất tại một giá trị nhất định của L_1 .

Ảnh hưởng của hệ số tự cảm L đến tần số dao động của i_l và V_l



Hình 3.18: Ảnh hưởng của hệ số tự cảm L_l đến tần số dao động của V_l

Từ kết quả mô phỏng trên hình 3.18 cho thấy, khi tăng giá trị của hệ số tự cảm trên cuộn sơ cấp L_l , tần số dao động của V_l giảm.

Điều này phù hợp với mạch R-L-C mắc nối tiếp, tần số dao động của mạch có dạng [39]

$$f = \frac{1}{\sqrt{LC}} \frac{1}{2\pi} \quad (3.20)$$

Vì vậy, nếu giữ nguyên giá trị dung lượng của tụ C_l . Tần số dao động của V_l sẽ có xu hướng giảm, khi tăng giá trị của L_l

3.4.3 Ảnh hưởng của dung lượng tụ C_l đến đặc tính hệ thống

3.4.3.1 Ảnh hưởng của điện dung C_l đến thời gian tích lũy năng lượng điện dung

Theo các công thức tính toán thời gian nạp cho tụ với điện áp nguồn không đổi

Với: - C : Điện dung của tụ điện

- $V_{\text{nạp}}$: Điện áp nạp cho tụ.

- V_C : Điện áp trên tụ.

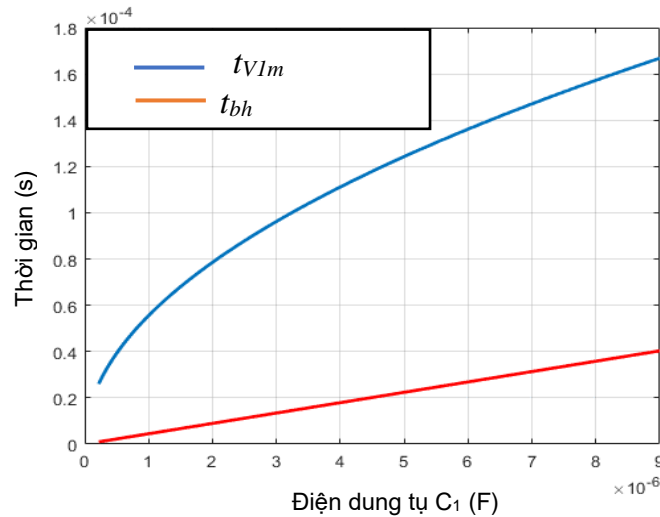
- R : Điện trở của mạch ($1,5\Omega$)

- $\tau = RC$: Thời hằng nạp tụ.

Ứng với thời gian nạp $t_{bh} = 4\tau$, điện áp trên tụ V_C đạt giá trị $V_C = 99\% V_{\text{nạp}}$.

Từ các lý luận trình bày trong phần 3.3, thời gian nạp thực tế của tụ C_1 sẽ bằng thời $t = t_{V_{1m}} = \arctan\left(-\frac{y}{5x}\right)$ (Khi V_1 sẽ đạt giá trị cực đại V_{1m}).

Xây dựng mối quan hệ giữa thời gian t_{bh} và $t_{V_{1m}}$ khi dung lượng tụ C_1 thay đổi, ta được đồ thị thể hiện trên Hình 3.19.

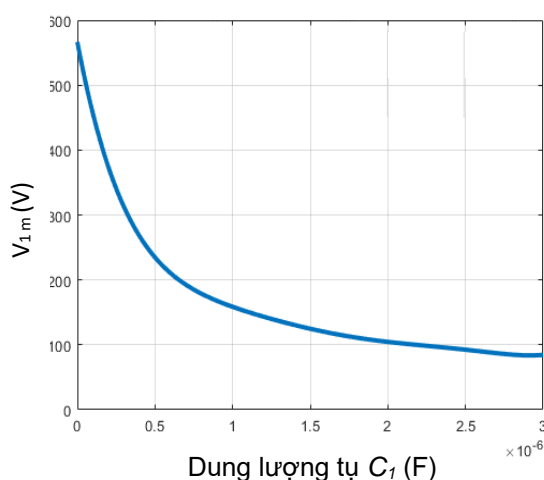


Hình 3.19: Quan hệ giữa thời nạp đầy tụ t_{bh} và thời gian nạp tụ thực tế $t_{V_{1m}}$ khi giá trị dung lượng tụ C_1 thay đổi

Từ đồ thị ta thấy, thời gian nạp tụ thực tế $t_{V_{1m}}$ lớn hơn rất nhiều so với thời gian yêu cầu để tụ được nạp đầy $t_{bh} = 4\tau$, nên điện áp trên tụ sẽ đạt giá trị cực đại của sức điện động tự cảm (V_{1m}).

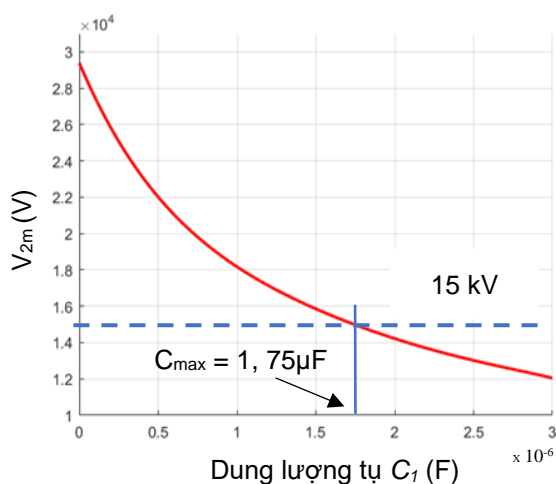
Giá trị $t_{V_{1m}}$ chỉ phụ thuộc vào các thông số y và x , (các thông số này chỉ phụ thuộc vào các giá trị R, L_1, C_1 trong mạch (công thức 3.6, 3.8), mà không phụ thuộc vào thời gian tích lũy năng lượng t_d . Vì vậy, khi thay đổi tốc độ động cơ (thời gian tích lũy năng lượng t_d thay đổi), thời gian nạp đầy tụ t_{bh} và thời gian nạp tụ thực tế $t_{V_{1m}}$ không đổi.

3.4.3.2 Ảnh hưởng của điện dung tụ C_1 đến điện áp sơ cấp cực đại V_{1m} và điện áp thứ cấp cực đại V_{2m}



Hình 3.20: Quan hệ dung lượng tụ C_1 và điện áp sơ cấp cực đại V_{1m}

Từ đồ thị cho thấy, khi tăng dung lượng của tụ C_1 sẽ làm giảm giá trị cực đại của điện áp sơ cấp V_{1m} .



Hình 3.21: Quan hệ dung lượng tụ C_1 và điện áp thứ cấp cực đại V_{2m}

Giá trị điện thế thứ cấp cực đại V_{2m} [1, 4, 32], đặc trưng cho khả năng hình thành tia lửa điện ban đầu phóng qua khe hở giữa hai điện cực của bugi để đốt cháy hòa khí. Giá trị V_{2m} có thể tính toán dựa vào phương trình cân bằng năng lượng (2.12).

$$V_{2m} = K_{bb} \sqrt{\frac{2W_{dt}}{C_1 + K_{bb}^2 \cdot C_2}} \cdot \eta \text{ (kV)}$$

Với các thông số trong công thức trên như sau:

- $K_{bb} = W_2/W_1$: Hệ số biến áp bobin = 90, (80-100) [4]
- $W_{dt} = i_d^2/2$ với i_d = cực đại cường độ dòng điện lúc transistor công suất ngắt (A)
- η : Hệ số tính đến sự mất mát trong mạch = 0,75, (0,7- 0,8).[1,4]
- C_1 : Điện dung của tụ điện mắc song song với transistor công suất (1 μ F)
- C_2 : Điện dung ký sinh trên mạch thứ cấp = 90 pF, (60-120 pF) [4]
được tính bằng $C_2 = C_{2W2} + C_{2n}$

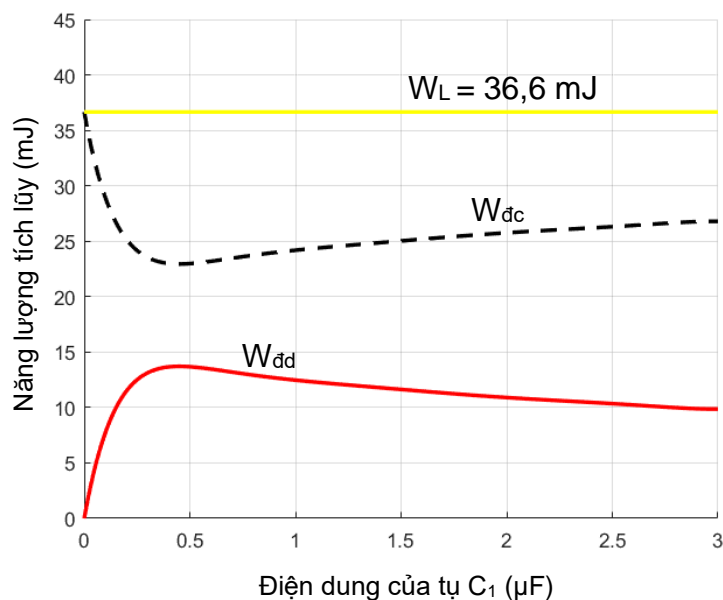
Trong đó:

- C_{2W2} : Điện dung ký sinh của cuộn thứ cấp, giá trị này phụ thuộc vào kích thước và các thông số của cuộn dây = 30 - 60 pF [4]
- C_{2n} : Điện dung ký sinh của bugi = 30 - 60pF [4]

Từ đồ thị Hình 3.21 ta thấy khi tăng dung lượng tụ C_1 , giá trị của điện thế thứ cấp cực đại V_{2m} có xu hướng giảm dần.

Đối với động cơ đánh lửa trực tiếp $V_{dl} = 6 - 14\text{kV}$ [31], để có thể chọc thủng khe hở hòa khí và hình thành tia lửa điện trên bugi. Tuy nhiên, để bảo đảm tính ổn định trên hệ thống, giá trị cực đại của điện áp thứ cấp $V_{2m} > V_{dl}$ để đảm bảo xuất hiện tia lửa điện. Để có một hệ số dự trữ nhất định V_{2m} thường nằm trong khoảng: 15 - 40 kV[1]. Như vậy, dựa vào đồ thị quan hệ giữa V_{2m} và giá trị dung lượng của tụ C_1 (Hình 3.21), sẽ cho phép xác định giá trị dung lượng của tụ $C_1 = C_{max}$ thỏa mãn điều kiện hình thành tia lửa điện cao áp giữa hai điện cực của bugi, sao cho $V_{2m} > 15\text{kV}$. Đối với điều kiện trên, giá trị dung lượng của tụ C_1 có thể chọn sao cho $C_1 < C_{max} = 1,75\mu\text{F}$.

3.4.3.3 Ảnh hưởng của điện dung tụ C_1 đến năng lượng đánh lửa điện cảm W_{dc} và năng lượng đánh lửa điện dung W_{dd}



Hình 3.22: Sự thay đổi của năng lượng tích lũy trên cuộn sơ cấp của bobin W_L , năng lượng tích lũy trên tụ điện W_{dd} và năng lượng phục vụ đánh lửa điện cảm W_{dc} theo điện dung của tụ C_1

Theo định luật bảo toàn năng lượng (nếu không kể đến các mất mát) ta có thể đưa ra phương trình sau:

$$W_L = W_{dd} + W_{dc} \quad (3.21)$$

Trong đó:

- W_L : Năng lượng tích lũy trên một cuộn sơ cấp của bobin đánh lửa điện cảm ở cuối giai đoạn tích lũy năng lượng.

$$W_L = L_1 i_d^2 / 2 \quad (3.22)$$

- W_{dd} : Năng lượng tích lũy trên tụ điện ở mạch đánh lửa điện cảm (phục vụ cho giai đoạn đánh lửa điện dung)

$$W_{dd} = C_1 V_{1m}^2 / 2 \quad (3.23)$$

- W_{dc} : Năng lượng còn lại phục vụ đánh lửa điện cảm

Ở cuối quá trình tích lũy năng lượng trên các bobin đánh lửa điện cảm, (khi thời gian tích lũy năng lượng ($t = t_d$), dòng điện sơ cấp bị ngắt đột ngột, điện áp trên tụ lúc này sẽ bằng điện áp tự cảm xuất hiện trên cuộn sơ cấp. Vì vậy, năng lượng trên tụ sẽ được tích lũy đến giá trị $W_{dd} = C_1 V_1^2 / 2$, phần năng lượng này sẽ phục vụ cho quá trình đánh lửa điện dung. Như vậy, năng lượng còn lại phục vụ cho giai đoạn đánh lửa điện cảm sẽ bằng giá trị $W_{dc} = W_L - W_{dd}$

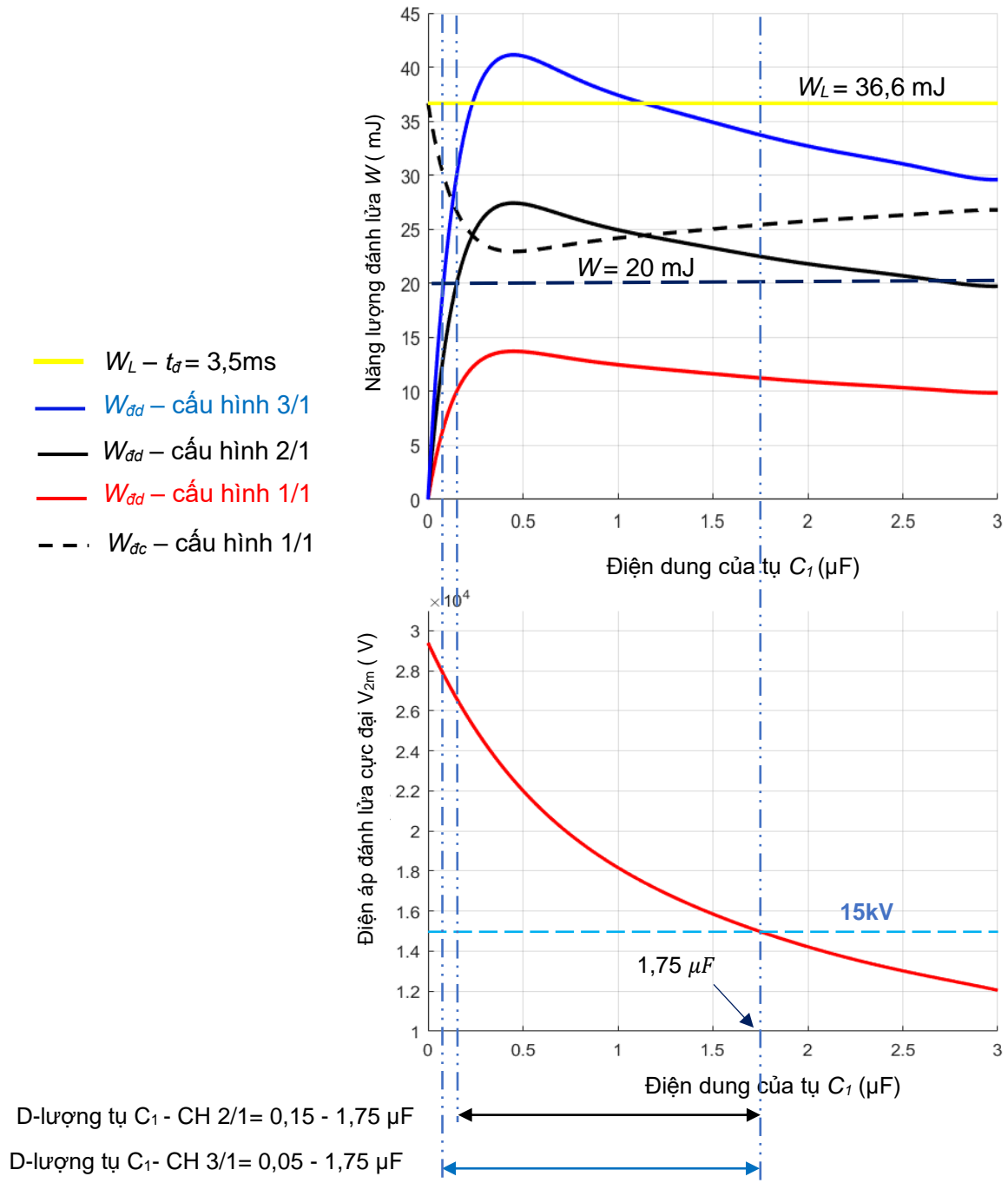
Sử dụng các số liệu của Bảng 3.1, tính toán được các giá trị năng lượng W_L , W_{dd} , W_{dc} (trên một bobin), thể hiện trên đồ thị Hình 3.22.

Tụ điện C_1 trên mạch không tham gia vào quá trình tăng trưởng của dòng điện đi qua cuộn sơ cấp. Vì vậy, khi giữ nguyên các thông số của cuộn dây sơ cấp của bobin (đánh lửa điện cảm), điện áp của hệ thống $V = 12,6V$ và thời gian tích lũy năng lượng t_d (trong khảo sát này chọn $t_d = 3,5 ms$ - thời gian tích lũy năng lượng nhỏ nhất, khi động cơ hoạt động). Năng lượng tích lũy trên một cuộn sơ cấp của bobin đánh lửa điện cảm ở cuối quá trình tích lũy năng lượng (dòng điện i_d đạt giá trị cực đại) $W_L = 36,6mJ$.

W_{dd} : Năng lượng tích lũy trên tụ điện C_1 ở mạch đánh lửa điện cảm ($W_{dd} = C_1 V_{1m}^2 / 2$), phụ thuộc vào hai giá trị dung lượng của tụ C_1 và giá trị cực đại của sức điện động tự cảm V_{1m} . Tuy nhiên, giá cực đại của V_1 sẽ giảm khi tăng dung lượng của tụ. Vì vậy, năng lượng tích lũy trên tụ, sẽ đạt giá trị cực đại tại một giá trị dung lượng nhất định của tụ, sau đó giảm dần (khi tăng dung lượng tụ C_1).

W_{dc} : Năng lượng còn lại phục vụ cho giai đoạn đánh lửa điện cảm $W_{dc} = W_L - W_{dd}$. Do W_L là hằng số khi thay đổi dung lượng của tụ C_1 . Vì vậy, W_{dc} có xu hướng ngược lại với diễn biến của W_{dd} .

3.5 Cơ sở lựa chọn cấu hình hệ thống đánh lửa hỗn hợp và dung lượng tụ phù hợp



Hình 3.23: Hệ thống đồ thị phục vụ xác định dung lượng tụ C_1 trên hệ thống đánh lửa hỗn hợp

3.5.1 Giới thiệu các cấu hình hệ thống đánh lửa hỗn hợp

Cấu hình hệ thống đánh lửa hỗn hợp được đặc trưng bởi hệ số: $N/1$

Trong đó: N là số bobin đánh lửa điện cảm được dùng để nạp năng lượng cho một bobin đánh lửa điện dung.

Với cấu hình 1/1 ($N=1$), qua kết quả khảo sát ảnh hưởng của C_I đến các năng lượng đánh lửa (nội dung 3.3.2.3), năng lượng phục vụ đánh lửa điện dung W_{dd} càng lớn, thì năng lượng điện cảm càng giảm. Để đảm bảo tia lửa điện cảm có đủ năng lượng đốt cháy hòa khí, năng lượng dành cho đánh lửa điện dung W_{dd} có thể không đủ để đốt cháy hòa khí. Do vậy, các cấu hình 2/1 hay 3/1 có thể được sử dụng để khắc phục trở ngại này. Tuy nhiên, nếu N càng lớn thì hiệu quả tiết kiệm năng lượng càng giảm.

Bên cạnh đó, giá trị tụ C_I có ảnh hưởng đến khả năng hình thành tia lửa điện ban đầu, thể hiện qua điện áp cực đại ở cuộn thứ cấp V_{2m} (nội dung 3.3.3.2)

Vì vậy, với một động cơ có số xi-lanh cụ thể, chọn lựa cấu hình $N/1$ và điện dung tụ C_I phù hợp có ý nghĩa quan trọng, đảm bảo luôn hình thành được tia lửa điện ban đầu và năng lượng phải đủ lớn để đốt cháy hòa khí ở cả hai giai đoạn đánh lửa điện cảm và giai đoạn đánh lửa điện dung, giúp động cơ hoạt động ổn định với tổn thất năng lượng cho hệ thống đánh lửa thấp nhất.

3.5.2 Xác định dải dung lượng của tụ C_I phù hợp cho hệ thống đánh lửa hỗn hợp

Từ các lý luận trên phần 3.5.1 ta thấy: dung lượng của tụ C_I sử dụng trên hệ thống đánh lửa hỗn hợp phải thỏa mãn đồng thời các yêu cầu sau:

1 Điện áp thứ cấp V_{2m} phải đủ lớn để có thể có thể hình thành tia lửa phóng qua hai điện cực của bugi, $V_{2m} > V_{2lim} = 15kV$. (với động cơ xăng đánh lửa trực tiếp, có hệ dư lượng không khí $\lambda \sim 1$ điện áp đánh lửa yêu cầu từ: $V_{dl} = 6 - 14kV$). Do vậy với

$$V_{2lim} \text{ hệ số dự trữ năng lượng } K_{dt} = \frac{V_{2m}}{V_{dl}} \sim 2,5.$$

2 Bảo đảm đủ năng lượng đánh lửa cả hai giai đoạn đánh lửa điện dung và đánh lửa điện cảm để đốt cháy được hòa khí. Năng lượng đánh lửa có giá trị tối thiểu phải đạt $W_{lim} = 15mJ$ [6]. Tuy nhiên, để có phần năng lượng dự trữ, ta chọn giá trị 20 mJ.

Với các yêu cầu đã nêu và các thông số từ Bảng 3.1, qua hệ thống đồ thị trên Hình 3.23 ta nhận thấy:

- Cấu hình 1/1 không phù hợp, vì năng lượng tích lũy trên tụ điện $W_{dd} < W_{lim} = 20\text{mJ}$, không thỏa mãn năng lượng đánh lửa cho giai đoạn đánh lửa điện dung.
- Để thỏa yêu cầu 1, cấu hình 2/1 có thể chọn dung lượng của tụ có giá trị: 0,15-1,75 μF . Trong dải dung lượng của tụ này, các giá trị $2W_{dd}$ và $W_{dc} > W_{lim} = 20\text{mJ}$, thỏa mãn năng lượng đánh lửa cho cả hai giai đoạn đánh lửa: điện cảm và điện dung. Cấu hình 2/1 có thể sử dụng phù hợp cho động cơ 3 hoặc 6 xy-lanh.
- Để thỏa yêu cầu 1, cấu hình 3/1 có thể chọn dung lượng của tụ có giá trị: 0,05-1,75 μF . Vì Trong dải dung lượng của tụ này, các giá trị $3W_{dd}$ và $W_{dc} > W_{lim} = 20\text{mJ}$, thỏa mãn năng lượng đánh lửa cho cả hai giai đoạn: điện cảm và điện dung. Cấu hình 3/1 có thể sử dụng phù hợp cho động cơ 4 hoặc 8 xy-lanh.

Bảng 3.2: Mô tả các cấu hình của hệ thống đánh lửa hỗn hợp

	Bobin ĐL điện cảm	Bobin ĐL điện dung	Bobin ĐL điện cảm	Bobin ĐL điện dung
Cấu hình 2/1	Động cơ 3 xy-lanh		Động cơ 6 xy-lanh	
Số lượng	2	1	4	2
Năng lượng tiết kiệm	33%		33%	
Cấu hình 3/1	Động cơ 4 xy-lanh		Động cơ 8 xy-lanh	
Số lượng	3	1	6	2
Năng lượng tiết kiệm	25%		25%	

Từ Bảng 3.2 cho thấy khi sử dụng cấu hình 2/1, khả năng tiết kiệm năng lượng của hệ thống sẽ tăng lên; Nhưng năng lượng tích lũy phục vụ cho đánh lửa điện dung lúc này chỉ là $2W_{dd}$ (24,94mJ- ứng với tụ $1\mu\text{F}$). Khi sử dụng cấu hình 3/1, khả năng tiết kiệm năng lượng sẽ giảm xuống, nhưng năng lượng phục vụ cho đánh lửa điện dung lúc này lên tới $3W_{dd}$ (37,41mJ- ứng với tụ $1\mu\text{F}$), khả năng dự trữ năng lượng sẽ tốt hơn.

Ngoài ra, khi giảm dung lượng của tụ sẽ làm tăng điện áp tự cảm. Điều này có khả năng làm hỏng thiết bị đóng ngắt.

3.6 Các tính toán hệ thống đánh lửa hỗn hợp – giai đoạn đánh lửa điện dung

3.6.1 Mô hình tính toán

Dựa trên sơ đồ nguyên lý hệ thống đánh lửa hỗn hợp (hình 3.1), với cách mắc ba tụ song song, trong tính toán có thể thay thế bằng một tụ điện C_d có điện dung tương đương của ba tụ C_1, C_2, C_3 (mỗi tụ có dung lượng = $1\mu\text{F}$). Quá trình giải phóng năng lượng tích lũy trên tụ đến cuộn sơ cấp của bobin 4, có tính chất tương đương với quá trình tụ điện phóng trên mạch R-L-C.

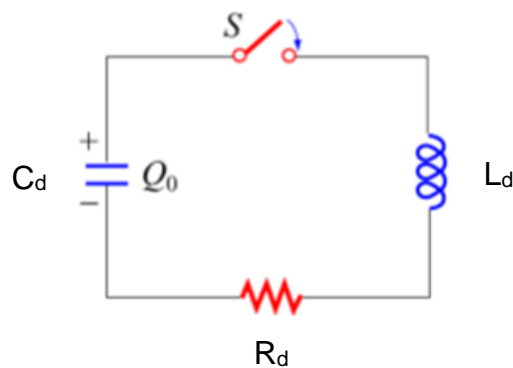
Vì vậy, trong tính toán có thể sử dụng mô hình mạch R-L-C (Hình 3.24) trong đó:

C_d : Tụ điện có điện dung tương đương của ba tụ C_1, C_2, C_3 ($3\mu\text{F}$)

S: Công tắc đóng/mở thể hiện hai trạng thái đóng/ngắt của SCR.

