

**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**

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ

NGÀNH: KỸ THUẬT CƠ KHÍ

MÃ SỐ: 9520103

Tp Hồ Chí Minh, tháng 11/ năm 2020

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

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

Người hướng dẫn khoa học II: TS Lâm Mai Long

Luận án tiến sĩ được bảo vệ trước
HỘI ĐỒNG CHẤM LUẬN ÁN TIẾN SĨ
TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT
Ngày tháng năm 2020

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 Ám**, 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 Ám**. 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. TPHCM*, số 30, tháng 11-2014.
6. **Đỗ quốc Ám**, 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. TPHCM*, số 32, tháng 4- 2015.
7. Phan Nguyễn Quý Tâm, Đỗ Văn Dũng, **Đỗ quốc Ám**, 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. TPHCM*, 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 Ám**, 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.

Mở đầu

Chương 1 TỔNG QUAN

1.1 Lý do chọn đề tài nghiên cứu

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 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.

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

1.2.2 Tình hình nghiên cứu trong nước

1.2.3 Kết luận – Đề xuất nghiên cứu

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.

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

1.4 Đối tượng, phạm vi và phương pháp nghiên cứu

1.4.1 Đối tượng nghiên cứu:

Hệ thống đánh lửa sử dụng trên động cơ xăng.

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 xylanh) 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

Luận án sử dụng phương pháp nghiên cứu tham khảo tài liệu, tính toán, mô phỏng và thực nghiệm kiểm chứng

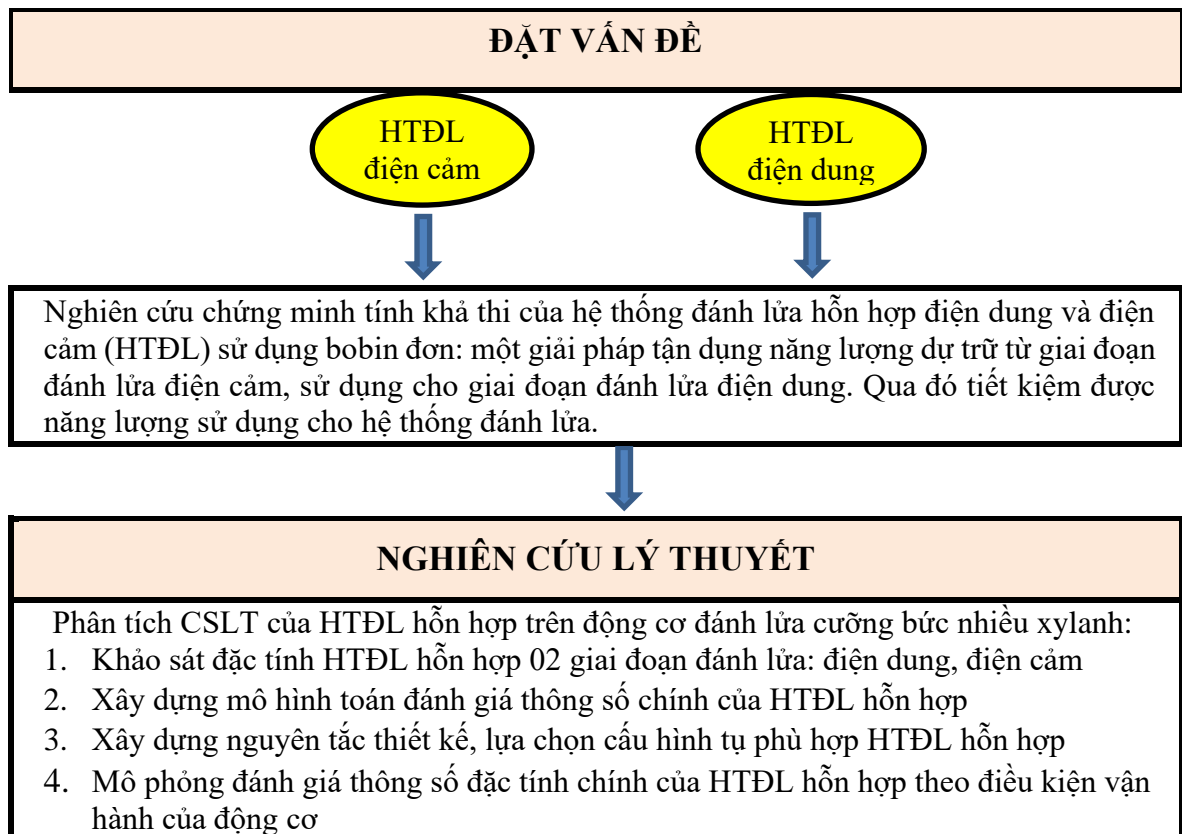
1.5 Các nội dung chính và dự kiến kết quả nghiên cứu