L_d : Hệ số tự cảm của cuộn sơ cấp của bobin đánh lửa điện dung

R_d : Tổng trở của mạch sơ cấp đánh lửa điện dung, bao gồm: điện trở của các linh kiện, điện trở cuộn sơ cấp bobin 4, điện trở của các mối nối,...



Hình 3.24: Mô hình tính toán hệ thống đánh lửa hỗn hợp - giai đoạn đánh lửa điện dung

3.6.2 Xây dựng phương trình tổng quát cường độ dòng điện $i_d(t)$, sức điện động tự cảm $e_d(t)$.

Như đã trình bày ở phần 3.1, sau quá trình đánh lửa điện dung trên trên các bobin 1, bobin 2, bobin 3 năng lượng tự cảm sẽ được tích lũy lần lượt trên các tụ C1, C2, C3 (hình 3.1). Các tụ trên sẽ được tích đến giá trị Q_0

Dựa vào mô hình tính toán mạch đánh lửa điện dung (hình 3.24)

Ta có thể xây dựng phương trình cân bằng năng lượng trên mạch:

$$W = W_{dd} + W_{Ld} = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C_d} + \frac{1}{2} L_d i_d^2 \quad (3.24)$$

Trong đó:

- C_d : Dung lượng của tụ trên mạch đánh lửa điện dung
- L_d : Hệ số tự cảm cuộn sơ cấp trên mạch đánh lửa điện dung
- i_d : Cường độ dòng điện lúc tụ C_d nạp đầy

Năng lượng tiêu hao trên điện trở R_d được biểu diễn bởi công thức:

$$\frac{dW}{dt} = -i_d^2 R_d \quad (3.25)$$

Với R_d : tổng trở mạch sơ cấp đánh lửa điện dung

Từ (3.24) và (3.25), ta có phương trình vi phân như sau:

$$\frac{Q}{C_d} \frac{dQ}{dt} + L_d i_d \frac{di_d}{dt} = -i_d^2 R_d \quad (3.26)$$

Quan hệ giữa cường độ dòng điện và điện tích trên trên tụ điện C_d được thể hiện như sau: $i_d = -\frac{dQ}{dt}$. Chia cả hai vế (3.26) cho i_d , ta có:

$$L_d \frac{d^2 Q}{dt^2} + R_d \frac{dQ}{dt} + \frac{Q}{C_d} = 0 \quad (3.27)$$

$$\Leftrightarrow Q'' + \frac{R_d}{L_d} Q' + \frac{1}{L_d C_d} Q = 0 \quad (3.28)$$

Tại thời điểm ban đầu $t=0$, $Q(t=0) = Q_0$, với Q_0 là điện tích cực đại ban đầu của tụ.

Nghiệm tổng quát của phương trình (3.28) là:

$$Q(t) = Q_0 e^{-\gamma t} \cos(\omega' t) \quad (3.29)$$

Trong đó:

$$\gamma = \frac{R_d}{2L_d} \quad (3.30)$$

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_d C_d}} \quad (3.31)$$

$$\omega' = \sqrt{\omega_0^2 - \gamma^2} = \sqrt{\frac{1}{L_d C_d} - \left(\frac{R}{2L_d}\right)^2} \quad (3.32)$$

Từ công thức
$$i_d(t) = -\frac{dQ}{dt} \quad (3.33)$$

Ta có:

$$i_d(t) = Q_0 \omega' e^{-\gamma t} \left[\sin \omega' t + \left(\frac{\gamma}{\omega'}\right) \cos(\omega' t) \right] \quad (3.34)$$

Xây dựng phương trình tổng quát sức điện động tự cảm trên cuộn sơ cấp $e_d(t)$

Phương trình tổng quát của sức điện động tự cảm được viết dưới dạng

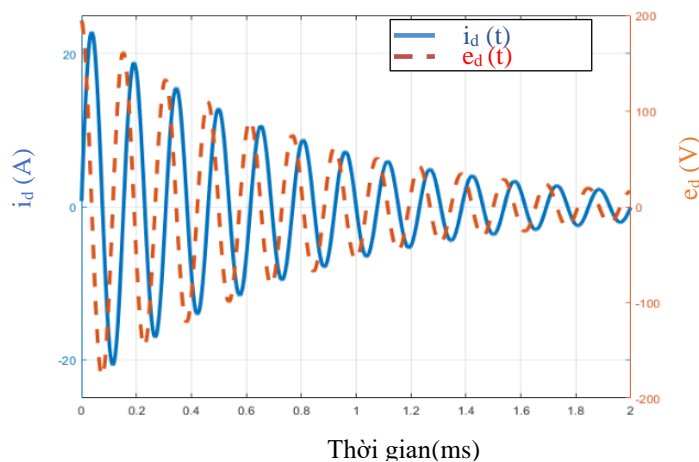
$$e_d(t) = -L_d \frac{di_d(t)}{dt} \quad (3.35)$$

Tiến hành đạo hàm phương trình (3.34) ta được:

$$\begin{aligned} \frac{di_d(t)}{dt} &= Q_0 \omega' e^{-\gamma t} \left[\left(\omega' - \frac{\gamma^2}{\omega'}\right) \cos \omega' t - 2\gamma \sin \omega' t \right] \\ \Leftrightarrow e_d(t) &= L_d \cdot Q_0 \omega' e^{-\gamma t} \left[\left(\omega' - \frac{\gamma^2}{\omega'}\right) \cos \omega' t - 2\gamma \sin \omega' t \right] \end{aligned} \quad (3.36)$$

Tiến hành xây dựng đồ thị cường độ dòng điện $i_d(t)$ và sức điện động tự cảm của cuộn sơ cấp $e_d(t)$. Các giá trị đưa vào tính toán:

- Tổng trở mạch đánh lửa điện dung: $R_d = 0.5 \Omega$, hệ số tự cảm của cuộn sơ cấp $L_d = 0.2\text{mH}$, Điện dung của tụ $C_d = 3\mu\text{F}$ (3 tụ điện $1\mu\text{F}$ mắc song song), Điện áp trên tụ $V = V_{Im} = 195\text{V}$, tương ứng tốc độ động cơ 700 vòng/phút.



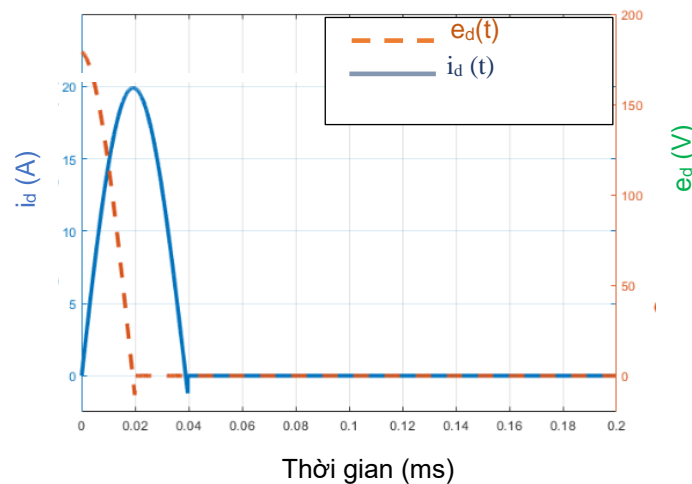
Hình 3.25: Đáp ứng tính toán dòng điện $i_d(t)$ và sức điện động tự cảm $e_d(t)$

Khi đóng khóa S, năng lượng từ tụ C_d sẽ được giải phóng qua cuộn dây L_d . Cường độ dòng điện $i_d(t)$ và sức điện động tự cảm $e_d(t)$ trên cuộn sơ cấp, phụ thuộc vào các hàm sin, cos và hàm mũ $e^{-\gamma t}$ nên chúng sẽ có dao động dạng sin tắt dần, chúng lệch pha nhau một góc $\frac{\pi}{2}$. Khi cường độ dòng điện đạt giá trị cực đại cũng chính là lúc sức điện động tự cảm bằng 0.

3.6.3 Khảo sát các đặc tính hệ thống đánh lửa hỗn hợp – giai đoạn đánh lửa điện dung

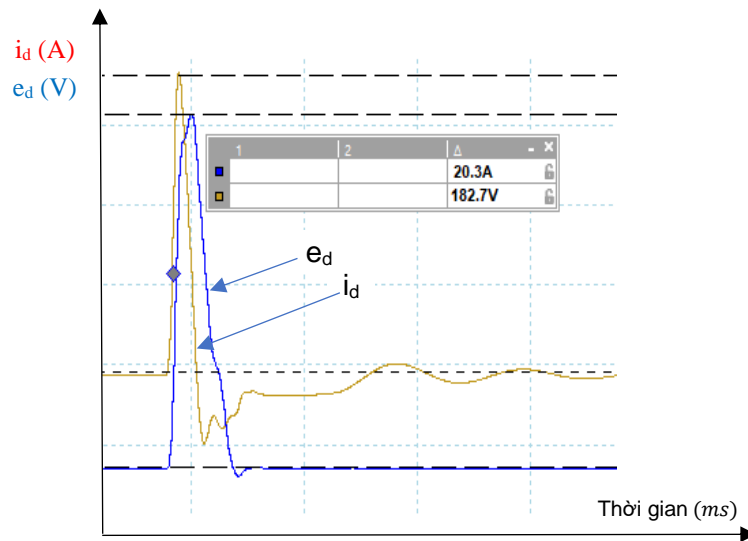
3.6.3.1 Cường độ dòng điện $i_d(t)$ và sức điện động tự cảm $e_d(t)$

Trên thực tế, do các tổn hao trên mạch, đồng thời quá trình phóng thích năng lượng trên tụ diễn rất nhanh (μs), nên năng lượng trên mạch suy giảm nhanh chóng. Dao động của điện áp và cường độ dòng điện trên mạch đánh lửa điện dung sẽ có dạng như mô phỏng ở hình 3.26



Hình 3.26: Cường độ dòng điện $i_d(t)$ và sức điện động tự cảm $e_d(t)$ của cuộn sơ cấp trên hệ thống đánh lửa hỗn hợp - GD đánh lửa điện dung

Sử dụng thiết bị Pico Automotive Oscilloscopes 4425, đo cường độ dòng điện và sức điện động tự cảm của cuộn dây sơ cấp trên mạch đánh lửa hỗn hợp - giai đoạn đánh lửa điện dung (được lắp trên động cơ TOYOTA 1NZ-FE). Các thông số linh kiện sử dụng như trong các trong các mô phỏng trên, động cơ hoạt động ở số vòng quay 700 vòng/phút.



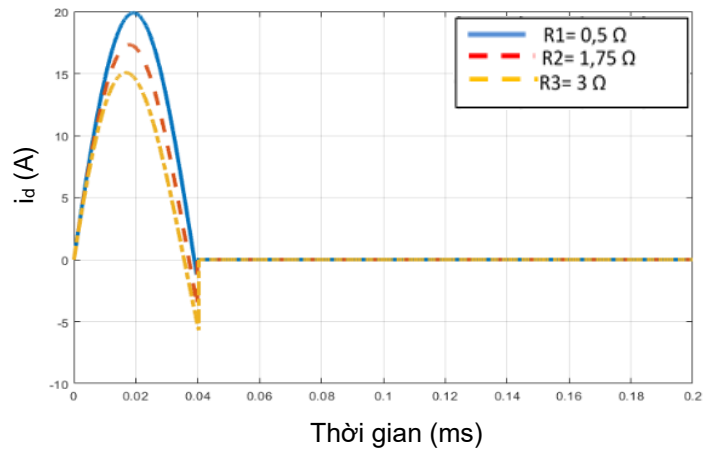
Hình 3.27: Đáp ứng thực nghiệm cường độ dòng điện $i_d(t)$ và sức điện động tự cảm $e_d(t)$

Từ kết quả thu được, ta nhận thấy tăng trưởng của cường độ dòng điện và sức điện động tự cảm trên cuộn sơ cấp của bobin giữa mô phỏng và thực tế là giống nhau.

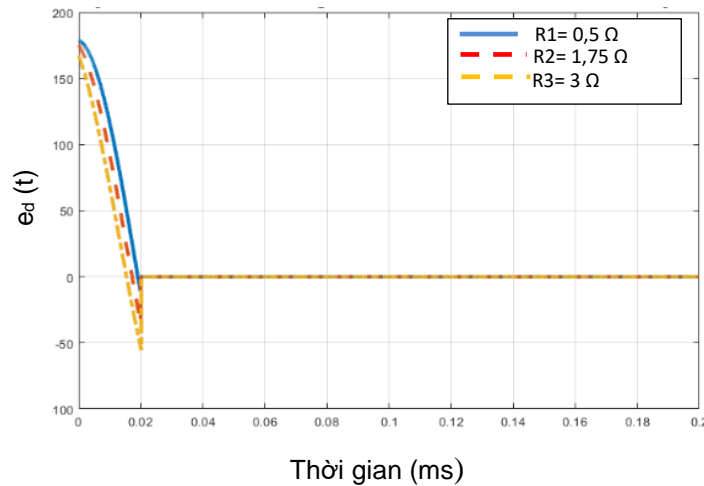
3.6.3.2 Đánh giá ảnh hưởng tổng trở R_d đến cường độ dòng điện $i_d(t)$ và sức điện động tự cảm $e_d(t)$

Trên thực tế, với sự thay đổi độ tự cảm của cuộn dây có thể sẽ kéo theo sự thay đổi điện trở bản thân của cuộn dây, đồng nghĩa với việc sẽ làm thay đổi tổng trở R_d của mạch. Ngoài ra độ tự cảm L_d phụ thuộc vào rất nhiều các thông số như: số vòng dây quấn, chiều dài cuộn dây, bán kính cuộn dây, độ từ thẩm [37-39]. Vì vậy, để đơn giản trong quá trình đánh giá, ta xem xét độc lập của một trong hai thông số.

Nhằm đánh giá sự thay đổi của cường độ dòng điện i_d và sức điện động e_d của cuộn sơ cấp của bobin đánh lửa điện dung, ta giả định tổng trở mạch sơ cấp có ba giá trị R_d khác nhau, ($R_{d1} = 0.5\Omega$, $R_{d2} = 1.75\Omega$, $R_{d3} = 3\Omega$). Các đồ thị Hình 3.24, 3.25 thể hiện các quan hệ $i_d(t)$ và $e_d(t)$ ứng với các giá trị của tổng trở R_d như trên.



Hình 3.28: Cường độ dòng điện $i_d(t)$ qua cuộn sơ cấp trên hệ thống đánh lửa hỗn hợp- GD đánh lửa điện dung- khi tổng trở R_d thay đổi

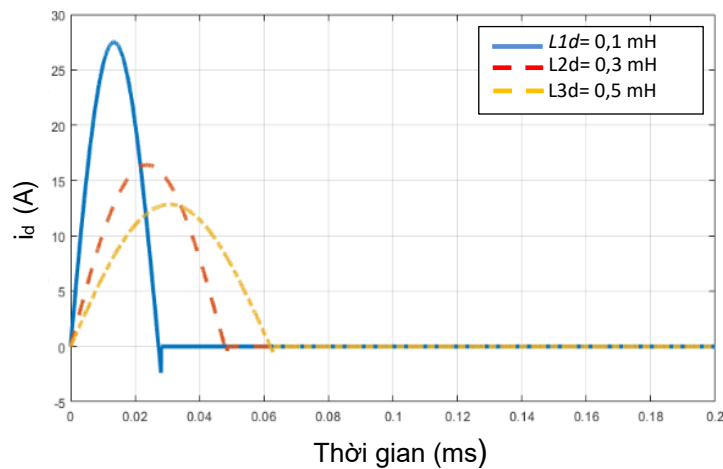


Hình 3.29: Sức điện động tự cảm $e_d(t)$ của cuộn sơ cấp trên hệ thống đánh lửa hỗn hợp – GD đánh lửa điện dung - khi tổng trở R_d thay đổi.

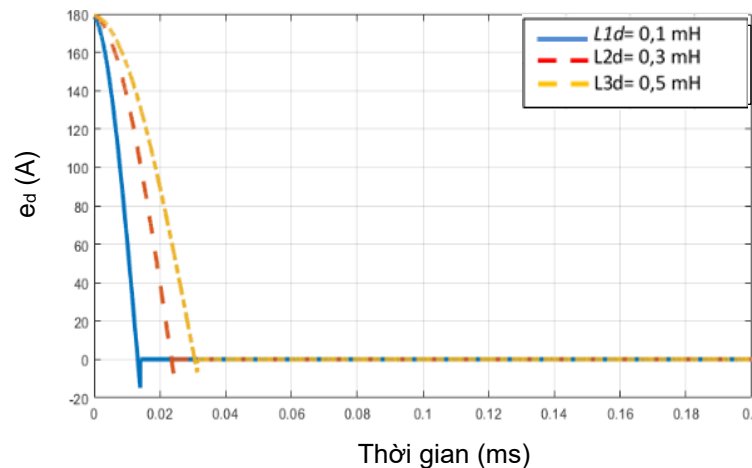
Dựa trên đồ thị ta thấy, nếu tổng trở R_d càng lớn năng lượng trên hệ thống càng giảm, dẫn đến giảm giá trị cực đại của cường độ dòng điện i_d . Sức điện động tự cảm $e_d(t) = -L_d \frac{di_d}{dt}$. Vì vậy, khi giá trị cực đại của i_d giảm sẽ dẫn đến cực đại của e_d giảm.

3.6.3.3 Đánh giá ảnh hưởng của hệ số tự cảm L_d đến cường độ dòng điện $i_d(t)$ và sức điện động $e_d(t)$

Để thấy được ảnh hưởng của hệ số tự cảm L_d trên cuộn dây sơ cấp (bobin đánh lửa điện dung) đến đặc tính của cường độ dòng điện $i_d(t)$ và sức điện động tự cảm $e_d(t)$ trên hệ thống đánh lửa hỗn hợp - giai đoạn đánh lửa điện dung, ta tiến hành mô phỏng với giả định hệ số tự cảm của cuộn dây sơ cấp của bobin có ba giá trị $L_{1d}=0,1\text{mH}$, $L_{2d}=0,3\text{mH}$ và $L_{3d}=0,5\text{mH}$. Các mô phỏng thể hiện mối quan hệ này thể hiện trên các đồ thị Hình 3.26, 3.27.



Hình 3.30: Cường độ dòng điện $i_d(t)$ của cuộn sơ cấp trên hệ thống đánh lửa hỗn hợp – GD đánh lửa điện dung - khi L_d thay đổi.



Hình 3.31: Sức điện động tự cảm $e_d(t)$ của cuộn sơ cấp trên hệ thống đánh lửa hỗn hợp – GD đánh lửa điện dung - khi hệ số tự cảm L_d thay đổi.

Với sự thay đổi L_d , gần như không ảnh hưởng đến cực đại của sức điện động tự cảm trên cuộn sơ cấp nhưng lại tác động rất lớn đến cường độ dòng điện và thời gian hình thành một chu kỳ. Từ phương trình (3.34), ta thấy, đáp ứng của cường độ dòng điện $i_d(t)$ là một dao động tắt dần, cực đại của cường độ dòng điện $i_{dm} = Q_0 \cdot \omega' e^{-\gamma t}$. Như vậy, khi L_d tăng lên, do ω' giảm đi (công thức 3.32) nên i_{dm} cũng giảm theo. Ngược lại, với sự sụt giảm của i_{dm} , thì thời gian hình thành một chu kỳ lại tăng lên (do ω' giảm).

3.6.4 Nhận xét

Dựa vào các tính toán đã nêu, tác giả đã đề xuất được biểu thức tính toán cường độ dòng điện $i_d(t)$ và sức điện động tự cảm $e_d(t)$ trên cuộn sơ cấp bobin hệ thống đánh lửa hỗn hợp - giai đoạn đánh lửa điện dung,

Các mô phỏng cho thấy, khi tăng giá trị điện trở của mạch R_d , tổn thất năng lượng tăng, làm giảm giá trị cực đại của cường độ dòng điện i_{dm} và sức điện động e_{dm} . Khi thay đổi hệ số tự cảm trên bobin đánh lửa điện dung L_d , ảnh hưởng rất ít đến giá trị cực đại của sức điện động tự cảm e_d . Tuy nhiên, giá trị cực đại của cường độ dòng điện i_d sẽ giảm khi L_d tăng.

3.7 Kết luận chương 3

Trong chương 3, đã đưa ra được các mô hình nguyên lý làm việc của hệ thống đánh lửa hỗn hợp có hai giai đoạn làm việc (giai đoạn đánh lửa điện cảm và giai đoạn đánh lửa điện dung). Từ đó, triển khai được các mô hình tính toán

Các kết quả đạt được như sau:

- Mô hình tính toán đã xây dựng cho hệ thống đánh lửa hỗn hợp điện dung-điện cảm cho phép biểu diễn đúng đặc trưng các đáp ứng của hệ thống, đồng thời cho phép xác định các thông số mạch với độ chính xác cao (sai lệch lớn nhất khi ngắt dòng sơ cấp i_{1m} và điện áp sơ cấp cực đại V_{1m} so với kết quả thực nghiệm <7%). Điều này chứng tỏ rằng, phương pháp xây dựng mô hình toán cho hệ thống đánh lửa hỗn hợp điện dung – điện cảm đã đề xuất là phù hợp.

- Mô hình toán đã xây dựng cho hệ thống đánh lửa hỗn hợp mang tính tổng quát, và có thể được hiệu chỉnh để xấp xỉ hệ thống đánh lửa hỗn hợp cụ thể bằng cách sử dụng các hệ số hiệu chỉnh phù hợp (công thức (3.14) và (3.15) với $\alpha_0 = 0,7$ và $\beta_0 = 5$).
- Mô hình toán đã xây dựng cho hệ thống đánh lửa hỗn hợp, có thể được sử dụng để xác định chính xác các thông số đặc trưng cho hệ thống đánh lửa hỗn hợp như W_L , $W_{đd}$ và $W_{đc}$. Qua đó, giúp thiết kế hệ thống đánh lửa hỗn hợp điện dung - điện cảm.
- Xây dựng được cơ sở lựa chọn cấu hình hệ thống đánh lửa hỗn hợp và dung lượng tụ phù hợp đối với một động cơ nhiều xy-lanh.
- Đánh giá được ảnh hưởng của các thông số cấu thành hệ thống đánh lửa hỗn hợp điện dung - điện cảm đến các đặc tính của hệ thống ở cả hai giai đoạn đánh lửa điện cảm và đánh lửa điện dung.

Chương 4

CHẾ TẠO MẠCH ĐÁNH LỬA HỖN HỢP ĐIỆN DUNG- ĐIỆN CẢM

4.1 Khảo sát hệ thống điều khiển đánh lửa trên động cơ TOYOTA 1NZ-FE theo thiết kế của nhà chế tạo

Động cơ TOYOTA 1NZ-FE là một động cơ đốt trong, sử dụng nhiên liệu xăng, 4 xy lanh, đánh lửa trực tiếp, thỏa mãn các yêu cầu phục vụ thực nghiệm.

4.1.1 Giới thiệu về hệ thống điều khiển động cơ

Nhằm đạt được công suất lớn nhất, giảm tiết hao nhiên liệu và bảo đảm chất lượng khí thải, những động cơ hiện đại thường dùng hệ thống điều khiển động cơ. Một máy tính, được gọi là Mô-đun điều khiển động cơ (engine ECU), thông qua các thông tin từ các cảm biến sẽ xác định được chế độ làm việc và tình trạng của động cơ, kết hợp với các dữ liệu và các chương trình đã lưu trong bộ nhớ; Mô-đun điều khiển động cơ sẽ đưa ra các tín hiệu điều khiển các cơ cấu chấp hành. Các cơ cấu này, được chia thành các các hệ thống chính như sau:

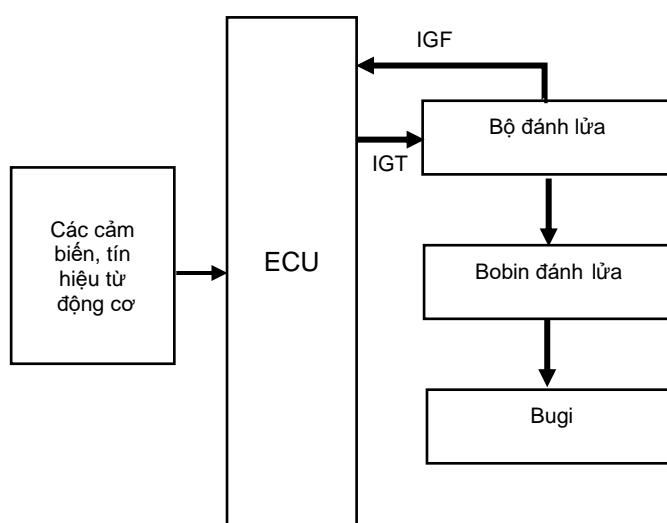
- Hệ thống nạp khí
- Hệ thống nhiên liệu
- Hệ thống đánh lửa
- Hệ thống kiểm soát khí thải

Hệ thống với các cảm biến và cơ cấu chấp hành và Mô-đun điều khiển động cơ (engine ECU) được gọi là hệ thống điều khiển động cơ [1, 6, 33]

4.1.2 Nguyên lý làm việc của hệ thống đánh lửa sử dụng trên động cơ TOYOTA 1 NZ-FE

Để động cơ có hiệu suất làm việc tốt nhất, hỗn hợp không khí và nhiên liệu phải được đốt cháy, sao cho áp suất cực đại của quá trình cháy ở khoảng 10^0 sau điểm chết trên. Tuy nhiên, thời gian từ khi hỗn hợp được đốt cháy, đến khi áp suất ở quá trình cháy đạt giá trị lớn nhất phụ thuộc vào: tốc độ động cơ, áp suất đường ống nạp,

nhiệt độ nước làm mát, nhiệt độ khí trời và một số yếu tố khác [43]. Ở những động cơ được điều khiển từ máy tính, thông qua chức năng đánh lửa sớm điện tử (ESA - Electronic spark advanced), thời điểm đánh lửa sẽ được điều khiển trực tiếp từ ECU động cơ, với chức năng này động cơ được cung cấp thời điểm đánh lửa gần như lý tưởng. Dựa trên các thông tin từ các cảm biến và các dữ liệu chứa trong bộ nhớ, ECU sẽ xác định thời điểm đánh lửa đánh lửa tối ưu cho từng điều kiện làm việc khác nhau của động cơ. Sau khi xác định thời điểm đánh lửa, ECU sẽ gửi tín hiệu thời điểm đánh lửa (IGT) đến bộ đánh lửa, dưới dạng xung vuông. Bộ đánh lửa sẽ điều khiển cho dòng điện đi qua cuộn sơ cấp của bobin. Khi tín hiệu IGT đi về không, bộ đánh lửa sẽ ngắt dòng điện sơ cấp trong biến áp đánh lửa, tạo ra tia lửa điện cao áp từ 7- 40 kV [32, 33] trong xi lanh. Vì ESA luôn đảm bảo thời điểm đánh lửa tối ưu, lượng khí thải sẽ được giảm xuống, tiêu hao nhiên liệu và công suất động cơ đều được duy trì ở mức tối ưu. [33, 43]



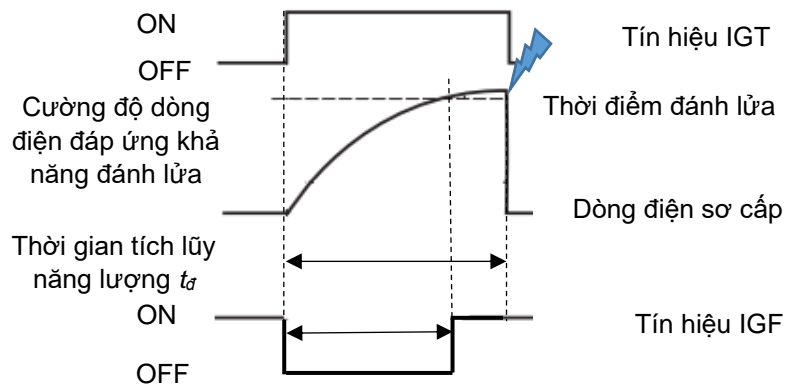
Hình 4.1: Sơ đồ mô tả chức năng điều khiển đánh lửa trên động cơ (ESA)

4.1.3 Bộ đánh lửa

Bộ đánh lửa có chức năng điều khiển đóng/ngắt dòng điện đi qua cuộn sơ cấp của bobin khi nhận được tín hiệu IGT (từ ECU điều khiển động cơ) và tạo ra tín hiệu phản hồi IGF gửi về ECU. Ở động cơ đánh lửa trực tiếp TOYOTA 1NZ-FE bộ đánh lửa và bobin đánh lửa được bố trí tích hợp thành cụm (COP- Coil on plug) [43,44].

4.1.4 Điều khiển dòng điện sơ cấp của bobin

Cường độ dòng điện sơ cấp ảnh hưởng đến cường độ từ trường trên cuộn dây đánh lửa và năng lượng đánh lửa. Vì vậy, cường độ dòng điện sơ cấp càng lớn càng tốt. Tuy nhiên, cường độ này không được quá lớn để tránh hỏng cuộn dây sơ cấp do nhiệt sinh ra trong quá trình làm việc, ảnh hưởng này rất lớn khi động cơ hoạt động với số vòng quay nhỏ (thời gian tích lũy năng lượng t_d lớn). Với các động cơ được điều khiển từ ECU, máy tính sẽ điều khiển thời gian tích lũy năng lượng t_d [33,43], nhằm bảo đảm dòng điện đi qua cuộn sơ cấp của bobin đạt giá trị định mức



Hình 4.2: Quan hệ cường độ dòng điện sơ cấp, tín hiệu IGT và IGF [33,43]

4.1.5 Tín hiệu đánh lửa IGT- Ignition timing

Dòng điện đi qua cuộn sơ cấp của bobin được điều khiển từ ECU động cơ thông qua tín hiệu đánh lửa IGT, tín hiệu này sẽ điều khiển trạng thái đóng/ngắt của transistor công suất trong bộ đánh lửa. Khi dòng điện qua cuộn sơ cấp của bobin ngắt, sự biến thiên từ trường sẽ làm xuất hiện quá trình đánh lửa trên bugi.

Dựa vào các thông tin thu thập từ các cảm biến, thông qua bản đồ dữ liệu và các chương trình lưu trữ từ bộ nhớ trong, ECU động cơ sẽ điều khiển hai thông số của xung IGT:

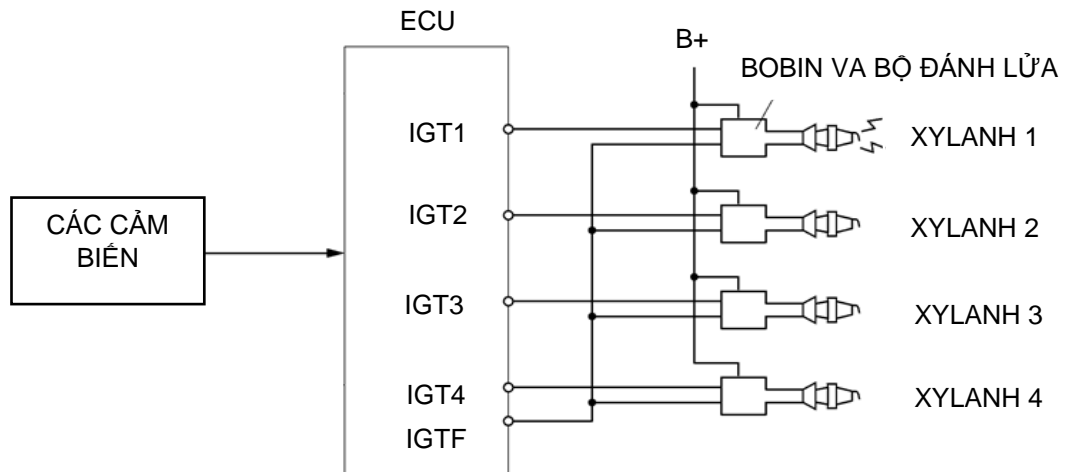
- Thời điểm xuất hiện xung IGT
- Độ rộng xung hay thời gian tích lũy năng lượng t_d [36, 43]. Độ rộng xung IGT được điều khiển phụ thuộc vào giá trị điện thế của accu và tốc độ động cơ [36].

4.1.6 Tín hiệu hồi tiếp IGF

Tín hiệu IGF (Ignition Feedback) nhằm phục vụ cho mục đích chẩn đoán và chức năng an toàn trên động cơ. Khi bộ đánh lửa xác định cường độ dòng điện đạt giá trị đáp ứng được khả năng đánh lửa, tín hiệu IGF sẽ được tạo ra từ bộ đánh lửa và gửi về ECU động cơ, (cứ một lần thực hiện quá trình đánh lửa, tương ứng với một tín hiệu IGF (xem hình 4.2). Trường hợp không nhận được tín hiệu này, ECU sẽ ngừng quá trình điều khiển phun nhiên liệu [33,43], nhằm tránh xảy ra các hư hỏng và bảo đảm giới hạn phát thải trên động cơ.

4.1.7 Sơ đồ mô tả hệ thống đánh lửa theo thiết kế của nhà chế tạo trên động cơ TOYOTA 1 NZ-FE

Theo thiết kế của nhà chế tạo, hệ thống đánh lửa sử dụng trên động cơ TOYOTA 1 NZ-FE có các đặc điểm sau: hệ thống đánh lửa điện cảm được điều khiển trực tiếp từ hệ thống điều khiển động cơ - Engine management system, hệ thống không sử dụng bộ chia điện, bố trí bộ đánh lửa và bobin thành một cụm (COP - coil on plug) (hình 4.3)



Hình 4.3: Sơ đồ hệ thống đánh lửa trực tiếp trên động cơ TOYOTA 1NZ-FE - theo thiết kế của nhà chế tạo [44]

4.2 Chế tạo mạch đánh lửa hỗn hợp điện dung - điện cảm

4.2.1 Cơ sở lý luận khi chế tạo mạch đánh lửa hỗn hợp

Dựa vào hệ thống đánh lửa điện cảm do máy tính điều khiển như thiết kế ban đầu. Việc chế tạo hệ thống đánh lửa hỗn hợp sẽ giữ lại các cụm chính như:

- ECU cùng các hệ thống các cảm biến. Như vậy, các tín hiệu điều khiển đánh lửa IGT đến từng bộ đánh lửa sẽ được đảm bảo như thiết kế của nhà chế tạo.
- Các bobin đánh lửa điện cảm và bộ đánh lửa của động cơ 1NZ-FE bố trí thành cụm, do không kết nối được tụ điện với cuộn sơ cấp nhằm tích lũy năng lượng tự cảm nên sẽ thay thế bằng bobin sử dụng trên động cơ TOYOTA 1MZ-FE (Phụ lục 3).
- Thiết kế thêm hệ thống mạch đánh lửa điện dung (nhằm điều khiển quá trình phóng thích năng lượng từ các tụ điện trên mạch đánh lửa điện cảm qua bobin 4 trên mạch đánh lửa điện dung)
- Nhằm bảo đảm tín hiệu phản hồi IGF như đã trình bày ở phần 4.1.6, hệ thống đánh lửa hỗn hợp điện dung- điện cảm phải thiết kế thêm mạch tạo tín hiệu IGF.

4.2.2 Xác định dung lượng tụ C_1

Dựa vào các lý luận trong phần 3.4 (Cơ sở lựa chọn cấu hình hệ thống đánh lửa hỗn hợp và dung lượng tụ phù hợp). Đối với hệ thống đánh lửa hỗn hợp áp dụng trên động cơ 4 xy-lanh TOYOTA 1NZ-FE, người nghiên cứu áp dụng cấu hình 3/1 (3 bobin đánh lửa điện cảm và 1 bobin đánh lửa điện dung). Như vậy dải dung lượng của tụ thỏa các yêu cầu (trong phần 3.4.2), có giá trị: 0,05- 1,75 μ F.

Dung lượng của tụ C_1 được chọn, có giá trị 1 μ F. Tại giá trị dung lượng của tụ này, năng lượng điện cảm $W_{dc} = 23,45\text{mJ}$ ($> 20\text{mJ}$), trong khi năng lượng đánh lửa điện dung tích lũy trên 3 tụ sẽ là $3W_{dd} = 3.13,15 = 39,45\text{mJ}$ ($> 20\text{mJ}$ – xem Bảng 4.1), đồng thời điện áp đánh lửa cực đại $V_{2m} = 18\text{kV} > V_{2lim} = 15\text{kV}$ (xem hình 3.21). Về mặt năng lượng, lựa chọn này thỏa mãn: yêu cầu (1) - hình thành tia lửa điện cao áp và yêu cầu (2) - bảo đảm đủ năng lượng đánh lửa cả hai giai đoạn đánh lửa điện dung và đánh lửa điện cảm để đốt cháy được hòa khí (xem phần 3.5.2). Các tính toán năng lượng trên tương ứng với thời gian tích lũy năng lượng nhỏ nhất $t_d = 3,5 \text{ ms}$ -

tương ứng với tốc độ lớn nhất của động cơ. Khi giảm tốc độ động cơ, các năng lượng tích lũy tương ứng sẽ tăng lên (xem Bảng 4.1)

Bảng 4.1: Năng lượng đánh lửa tính toán được tại các tốc độ động cơ khác nhau - ứng với nhiệt độ môi trường 30°C

Tốc độ động cơ (vòng/phút)	700	1.000	2.000	3.000	4.000	5.000	6.000
Thời gian tích lũy năng lượng t_d (ms)	5,6	5	4,7	4,3	3,9	3,7	3,5
$W_L = L_1 i_d^2 / 2$ (mJ) (ứng với 1 bobin)	37,46	37,4	37,3	37,2	37,1	36,8	36,6
$W_{dd} = C_1 V_1^2 / 2$ (mJ) (ứng với 1 bobin)	13,47	13,43	13,4	13,37	13,32	13,22	13,15
W_{dc} (mJ)	23,99	23,97	23,9	23,83	23,78	23,58	23,45

Khi cho ô tô hoạt động trong quãng đường 80km nhiệt độ của khoang động cơ sẽ tăng từ nhiệt độ môi trường (30°C), lên nhiệt độ 96°C (vị trí nóng nhất), ở nhiệt độ này các giá trị của các thông số trên mạch sẽ thay đổi như bảng 4.2.

Bảng 4.2: Giá trị các thông số của mạch đánh lửa thay đổi theo nhiệt độ

Thông số	Nhiệt độ môi trường 30°C	Nhiệt độ khoang động cơ 96°C
Tổng trở mạch sơ cấp R (Ω)	1,5	1,62
Hệ số tự cảm của cuộn sơ cấp L_1 (H)	$1,25 \cdot 10^{-3}$	$1,22 \cdot 10^{-3}$
Dung lượng của tụ C_1 (F)	$1 \cdot 10^{-6}$	$0,926 \cdot 10^{-6}$

Tương ứng với sự thay đổi giá trị các thông số của mạch đánh lửa hỗn hợp điện dung - điện cảm theo nhiệt độ khoang động cơ, các giá trị năng lượng tích lũy sẽ thay đổi như trong Bảng 4.3.

Bảng 4.3: Năng lượng đánh lửa tại các tốc độ động cơ khác nhau
- nhiệt độ khoang động cơ 96°C

Tốc độ động cơ (vòng/phút)	700	1.000	2.000	3.000	4.000	5.000	6.000
Thời gian tích lũy năng lượng t_d (ms)	5,6	5,0	4,7	4,3	3,9	3,7	3,5
$W_L = L_1 i_d^2 / 2$ (mJ) (ứng với 1 bobin)	31,3	31,25	31,21	31,12	30,98	30,87	30,73
$W_{dd} = C_1 V_1^2 / 2$ (mJ) (ứng với 1 bobin)	11,12	11,11	11,09	11,07	11,01	10,97	10,92
W_{dc} (mJ)	20,18	20,14	20,12	20,05	19,97	19,9	19,81

Từ Bảng 4.3 ta nhận thấy, tại tốc độ lớn nhất của động cơ (thời gian tích lũy năng lượng nhỏ nhất $t_d = 3,5$ ms), năng lượng phục vụ đánh lửa điện cảm $W_{dc} = 19,81$ mJ (~ 20 mJ $> W_{lim} = 15$ mJ) và năng lượng phục vụ đánh lửa điện dung $3W_{dd} = 3 \cdot 10,92 = 32,76$ mJ > 20 mJ, Các giá trị năng lượng này, vẫn thỏa mãn yêu cầu năng lượng đánh lửa cho cả hai giai đoạn đánh lửa của hệ thống. Như vậy, khi làm việc trong môi trường có nhiệt độ cao, hệ thống đánh lửa hỗn hợp vẫn có khả năng làm việc ổn định và đạt độ tin cậy cao.

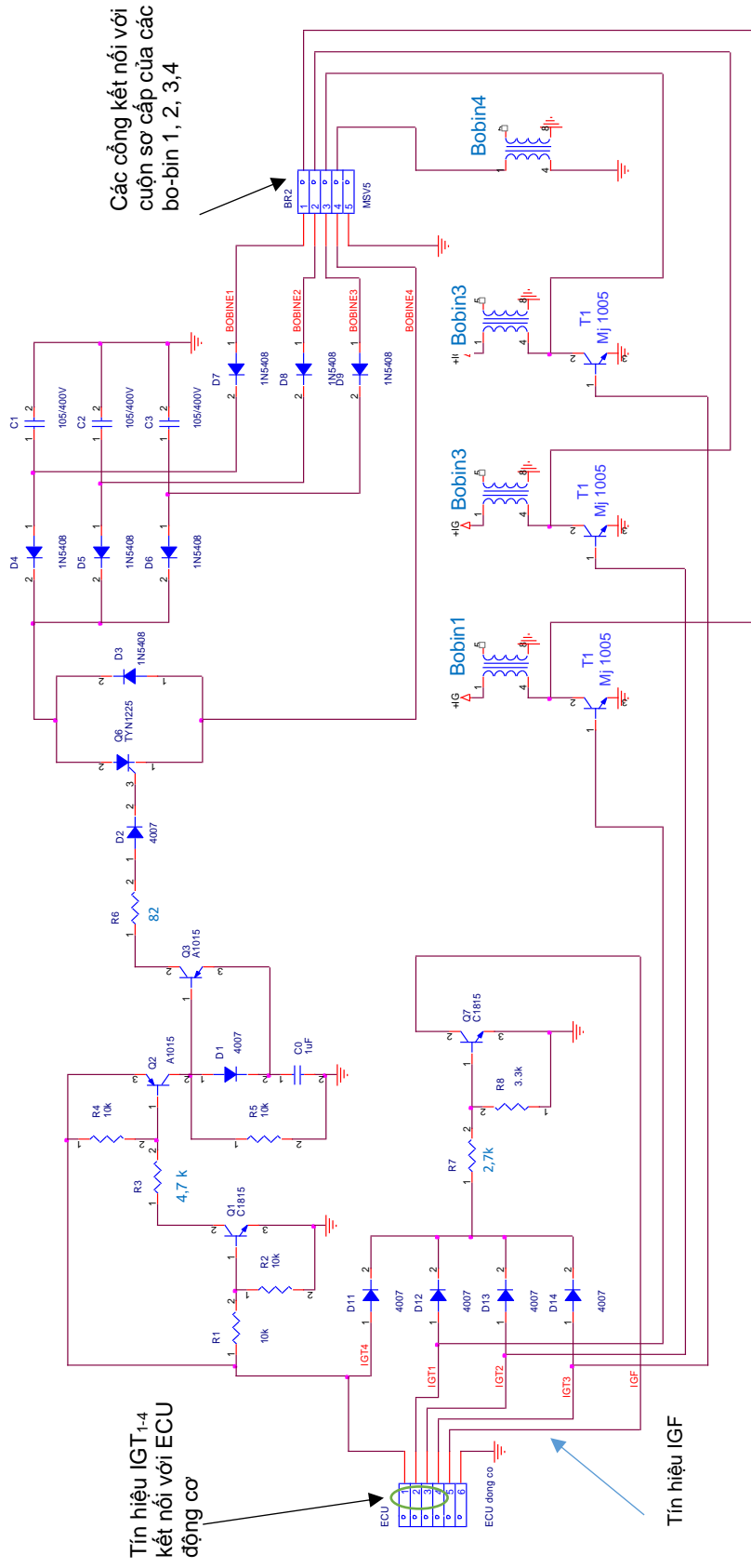
4.2.3 Nguyên lý làm việc của hệ thống đánh lửa hỗn hợp điện dung - điện cảm (sử dụng cho động cơ 4 xy-lanh) – (Xem hình 4.4)

Hệ thống bao gồm hai chế độ làm việc: chế độ đánh lửa điện cảm và chế độ đánh lửa điện dung. Ở chế độ đánh lửa điện cảm, ECU động cơ sẽ điều khiển quá trình đánh lửa của các tổ máy 1, 3, 4 (đánh lửa điện cảm), thông qua các tín hiệu IGT1, IGT2, IGT3. Năng lượng tự cảm “thừa” trên các bobin 1, bobin 2, bobin 3, sẽ

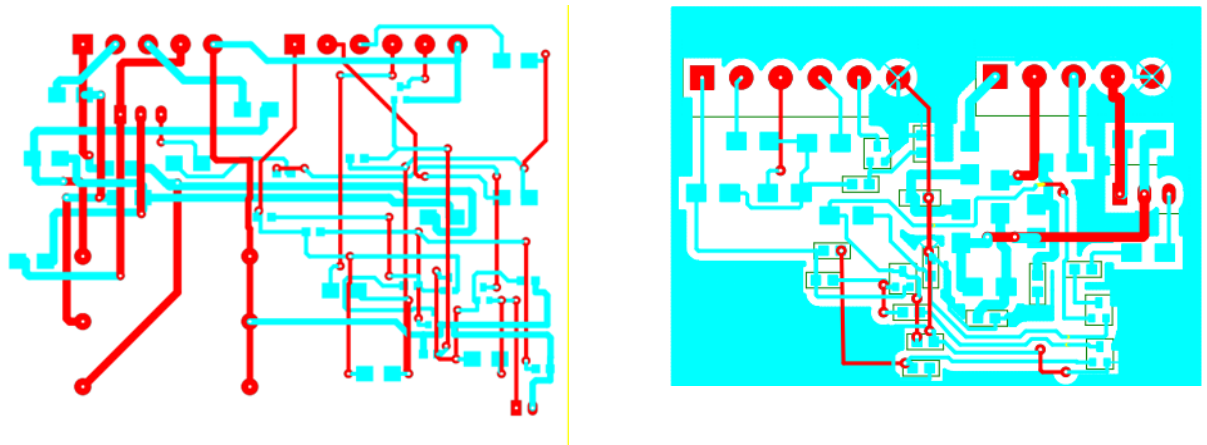
được tích lũy vào các tụ C1, C2, C3 tương ứng. Sau quá trình đánh lửa điện cảm, ở chế độ đánh lửa điện dung, tương ứng với thời điểm làm việc của tổ máy 2, tín hiệu IGT4 từ ECU điều khiển động cơ sẽ điều khiển SCR mở. Năng lượng tích lũy trên các tụ C1, C2, C3 sẽ được giải phóng đến cuộn dây sơ cấp của bobin 4, thực hiện quá trình đánh lửa điện dung trên tổ máy 2.

Sơ đồ hệ thống đánh lửa hỗn hợp điện dung - điện cảm

Trên hình 4.4 thể hiện bố trí toàn mạch của bộ đánh lửa hỗn hợp điện dung - điện cảm. Các linh kiện được bố trí thành cụm với kích thước nhỏ - gọn để bố trí và lắp đặt trong khoang động cơ.



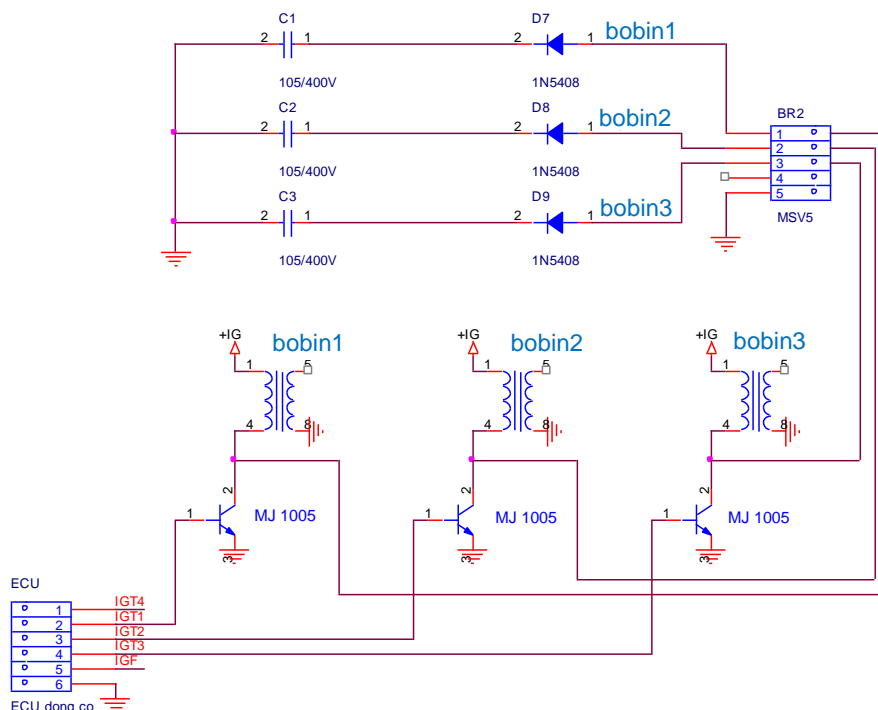
Hình 4.4: Sơ đồ cấu tạo của hệ thống đánh lửa hỗn hợp điện dung-điện cảm



Hình 4.5: Mạch in của hệ thống đánh lửa hỗn hợp điện dung - điện cảm

4.2.4 Chế độ đánh lửa điện cảm

Ở chế độ đánh lửa điện cảm, ECU động cơ sẽ điều khiển quá trình đánh lửa của các tổ máy 1, 3, 4 (đánh lửa điện cảm), thông qua các tín hiệu IGT1, IGT2, IGT3. Năng lượng tự cảm “thừa” trên các bobin 1, bobin 2, bobin 3,... sẽ được tích lũy vào các tụ C1, C2, C3 tương ứng.