1.5.1 Dự kiến các nội dung trong đề tài

1.5.2 Dự kiến kết quả nghiên cứu

Các bước thực hiện trong luận án được thể hiện theo sơ đồ nghiên cứu sau

Bảng 1.1: Lưu đồ nghiên cứu





NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM

Nghiên cứu đánh giá HTĐL hỗn hợp trên động cơ thực nghiệm nhiều xy lanh:

1. Thiết kế chế tạo và lắp đặt HTĐL hỗn hợp trên động cơ 04 xy lanh;
2. Đánh giá thực nghiệm đối chứng thông số đặc tính tiêu biểu (moment, TTNL,..) của động cơ khi sử dụng HTĐL hỗn hợp và HTĐL truyền thống, trong các điều kiện vận hành cụ thể (tải và tốc độ thay đổi dãy rộng).



KẾT QUẢ, BÀN LUẬN

Đánh giá hai kết quả chính:

1. Đánh giá khả năng thu hồi, tích lũy sức điện động tự cảm phục vụ cho giai đoạn đánh lửa điện dung
2. Ảnh hưởng của HTĐL hỗn hợp đến tính năng vận hành (thông số đặc tính ngoài tiêu biểu) của động cơ cụ thể



HTĐL hỗn hợp
điện dung- điện cảm

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

2.2 Quá trình cháy trên động cơ đốt trong dùng nhiên liệu xăng

2.3 Các thông số chủ yếu của hệ thống đánh lửa

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

2.3.2 Hiệu điện thế đánh lửa V_{dl} [1, 4]

2.3.3 Hệ số dự trữ K_{dt}

2.3.4 Tốc độ biến thiên của hiệu điện thế thứ cấp S [1, 32]

2.3.5 Tần số và chu kỳ đánh lửa [1]

2.3.6 Thời gian tích lũy năng lượng (t_a)

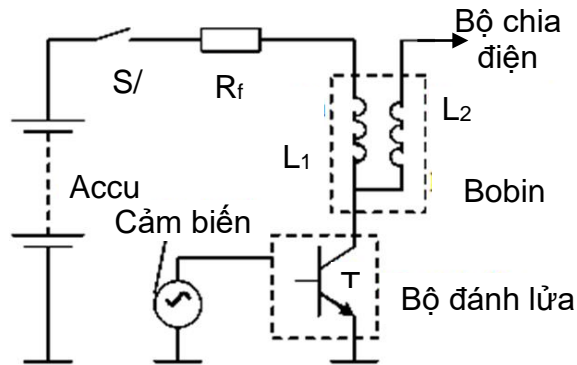
2.4 Năng lượng đánh lửa

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

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

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]

Quá trình đánh lửa được chia làm ba giai đoạn

2.5.1 Giai đoạn tăng trường dòng điện sơ cấp

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

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

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 xylanh 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]

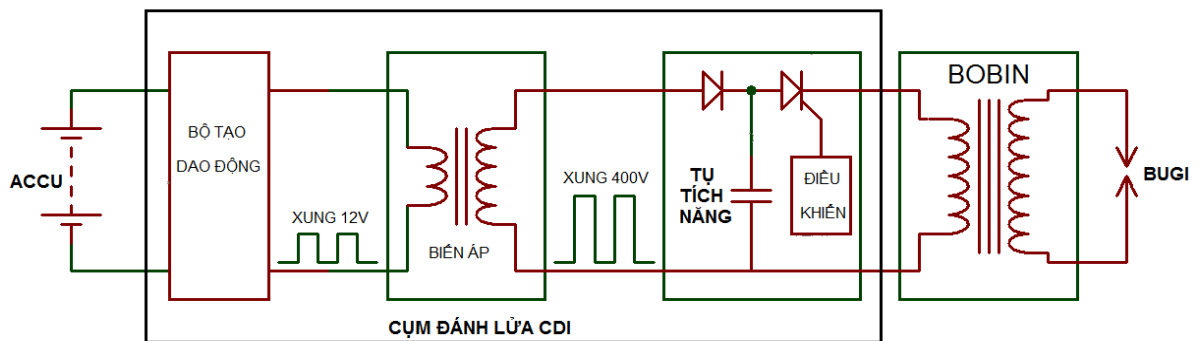
Nhược điểm

- 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 trường dòng sơ cấp nên điện áp thứ cấp sẽ giảm. [1, 4, 37]
- Hiệu điện thế thứ cấp tăng trường 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

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].

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 điện tích tiếp xúc với hỗn hợp) nên điện cực bugi mau mòn [1, 32].

2.7 Sức điện động tự cảm

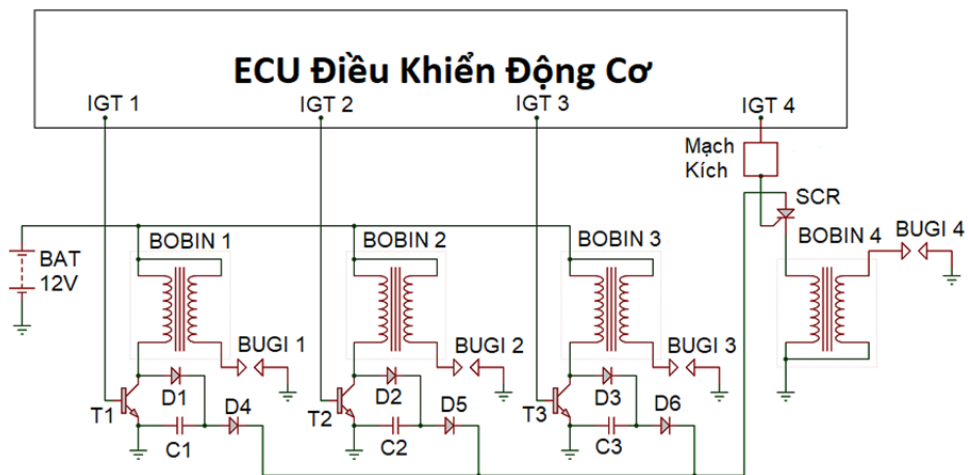
Như ta đã biết, sự thay đổi từ trường quanh một dây dẫn sẽ tạo nên một sức điện động cảm ứng ở trong dây đó. Nếu cho một dòng điện trị số biến đổi đi qua một dây dẫn thì từ trường chung quanh nó sẽ biến đổi và trong dây sẽ phát sinh sức điện động cảm ứng

Chương 3

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

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

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:

- Không xét đến ảnh hưởng của dòng điện thứ cấp i_2 (tia lửa điện trên bugi) lên mạch sơ cấp.
- Không xét đến các tổn hao từ thông, tổn hao trên điện trở mạch thứ cấp trong quá trình tính toán.
- Không xét đến quá trình chuyển đổi năng lượng điện thành nhiệt ở tia lửa điện.
- 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 C1) có thể được suy ra từ đáp ứng tính toán không có diode D.
- Đáp ứng quá độ sau khi được tính toán từ mô hình sẽ được hiệu chỉnh bằng các hệ số thực nghiệm.
- 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

3.1.3.2 Giai đoạn tích lũy năng lượng

3.1.3.3 Giai đoạn ngắt dòng điện sơ cấp

3.1.3.4 Đánh giá tần số của $i_1(t)$ và $V_1(t)$

3.1.3.5 Nhận xét: Đáp ứng quá độ của dòng điện sơ cấp i_1 từ sau thời điểm ngắt dòng sơ cấp

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

Sức điện động tự cảm xuất hiện trên cuộn sơ cấp V_1 từ sau thời điểm ngắt dòng sơ cấp

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

$$\text{Tần số của } V_I(t) \text{ và } i_I(t) : \omega_d = y = \sqrt{d - \frac{c^2}{4}} \quad (3.12)$$

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

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:

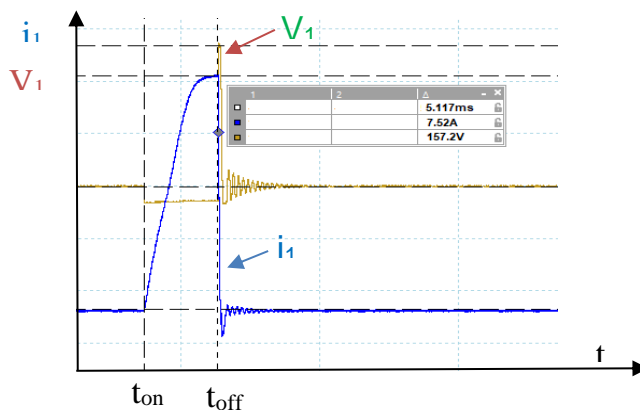
$$i_1(t) = \alpha_0 [ae^{\beta_0 xt} \cos(yt) + ze^{\beta_0 xt} \sin(yt)] \quad (3.14)$$