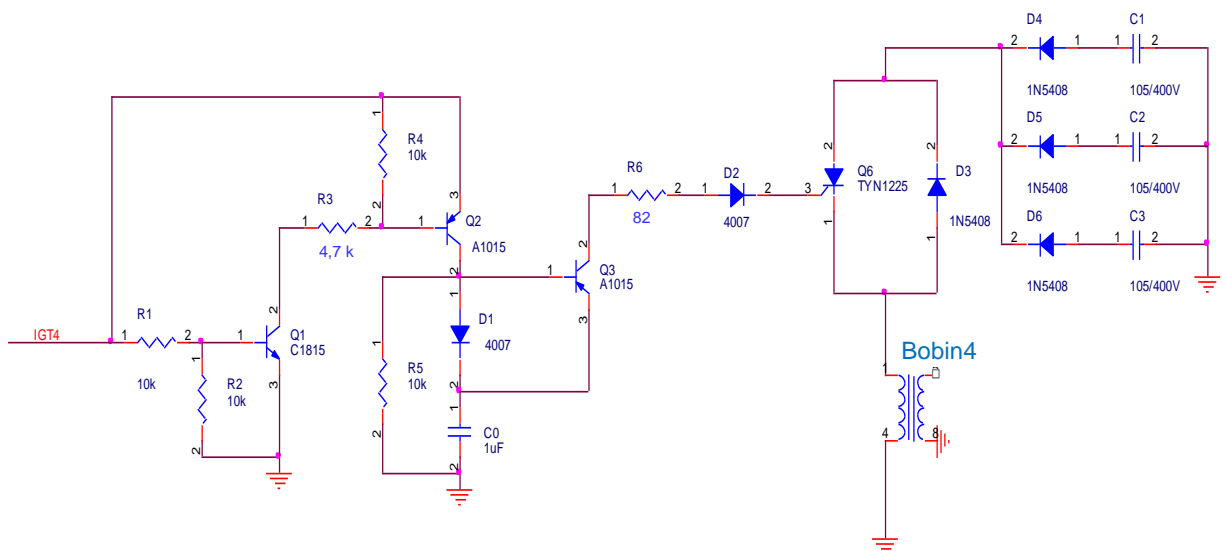


Hình 4.6: Thiết kế mạch điều khiển đánh lửa điện cảm

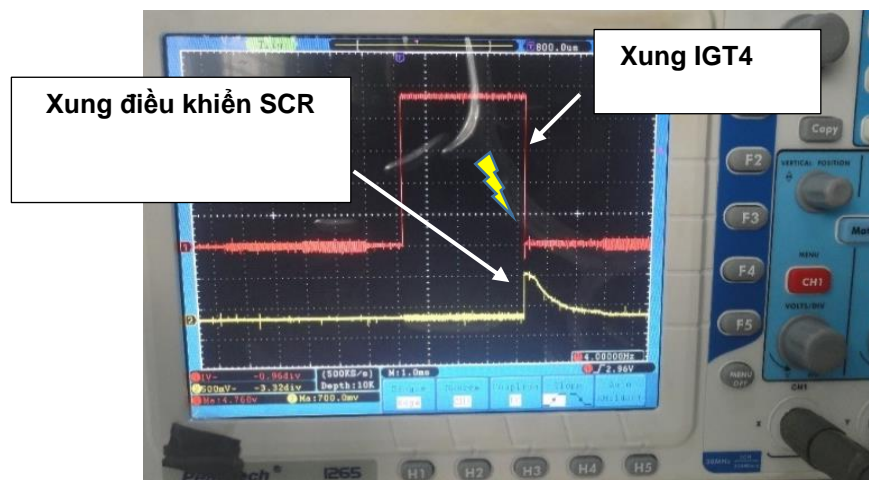
4.2.5 Chế độ đánh lửa điện dung

Khi thiết kế mạch đánh lửa hỗn hợp điện dung - điện cảm, tác giả sử dụng tín hiệu đánh lửa IGT4 (xem hình 4.8) từ ECU động cơ, để điều khiển quá trình đánh lửa điện dung. Mạch điều khiển sử dụng SCR, nhằm điều khiển thời điểm phóng thích năng lượng từ tụ C1, C2, C3 qua bobin 4, thực hiện quá trình đánh lửa điện dung như thiết kế. Thời điểm tín hiệu IGT4 ở trạng thái “OFF” chính là lúc sinh ra tia lửa tại bugi (hình 4.8).

Trên hình 4.7 trình bày sơ đồ mạch điều khiển SCR, tương ứng với giai đoạn đánh lửa điện dung. Khi tín hiệu IGT4 từ ECU điều khiển động cơ ở trạng thái “ON”, transistor Q1 dẫn, sẽ tác động làm transistor Q2 dẫn, tụ C₀ sẽ được nạp với điện áp với điện áp ~ 4V. Khi tín hiệu IGT4 (= 5V) về không, năng lượng trên tụ C₀ sẽ tạo ra dòng điện I_b qua R5 làm transistor Q3 dẫn, tạo dòng điều khiển SCR làm việc. Năng lượng tích lũy trên các tụ C1, C2, C3 từ quá trình đánh lửa điện cảm sẽ được phóng thích qua Bobin4 thực hiện quá trình đánh lửa điện dung.



Hình 4.7: Thiết kế mạch điều khiển đánh lửa điện dung



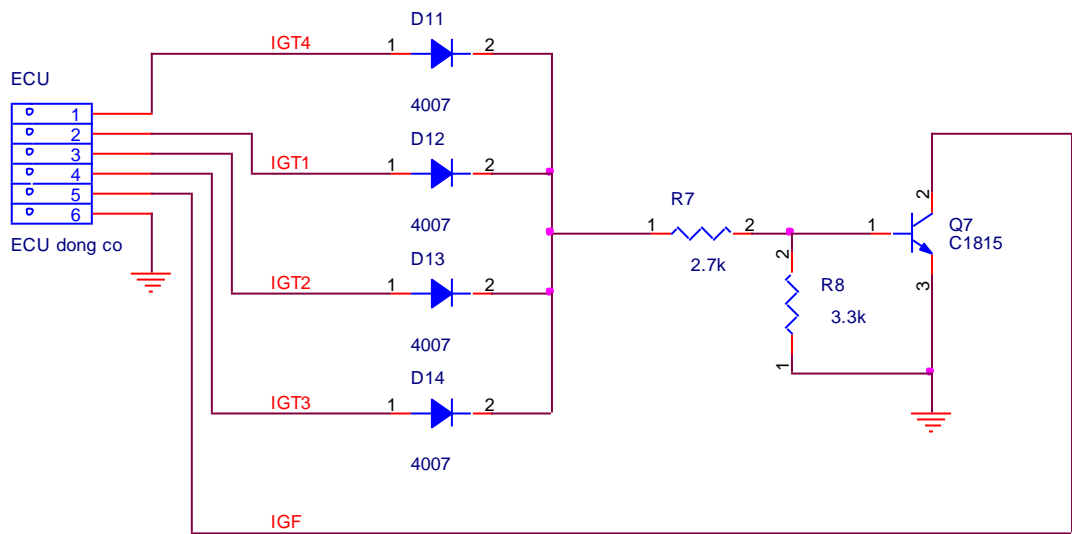
Hình 4.8: Tín hiệu điều khiển đánh lửa điện dung (SCR) - thời điểm đánh lửa

Trên hình 4.8 là màn hình hiện sóng (Peaktech 1265) khi khảo sát tín hiệu kích SCR hoạt động theo tín hiệu điều khiển đánh lửa (IGT4).

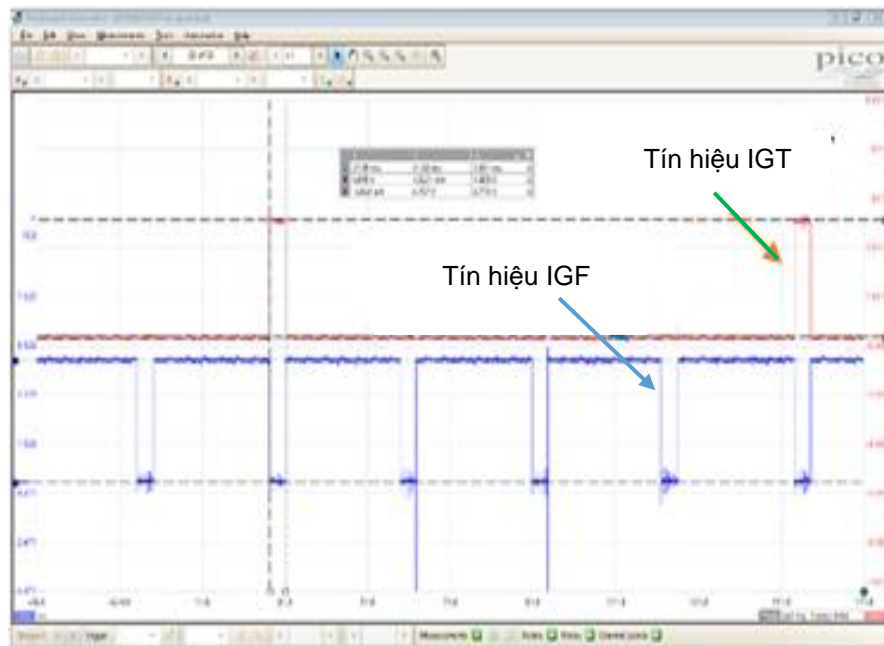
4.2.6 Mạch tạo tín hiệu IGF

ECU của động cơ 1NZ-FE (TOYOTA) cần tín hiệu phản hồi đánh lửa IGF từ bộ đánh lửa gửi về ECU, nhằm xác định hệ thống đánh lửa hoạt động bình thường. Vì vậy, cần thiết kế thêm mạch tạo tín hiệu IGF để ECU nhận biết quá trình đánh lửa có xảy ra. Sơ đồ mạch tạo tín hiệu IGF được thiết kế trên hình 4.9.

Bằng cách trích các tín hiệu IGT từ ECU động cơ thông qua các diode D11-14 điều khiển transistor Q_1 hoạt động để tạo ra các tín hiệu IGF phản hồi. Các tín hiệu IGT1-4 từ ECU động cơ qua các diode D11-14 tạo dòng điều khiển cho transistor Q_7 làm việc. Khi Q_7 dẫn, điện áp 5V từ chân IGF trên ECU động cơ sẽ giảm về 0V, tạo tín hiệu IGF về ECU động cơ, giúp ECU nhận biết quá trình đánh lửa xảy ra. Các tín hiệu này tương tự như dạng tín hiệu theo thiết kế nguyên thủy. Trên hình 4.10 tín hiệu IGF thực tế khi khảo sát trên thiết bị đo sóng.



Hình 4.9: Thiết kế mạch tạo tín hiệu IGF

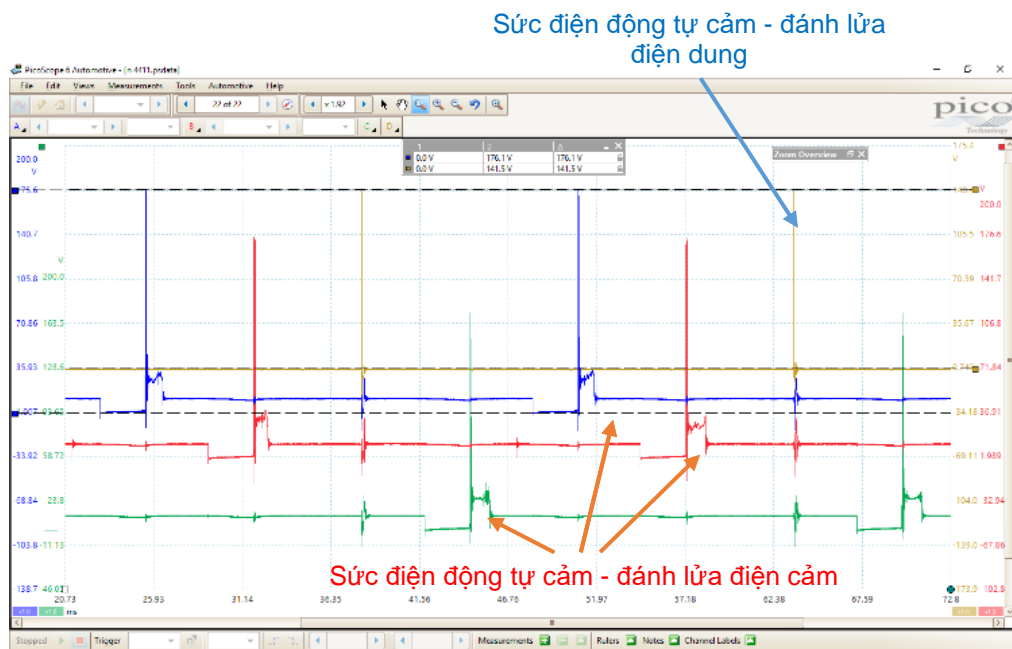


Hình 4.10: Quan hệ giữa tín hiệu IGT và tín hiệu IGF

Tín hiệu IGF có tần số và biên độ phù hợp với yêu cầu của nhà chế tạo, bảo đảm cho ECU động cơ nhận biết được quá trình đánh lửa diễn ra bình thường. Từ đó, ECU động cơ sẽ điều khiển quá trình phun nhiên liệu theo yêu cầu làm việc của động cơ.

4.2.7 Khảo sát sức điện động trên hệ thống đánh lửa hỗn hợp

Hệ thống đánh lửa hỗn hợp điện dung- điện cảm được thiết kế - chế tạo theo các mô tả ở các phần trên, khi bố trí thực nghiệm hoạt động của hệ thống trên động cơ TOYOTA 1NZ-FE (tốc độ 6000 vòng/phút) ta thu được kết quả hoạt động như Hình 4.11.



Hình 4.11: Sức điện động tự cảm trên mạch đánh lửa hỗn hợp

Trên hình 4.11 thể hiện sức điện động tự cảm trên hệ thống đánh lửa hỗn hợp. Từ kết quả thực nghiệm ta thấy, cứ ba lần đánh lửa điện cảm, hệ thống đánh lửa hỗn hợp sẽ thực hiện một lần đánh lửa điện dung, nhằm thực hiện quá trình đốt cháy hỗn hợp trên động cơ. Các kết quả cho thấy hệ thống đánh lửa hỗn hợp làm việc ổn định, không bị mất lửa trong quá trình làm việc (misfire).

4.2.8 Ước lượng tuổi thọ của mạch đánh lửa hỗn hợp điện dung – điện cảm

Mạch đánh lửa hỗn hợp điện dung - điện cảm được thiết kế dựa trên các các bộ phận của mạch đánh lửa của hãng và phần mạch thiết kế mới. Độ bền và tuổi thọ của mạch được ước lượng phụ thuộc chủ yếu vào phần mạch thiết kế mới. Trong đó, phần mạch thiết kế mới bao gồm các linh kiện rời: các điện trở, diode, transistor và tụ điện đóng vai trò tích lũy năng lượng cho hệ thống.

Bảng 4.4: Các linh kiện sử dụng trên HTĐL hỗn hợp
điện dung- điện cảm

STT	Tên linh kiện trong mạch	Phần mạch thiết kế mới	Linh kiện theo hãng
1	SCR Q6	x	
2	Transistor Q1, Q7	x	
3	Transistor Q2, Q3	x	
4	Diode: D1, D2, D11, D12, D13, D14	x	
5	Diode: D3, D4, D5, D6 D7, D8, D9	x	
6	Tụ điện: C1, C2, C3	x	
7	Transistor T1, T2, T3	x	
8	Bobin		x

Khi làm việc trong vùng khí hậu nóng và ẩm, cộng với các rung động trên ô tô. Những yếu tố này có tác động đến hoạt động và tuổi thọ của các linh kiện cấu thành mạch đánh lửa hỗn hợp điện dung - điện cảm. Các ảnh hưởng trên có thể liệt kê như sau:

Rung động trên ô tô

Khi ô tô hoạt động do điều kiện mặt đường và các nguồn rung động khác (động cơ, hộp số,...), sẽ tạo thành các rung động trên ô tô [45]. Các rung động này có khả năng làm nứt, gãy các mối nối linh kiện trên các mạch điện tử.

Ảnh hưởng của độ ẩm

Độ ẩm của môi trường làm việc tăng, sẽ làm tăng khả năng ngưng tụ hơi nước trên mạch điều này làm tăng khả năng nhiễm bẩn và dẫn đến chạm chập giữa các

điểm nối của các linh kiện vào mạch. Ngoài ra sự ăn mòn kim loại sẽ dễ dàng xảy ra khi độ ẩm vượt quá 60 % [46].

Ảnh hưởng của nhiệt độ lên các linh kiện bán dẫn

Các linh kiện sử dụng trên mạch được chế tạo từ các vật liệu bán dẫn, nhiệt độ làm việc sẽ ảnh hưởng đến tuổi thọ và các tham số hoạt động của linh kiện [47-50]

Hư hỏng do các tác nhân về điện

Các linh kiện trên mạch có thể bị hư hỏng, khi các thông số hoạt động của linh kiện (dòng điện hay điện áp làm việc) vượt quá giá trị định mức.

Tác động do lão hóa vật liệu

Nhiệt độ môi trường làm việc có thể làm thay đổi các tính chất lý hóa của vật liệu. Các quá trình lý - hóa đều chịu ảnh hưởng của nhiệt độ theo các qui luật khác nhau. Khi tăng nhiệt độ giảm độ bền liên kết và độ bền kết cấu, làm phát sinh một số lỗi trong vật liệu, [51].

Ước lượng tuổi thọ của mạch đánh lửa hỗn hợp điện dung- điện cảm

Tuổi thọ trung bình T của một hệ thống điện tử có n thành phần có thể ước lượng theo công thức [52]:

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{T_1} + \frac{1}{T_2} + \frac{1}{T_3} + \dots + \frac{1}{T_n} \quad (4.1)$$

Trong đó: T_{1-n} : tuổi thọ các linh kiện trong mạch.

Xác định tuổi thọ của mạch đánh lửa điện dung – điện cảm

Để chống các tác hại của rung động và độ ẩm, mạch đánh lửa hỗn hợp điện dung - điện cảm được phủ một lớp keo bảo vệ. Thêm vào đó, nhiệt độ làm việc của các linh kiện ($T_j = -40^{\circ}\text{C}$ - đến 175°C) thỏa mãn môi trường làm việc của khoang động cơ (vị trí nóng nhất 96°C). Ngoài ra, việc lựa chọn và tính toán cho các thông số (điện áp, cường độ dòng điện) của các linh kiện trên mạch, đều bảo đảm nằm trong giới hạn cho phép (các tính toán chi tiết xem tại Phụ lục 4)

Như vậy, tác động lớn nhất đến tuổi thọ của HTĐL phụ thuộc chủ yếu vào sự lão hóa các linh kiện.

Theo khảo sát của Akira MOTOYAMA [53], dựa vào phương trình Eyring, hàm phân bố Weibull và các thông số được cung cấp bởi nhà chế tạo linh kiện, với tổ hợp các điều kiện kiểm tra theo nhiệt độ và độ ẩm nhất định, tuổi thọ của một số linh kiện được liệt kê theo Bảng 4.5.

Bảng 4.5: Tuổi thọ của các linh kiện [53]

Loại linh kiện	Tụ điện dạng film	Điện trở film carbon	Transistor
Tổ hợp điều kiện kiểm tra tuổi thọ*	- Với độ ẩm 85% - nhiệt độ tương ứng (°C): 65, 75 và 85 - Với nhiệt độ 85°C - độ ẩm tương ứng (%): 75, 80, 85		
Tuổi thọ trung bình (giờ)	119.098	38.000	50.000

* Tổ hợp điều kiện kiểm tra tuổi thọ các linh kiện, phù hợp với điều kiện làm việc của mạch đánh lửa điện dung - điện cảm trên ô tô.

Theo công thức (4.1) tuổi thọ của mạch đánh lửa hỗn hợp điện dung – điện cảm có thể ước lượng dựa vào các linh kiện chính.

$$\frac{1}{T} = \frac{3}{T_{\text{tụ điện}}} + \frac{5}{T_{\text{transistor}}} + \frac{7}{T_{\text{điện trở}}} \quad (4.2)$$

$$\frac{1}{T} = \frac{3}{119.098} + \frac{8}{50.000} + \frac{7}{38.000} \quad (4.3)$$

Hay $T \sim 2709$ giờ.

Dựa vào chu trình New European Driving Cycle (được sử dụng ở liên minh châu Âu nhằm đánh giá mức độ phát thải của động cơ ô tô và khả năng tiết kiệm nhiên liệu trong ô tô chở khách), với quãng đường hoạt động trung bình của ô tô là 11.007m trong 1180s [54], tương đương với quãng đường 100.000 km trong 3000 giờ, ta tính được độ tuổi thọ của mạch theo quãng đường hoạt động của ô tô là: 91.000km.

Dựa vào các tính toán trên, có thể kết luận: tuổi thọ của mạch đánh lửa hỗn hợp điện dung - điện cảm xấp xỉ với tuổi thọ của các hệ thống khác trên ô tô (thời gian

bảo hành phổ biến của các hệ thống khác trên ô tô [55]: 3 năm hoạt động hay 100.000km.

4.3 Kết luận chương 4

Từ những đặc điểm trong thiết kế, chế tạo và nguyên lý hoạt động của mạch đánh lửa hỗn hợp điện dung-điện cảm có thể đưa ra các nhận xét sau:

- Do sử dụng các tín hiệu điều khiển thời điểm đánh lửa (IGT) từ hệ thống điều khiển động cơ, với tất cả các đặc tính sẵn có của hệ thống, nên có thể bảo đảm được các tính năng của hệ thống đánh lửa như: thời điểm đánh lửa và khả năng tích lũy năng lượng (thông qua giá trị t_d) của hệ thống khi làm việc.
- Hệ thống chỉ sử dụng năng lượng từ các tín hiệu đánh lửa (IGT) để điều khiển mạch hoạt động, mà không cần sử dụng thêm năng lượng. Vì vậy, bảo đảm tính tiết kiệm năng lượng theo ý tưởng đã đưa ra.
- Trong quá trình làm việc. các chi tiết trên hệ thống đánh lửa sẽ chịu ảnh hưởng của nhiệt độ cao trong quá trình làm việc của động cơ. Các bobin được sử dụng các linh kiện theo hãng. Ngoài ra, các linh kiện bán dẫn sử dụng trên hệ thống đánh lửa hỗn hợp điện dung - điện cảm, có nhiệt độ làm việc thỏa mãn nhiệt độ khoang động cơ (xem chi tiết tại Phụ lục 4).
- Thêm vào đó, trong trường hợp bố trí hệ thống đánh lửa hỗn hợp trong khoang động cơ, các thông số chính ảnh hưởng đến khả năng tích lũy năng lượng trên mạch thay đổi giá trị (xem bảng 4.2). Tuy nhiên, năng lượng phục vụ cho quá trình làm việc của hệ thống vẫn thỏa mãn các yêu cầu đặt ra (xem bảng 4.3).
- Tuổi thọ của hệ thống đánh lửa hỗn hợp xấp xỉ với yêu cầu chung của các khác hệ thống trên ô tô.
- Kết cấu của toàn mạch đơn giản, kích thước mạch nhỏ gọn có thể bố trí và lắp đặt dễ dàng trong khoang động cơ hoặc trong khoang hành khách.

Hệ thống đánh lửa hỗn hợp điện dung - điện cảm được thực hiện trong luận án đáp ứng được yêu cầu tiết kiệm năng lượng, làm việc ổn định, có tuổi thọ $T \sim 2709$ giờ, tương đương với quãng đường ô tô hoạt động 91.000km.

Chương 5

THỰC NGHIỆM VÀ ĐÁNH GIÁ KẾT QUẢ

Các thực nghiệm được tiến hành nhằm đánh giá hiệu quả làm việc của hệ thống đánh lửa hỗn hợp điện dung - điện cảm theo nguyên tắc đối sánh trên cùng một động cơ (TOYOTA 1NZ-FE) khi sử dụng hệ thống đánh lửa điện cảm theo thiết kế của nhà chế tạo và khi sử dụng hệ thống đánh lửa hỗn hợp điện dung - điện cảm.

5.1 Thực nghiệm đánh giá hiệu quả làm việc của hệ thống đánh lửa hỗn hợp điện dung - điện cảm

5.1.1 Nội dung thực nghiệm

Quá trình thực nghiệm trên động cơ bốn xy-lanh TOYOTA 1 NZ-FE sử dụng nhiên liệu xăng, đánh lửa trực tiếp, nhằm đánh giá các tính năng kinh tế, kỹ thuật và mức độ phát thải của động cơ khi sử dụng hệ thống đánh lửa điện cảm và khi sử dụng hệ thống đánh lửa hỗn hợp điện dung - điện cảm, cụ thể:

- Xây dựng các đường đặc tính thể hiện công suất có ích $N_e = f(n)$ và moment có ích $M_e = f(n)$ theo số vòng quay tại các mức tải: 20%, 35%, 50%, 75%, 100% khi sử dụng hệ thống đánh lửa điện cảm theo thiết kế ban đầu và khi sử dụng hệ thống đánh lửa hỗn hợp điện dung - điện cảm.
- Xây dựng các đặc tính lượng tiêu hao nhiên liệu theo giờ $G_{nl} (g/giờ)$ và suất tiêu hao nhiên liệu $g_e (g/kW.giờ)$ tại mức tải 100%, khi sử dụng hệ thống đánh lửa điện cảm và khi sử dụng hệ thống đánh lửa hỗn hợp điện dung - điện cảm.
- Đánh giá chất lượng khí thải của động cơ khi sử dụng hệ thống đánh lửa điện cảm và khi sử dụng hệ thống đánh lửa hỗn hợp điện dung - điện cảm.

Các kết quả này sẽ dùng để đánh giá hiệu quả của hệ thống đánh lửa hỗn hợp điện dung - điện cảm khi ứng dụng trên động cơ TOYOTA 1NZ-FE.

5.1.2 Đối tượng thực nghiệm

Thực nghiệm được tiến hành trên động cơ TOYOTA 1NZ-FE, sử dụng nhiên liệu xăng, đánh lửa trực tiếp, động cơ được điều khiển bằng ECU với các thông số kỹ thuật chính được mô tả trong bảng 5.1.

Bảng 5.1: Thông số kỹ thuật của động cơ TOYOTA 1NZ-FE [44]

Thông số kỹ thuật	Đặc điểm
Dung tích xy lanh	1.497 cc
Số xy lanh	4
Tỉ số nén	10,5:1
Thứ tự công tác	1-3-4-2
Trị số octan nhiên liệu (RON)	≥ 95
Công suất cực đại	81,2 kW tại 6.000 vòng/phút
Moment xoắn cực đại	141 Nm tại 4.200 vòng/phút
Mức CO tại tốc độ không tải	< 0.5 % vol.
Mức HC tại tốc độ không tải	100 ppm
Mức CO ₂ tại tốc độ không tải	14,5-16 % vol.
Mức O ₂ tại tốc độ không tải	0,1-0,5 % vol.
Lamda tại tốc độ không tải	0,98 -1,02
Hệ thống đánh lửa	Điện cảm, sử dụng bobin đơn (COP)
Số vòng quay không tải	700 ± 50 vòng/phút
Động cơ được điều khiển bằng ECU	Điều khiển phun nhiên liệu - đánh lửa bằng máy tính

1. Bình chứa nhiên liệu; 2. Thiết bị đo tiêu hao nhiên liệu; 3. Máy phân tích khí thải; 4. Hệ thống thải; 5. Bảng thử công suất; 6. Động cơ TOYOTA 1NZ-FE; 7. Thiết bị điều khiển bướm ga; 8. Hệ thống làm mát động cơ; 9. Hệ thống điều khiển trung tâm. (EMCON 400); 10. Hệ thống điều khiển động cơ; 11. Hệ thống thu thập dữ liệu; 12. Máy tính thu thập dữ liệu.