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

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

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

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

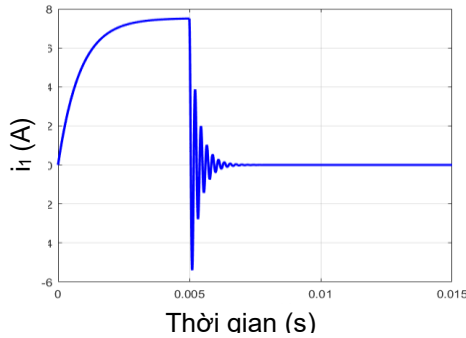
3.2.3.1 Đáp ứng tính toán từ mô hình

3.2.3.2 Đáp ứng tính toán từ mô hình hiệu chỉnh

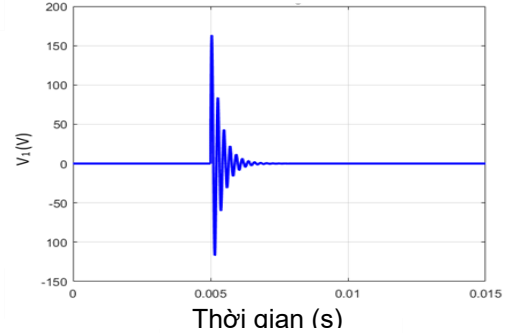
Các phương trình $i_1(t)$ và $V_1(t)$ sau hiệu chỉnh

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

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

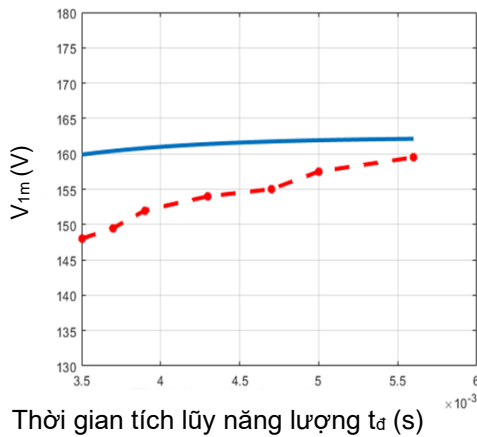


Hình 3.8: Đáp ứng tính toán dòng điện sơ cấp i_1

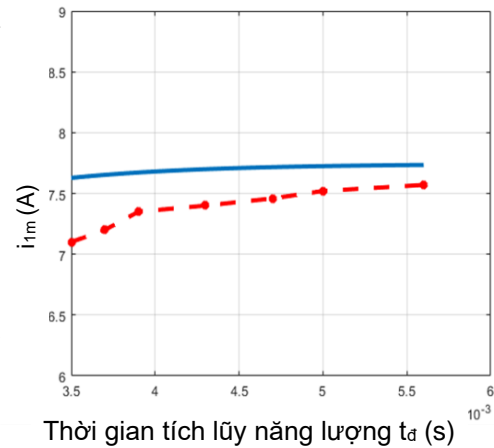


Hình 3.9: Đáp ứng tính toán điện áp sơ cấp V_1

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



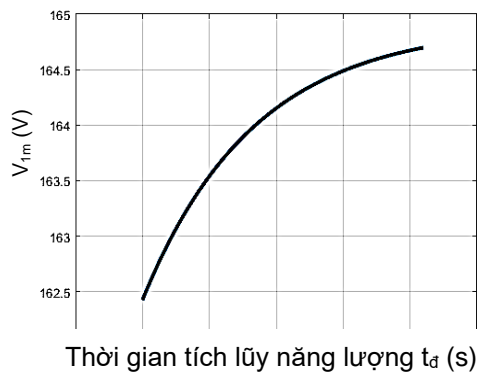
Hình 3.10: So sánh cực đại sức điện động tự cảm V_{1m} theo lý thuyết và thực nghiệm ở các thời gian tích lũy năng lượng sơ cấp t_d khác nhau.



Hình 3.11: So sánh cực đại cường độ dòng điện i_{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

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 ($W_{\dot{a}d} = C_1 V_{1m}^2 / 2$).