Hình 5.2: Thực nghiệm đánh giá hiệu quả làm việc của hệ thống đánh lửa hỗn hợp điện dung - điện cảm

5.2 Các qui trình thực nghiệm

Để đánh giá hiệu quả làm việc của hệ thống đánh lửa hỗn hợp điện dung - điện cảm thực nghiệm tiến hành xác định các giá trị: Moment có ích (M_e), công suất có ích (N_e), lượng tiêu hao nhiên liệu (G_{nl}), suất tiêu hao nhiên liệu (g_e), chất lượng khí thải theo hai thử nghiệm trong cùng điều kiện:

Thực nghiệm 1: Khi động cơ sử dụng hệ thống đánh lửa điện cảm (theo thiết kế ban đầu)

Thực nghiệm 2: Khi động cơ sử dụng hệ thống đánh lửa hỗn hợp điện dung - điện cảm.

Các qui trình thực nghiệm thực hiện giống nhau ở các hai loạt đo. Nhiên liệu xăng (A95) sử dụng cho cả thực nghiệm theo đúng yêu cầu nhà sản xuất.

5.2.1 Xác định đặc tính Moment có ích ($M_e = f(n)$) và công suất có ích ($N_e = f(n)$)

Trong quá trình làm việc, tốc độ động cơ có thể thay đổi trong phạm vi từ tốc độ nhỏ nhất đến tốc độ lớn nhất. Trong mỗi chế độ tốc độ, công suất hay moment có thể thay đổi từ không (chế độ không tải) tới trị số lớn nhất ứng với chế độ tốc độ ấy. Nhằm đánh giá tác động của hệ thống đánh lửa hỗn hợp điện dung - điện cảm đến hoạt động của động cơ trên toàn miền làm việc. Các thực nghiệm được tiến hành, nhằm xác định moment có ích $M_e = f(n)$ và công suất có ích $N_e = f(n)$ tại các mức tải: 20%, 35%, 50%, 75% và 100% khi sử dụng hệ thống đánh lửa điện cảm theo thiết kế của nhà chế tạo và khi sử dụng hệ thống đánh lửa hỗn hợp điện dung- điện cảm.

Từ bảng điều khiển EMCON 400 khởi động động cơ và cho hoạt động đến nhiệt độ ổn định, chọn chế độ vận hành bằng thử: Tốc độ/Góc mở bướm ga (Speed/Alpha). Tại các mức tải tiến hành xác định moment có ích M_e , công suất có ích N_e (tại các điểm đo), bằng cách thay đổi số vòng quay động cơ từ 1.000- 6.000 vòng/phút (bước chuyển 250 vòng/phút), duy trì các giá trị vận hành bằng thử tại điểm đo trong một phút. Trong quá trình này hệ thống thu thập AVL- Indicom sẽ tính toán và thu thập dữ liệu M_e , N_e tại các điểm đo.

5.2.2 Xác định lượng tiêu nhiên liệu theo giờ (G_{nl}) và suất tiêu hao nhiên liệu riêng (g_e)

Tính toán lượng tiêu hao nhiên liệu theo giờ, sử dụng phép đo khối lượng nhiên liệu trực tiếp thông qua thiết bị thiết bị cân FP7000 model 406 –II của hãng Fillon Pichon, tương ứng chế độ tải 100%, thay đổi số vòng quay động cơ từ 1.000- 6.000 vòng/phút (bước chuyển 250 vòng/phút) các chế độ đo được duy trì trong 1 phút. Lưu lại các kết quả và tính toán lượng tiêu hao nhiên liệu theo giờ (G_{nl}). Suất tiêu hao nhiên liệu riêng (g_e) được tính toán theo công thức:

$$g_e = \frac{G_{nl}}{N_e} \quad (\text{g/kW.giờ}) \quad (5.1)$$

Trong đó:

- g_e : g/kW.giờ
- G_{nl} : g/ giờ
- N_e : kW

5.2.3 Đánh giá chất lượng khí thải

Chất lượng khí thải được đánh giá qua hai thông số CO (% thể tích), HC (ppm thể tích), thông qua thiết bị kiểm tra khí thải HG-520, Heshbon (Hàn Quốc)

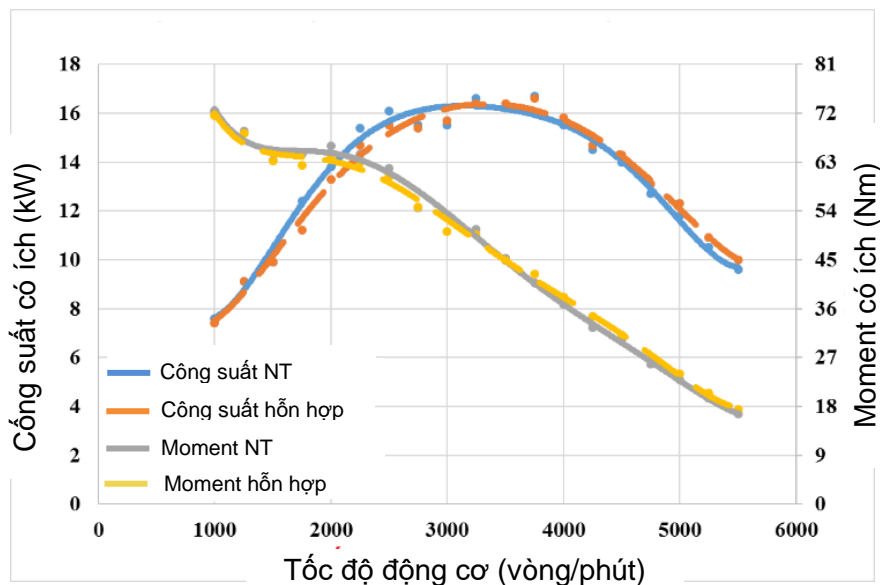
Việc đánh giá này được thực hiện theo Tiêu chuẩn quốc gia TCVN6204: 2008 (ISO 3929-2003) về Phương tiện giao thông đường bộ - phương pháp đo khí thải trong kiểm tra hoặc bảo dưỡng. Qua đó, phép đo chất lượng khí thải cho động cơ xăng sẽ được tiến hành khi động cơ đã được làm ấm máy và hoạt động ở trạng thái không tải [56].

5.3 Kết quả thực nghiệm và nhận xét

Các đường đặc tính thể hiện công suất có ích theo số vòng quay $N_e = f(n)$ và Moment có ích theo số vòng quay $M_e = f(n)$ tại các mức tải 20%, 35%, 50%, 75%, 100% khi sử dụng hệ thống đánh lửa điện cảm theo nhà thiết kế của nhà chế tạo (nguyên thủy) và khi sử dụng hệ thống đánh lửa hỗn hợp điện dung - điện cảm.

5.3.1 Đặc tính công suất có ích $N_e = f(n)$ và moment có ích $M_e = f(n)$

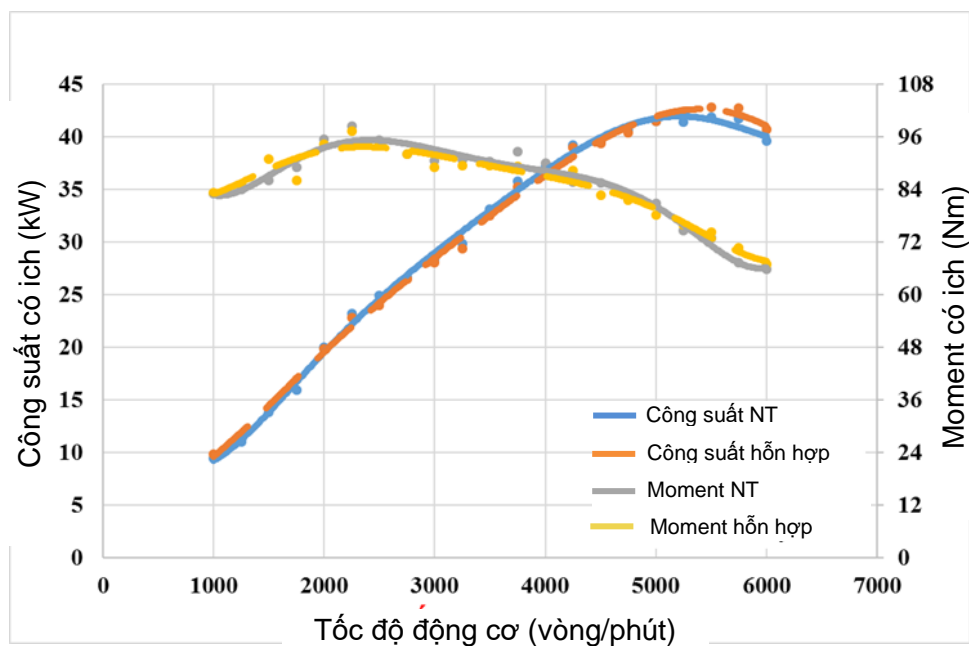
Mức tải 20%



Hình 5.3: Đồ thị công suất có ích $N_e = f(n)$, moment có ích $M_e = f(n)$ ở mức tải 20% của hệ thống đánh lửa (HTĐL) nguyên thủy và HTĐL hỗn hợp điện dung - điện cảm

Từ đồ thị ta thấy, động cơ sử dụng hệ thống đánh lửa (HTĐL) theo thiết kế của nhà chế tạo, công suất có ích cực đại đạt 16,3 kW tại 3.250 vòng/phút, moment có ích cực đại đạt 72,4 Nm tại 1.000 vòng/phút (các đường Công suất NT và Moment NT). Khi động cơ sử dụng hệ thống đánh lửa hỗn hợp điện dung - điện cảm: công suất có ích cực đại có giá trị 16,6 kW tại 3.280 vòng/phút, moment có ích cực đại có giá trị 72,1 Nm tại 1.000 vòng/phút (các đường Công suất Hỗn hợp và Moment hỗn hợp). Ngoài ra, ở mức tải 20%, khi càng tăng số vòng quay động cơ, tổn thất trên đường ống nạp tăng, làm lượng khí nạp thực tế giảm xuống, dẫn đến moment có ích của động cơ đạt cực đại tại số vòng quay nhỏ nhất.

Mức tải 35%



Hình 5.4: Đồ thị công suất có ích $N_e = f(n)$, moment có ích $M_e = f(n)$ ở mức tải 35% của HTĐL đánh lửa nguyên thủy và HTĐL hỗn hợp điện dung - điện cảm

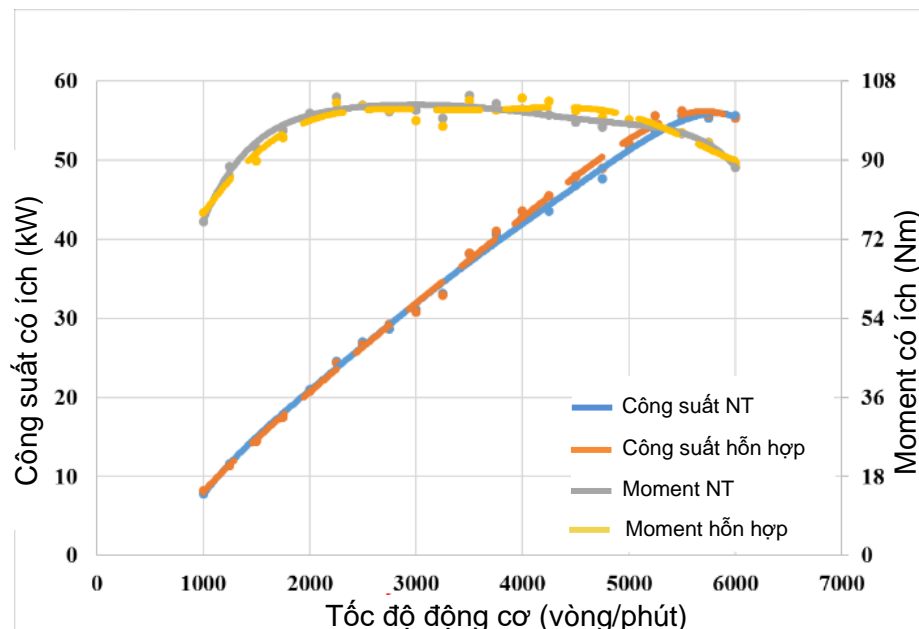
Trên hình 5.4 cho thấy, khi cho động cơ hoạt động ở mức tải 35% - sử dụng hệ thống đánh lửa nguyên thủy, công suất có ích cực đại của động cơ có giá trị là 41,9

kW tại 5.250 vòng/phút và Moment có ích của động cơ đạt: 96 Nm tại 2.250 vòng/phút (xem đường Công suất NT và Moment NT)

Động cơ khi sử dụng hệ thống đánh lửa hỗn hợp điện dung - điện cảm có giá trị công suất cực đại là 42,9 kW tại 5500 vòng/phút và Moment có ích của động cơ đạt: 95,6 Nm tại 2.230 vòng/phút (xem đường Công suất hỗn hợp và Moment hỗn hợp)

Kết quả thực nghiệm tại mức 35% tải cho thấy, khi sử dụng hệ thống đánh lửa nguyên thủy và hệ thống đánh lửa hỗn hợp điện dung - điện cảm, các sai khác về giá trị cực đại công suất có ích N_e và moment có ích M_e nhỏ hơn 5 %, đồng thời biên dạng của chúng có khác biệt không đáng kể.

Mức tải 50%

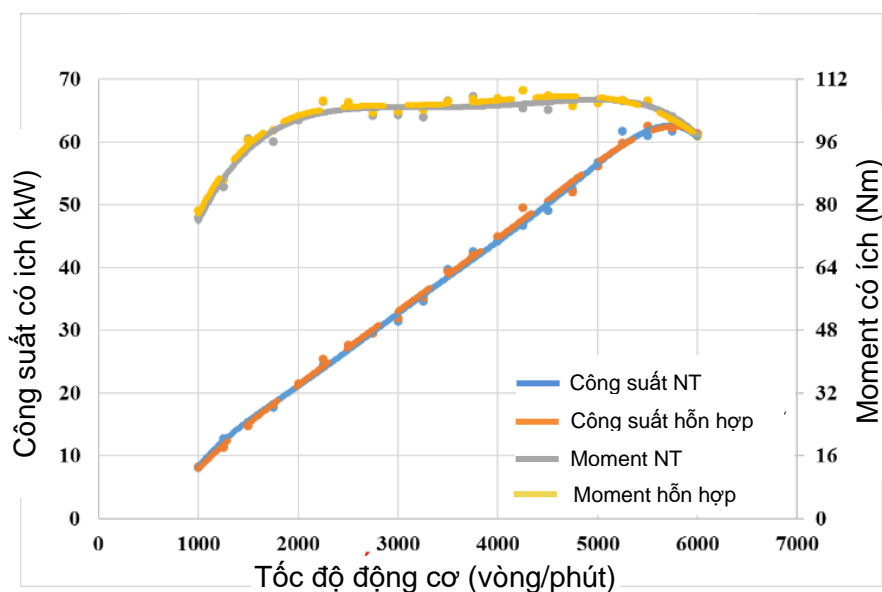


Hình 5.5: Đồ thị công suất có ích $N_e = f(n)$, moment có ích $M_e = f(n)$ ở mức tải 50% của HTĐL nguyên thủy và HTĐL hỗn hợp điện dung - điện cảm

Trên động cơ TOYOTA 1 NZ-FE khi sử dụng hệ thống đánh lửa nguyên thủy, công suất có ích cực đại đạt 55,6 kW tại 5.600 vòng/phút và moment có ích cực đại có giá trị 104,8 Nm tại 2.270 vòng/phút. (các đường Công suất NT và Moment NT). Khi sử dụng hệ thống đánh lửa hỗn hợp điện dung - điện cảm, công suất có ích cực đại có giá trị 56.2 kW tại 5.580 vòng/phút, moment có ích cực đại đạt 104,9 Nm tại

2.700 vòng/phút (các đường Công suất hỗn hợp và Moment hỗn hợp). Các kết quả cho thấy biên dạng của các đặc tính M_e và N_e khi sử dụng hệ thống đánh lửa nguyên thủy và khi sử dụng hệ thống đánh lửa hỗn hợp điện dung - điện cảm có sai lệch không lớn và sai khác về giá trị cực đại của công suất và moment có ích < 5 %.

Mức tải 75%



Hình 5.6: Đồ thị công suất có ích $N_e = f(n)$, moment có ích $M_e = f(n)$ ở mức tải 75% của HTĐL nguyên thủy và HTĐL hỗn hợp điện dung - điện cảm

Trên hình 5.6 trình bày đồ thị công suất có ích $N_e = f(n)$, moment có ích $M_e = f(n)$ của động cơ TOYOTA 1NZ-FE khi sử dụng hệ thống đánh lửa nguyên thủy và hệ thống đánh lửa hỗn hợp điện cảm - điện dung ở mức 75% tải.

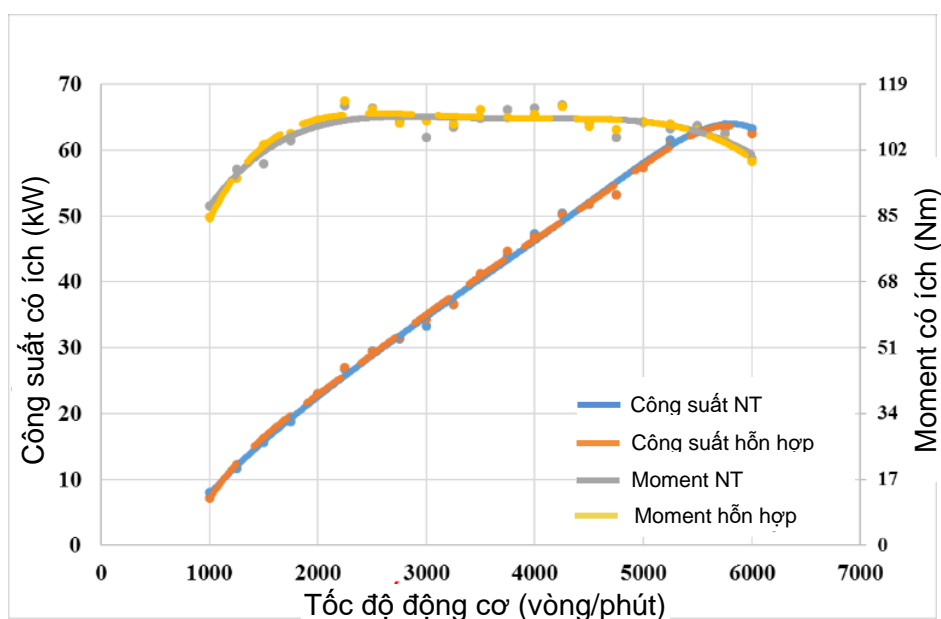
Kết quả từ đồ thị cho thấy:

Động cơ sử dụng hệ thống đánh lửa nguyên thủy có công suất cực đại 61,7 kW tại 5860 vòng/phút, moment đạt cực đại 107,2 Nm tại 4500 vòng/phút, (các đường Công suất NT và Moment NT)

Khi sử dụng hệ thống đánh lửa hỗn hợp điện dung - điện cảm công suất cực đại của động cơ có giá trị 61,6 kW tại 5860 vòng/phút, moment đạt cực đại 107,8 Nm tại 4520 vòng/phút, (các đường Công suất hỗn hợp và Moment hỗn hợp).

Từ kết quả thí nghiệm cho thấy tại mức tải 75 % của động cơ khi sử dụng hai hệ thống đánh lửa công suất có ích N_e và moment có ích M_e có khác biệt rất nhỏ tại vùng tốc độ động cơ 1000 - 6000 vòng/phút. Đồng thời giá trị cực đại của N_e và M_e có sai lệch < 5%.

Mức tải 100 %



Hình 5.7: Đồ thị công suất có ích $N_e = f(n)$, moment có ích $M_e = f(n)$ ở mức tải 100% của HTĐL nguyên thủy và HTĐL hỗn hợp điện dung - điện cảm

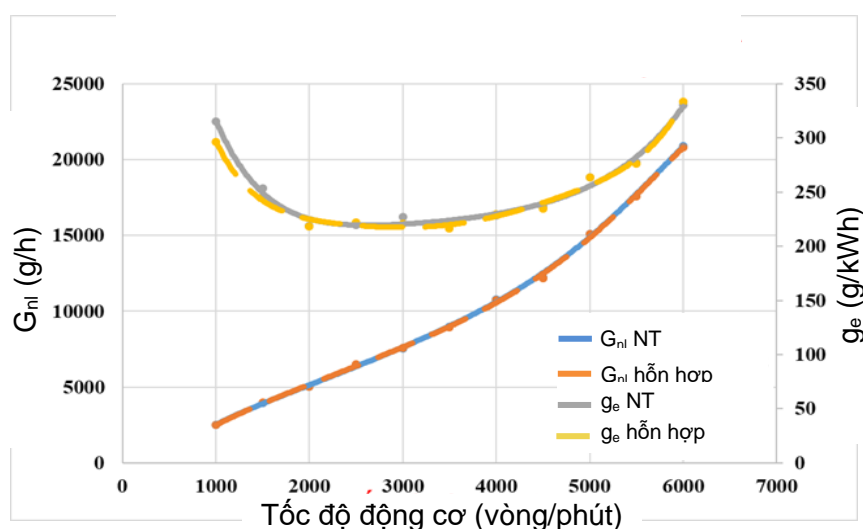
Đồ thị 5.7 cho thấy rằng động cơ khi sử dụng hệ thống đánh lửa nguyên thủy có công suất có ích cực đại đạt giá trị 64,8 kW tại 5.850 vòng/phút và moment đạt cực đại 111,9 Nm tại 2750 vòng/phút (các đường Công suất NT và Moment NT trên hình 5.7). Khi động cơ hoạt động với hệ thống đánh lửa hỗn hợp điện dung - điện cảm, công suất có ích cực đại của động cơ đạt giá trị 64,6 kW tại 5.860 vòng/phút và moment có ích cực đại có giá trị 112,3 Nm tại 2750 vòng/phút (các đường Công suất Hỗn hợp, Moment hỗn hợp trên hình 5.7).

Thực hiện so sánh cho thấy, các sai lệch về công suất đỉnh N_{emax} và moment M_{emax} của động cơ khi sử dụng hệ thống đánh lửa điện cảm và hệ thống đánh lửa hỗn hợp điện dung - điện cảm là không đáng kể. Tuy nhiên, do động cơ thực nghiệm đã qua sử dụng nên cả hai giá trị N_e cực đại và M_e cực đại, khi sử dụng hệ thống đánh

lửa nguyên thủy và cả khi sử dụng hệ thống đánh lửa hỗn hợp điện dung - điện cảm có giá trị nhỏ hơn khoảng 20% so với giá trị của nhà chế tạo công bố (xem bảng 5.1). Điều này cho thấy năng lượng tự cảm tích lũy trên các bobin đánh lửa điện cảm đủ lớn để thực hiện việc hình thành và duy trì tia lửa nhằm đốt cháy hỗn hợp ở tổ máy 4 (thực hiện đánh lửa điện dung)

5.3.2 Đánh giá tiêu hao nhiên liệu của động cơ khi sử dụng hệ thống đánh lửa hỗn hợp điện dung - điện cảm

Trên hình 5.8 thể hiện lượng tiêu hao nhiên liệu theo giờ và suất tiêu hao nhiên liệu riêng khi thực hiện phép đo tiêu hao nhiên liệu tại mức tải 100%. Các kết quả cho thấy suất tiêu hao nhiên liệu riêng đạt giá trị nhỏ nhất $g_{emin} = 223g/kW.giờ$ tại tốc độ động cơ = 2.500 v/phút (lượng tiêu hao nhiên liệu của động cơ đạt giá trị đạt giá trị $G_{nl} = 15,7 kg$ nhiên liệu/giờ). Các khác biệt về tiêu hao nhiên liệu khi thực hiện đối sánh không thể hiện rõ trên đồ thị khi tiến hành thực nghiệm.



Hình 5.8: Đồ thị lượng tiêu hao nhiên liệu theo giờ (G_{nl}) và suất tiêu hao nhiên liệu riêng (g_e)

Trên hệ thống điện động cơ, hệ thống đánh lửa được xem như một loại phụ tải làm việc liên tục [1, 32]. Trong quá trình làm việc năng lượng sử dụng cho một lần đánh lửa phụ thuộc vào thời gian tích lũy năng lượng t_d . Tuy nhiên, t_d chỉ phụ thuộc vào hai thông số chính điện áp accu và số vòng quay động cơ [1, 35] (không phụ

thuộc vào chế độ tải). Vì vậy, nếu điện áp accu ổn định, lượng nhiên liệu tiết kiệm được trên hệ thống đánh lửa cũng thay đổi theo số vòng quay động cơ.

Để đánh giá được lượng nhiên liệu tiết kiệm từ hệ thống đánh lửa hỗn hợp điện dung - điện cảm có thể sử dụng các tính toán sau:

Tổng năng lượng cung cấp cho một lần làm việc bao gồm năng lượng tỏa nhiệt (W_n) trên cuộn dây sơ cấp bobin và năng lượng dự trữ trên cuộn sơ cấp của bobin (W_L).

$$W_{\Sigma} = W_n + W_L \quad (5.2)$$

Năng lượng tiêu hao do tỏa nhiệt trên bobin được tính [1, 32]

$$W_n = \int_0^{t_d} i_1^2 \cdot R_1 \cdot dt \quad (5.3)$$

Trong đó: i_1 : dòng điện đi qua cuộn sơ cấp của bobin đánh lửa điện cảm (A)

$$i_1(t) = \frac{U}{R_{\Sigma}} \left[1 - e^{-\frac{R_{\Sigma} \cdot t}{L_1}} \right] \quad (5.4)$$

Thay 5.4 vào 5.3, giải tích phân ta được:

$$W_n = \frac{U^2}{R_{\Sigma}^2} \cdot R_1 \cdot \left[t_d + 2 \cdot \tau_1 \cdot e^{-\frac{t_d}{\tau_1}} - \frac{\tau_1}{2} \cdot e^{-\frac{2t_d}{\tau_1}} - \frac{3}{2} \cdot \tau_1 \right] \quad (5.5)$$

Với:

R_I : Điện trở cuộn dây sơ cấp (Ω).

R_{Σ} : Tổng trở trên mạch sơ cấp (Ω).

$\tau_1 = \frac{L_1}{R_{\Sigma}}$: Hằng số điện từ của mạch.

Năng lượng dự trữ cho đánh lửa điện cảm được tính theo biểu thức sau:

$$W_L = \frac{L_1 \cdot i_d^2}{2} \quad (5.6)$$

Trong đó: W_L : Năng lượng dự trữ đánh lửa (J)

i_d : Cường độ dòng điện cuối thời gian tích lũy năng lượng (t_d) trên cuộn sơ cấp của bobin đánh lửa điện cảm (A), $i_d = i_1(t_d)$

Tổng năng lượng tiêu hao cho một bobin trên hệ thống đánh lửa điện cảm trong một giờ tương ứng với tốc độ động cơ cho ở bảng 5.2 được tính như sau:

$$W_{\Sigma 1h} = W_{\Sigma} \cdot 60 \cdot \frac{ne}{2} \quad (J) \quad (5.7)$$

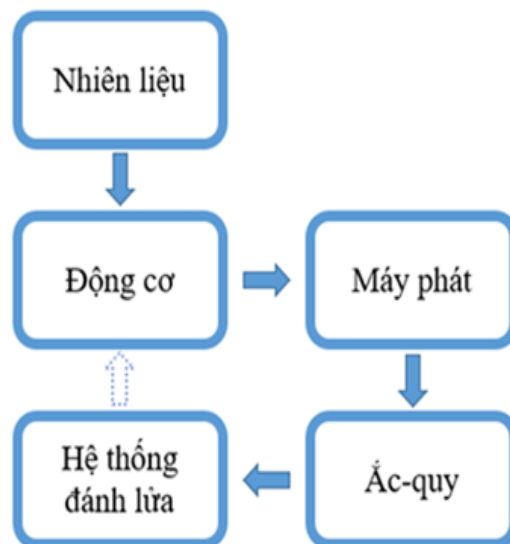
n_e : Tốc độ động cơ (vòng/phút)

Khi không thực hiện đánh lửa điện cảm, ta sẽ tiết kiệm được lượng năng lượng $W_{\Sigma 1h}$ (trong một giờ).

Bảng 5.2: Đánh giá năng lượng tiết kiệm trên hệ thống đánh lửa hỗn hợp điện dung - điện cảm theo tốc độ động cơ

T/độ động cơ (vòng/phút)	W_{dt} (mJ)/1 lần đánh lửa	W_n (mJ)/ 1 lần đánh lửa	W_{Σ} (mJ) /1 lần đánh lửa	$W_{\Sigma 1h}$ (J)/1 giờ
1.000	75,08	470,51	545,59	16.368
2.000	74,5	429,48	503,98	30.238
3.000	73,54	375,3	448,84	40.395
4.000	72,2	321,97	394,17	47.300
5.000	71,25	321,97	393,22	58.983
6.000	70,13	269,83	339,96	61.192

Trong bảng 5.2 trình bày năng lượng tiết kiệm được trong một giờ khi sử dụng hệ thống đánh lửa hỗn hợp điện dung - điện cảm ở các vùng tốc độ khác nhau, năng lượng này lấy từ accu với rất nhiều tổn thất trong quá trình tích lũy và chuyển hóa năng lượng (hình 5.9), (thể hiện qua 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).



Hình 5.9: Mô tả đường truyền năng lượng từ nhiên liệu- hệ thống đánh lửa

Các nghiên cứu cho thấy:

- Hiệu suất động cơ: $\eta_e = 0,2 - 0,35$ [27,28]
- Hiệu suất bộ truyền đai thang: $\eta_d = 0,95 - 0,96$ [57]
- Hiệu suất máy phát: $\eta_p = 0,4 - 0,65$ [3]
- Hiệu suất ắc-quy: $\eta_a = 0,75 - 0,9$ [58]
- Hiệu suất tổng cộng: $\eta_\Sigma = \eta_e \cdot \eta_d \cdot \eta_p \cdot \eta_a = 0,057 - 0,1966$

Đặt $\eta_{\Sigma min} = 0,057$ và $\eta_{\Sigma max} = 0,1966$

Năng lượng tiết kiệm (W_e) được khi tính đến sự tổn hao qua đường truyền năng lượng cho ở bảng 5.3, được tính theo biểu thức (5.8).

$$W_e = \frac{W_{\Sigma 1h}}{\eta_\Sigma} \quad (J) \quad (5.8)$$

Như vậy: Năng lượng tiết kiệm lớn nhất: $W_{emax} = \frac{W_{\Sigma 1h}}{\eta_{\Sigma min}}$

Năng lượng tiết kiệm nhỏ nhất: $W_{emin} = \frac{W_{\Sigma 1h}}{\eta_{\Sigma max}}$

Bảng 5.3: Tổng năng lượng tiết kiệm trong một giờ W_e khi tính đến sự tổn hao qua đường truyền năng lượng

T/độ động cơ (vòng/phút)	$W_{\Sigma 1h}$ (J)/ 1 giờ	W_{emax} (J)/ giờ	W_{emin} (J)/ giờ
1.000	16.368	287.150	83.253
2.000	30.238	530.500	153.810
3.000	40.395	708.690	205.470
4.000	47.300	829.830	240.590
5.000	58.983	965.730	279.990
6.000	61.192	1.073.600	311.250

Phần năng lượng thu được của nhiên liệu, khi bỏ qua nhiệt lượng tỏa ra do sự ngưng tụ của hơi nước chứa trong sản phẩm cháy khi ta làm lạnh nó đến nhiệt độ ban đầu, gọi là nhiệt trị thấp Q_H của nhiên liệu. Đối với nhiên liệu xăng ta có $Q_H = 44$ MJ/kg [27]. Lượng nhiên liệu qui đổi tiết kiệm được trong 1 giờ, từ việc tiết kiệm năng lượng đánh lửa được cho ở bảng 5.3 được tính theo biểu thức sau:

$$G_{nltk} = \frac{W_e \cdot 1000}{Q_H} \text{ (g)} \quad (5.9)$$

Trong đó: G_{nltk} : Lượng nhiên liệu tiết kiệm (g)

Q_H : Nhiệt trị thấp của nhiên liệu (J/kg)

W_e : Năng lượng tiết kiệm (J)

Bảng 5.4: Lượng nhiên liệu qui đổi tiết kiệm được trong một giờ khi sử dụng hệ thống đánh lửa hỗn hợp điện dung - điện cảm

T/độ động cơ (vòng/phút)	W_{emax} (J)/ giờ	W_{emin} (J)/giờ	$G_{nltkmax}$ (g/giờ)	$G_{nltkmin}$ (g/giờ)
1.000	287.150	83.253	6,53	1,89
2.000	530.500	153.810	12,1	3,5
3.000	708.690	205.470	16,11	4,7
4.000	829.830	240.590	18,86	5,47
5.000	965.730	279.990	21,95	6,36
6.000	1.073.600	311.250	24,4	7,07

Từ các số liệu trên bảng 5.4 cho thấy, khi sử dụng hệ thống đánh lửa hỗn hợp điện dung - điện cảm lượng nhiên liệu qui đổi (tính theo giờ) có thể tiết kiệm được sẽ tăng khi tăng số vòng quay động cơ. Lượng nhiên liệu qui đổi có khả năng tiết kiệm lớn nhất đạt giá trị $G_{nltkmax} = 24,4\text{g/giờ}$ (tại tốc độ động cơ 6000 vòng/phút).

5.3.3 Đánh giá chất lượng khí thải

Theo quyết định của Thủ tướng chính phủ số 16/2019/QĐ-TTg ngày 28 tháng 3 năm 2019, qui định lộ trình áp dụng tiêu chuẩn khí thải đối với xe ô tô tham gia giao thông và xe ô tô đã qua sử dụng nhập khẩu, mức giới hạn lớn nhất cho phép của các chất gây ô nhiễm trong khí thải tuân thủ theo qui định TCVN 6438-2018 (Bảng 5.5). Qua đó, thành phần gây ô nhiễm của khí thải được chia làm bốn mức với thời gian áp dụng trong đánh giá chất lượng khí thải của ô tô khác nhau [59]

Bảng 5.5: Giới hạn cho phép của các chất gây ô nhiễm trong khí thải của động cơ bốn kỳ sử dụng nhiên liệu xăng (theo tiêu chuẩn TCVN 6438-2018) [59].

Thành phần gây ô nhiễm trong khí thải	Phương tiện lắp động cơ đốt cháy cưỡng bức			
	Mức 1	Mức 2	Mức 3	Mức 4
CO (% thể tích)	4,5	3,5	3,0	0,5
HC (ppm thể tích)	1.200	800	600	300

Qui trình đo chất lượng khí thải được thực hiện theo TCVN 6204:2008 (ISO 3929: 2003- tương thích với chỉ thị 92/55/EEC của cộng đồng Kinh tế châu Âu). Qua đó, động cơ sau khi đã kiểm tra hệ thống thải của động cơ (không được rò rỉ), động cơ phải được hâm nóng đến trạng thái hoạt động bình thường (ít nhất hoạt động sau 15 phút). Đầu ống đo được đặt sâu vào ống xả ít nhất 300mm.

Theo qui trình trên, sau khi hâm nóng động cơ, cho động cơ hoạt động ở 3000 vòng/phút trong 60 giây sau đó đưa về số vòng quay không tải. Đưa bộ phân tích về chế độ đo. Thực hiện phép đo trong thời gian đủ lâu (nhưng không quá 30 giây). Các số liệu về hàm lượng CO (% thể tích) và HC (ppm thể tích) thu thập được sau khi thực hiện phép đo được trình bày trong bảng 5.6.

Bảng 5.6: Số liệu khí thải động cơ khi thực hiện đối sánh - sử dụng HTĐL nguyên thủy và khi sử dụng HTĐL hỗn hợp điện dung - điện cảm

Thành phần gây ô nhiễm	Động cơ khi sử dụng HTĐL nguyên thủy			Động cơ khi sử dụng HTĐL hỗn hợp		
	Lần 1	Lần 2	Lần 3	Lần 1	Lần 2	Lần 3
CO (% thể tích)	2,78	2,15	1,96	2,26	2,86	2,76
Giá trị trung bình CO (% thể tích)	2,29			2,63		
HC (ppm thể tích)	65	71	72	86	71	74
Giá trị trung bình HC (ppm thể tích)	69,33			77		

Qua các kết quả thực nghiệm nói trên có thể thấy, số liệu khí thải của động cơ khi sử dụng hệ thống đánh lửa hỗn hợp điện dung - điện cảm có sai lệch không đáng kể so với khi sử dụng hệ thống đánh lửa nguyên thủy (<5 %), các kết quả này đều đạt tiêu chuẩn khí thải của động cơ đốt cháy cưỡng bức ở mức 3 theo TCVN 6438-2018. Điều này một lần nữa cho thấy, hệ thống đánh lửa hỗn hợp điện dung - điện cảm hoạt động hiệu quả, ổn định và tin cậy theo các chế độ tải và tốc độ khác nhau của động cơ.

5.4 Kết luận chương 5

Qua các thực nghiệm đối sánh, trên cùng một động cơ TOYOTA 1NZ-FE sử dụng hệ thống đánh lửa nguyên thủy theo thiết kế của nhà chế tạo và khi sử dụng hệ thống đánh lửa hỗn hợp điện dung - điện cảm, có thể kết luận như sau:

- Hệ thống đánh lửa hỗn hợp điện dung- điện cảm có khả năng làm việc hiệu quả và tin cậy tại các chế độ làm việc khác nhau của động cơ
- Hệ thống có khả năng tiết kiệm năng lượng sử dụng cho hệ thống đánh lửa nói riêng và cho động cơ nói chung.

Cụ thể như sau:

Về tính hiệu quả: Moment có ích (M_e) và công suất có ích (N_e)

Khi so sánh khác biệt về moment có ích M_e và công suất có ích N_e trên cùng một động cơ TOYOTA 1NZ-FE (khi dùng hệ thống đánh lửa trực tiếp theo nhà chế tạo và khi dùng hệ thống đánh lửa hỗn hợp điện dung - điện cảm), ta nhận thấy sự khác biệt này là không đáng kể (sai lệch lớn nhất < 5%). Điều này cho thấy, hệ thống đánh lửa hỗn hợp làm việc tin cậy tại các chế độ làm việc khác nhau của động cơ. Tuy nhiên, do động cơ sử dụng để thực nghiệm đã qua sử dụng nên các giá trị cực đại của công suất có ích và moment có ích tại chế độ tải 100% đều nhỏ hơn giá trị của nhà chế tạo công bố khoảng 20% (xem Bảng 5.1)

Khả năng phát thải: Qua các thông số về CO (% thể tích), và HC (ppm thể tích)

Các thực nghiệm về lượng phát thải của động cơ cho thấy ở chế độ làm việc không tải với các qui trình đánh giá của cục đăng kiểm Việt Nam cung cấp, sai lệch

về lượng phát thải CO (% thể tích và HC (ppm % thể tích) <5%, các số liệu này phù hợp với mức 3 tiêu chuẩn khí thải Việt Nam - theo TCVN 6438-2018.

Năng lượng tiết kiệm được khi sử dụng hệ thống đánh lửa hỗn hợp điện dung - điện cảm

Hệ thống đánh lửa hỗn hợp điện dung - điện cảm khi áp dụng trên động cơ 4 xy-lanh, có khả năng sử dụng năng lượng tự cảm “thừa” từ ba bobin đánh lửa điện cảm để thực hiện đánh lửa cho xi-lanh còn lại (đánh lửa điện dung), mà không cần chi phí thêm năng lượng. Như vậy, có thể tiết kiệm được 25 % năng lượng cung cấp cho hệ thống đánh lửa/trên một chu kỳ làm việc của động cơ. Năng lượng sử dụng cho một lần đánh lửa không lớn. Tuy nhiên, nếu xem xét việc tiết kiệm năng lượng dưới góc nhìn, có tính đến các tổn hao trên đường truyền năng lượng, số lượng ô tô và các loại động cơ sử dụng nhiên liệu xăng thì con số tiết kiệm nhiên liệu thật sự ấn tượng. Hiện nay, số lượng ô tô sử dụng trên toàn thế giới đã đạt lên tới 1,2 tỷ, con số này sẽ đạt đến 2 tỷ vào năm 2035 [60]. Ngoài ra, theo các dự báo từ tổ chức Statista - Hoa kỳ số lượng ô tô sử dụng động cơ xăng chiếm tỷ lệ 47% (khoảng 1 tỷ chiếc) so với số lượng ô tô bán ra trên toàn thế giới vào năm 2030 (bảng 5.7) [61]. Với các khảo sát của tổ chức thống kê phi chính phủ tại Hà Lan (CBS), một ô tô sẽ di chuyển trung bình 37 km/ngày [62], càng cho thấy, việc tiết kiệm nhiên liệu sử dụng trên ô tô có ý nghĩa hết sức to lớn.

Bảng 5.7: Dự báo số lượng ô tô trên thế giới - đến năm 2030 (tính theo%) [61]

Loại động cơ	Năm sản xuất	
	2017	2030
Động cơ xăng	76 %	47 %
Động cơ Diesel	19%	5%
Động cơ hỗn hợp	3%	28%
Động cơ điện	1%	14%
Plug-in hỗn hợp	1%	15%

Việc tiết kiệm năng lượng cho ô tô nói chung, hay trên hệ thống đánh lửa nói riêng còn có ý nghĩa quan trọng trong việc bảo vệ môi trường. Theo các thông tin từ Cục bảo vệ môi trường Hoa kỳ (EPA) [63], các phương tiện cơ giới gây ra 75% ô nhiễm carbon monoxide ở Mỹ. Quỹ Bảo vệ Môi trường Hoa kỳ (EDF) cũng ước tính rằng, các phương tiện giao thông trên đường gây ra một phần ba ô nhiễm do khói bụi ở Hoa Kỳ và 27 % lượng phát thải khí nhà kính. Từ các thông tin trên cho thấy, việc tiết kiệm nhiên liệu sử dụng cho hệ thống đánh lửa nói riêng và cho động cơ nói chung có ý nghĩa rất lớn trong việc tiết kiệm nhiên liệu và bảo vệ môi trường trên toàn thế giới.

KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN

Kết luận

Luận án được hoàn thành và rút ra được các kết luận sau:

1. Luận án đã nghiên cứu và chế tạo thành công hệ thống đánh lửa hỗn hợp điện dung - điện cảm trên động cơ bốn xylanh (TOYOTA 1NZ-FE) có khả năng tích lũy sức điện động tự cảm (từ giai đoạn đánh lửa điện cảm) trên 3 tụ điện $1 \mu\text{F}$ và phục vụ cho giai đoạn đánh lửa điện dung. Với kết cấu đơn giản và tận dụng được các đặc điểm sẵn có từ hệ thống điều khiển động cơ. Hệ thống đánh lửa hỗn hợp như đã trình bày, bảo đảm hoạt động ổn định của động cơ ở các chế độ hoạt động khác nhau và tiết kiệm được năng lượng cho một lần đánh lửa/một chu kỳ làm việc của động cơ - tương ứng với 25% năng lượng sử dụng cho hệ thống đánh lửa.

2. Luận án đã đề ra được giải pháp thu hồi một phần năng lượng tự cảm trên cuộn sơ cấp của biến áp đánh lửa. Qua đó, góp phần giảm năng lượng sử dụng cho hệ thống đánh lửa nói riêng và cho động cơ nói chung; Đồng thời tham gia vào giảm lượng phát thải ra môi trường

3. Luận án đã xây dựng được mô hình toán học và xác định được các thông số của hệ thống các giai đoạn đánh lửa điện cảm, giai đoạn đánh lửa điện dung và các khảo sát các yếu tố ảnh hưởng đến đặc tính hệ thống (tổng trở của mạch sơ cấp R , hệ số tự cảm của cuộn sơ cấp bobin L_1 , dung lượng tụ điện C_1).

4. Luận án đã đưa ra được cơ sở lựa chọn cấu hình hệ thống đánh lửa hỗn hợp điện dung - điện cảm và phương pháp xác định dung lượng tụ điện đóng vai trò tích lũy năng lượng tự cảm. Qua đó, thỏa mãn năng lượng đánh lửa yêu cầu cho cả hai giai đoạn (đánh lửa điện cảm và đánh lửa điện dung), mà vẫn đạt yêu cầu tiết kiệm năng lượng trên hệ thống.

5. Các kết quả thực nghiệm trên động cơ 4 xylanh TOYOTA 1NZ-FE khi sử dụng hệ thống đánh lửa điện cảm theo thiết kế của nhà chế tạo và khi sử dụng hệ thống đánh lửa hỗn hợp điện dung - điện cảm cho thấy:

- Các khác biệt về công suất có ích $Ne = f(n)$, moment có ích $Me = f(n)$ không lớn (< 5%).
- Các sai lệch về chất lượng khí thải ứng với chế độ làm việc không tải theo hệ thống đánh lửa điện cảm nguyên thủy và hệ thống đánh lửa hỗn hợp lần lượt là:
 - CO (% thể tích): 2,29 và 2,63
 - HC (ppm thể tích): 69,33 và 77

Các số liệu khí thải này phù hợp với các qui định về khí thải Việt Nam ở mức 3 theo TCVN 6438-2018

- Hệ thống đánh lửa được chế tạo đạt yêu cầu tiết kiệm năng lượng

Mặc dù khả năng tiết kiệm năng lượng của hệ thống đánh lửa hỗn hợp không lớn, [lượng nhiên liệu qui đổi tiết kiệm được lớn nhất G_{ntkmax} (g/giờ) = 24,4 g nhiên liệu/giờ (khi động cơ hoạt động 6000 vòng/phút - Bảng 5.4)]. Tuy nhiên, khi tiết kiệm nhiên liệu sử dụng, đồng nghĩa với việc giảm phát thải ra môi trường. Với số lượng ô tô sử dụng nhiên liệu xăng trên thế giới lên đến 1,2 tỷ như hiện nay, đây là một hướng nghiên cứu hữu ích.

Hướng phát triển

Trên cơ sở các nghiên cứu đã đề cập trong luận án, người nghiên cứu xin được phép trình bày các hướng phát triển sau:

1 Nghiên cứu sử dụng năng lượng tích lũy từ sức điện động tự cảm của các cuộn dây để sử dụng cho mục đích khác.

2 Nghiên cứu hệ thống đánh lửa hỗn hợp trên động cơ 1 xylanh theo hướng sử dụng nhiều tụ điện được nạp lần lượt và sử dụng năng lượng trên các tụ trong một lần đánh lửa điện dung.

3 Đánh giá ảnh hưởng của điều kiện khí hậu Việt Nam (nóng, ẩm), đến hoạt động của hệ thống đánh lửa nói chung và hệ thống đánh lửa hỗn hợp điện dung- điện cảm nói riêng.

4 Nghiên cứu kéo dài thời gian xuất hiện tia lửa điện dung

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Đỗ Văn Dũng. *Điện động cơ và điều khiển động cơ*. NXB Đại học Quốc gia Tp.HCM, 2013, tr. 122.
- [2] Horst Bauer. *Automotive Electric Electronic System*. Robert Bosch GmbH, 1995, pp.181.
- [3] Ulrich Adler. *Automotive Handbook*. Bosch, 1993, pp 478.
- [4] Đinh Ngọc Ân. *Trang bị điện ô tô máy kéo*. Nhà xuất bản đại học và trung học chuyên nghiệp Hà Nội, 1980, tr. 279.
- [5] John B Heywood. *Internal combustion engine fundamentals*. McGraw-hill Book Company, 1988, pp. 429.
- [6] Konrad reif. *Gasoline engine management system and components*. Springer Vieweg, 2015, pp.157.
- [7] Delco ignition system. Internet:
https://en.wikipedia.org/wiki/Delco_ignition_system, 18/04/2020.
- [8] Ignition system. Internet:
https://en.wikipedia.org/wiki/Ignition_system, 18/04/2020.
- [9] Capacitor discharge ignition systems. Internet:
www.rotaryeng.net › Why-CDI, 30/1/2020, pp 3, 18/04/2020.
- [10] Ignition Systems Technology. Internet:
<http://www.geocities.ws/MotorCity/Downs/3837/ignsyste.html>, 18/04/2020.
- [11] Shano C and Hufton, A. Capacitor Discharge Ignition - A Design Approach. SAE Technical Paper 670115, 1967.
- [12] Capacitor discharge ignition. Internet:
https://en.wikipedia.org/wiki/Capacitor_discharge_ignition#Nikola_Tesla, 30/1/2020.
- [13] Martin E.Gerry. “Inductive-capacitive cyclic charge-discharge ignition system”. US Patent No 4288723, 1981.