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 $V_1(t)$, $i_1(t)$

3.4.2 Ảnh hưởng của hệ số tự cảm L_1 của cuộn sơ cấp đến đặc tính hệ thống

3.4.3 Ảnh hưởng của dung lượng tụ C_1 đến đặc tính hệ thống

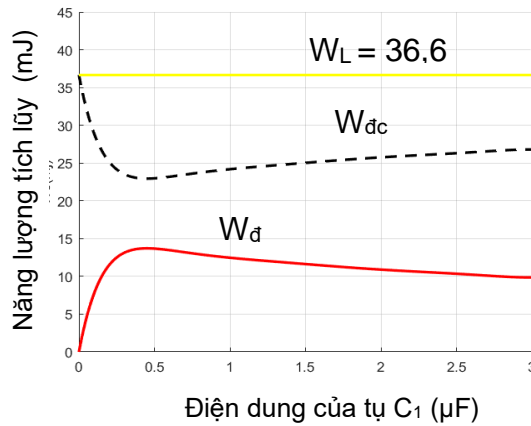
3.4.3.1 Ảnh hưởng của điện dung C_1 đến thời gian tích lũy năng lượng điện dung

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}

3.4.3.3 Ảnh hưởng của điện dung tụ C_1 đến năng lượng đánh lửa điện cảm $W_{\dot{a}c}$ và năng lượng đánh lửa điện dung $W_{\dot{a}d}$

Theo định luật bảo toàn năng lượng (nếu không kể đến các mất mát) ta có thể đưa ra phương trình sau: $W_L = W_{\dot{a}d} + W_{\dot{a}c}$ (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. $W_{\dot{a}d}$: Năng lượng tích lũy trên tụ điện ở mạch đánh lửa điện cảm (phục vụ cho giai đoạn đánh lửa điện dung). $W_{\dot{a}c}$: Năng lượng còn lại phục vụ đánh lửa điện cảm



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

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 $W_{dc} = W_L - W_{dd}$

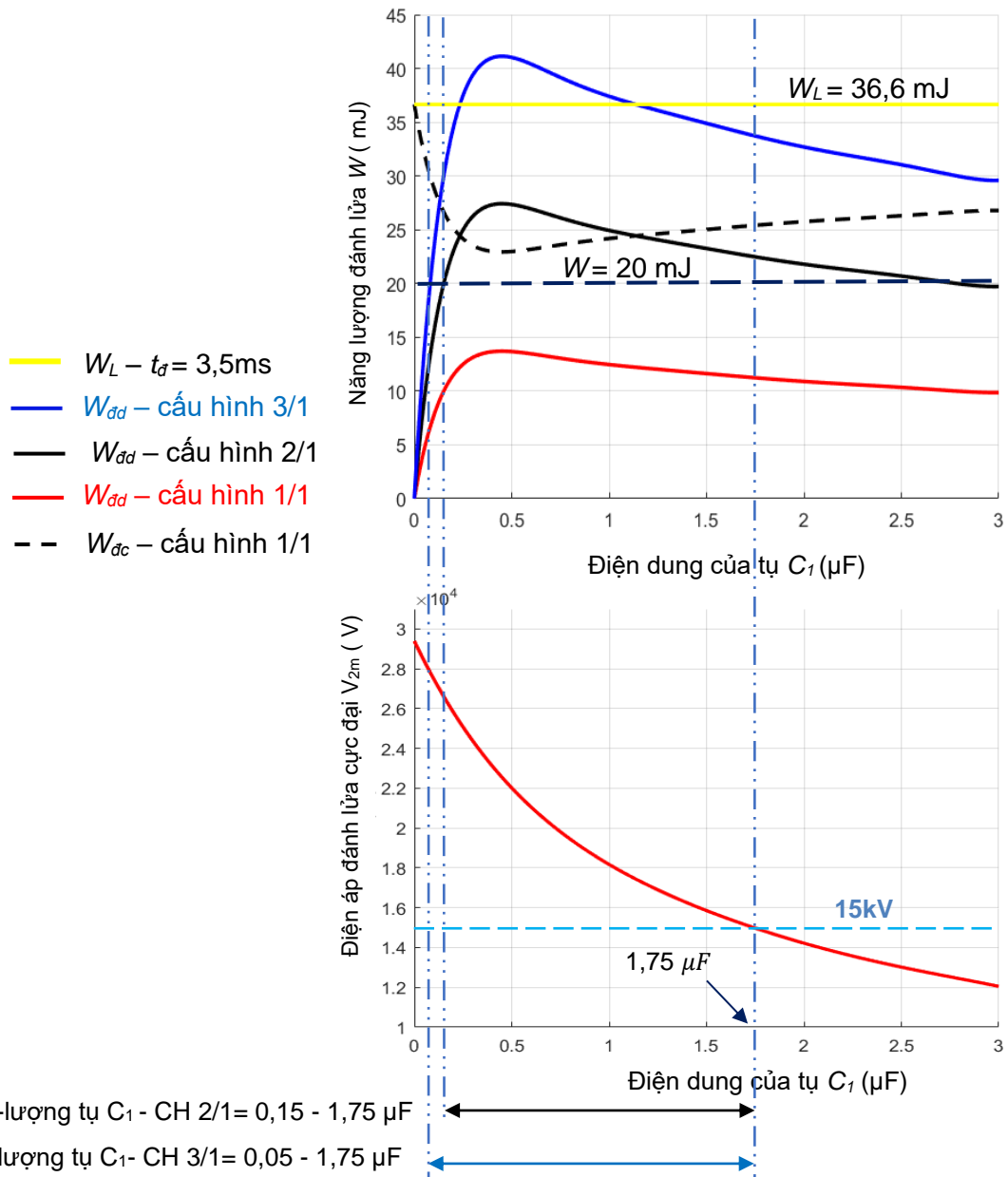
Sử dụng các số liệu của Bảng 3.1, tính toán được các giá trị năng lượng W_L , W_{dd} , W_{dc} (trên một bobin), thể hiện trên đồ thị Hình 3.22.