- [14] Michael J French and Matthew Joseph Edwards. “Hybrid ignition circuit for an internal combustion engine”. US Patent 5806504, 1998.
- [15] Joseph M. Lepley. “Capacitive discharge ignition system with extended duration spark”. US Patent No 6701904B2, 2004.
- [16] Audris Simakaukas. Hybrid Ignition system with variable spark duration for spark ignition engine. *The 8th International conference*, 2013, pp 225.
- [17] Martin E.Gerry. “Inductive- capacitive modulated ignition system”. US Patent NoUS4291661, Aug. 13. 1979.
- [18] Ming Zheng, Shui Yu, and Jimi Tjong. High Energy Multipole Distribution Spark Ignition System. *Ignition Systems for Gasoline Engines-3rd International Conferenc-Berlin, Germany*, November 3/4/2016, pp.110.
- [19] Peter Weyand. MultiCharge Ignition and Ion Current Sensing – A new Method for Misfire and Pre-Ignition Detection MultiCharge. Internet: <https://www.researchgate.net/publication/298433469>, 07/08/2020.
- [20] Prashant Patane et al. Multipoint laser ignition system and its applications to IC engines. Internet: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0030399219321309>, 8/08/2020.
- [21] Lâm Bá Nha và các cộng sự. Nghiên cứu chuyển đổi hệ thống đánh lửa bán dẫn sang hệ thống đánh lửa trực tiếp, *DHSPKT. TPHCM*, 2009.
- [22] Nguyễn Văn Thành và các cộng sự. Nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm các hệ thống đánh lửa đang sử dụng phổ biến trên các ô tô tại Việt Nam và khả năng lắp lẫn, *DHSPKT. TPHCM*, 2009.
- [23] Lê Văn Tụy, Nguyễn Việt Thuận. Thiết kế mạch điều khiển góc đánh lửa sớm cho động cơ M161, Mercedes-Benz 140. *Tạp chí Đại học Bách khoa Đà Nẵng*, 2012.
- [24] Nguyễn Duy Tấn. Bán dẫn hóa hệ thống đánh lửa trên xe thiết giáp BTR-60BP. *Đại học Trần Đại Nghĩa*, 2007.
- [25] Đỗ Quốc Âm và các cộng sự. Nghiên cứu chế tạo mạch đánh lửa trên động cơ

- ô tô theo chương trình. *ĐHSPKT. TPHCM*, 2009.
- [26] Đỗ Văn Dũng, Lâm Phương An, Nghiên cứu tương thích hóa đặc tuyến làm việc của IC đánh lửa theo chương trình. *ĐHSPKT. TPHCM*, 2003
- [27] Đặng Đức Hương. *Nguyên lý động cơ đốt trong*. NXB Đại học và trung học chuyên nghiệp, 1979, trang.156.
- [28] Nguyễn Văn Bình, Nguyễn Tất Tiên. *Nguyên lý động cơ đốt trong*. NXB Giáo dục, 1994, tr.156.
- [29] Bùi Văn Ga. *Quá trình cháy trong động cơ đốt trong*. NXB Khoa học và kỹ thuật Hà nội, 2002, tr. 56.
- [30] Phạm Minh Tuấn. *Lý thuyết động cơ đốt trong*. NXB Khoa học và kỹ thuật, 2008, tr.75.
- [31] Snapon company. *User's manual EEOS104A/ EEOS304A*, pp.5A-18,5B-8.
- [32] Đỗ Văn Dũng. *Trang bị điện và điện tử trên ô tô hiện đại*. NXB Đại học Quốc gia Tp.HCM, 2004, tr. 113-117.
- [33] TOYOTA Company. *Introduction to Engine Control Systems- TOYOTA, Engine Control Systems I - Course L852*. TOYOTA Company, pp.129.
- [34] V.A.W.Hillier. *Fundamentals of Automotive Electronics 2nd Edition*. Stanley Chornes (Publishers) Ltd, 1996, pp.167.
- [35] Rolf K. Eckhoff. *Explosion Hazards in the Process Industries*, 2005, pp.148.
- [36] Rolf Gscheidle et al. *Kỹ thuật ô tô và xe máy hiện đại*. NXB Trẻ, 2016, tr. 643.
- [37] Terrence Lyle Williamson. *Ignition system requirements and their application to the design of capacitor discharge ignition system*. Naval postgraduate school Monterey - California, 1971, pp.13.
- [38] Ulrich Adler. *Automotive hand book*. Bosch, 1993, pp. 461.
- [39] Chapter 11- Inductance and Magnetic Energy. Internet:
<http://web.mit.edu/8.02t/www/802TEAL3D/visualizations/coursenotes/modules/guide1.pdf>, pp.11.6, 20/01/2020.
- [40] IP Gierebxop. *Các mạch điện và từ*. NXB Mir Maxcova, 1986, pp.113.
- [41] *Pico scope waveforms*. Internet:

- <https://www.picoauto.com/library/automotive-guided-tests/primary-voltage-vs-current/>, 21/04/2020.
- [42] Keithley. Capacitor Leakage Measurements Using a Model 6517A Electrometer, Keithley Instruments Inc, Ohio, 2001. Internet: http://www.tek.com/sites/tek.com/files/media/document/resources/Capacitor_Leakage_AN.pdf, 20/06/2016.
- [43] TOYOTA Company. *Toyota computer control system*. TOYOTA company Vietnam, step 3, vol1, pp.6.
- [44] TOYOTA Company. Engine - 1 NZ-FE Engine - Description. Internet: https://www.academia.edu/14068126/ENGINE_-1NZ-FE_ENGINE_EG-2_1NZ-FE_ENGINE, 22/04/2020.
- [45] Công ty TOYOTA. *Tiếng ồn và rung động*. Công ty TOYOTA Vietnam, giai đoạn 3, tập 8, tr. 15.
- [46] Effect of humidity on electronic devices. Internet: http://www.apiste-global.com/enc/technology_enc/detail/id=1263, 10/10/20.
- [47] Temperature effect on diode. Internet: <http://www.exploreroots.com/a18.html>, 10/10/20.
- [48] Nguyễn Như Nguyễn và cộng sự. *Điện tử công nghiệp*. NXB Đại học và Giáo dục chuyên nghiệp, 1988, tr. 567.
- [49] Donald g.fink, Donald christiansen. *Sổ tay kỹ sư điện tử*. NXB Khoa học và kỹ thuật, 2002, tr.251.
- [50] Temperature dependence of the resistance of metals and semiconductors. Internet: <http://remote-lab.fyzika.net/experiment/01/experiment-1-teorie.php?lng=en>, 9/10/20.
- [51] Tổng quan về thử nghiệm tự nhiên. Internet: <http://v-lab.com.vn/tong-quan-ve-thu-nghiem-tu-nhien>, 9/10/2020.
- [52] Trương Văn Tám. Khái niệm về IC- sự kết tụ trong hệ thống điện tử. Internet: <https://voer.edu.vn/m/khai-niem-ve-ic-su-ket-tu-trong-he-thong-dien-tu/>,

20/10/20.

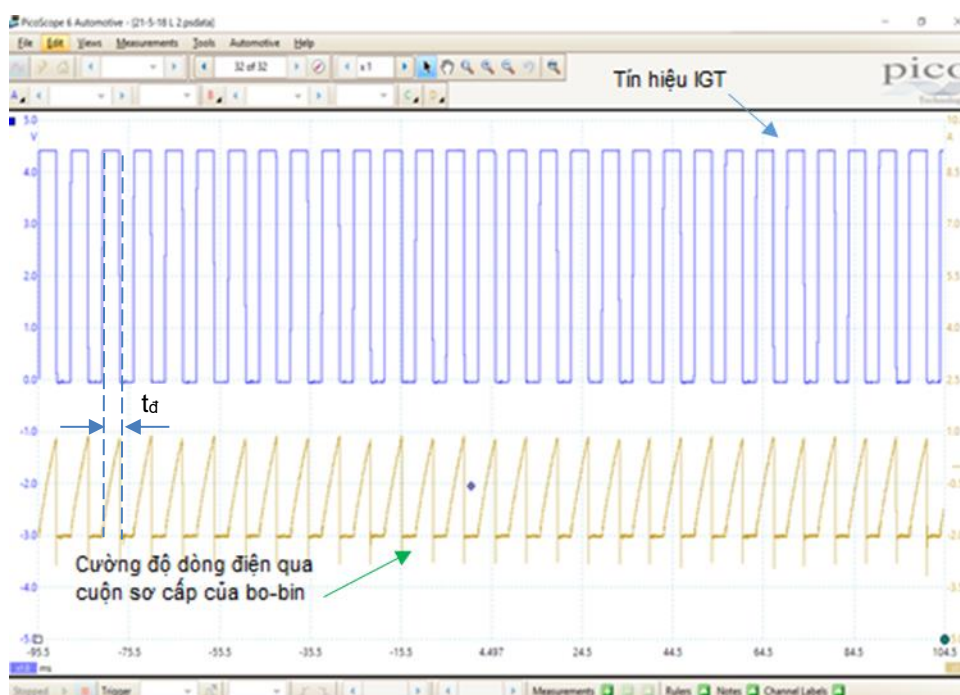
- [53] Akira MOTOYAMA. Technical report Approaches to Life Estimation of Electronic Circuits. Internet: <https://www.test-navi.com/eng/report/pdf/ApproachestoLifeEstimationofElectronicCircuits.pdf>, 20/10/2020.
- [54] New European Driving Cycle. Internet: https://en.wikipedia.org/wiki/New_European_Driving_Cycle, 20/10/2020.
- [55] Car Warranty-Understanding warranties. Internet: <https://www.autoindustriya.com/car-warranty.html>, 20/10/2020.
- [56] Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN6204:2008- Tiêu chuẩn quốc gia TCVN 6204:2008 (ISO 3929 : 2003) về Phương tiện giao thông đường bộ - Phương pháp đo khí thải trong kiểm tra hoặc bảo dưỡng. Internet: <https://vanbanphapluat.co/tcvn-6204-2008-%20phuong-tien-giao-thong-duong-bo-%20do-khi-thai>, 04/04/2020.
- [57] Nguyễn Hữu Lộc. *Cơ sở thiết kế máy*. NXB Đại học Quốc gia Tp.HCM, 2013, tr.41.
- [58] M. F. Cowlshaw. The Characteristics and Use of Lead-Acid Cap Lamps. *Trans British Cave Research Association*. Vol. 1. No. 4, December, 1974, pp.199-214.
- [59] Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 6438:2018 - Tiêu chuẩn quốc gia TCVN 6438:2018 về Phương tiện giao thông đường bộ - Giới hạn lớn nhất cho phép của khí thải. Internet: <https://vanbanphapluat.co/tcvn-6438-2018-phuong-tien-giao-thong-duong-bo-gioi-han-cho-phep-cua-chat-khi>, 04/04/2020.
- [60] John Voelcker. Green car report. Internet: https://www.greencarreports.com/news/1093560_1-2-billion-vehicles-on-worlds-roads-now-2-billion-by-2035-report, 24/04/2020.
- [61] Statista. Breakdown of global car sales in 2017 and 2030 - by fuel technology. Internet: <https://www.statista.com/statistics/827460/global-car-sales-by-fuel-technology/>, 24/04/2020.
- [62] *Michel Sijstermans and Doreen Ewalds*. Cars average 37 kilometres a day.

- Internet: <https://www.cbs.nl/en-gb/news/2012/10/cars-average-37-kilometres-a-day>, 24/04/2020. Trang 107.
- [63] Linda C. Brinson. How much air pollution comes from cars?. Internet: <https://auto.howstuffworks.com/air-pollution-from-cars.htm>, 24/04/2020.
- [64] Electronic Components Datasheet. Internet: <https://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=C1815&sField=4>, 10/04/2020.
- [65] Automotive Diagnostic Oscilloscope. Internet: <https://www.picoauto.com/download/documents/datasheets/4225-and-4425-oscilloscope-data-sheet.pdf>, 10/04/3020.
- [66] System Description of AVL Dynoform. AVL SEA & AUSTRALIA CO.LTD.
- [67] Michal Plint- Anthony Martyr. *Engine Testing theory and practice*. Butterworth Heinemann, 1995, pp.216.04.
- [68] FP7000 SELECT With FixMix™ Keypad Intrinsically Safe PAINT MIXING SCALE Owner's, manual. Internet: <https://www.fillontechus.com/files/uploads/pdfs/FP7000%20Select%20Scale.pdf>, 15/03/2020.
- [69] Exhaust gases analyser HG 520 Heshbon. Internet: http://en.heshbon.com/Pro_Mon/1913, 15/03/2020.
- [71] Võ Nghĩa- Trần Quang Vinh. *Kỹ thuật đo trong động cơ đốt trong và ô tô*. NXB Khoa học và Kỹ thuật, 2008, tr. 221.
- [72] Cục đăng kiểm Việt Nam. *Giáo trình đào tạo đăng kiểm viên cơ giới đường bộ*. NXB Bộ Giao thông vận tải, 2001, tr. 139.
- [73] Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN6208:2014 -Tiêu chuẩn quốc gia TCVN 6208:2014 (ISO 3930:2009) về Dụng cụ đo chất phát thải của xe - Yêu cầu kỹ thuật và đo lường - Kiểm tra đo lường và thử đặc tính. Internet: <https://vanbanphapluat.co/tevn-6208-2014-dung-cu-do-chat-phat-thai-cua-xe-kiem-tra-do-luong-thu-dac-tinh>, 04/04/2020.

Phụ lục 1

XÁC ĐỊNH THỜI GIAN TÍCH LŨY NĂNG LƯỢNG (t_d) TRÊN ĐỘNG CƠ TOYOTA 1NZ-FE

Thời gian tích lũy năng lượng thời gian t_d được xác định bằng phương pháp thực nghiệm, thông qua việc đo đạc trực tiếp độ rộng xung IGT (điều khiển thời gian dòng điện đi qua cuộn sơ cấp của động cơ) từ bộ điều khiển động cơ TOYOTA 1NZ-FE khi động cơ hoạt động tại các số vòng quay khác nhau. Việc thu thập số liệu thực nghiệm được thực hiện thông qua thiết bị đo điện áp và cường độ dòng điện PICO Automotive oscilloscopes 4425 (các thông số kỹ thuật chính của thiết bị được trình bày trong phụ lục 5).



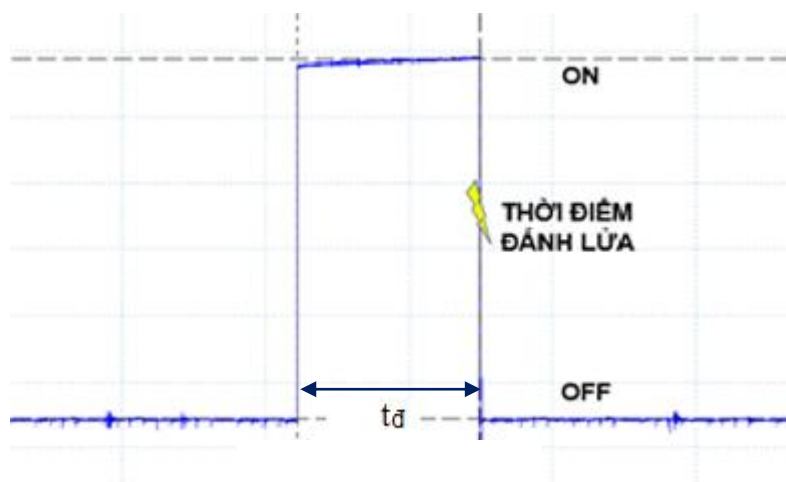
Hình 1: Minh họa ghi nhận số liệu IGT được trên thiết bị đo PICO

Kết quả thực nghiệm

Trên mạch điều khiển đánh lửa hỗn hợp điện dung - điện cảm, IGT là tín hiệu điều khiển đánh lửa từ ECU động cơ. Tín hiệu IGT điều khiển thời gian tích lũy năng

lượng cũng như thời điểm phát sinh tia lửa tại bu-gi. Khi có tín hiệu IGT dòng điện sẽ đi qua cuộn dây sơ cấp của bobin đánh lửa. Khi tín hiệu IGT về không (xem hình 1), dòng điện đi qua cuộn sơ cấp bị ngắt đột ngột chấm dứt quá trình tích lũy năng lượng trên cuộn sơ cấp của bobin. Vì vậy, thời gian xuất hiện xung IGT cũng chính là thời gian tích lũy năng lượng t_d . Độ rộng xung IGT phụ thuộc vào điện áp accu và số vòng quay động cơ. Trên bảng 1 trình bày kết quả thực nghiệm.

Hình 2: Thời gian tích lũy năng lượng t_d theo xung IGT



Bảng 1: Số liệu thời gian tích lũy năng lượng t_d khi thực nghiệm trên động cơ TOYOTA 1NZ-FE theo số vòng quay động cơ.

Tốc độ động cơ (vòng/ phút)	700	1.000	2.000	3.000	4.000	5.000	6.000
Thời gian tích lũy năng lượng t_d (ms)	5,6	5	4,7	4,3	3,9	3,7	3,5

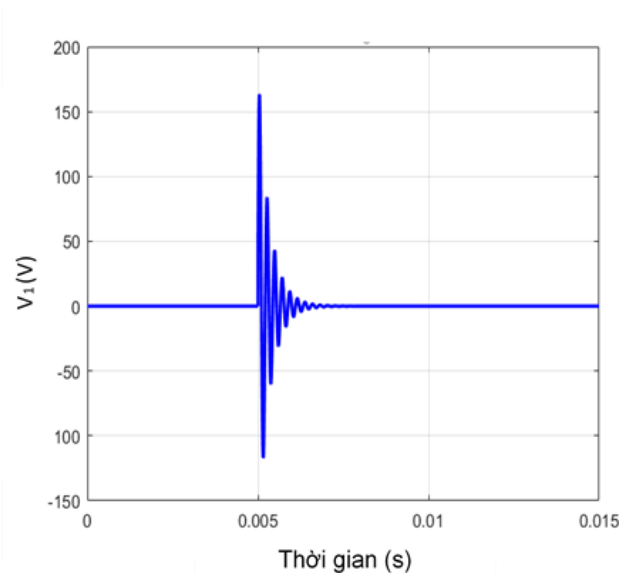
Phụ lục 2

XÁC ĐỊNH GIÁ TRỊ $t = t_{V1m}$ KHI V_1 ĐẠT GIÁ TRỊ CỰC ĐẠI V_{1m}

Công thức (3.17) mô tả sức điện động tự cảm $V_1(t)$

$$V_1(t) = -0,7L_1[(5ax + zy)e^{5xt} \cos(yt) + (5xz - ay)e^{5xt} \sin(yt)] \quad (3.17)$$

Đặc tính của $V_1(t)$ được thể hiện theo Hình 1



Hình 1: Đáp ứng tính toán điện áp sơ cấp V_1 - công thức (3.17)

Có thể viết lại hàm $V_1(t)$ như sau:

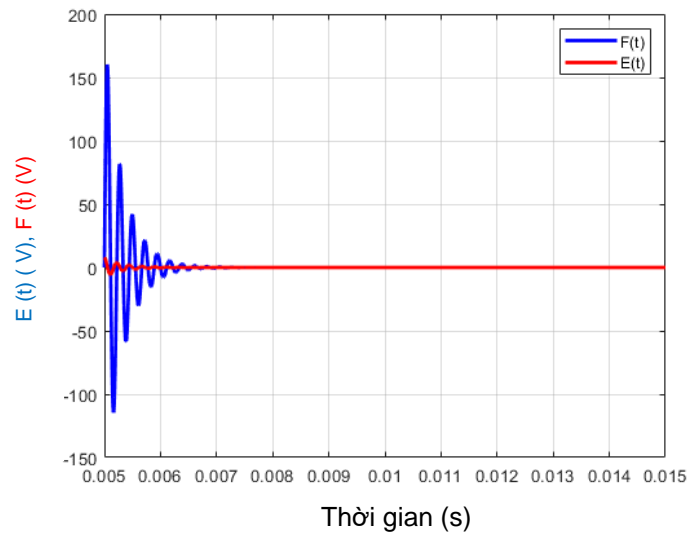
$$V_1(t) = [E(t) + F(t)] \quad (1)$$

$$\text{Với: } E(t) = -0,7L_1 [(5ax + zy)e^{5xt} \cos(yt)] \quad (2)$$

$$F(t) = -0,7L_1 [(5xz - ay)e^{5xt} \sin(yt)] \quad (3)$$

Quan hệ giữa hai thành phần $E(t)$ và $F(t)$ trong hàm $V_1(t)$ được thể hiện trong Hình 2

Từ Hình 2 ta thấy khi hàm lượng $F(t)$ có giá trị nổi trội hơn so hàm $E(t)$.



Hình 2: Biểu diễn đặc tính của $F(t)$ và $E(t)$

Xác định giá trị t sao cho $V_I(t)$ đạt cực đại

Khi hàm $F(t)$ đạt giá trị cực đại ($F_m = 160,3V$), lúc này hàm $E(t)$ có giá trị $0V$

Như vậy, Khi $F(t)$ tiến tới giá trị cực đại F_m , giá trị $V_I(t)$ cũng đạt giá cực đại V_{Im}

Hay giá trị t sao cho $F(t)$ đạt giá trị cực đại F_m cũng chính là giá trị $t = t_{VIm}$, tương ứng với giá trị V_I đạt giá trị cực đại V_{Im} .

Giá trị $t = t_{VIm}$ được xác định như sau:

$$F'(t) = [-0,7L_1[(5xz - ay)e^{5xt} \sin(yt)]'$$

$$\text{Đặt } A = -0,7L_1(5xz - ay)$$

$$\text{Vậy } F'(t) = A[e^{5xt} \sin(yt)]'$$

$$F'(t) = Ae^{5xt}[5x \sin(yt) + y \cos(yt)]$$

$$F'(t) = 0, \text{ khi } [5x \sin(yt) + y \cos(yt)] = 0$$

$$5x \sin(yt) = -y \cos(yt)$$

$$\text{Hay } t = \arctan\left(-\frac{y}{5x}\right)$$

Vậy: $V_I(t)$ sẽ đạt giá trị cực đại V_{Im} khi $t_{VIm} = t = \arctan\left(-\frac{y}{5x}\right)$

Phụ lục 3

MÔ TẢ BOBIN DÙNG CHO ĐỘNG CƠ TOYOTA 1MZ-FE

Trên bảng 1 trình bày mô tả các thông số chính của Bobin sử dụng trên động cơ 1MZ-FE (sử dụng trên xe Lexus ES300 3.0L)

Bảng 1: Các thông số chính của bobin sử dụng trên động cơ TOYOTA 1MZ-FE

Tên chi tiết	Mô tả	Đặc điểm	
Bobin	Mã số TOYOTA 90919-02214	Hệ số tự cảm của cuộn sơ cấp	$L = 1,25\text{mH}$
		Điện trở của cuộn sơ cấp	$R = 1,2\Omega$



Hình 1: Bobin dùng cho động cơ TOYOTA 1MZ-FE

Phụ lục 4

CÁC TÍNH TOÁN TRONG CHẾ TẠO MẠCH ĐÁNH LỬA HỖN HỢP ĐIỆN DUNG – ĐIỆN CẢM

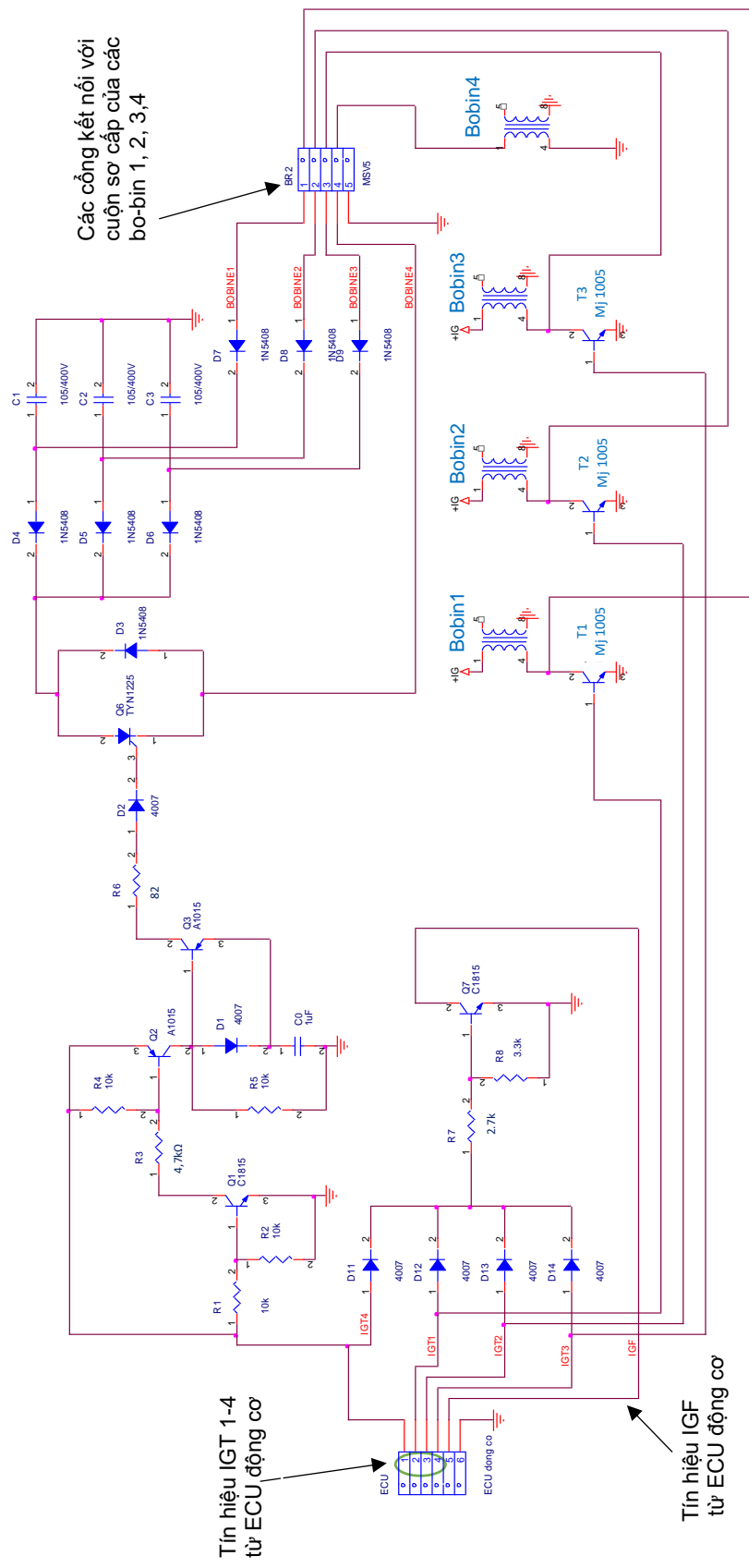
1 Mô tả hoạt động của mạch đánh lửa hỗn hợp điện dung – điện cảm

Hệ thống bao gồm hai chế độ làm việc: chế độ đánh lửa điện cảm và chế độ đánh lửa điện dung.

Ở chế độ đánh lửa điện cảm, thông qua các tín hiệu IGT1, IGT2, IGT3, ECU động cơ sẽ điều khiển lần lượt các transistor T1-3 làm việc, thực hiện quá trình đánh lửa đánh lửa trên các tổ máy 1, 2, 3. Năng lượng tự cảm “thừa” trên các Bobin 1, Bobin 2, Bobin 3, sẽ được tích lũy vào các tụ C1, C2, C3 tương ứng.

Ở chế độ đánh lửa điện dung, khi nhận tín hiệu IGT4 từ ECU điều khiển động cơ transistor Q1 dẫn, sẽ tác động làm transistor Q2 dẫn, tụ C0 sẽ được nạp với điện áp với điện áp $\sim 4V$. Khi tín hiệu IGT4 ($\sim 5V$) về không, năng lượng từ tụ C0 sẽ tạo ra dòng I_B qua R5 làm transistor Q3 dẫn, tạo dòng điều khiển cho SCR làm việc. Năng lượng tích lũy trên các tụ C1, C2, C3 từ quá trình đánh lửa điện cảm sẽ được phóng thích qua Bobin 4 thực hiện đánh lửa điện dung.

Các tín hiệu IGT₁₋₄ từ ECU động cơ qua các diode D11-14 tạo dòng điều khiển cho transistor Q7 làm việc. Khi Q7 dẫn, điện áp 5V từ chân IGF trên ECU động cơ sẽ giảm về 0V, tạo tín hiệu IGF về ECU động cơ, giúp ECU nhận biết quá trình đánh lửa xảy ra.



Các cổng kết nối với cuộn sơ cấp của các bobin 1, 2, 3, 4

Tín hiệu IGT 1-4 từ ECU động cơ

Tín hiệu IGF từ ECU động cơ

Hình 1: Sơ đồ cấu tạo của hệ thống đánh lửa hỗn hợp điện dung-điện cảm

Bảng 1: Các thông số chính của linh kiện sử dụng trong mạch [64]

TT	Tên linh kiện trong mạch	Mã linh kiện	Các thông số chính của linh kiện
1	SCR Q6	TYN 1225	<ul style="list-style-type: none"> - $I_{Tmax} = 25A$ - $I_{GTmax} = 40mA$ - $V_{DRM} = 1200V$ - $T_j = -40^{\circ}C$ đến $+125^{\circ}C$
2	Transistor Q1, Q7	C1815	<ul style="list-style-type: none"> - $I_{Cmax} = 150 mA$ - $I_{Bmax} = 50mA$ - $V_{CEO} = 50V$ - $h_{FE} = 300$ - $T_j = -40^{\circ}C$ đến $+125^{\circ}C$
3	Transistor Q2, Q3	A1015	<ul style="list-style-type: none"> - $I_{Cmax} = 150 mA$ - $I_{Bmax} = 50mA$ - $V_{CEO} = -50V$ - $h_{FE} = 300,$ - $T_j = -40^{\circ}C$ đến $+125^{\circ}C$
4	Diode: D1, D2, D11, D12, D13, D14	1N 4007	<ul style="list-style-type: none"> - $I_{Fmax} = 1A,$ - $I_{FSM} (8,3ms) = 30A$ - $V_{RRM} = 1.000V$ - $T_j = -55^{\circ}C$ đến $+175^{\circ}C$
5	Diode: D3, D4, D5, D6, D7, D8, D9	1N5408	<ul style="list-style-type: none"> - $I_{Fmax} = 3A,$ - $I_{FSM} (8,3ms) = 200A$ - $V_{RRM} = 1.000V$ - $T_j = -55^{\circ}C$ đến $+150^{\circ}C$
7	Điện trở R1, R2, R3, R4, R5, R6, R7, R8	Yageo loại dán 0805	Công suất làm việc $P = 0,125W$
8	Tụ điện: C1, C2, C3	105J- 400V CBB	<ul style="list-style-type: none"> - $C = 1 \mu F$ - $V = 400V$ - $T = -40^{\circ}C$ đến $100^{\circ}C$

	Transistor T1, T2, T3	MJ 10005	<ul style="list-style-type: none"> - $I_{Cmax} = 30A$ - $I_{Bmax} = 5A$ - $V_{CEO} = 400V$ - $h_{FE} = 200$ - $T_j = -65^{\circ}C$ đến $+200^{\circ}C$
--	-----------------------	----------	---

2 Các nội dung cần tính toán

2.1 Các yêu cầu khi lựa chọn linh kiện

Để thỏa mãn điều kiện bền cho các linh kiện hoạt động trong mạch. Các yêu cầu khi chọn lựa các linh kiện như sau:

Transistor

- Điều kiện bão hòa: transistor được dẫn bão hòa khi: $I_{B- thực\ tế} > I_{B-bh} \geq I_C / h_{FE}$
- Điều kiện bền: transistor thỏa điều kiện bền: $I_{Bmax} > I_{B- thực\ tế}$, $I_{Cmax} \leq I_C$ và điện áp làm việc của transistor < điện áp làm việc cực đại V_{CEO}

SCR

- Dòng điều khiển: dòng điều khiển của SCR: $I_{GT} < I_{GTmax}$
- Điều kiện bền: dòng tải của SCR: $I_T < I_{Tmax}$ và điện áp ngược đặt lên SCR (điện áp tự cảm trên cuộn dây bobine) < V_{DRM} của SCR

Điện trở

- Công suất làm việc thực tế của điện trở (tỏa nhiệt) < công suất làm việc cho phép

Diode

- Dòng điện qua diode $I_{FSM} < I_{FSM-max}$, trong thời gian xuất hiện xung nhỏ hơn giá trị cho phép.

Ngoài ra nhiệt độ môi trường làm việc phải nằm trong vùng làm việc theo nhiệt độ của các linh kiện (T_j)

2.2 Tính toán các linh kiện

2.2.1 Tính toán cho transistor Q2

Xung điều khiển đánh lửa IGT từ ECU (TOYOTA 1NZ-FE) dạng xung vuông có điện áp $V_{IGT} = 5V$, điện trở ngõ ra có giá trị $R_0 = 30\Omega$. Vì vậy, dòng $I_{C-Q2} = (V_{IGT} - V_{D1}) / R_0 = (5 - 0,7) / 30 = 143mA$

Điều kiện bão hòa

- Dòng $I_{B-bh-Q2} = I_{C-Q2}/h_{FE-Q2}$, hay: $I_{B-bh-Q2} = 143/300 = 0,47mA$.
- R3 phải thỏa điều kiện bão hòa $I_{B-Q2- thực\ tế} = (V_{IGT} - V_{D1})/R3 > I_{B-bh-Q2}$
Chọn $R3 = 4,7k\Omega$, $I_{B-Q2- thực\ tế} = (5 - 0,7)/4.700 = 0,91mA > 0,47mA$
- Dòng $I_{B-Q2- thực\ tế} = 0,91mA \gg I_{B-bh-Q2} = 0,47mA$, đảm bảo Q2 bão hòa sâu

Điều kiện bền

- $I_{B-Q2- thực\ tế} = 0,91mA < I_{B-Q2\ max} = 50mA$
- $I_{C-Q2} = 143mA \ll I_{C-Q2\ max} = 150mA$, đảm bảo độ bền cho transistor Q2.

2.2.2 Tính toán cho transistor Q1

- Dòng $I_{C-Q1} = I_{B-Q2} = 0,91mA$

Điều kiện bão hòa

- Dòng $I_{B-bh-Q1} = I_{C-Q1} / h_{FE-Q1} = 0,91mA / 300 = 3\mu A$
- R1 phải thỏa điều kiện bão hòa: $I_{B-Q1- thực\ tế} = (V_{IGT} - V_{Q1})/R1 > I_{B-bh-Q1}$
Chọn $R1 = 10k\Omega$, $I_{B-Q1- thực\ tế} = (5 - 0,7)/10.000 = 0,43\ \mu A > 3\mu A$.
- Dòng $I_{B-Q1- thực\ tế} = 0,43\ \mu A > I_{B-bh-Q1} = 3\mu A$, đảm bảo Q1 bão hòa.

Điều kiện bền

- $I_{B-Q1- thực\ tế} = 0,43\mu A < I_{B-Q1\ max} = 50mA$
- Đồng thời, $I_{C-Q1} = 0,91mA < I_{C-Q1\ max} = 150mA$, bảo đảm bền cho transistor Q1
- R2 và R4 chống dòng rò cho Q1 và Q2 nên chọn $10k\Omega$.

2.2.3 Tính toán cho SCR Q6

- Điện áp nạp tụ C0 (U_0) được tính toán như sau:

$$U_0 = V_{R5} - V_{D1} = V_{IGT} / (1 + R0/R5) - 0,7 = 5 / (1 + R0/R5) - 0,7 = 4,2V$$

- Với thời gian tích lũy năng lượng trên động cơ TOYOTA 1NZ-FE nhỏ nhất $t_d = 3,5ms$, (thời gian nạp đầy tụ $= 4R0.C0 = 4.30.10^{-6} = 120\mu s$) nên bảo đảm điện áp nạp tụ đạt giá trị $U_0 = 4,2V$.

Dòng điều khiển SCR

- Dòng điều khiển SCR: $I_{GT-Q6} = (U_0 - U_{D2} - U_{SCR}) / R6 < I_{GT-Q6\ max} = 40mA$
- Chọn $R6 = 82\Omega$, $I_{GT-Q6} = (U_0 - U_{D2} - U_{SCR}) / R6 = (4,2 - 0,7 - 0,7) / 82 \sim 34mA$.

- Theo tính toán trên, dòng kích SCR $I_{GT-Q6} = 34\text{mA} < I_{GT-Q6\text{max}} = 40\text{mA}$ của SCR. Đảm bảo dòng điều khiển cho SCR Q6.

Điều kiện bền

- Ngoài ra, dòng điện đi qua SCR Q6: $I_T = i_{d\text{max}} = 21\text{A}$ và có điện áp lớn nhất $= V_{1m} = 195\text{V}$ (trang 67), nên thỏa mãn điều kiện: $I_T < I_{T-Q6\text{max}} = 25\text{A}$ và điện áp ngược đặt lên SCR- Q6 $\ll V_{DRM-Q6} = 1200\text{V}$ nên bảo đảm bền cho SCR Q6.

2.2.4 Tính toán cho transistor Q3

- Dòng $I_{C-Q3} = I_{GT-Q6} = 34\text{mA}$

Điều kiện bão hòa

- Dòng $I_{B-bh-Q3} = I_{C-Q3} / h_{FE-Q3} = 34 / 300 = 0,11\text{mA}$
- R5 phải thỏa điều kiện $I_{B-Q3- \text{thực tế}} = (U_0) / R5 > I_{B-bh-Q3}$
 Chọn $R5 = 10\text{k}\Omega$, ta được $I_{B-Q3- \text{thực tế}} = 4,2 / 10.000 = 0,42\text{mA} > 0,11\text{mA}$
- Dòng $I_{B-Q3- \text{thực tế}} = 0,42\text{mA} > I_{B-bh-Q3} = 0,11\text{mA}$, đảm bảo Q3 bão hòa sâu.

Điều kiện bền

- $I_{B-Q3- \text{thực tế}} = 0,42\text{mA} < I_{B-Q1 \text{max}} = 50\text{mA}$
- $I_{C-Q3} = 34\text{mA} < I_{C-Q3\text{max}} = 150\text{mA}$, bảo đảm bền cho transistor Q3.

2.2.5 Tính toán cho transistor Q7

- $I_{B-Q7} = (V_{IGT} - V_{D11} - V_{Q7}) / (R7 + R0)$

Điều kiện bão hòa

- R7 phải thỏa điều kiện bão hòa $I_{B-Q7- \text{thực tế}} = (V_{IGT} - V_{D11} - V_{Q7}) / (R7 + R0) > I_{B-bh-Q7}$

Trên động cơ TOYOTA 1NZ-FE, dòng IGF = 120mA = I_{C-Q7}

- $I_{B-bh-Q7} = I_{C-Q7} / h_{FE-Q7} = 120\text{mA} / 300 = 0,4\text{mA}$
 Chọn $R7 = 2,7\text{k}\Omega$, dòng $I_{B-Q7- \text{thực tế}} = (5 - 0,7 - 0,7) / 2.730 = 1,3\text{mA}$.

- $I_{B-Q7- \text{thực tế}} = 1,3\text{mA} > I_{B-bh-Q7} = 0,4\text{mA}$, thỏa điều kiện bão hòa

Điều kiện bền

- $I_{B-Q7- \text{thực tế}} = 1,3\text{mA} \ll I_{B-Q7\text{max}} = 150\text{mA}$.
- $I_{C-Q7} = 120\text{mA} < I_{C-Q7\text{max}} = 150\text{mA}$, đảm bảo độ bền cho transistor Q7

2.2.6 Tính toán cho transistor T1

Dòng $I_{C-T1} = 12,6 / 1,5 = 8,4 \text{ A}$ (Dòng điện qua điện trở cuộn sơ cấp của bobin đánh lửa điện cảm)

Điều kiện bão hòa

- $I_{B-bh-T1} = I_{C-T1} / h_{FE-T1} = 8,4A / 200 = 42mA$
- $I_{B-T1- thực\ tế} = (V_{IGT} - V_{T1}) / R_0$, hay $I_{B-T1- thực\ tế} = (5 - 1,4) / 30 = 120mA$
- $I_{B-T1- thực\ tế} = 120mA > I_{B-bh-T1} = 42mA$, đảm bảo T1 bão hòa sâu

Điều kiện bền

- $I_{B-T1- thực\ tế} = 120mA \ll I_{B-T1max} = 5A$.
- $I_{C-T1} = 8,4 \text{ A} \ll I_{C-T1- max} = 30A$, đảm bảo độ bền cho transistor T1

Bảng 2: So sánh các thông số làm việc của các linh kiện trong mạch

Transistor	Mã linh kiện	Thông số thực tế		Thông số nhà sản xuất	
		I_B - thực tế	I_C	I_{Bmax}	I_{Cmax}
Q1	C1815	$3\mu A$	0,91mA	50mA	150mA
Q2	A1015	0,91mA	143mA	50mA	150mA
Q3	A1015	0,42mA	34mA	50mA	150mA
Q7	C1815	1,3mA	120mA	50mA	150mA
T1	MJ10005	120mA	8,4 A	5A	30A
SCR	Mã linh kiện	I_{GT}	I_T	I_{GTmax}	I_{Tmax}
Q6	TYN 1225	34mA	21A	40mA	25A

Từ Bảng 2 ta thấy các thông số làm việc thực tế của transistor, SCR đều thỏa mãn các yêu cầu khi lựa chọn linh kiện ở phần 2.1

2.2.7 Tính toán công suất làm việc thực tế của các điện trở

Công suất làm việc thực tế trên điện trở được tính bằng công thức:

$$P = I^2.R = U^2/R = U.I$$

Các điện trở trong mạch sử dụng điện trở dán có công suất = 0,125W, công suất làm việc thực tế của các điện trở được liệt kê trong Bảng 3.

Bảng 3: Liệt kê công suất tỏa nhiệt khi làm việc của điện trở

Điện trở	I (mA)	U (V)	R(Ω)	P (mW)
P _{R1}	0,43mA		10k Ω	1,85mW
P _{R2}		0,7V	10k Ω	0,049mW
P _{R3}	0,91mA		4,7k Ω	3,9mW
P _{R4}		0,7V	10k Ω	0,049mW
P _{R5}		4,2V	10k Ω	1,76mW
P _{R6}	34mA		82 Ω	94,8mW
P _{R7}	1,3mA		2,7k Ω	4,5mW
P _{R8}		0,7	3,3k Ω	0,15mW

Từ Bảng 3 cho thấy công suất của các điện trở được chọn (công suất hoạt động $P = 0.125W$) lớn hơn công suất làm việc thực tế. Vì vậy, các điện trở sử dụng trong mạch thoả mãn điều kiện làm việc lâu dài.

2.2.8 Tính toán các diode

- Dòng điện cực đại tối đa qua các diode D3-D9 có giá trị $I_F = i_{dmax} / 3 = 21 / 3 = 7A$ (trong thời gian $t = 0,1-0,3ms$) [5,38], Như vậy: $I_F \ll I_{FSM} = 200A$ (trong thời gian: $t = 8,3ms$)
- Các diode: D1, D2 có giá trị $I_{FSM} (8,3ms) = 30A$ lần lượt lớn hơn các giá trị $I_{FSM-D1} = I_{C-Q2} = 143mA$ và $I_{FSM-D2} = I_{GT-Q6} = 34mA$. (trong thời gian tối đa $5,6ms < 8,3ms$)
- Các diode: D11, D12, D13, D14 có giá trị $I_{FSM} (8,3ms) = 30A \gg I_{F-D11} = I_{B-Q7} = 1,3mA$ ($5,6ms < 8,3ms$).

Các diode trên hoạt động với cường độ dòng điện nhỏ hơn rất nhiều so với giá trị giá trị dòng điện thuận định mức ($I_{F\ SM} \ll I_{FSM\ max}$). Vì vậy, có thể bảo đảm các diode làm việc lâu dài.

3 Nhận xét:

Các tính toán trên cho thấy việc lựa chọn các linh kiện transistor, SCR, diode, điện trở đều thỏa mãn các yêu cầu khi lựa chọn linh kiện ở phần 2.1. Các linh kiện trên đều có nhiệt độ làm việc (T_j) thỏa mãn môi trường nhiệt độ cao của khoang động cơ (vị trí nóng nhất: 96°C). Ngoài ra, hệ thống đánh lửa hỗn hợp điện dung - điện cảm làm việc với điện áp 12V, nhỏ hơn giá trị điện áp làm việc tối đa cho phép của linh kiện (xem Bảng 1).

Vì vậy, có thể kết luận các linh kiện trên thỏa mãn điều kiện làm việc lâu dài trong mạch.


Phụ lục 5

TRANG THIẾT BỊ THỰC NGHIỆM

1 Thiết bị đo điện áp và cường độ dòng điện PICO Automotive oscilloscopes 4425

Các thực nghiệm (đo cường độ dòng điện và điện áp) trong luận án, sử dụng thiết bị chuyên dụng trên ô tô Picoscope 4425, có 4 kênh đo, giao tiếp với máy tính với các đặc điểm chính thể hiện trên Bảng 1.

Bảng 1: Các thông số của thiết bị đo Automotive oscilloscopes 4425 [65]

Tên thiết bị: PICO Automotive oscilloscopes 4425 [65]	
Thông số	Đặc tính
Băng thông	20 Mhz
Độ phân giải	12bits
Cấp chính xác	0,05%
Tốc độ lấy mẫu	400 Ms/s
Bộ nhớ đệm	256 MS
Khoảng đo (full scale)	Từ ± 50 mV tới ± 200 V
Kết nối	Máy tính bàn hay máy tính xách tay sử dụng Windows 7, 8 hay 10
Nguồn cung cấp	Cổng USB

2 Bảng thử công suất AVL Dynoperform 160 [66]

Các thực nghiệm xác định moment và công suất của động cơ TOYOTA 1NZ-FE trong luận án, sử dụng bảng thử công suất AVL Dynoperform 160.

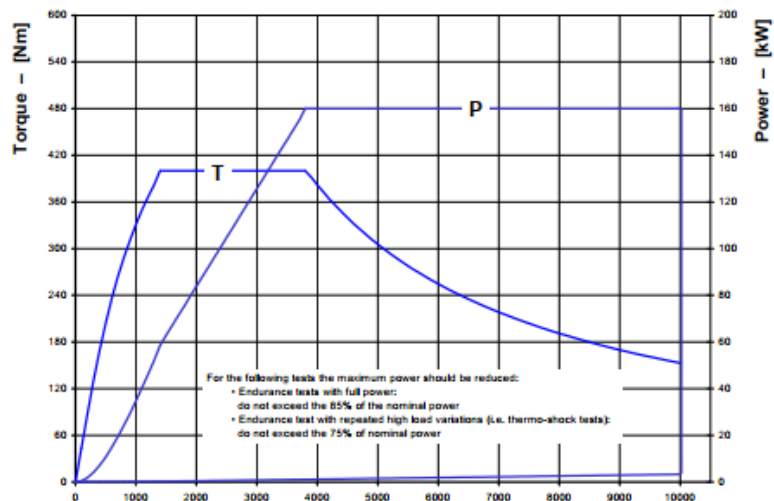
Bảng thử công suất AVL Dynoperform 160 sử dụng nguyên lý dòng điện xoáy (eddy current), khi rotor quay mật độ từ trường thay đổi và dòng điện xoáy được gây ra trên bề mặt của rotor. Từ trường của dòng điện xoáy sẽ chống lại với từ trường sinh ra nó và có tác dụng hãm hoạt động của rotor. Lực phanh tỷ lệ thuận với dòng điện kích thích trên stator. Năng lượng phanh sẽ được chuyển thành dạng nhiệt và được hấp thụ bởi nước làm mát chảy qua stator [67]. Việc điều khiển tải thông qua bộ điều khiển bướm ga Throttle actuator THA 100, việc điều chỉnh và thu thập các số liệu về tốc độ động cơ (RPM), momen có ích M_e (Nm), công suất có ích N_e (kW)... được hệ thống hệ thống điều khiển và thu thập dữ liệu AVL EMCOM 400 và AVL IndiCOM thực hiện. Các đặc tính chính của bảng thử thể hiện trong bảng 5.7.

Bảng 2: Thông số kỹ thuật của bảng thử AVL Dynoperform 160 [66]

Thông số kỹ thuật	Đặc tính
Công nghệ	Eddy current
Moment tối đa	400 Nm (1.400 - 3.800 RPM)
Công suất tối đa	160 kW (3.800 -10.000 RPM)
Số vòng quay lớn nhất	10.000 RPM
Cấp chính xác khi đo moment	0,2 % FS
Cấp chính xác của số vòng quay	+/- 1 RPM



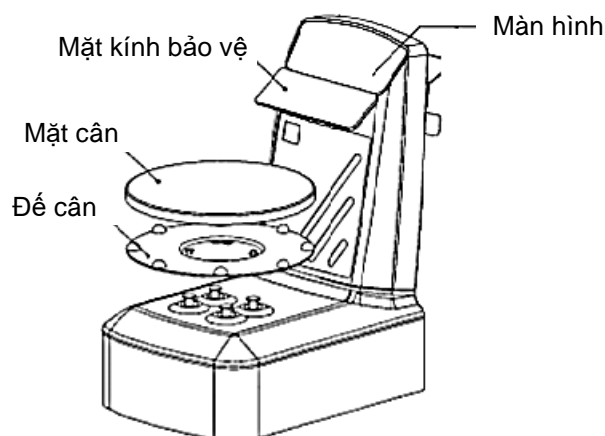
Hình 1: Băng thử công suất AVL Dynoperform160 [66]



Hình 2: Đặc tính của băng thử công suất AVL Dynoperform 160 [66]

3 Thiết bị đo tiêu hao nhiên liệu FP7000 model 406 - II

Lượng tiêu hao nhiên liệu được xác định bằng phép cân trực tiếp thông qua thiết bị cân FP7000 model 406 - II của hãng fillon Pichon. Thiết bị cho phép đo lượng tiêu hao nhiên liệu, cho phép cập nhật số liệu liên tục 6 lần/ giây và có cấp chính xác 0,1 gram. Các thông số chính của thiết bị được mô tả trong bảng 5.8.



Hình 3: Thiết bị cân FP7000 model 406 –II của hãng Fillon Pichon [68]

Bảng 3: Đặc tính của thiết bị cân FP7000 model 406 –II (Fillon Pichon)[68]

Thông số	Đặc tính
Phạm vi cân	0 – 7.000 grams (7kg)
Sai số	0,1 gram
Thời gian ổn định	< 1,5 giây
Tốc độ cập nhật	6 lần/s

4 Máy phân tích khí thải [69]

Đánh giá phát thải của động cơ xăng thông qua thành phần khí thải của động cơ như CO (% vol), HC (ppm). Thiết bị HG-520 của hãng HESHBON- HG-520 được sử dụng trong thực nghiệm, có chức năng xác định và hiển thị thành phần Carbon oxide (CO) và Hydrocacbon (HC) có trong khí thải của động cơ [58]. Thành phần CO được xác định bằng bộ phân tích hồng ngoại không tán sắc (NDIR- Nondispersive infrared analyser) [69,70], thành phần HC (hydrocarbon) được xác định bằng bộ dò ngọn lửa ion hóa (FID- Flame ionization detector) [69- 72]. Các thông số chính của thiết bị được thể hiện trong bảng 4.



Hình 4: Thiết bị phân tích khí thải HG-520 của hãng HESHBON - Hàn Quốc [69]

Bảng 4: Các thông số của thiết bị đo khí thải HG-520 của hãng HESHBON [69]

Thông số	Phạm vi
CO	0,00 – 9,99 %
CO ₂	0,0 – 20,0 %
HC	0 – 9.999 ppm
Hệ số Lamda	0 – 2
AFR	0,0 – 99,0
Nhiệt độ hoạt động	0 – 40 ^o C
Nguồn điện hoạt động	AC220V 50/60Hz

Cấp chính xác của thiết bị đo khí thải phù hợp với TCVN 6208:2014 (ISO 3930:2009) về dụng cụ đo chất phát thải động cơ [73].

CÁC KẾT QUẢ ĐÃ CÔNG BỐ CỦA LUẬN ÁN

1. **Am Do Quoc**, Dung Do Van, Le Khanh Diem, Tan Le Khanh. An Application of hybrid method for improving of ignition system in small power explosion engine. *International conference on advances in civil, structural and mechanical engineering*, 21-22 February, 2015, pp. 31.
2. **Đỗ Quốc Âm**, Đỗ Văn Dũng, Lê Khánh Tân. Nghiên cứu mô hình đánh lửa hybrid. *Hội nghị khoa học và công nghệ toàn quốc về cơ khí Thành phố Hồ Chí Minh*, 6-11-2015, tr. 411.
3. Do Van Dung, **Do Quoc Am**, Nguyen Tan Ngoc. Effects of Resistance, Capacitance and Self-Inductance on Accumulated Energy in the Hybrid Ignition system. *International conference on system science and engineering Hochiminh city*, July 21-23rd/2017, pp.349.
4. **Do Quoc Am**, Do Van Dung, Nguyen Tan Ngoc. Estimation of the Accumulated Energy in the Hybrid Ignition System. *International conference on green technology and sustainable development Hochiminh city*, November 23rd–24th, 2018, pp.201.
5. Đinh Tấn Ngọc, Đỗ Văn Dũng. **Đỗ quốc Âm**. Nghiên cứu, đánh giá một số phương pháp mới đo tốc độ động cơ. *Tạp chí khoa học và giáo dục kỹ thuật trường ĐHSPKT. TP HCM*, số 30, tháng 11-2014.
6. **Đỗ quốc Âm**, Đỗ Văn Dũng, Phan Nguyễn Quý Tâm, Lê Khánh Tân. Tính toán sức điện động tự cảm trên hệ thống đánh lửa lai. *Tạp chí khoa học và giáo dục kỹ thuật trường ĐHSPKT. TP HCM*, số 32, tháng 4- 2015.
7. Phan Nguyễn Quý Tâm, Đỗ Văn Dũng, **Đỗ quốc Âm**, Nguyễn Bá Hải. Nghiên cứu, thi công hệ thống tích lũy năng lượng điện dạng cảm kháng trên ô tô. *Tạp chí khoa học và giáo dục kỹ thuật trường ĐHSPKT. TP HCM*, số 32, tháng 4 – 2015.
8. **Do Quoc Am**, Do Van Dung, Nguyen Tan Ngoc. Effects of capacitor on the hybrid ignition system. *Journal of Applied Mechanics and Materials* (ISSN

print 1660-9336 and ISSN web 1662-7482) SWITZERLAND, Mar 06th , 2019.

9. **Đỗ Quốc Âm**, Đỗ Văn Dũng, Nguyễn Tấn Ngọc. Phân tích quá trình đánh lửa điện dung trên hệ thống đánh lửa lai hỗn hợp điện dung - điện cảm. *Tạp chí khoa học và giáo dục kỹ thuật trường ĐHSPKT. TPHCM*, số 57, 2020.