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 ($t_{d-min} = 3,5 ms$). 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 ($W_{dd} = C_1 V_{1m}^2 / 2$ 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 $W_{dc} = W_L - W_{dd}$. 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_1 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 M 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

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} 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.

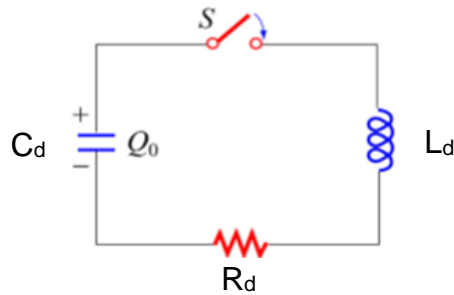
Với các yêu cầu đã nêu và các thông số từ Bảng 3.1, qua hệ thống đồ thị trên Hình 3.23 ta nhận thấy:

- Cấu hình 1/1 không phù hợp, vì năng lượng tích lũy trên tụ điện $W_{dd} < W_{lim} = 20mJ$, 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 $W_{dc} > W_{lim} = 20mJ$, 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 $W_{dc} > W_{lim} = 20mJ$, 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.

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

3.6.1 Mô hình tính toán

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 C_1, C_2, C_3 (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:

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

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

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:

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

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 $e_d(t)$

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 $e_d(t)$

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 $e_d(t)$

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

- 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 với thực nghiệm <7%). Điều này chứng tỏ rằng, phương pháp xây dựng mô hình toán cho hệ thống đánh lửa hỗn hợp 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.
- 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_{ad} và W_{dc} . 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 có M 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

4.1.1 Giới thiệu về hệ thống điều khiển động cơ

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

4.1.3 Bộ đánh lửa

4.1.4 Điều khiển dòng điện qua cuộn sơ cấp của bobin

4.1.5 Tín hiệu đánh lửa IGT- Ignition timing

4.1.6 Tín hiệu hồi tiếp IGF

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

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.
- Thiết kế thêm hệ thống 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

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 μF .

Dung lượng của tụ C_1 được chọn, có giá trị 1 μF . 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 $3W_{dd} = 3.13,15 = 39,45\text{mJ} (> 20\text{mJ} - \text{xem Bảng 4.1})$, 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 $t_d = 3, 5$ 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)

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)

4.2.4 Chế độ đánh lửa điện cảm

4.2.5 Chế độ đánh lửa điện dung

4.2.6 Mạch tạo tín hiệu IGF

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

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. Tuổi thọ của mạch được ước lượng $T \sim 2709$ giờ.

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 từ bên ngoài. 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 chi tiết như bobin và transistor T1-3 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 phù hợp với yêu cầu chung của các hệ thống trên ô tô
 - Kết cấu của toàn mạch đơn giản, linh kiện dễ kiểm, 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 đáp ứng được yêu cầu làm việc của động cơ.

Chương 5

THỰC NGHIỆM VÀ ĐÁNH GIÁ KẾT QUẢ

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

- 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 vị trí 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 $G_{nl} (g/h)$ và suất tiêu hao nhiên liệu $g_e (g/kW.h)$ tại vị trí 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.

5.1.2 Đối tượng thực nghiệm

5.1.3 Các yêu cầu đối với thiết bị thực nghiệm

5.1.4 Trang thiết bị thực nghiệm

5.1.5 Sơ đồ bố trí trang thiết bị thí nghiệm

5.2 Các qui trình thực nghiệm

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

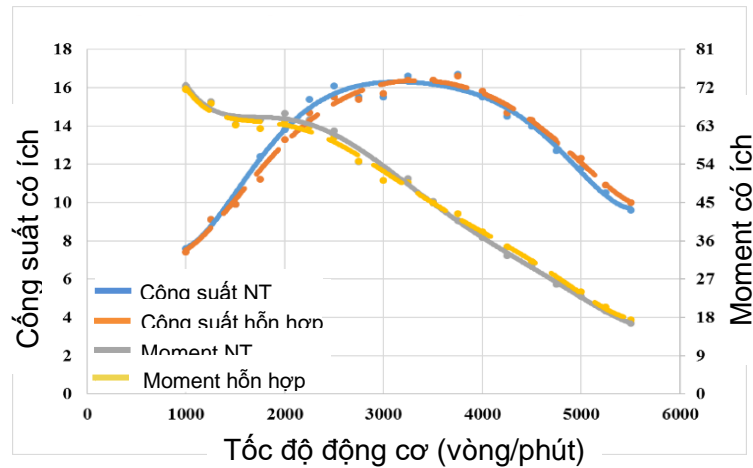
5.2.2 Xác định lượng tiêu nhiên liệu theo giờ (G_{nl}) và suất tiêu hao nhiên liệu riêng (g_e)

5.2.3 Đánh giá chất lượng khí thải

5.3 Kết quả thực nghiệm và nhận xét

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

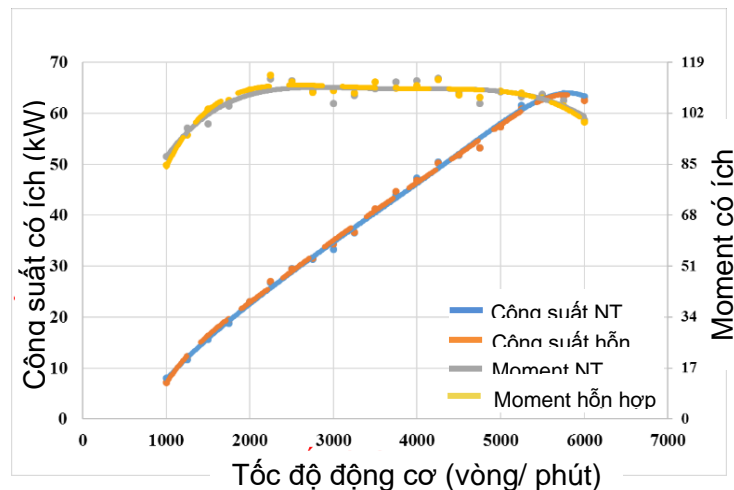
Chế độ 20% tải



Hình 5.3: Đồ thị công suất có ích N_e , moment có ích M_e ở chế độ 20% tải 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 vị trí bướm ga 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 trị tại số vòng quay nhỏ nhất.

Chế độ 100 % tải

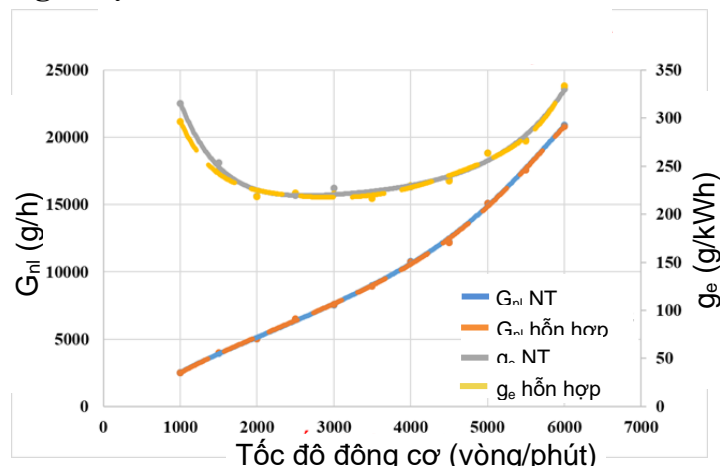


Hình 5.7: Đồ thị công suất có ích N_e , moment có ích M_e ở chế độ 100% tải của HTĐL nguyên thủy và HTĐL hỗn hợp điện dung - điện cảm

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 momen 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



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

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 vị trí 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.

Tổng năng lượng cung cấp cho một lần làm việc

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

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

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

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

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

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:

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

ne : 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).

Các nghiên cứu cho thấy: Hiệu suất động cơ: $\eta_e = 0,2 - 0,35$ [27,28], Hiệu suất bộ truyền đai thang: $\eta_d = 0,95 - 0,96$ [48], Hiệu suất máy phát: $\eta_p = 0,4 - 0,65$ [3], Hiệu suất ắc-quy: $\eta_a = 0,75 - 0,9$ [49], 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: $W_{emin} = \frac{W_{\Sigma 1h}}{\eta_{\Sigma max}}$

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:

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

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

5.3.3 Đánh giá chất lượng khí thải

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
Giá trị trung bình CO (% thể tích)	2,29	2,63
Giá trị trung bình HC (ppm thể tích)	69,33	77

5.4 Kết luận chương 5

- 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: Momen 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 HTĐL trực tiếp theo nhà chế tạo và khi dùng HTĐL 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. 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%.

Khả năng phát thải

Qua các thông số về CO (% thể tích), và HC (ppm thể tích)

Ở chế độ làm việc không tải, thực hiện theo qui trình đánh giá của cục đăng kiểm Việt Nam, 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 từ ba bobin đánh lửa điện cảm để thực hiện quá trình đánh lửa cho xi-lanh còn lại, mà không cần chi phí thêm năng lượng cho quá trình đánh lửa thứ 4. Như vậy, có thể tiết kiệm được 25 % năng lượng cung cấp cho hệ thống đánh lửa khi động cơ làm việc

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 xy-lanh (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 μ 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 xy-lanh 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 $G_{nltkmax}$ (g/giờ) = 24,4 g nhiên liệu/giờ (khi động cơ hoạt động 6000 vòng/ phút - Bảng 5.4)].

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 xy-lanh 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

**MINISTRY OF EDUCATION AND TRAINING
HO CHI MINH CITY UNIVERSITY OF TECHNOLOGY AND EDUCATION**

DO QUOC AM

**RESEARCH, CALCULATE, MANUFACTURE THE COMBINED
CAPACITIVE-INDUCTIVE IGNITION SYSTEM FOR INDIVIDUAL IGNITION
COIL**

DISSERTATION SUMMARY

MAJOR: MECHANICAL ENGINEERING

MAJOR CODE: 9520103

Ho Chi Minh City, Nov/2020

PLACE OF COMPLETION

HO CHI MINH CITY UNIVERSITY OF TECHNOLOGY AND EDUCATION

Supervisor one I: Assoc. Prof. Do Van Dung

Supervisor two II: PhD. Lam Mai Long

Dissertation defense at

HO CHI MINH CITY UNIVERSITY OF TECHNOLOGY AND EDUCATION'S PHD

DISSERTATION COMMITTEE

Date Month Year 2020

DISSERTATION PUBLIC RESULTS

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 Ám**, 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 Ám**. 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. TPHCM*, số 30, tháng 11-2014.
6. **Đỗ quốc Ám**, 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. TPHCM*, số 32, tháng 4- 2015.
7. Phan Nguyễn Quý Tâm, Đỗ Văn Dũng, **Đỗ quốc Ám**, 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. TPHCM*, 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 Ám**, 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.

Opening

Chapter 1 OVERVIEW

1.1 Background

When the ignition system is working, a high voltage, $e_1 = W_1(d\Phi/dt)$ - about 100V to 300V [1, 4]; appears in the primary coil. This self-induced emf causes a lot of negative effects like damaged switches, inductive interference and reducing secondary voltage.

To prevent those effects and utilize the self-induced emf energy, the hybrid ignition system stores the self-induced energy into capacitor and re-using it in the next cycle. Therefore, the hybrid ignition system is not only saving the ignition energy and ensuring the quality of the ignition process, but also protecting switches, improving the quality of the ignition system and preventing the inductive interference to other devices in car.

1.2 Previous researches

1.2.1 International

1.2.2 National

1.2.3 Conclusion – Research proposal

The research will combine two kind of ignition system: the capacitor-discharge ignition system (CDI) and the inductive-discharge ignition system (IDI) into one ignition system - the hybrid ignition system. The self-induced emf in the IDI stage will be the main energy for the CDI stage in this new combined ignition system.

1.3 Research objective and ambition

1.3.1 Research objective

The research is aiming to prove that the hybrid ignition system can be re-used the left-over energy of the IDI stage for the CDI stage in theory and working properly in practical. This new combined ignition system promises to be efficiency not only for vehicle but also for the environment.

1.3.2 Research ambition

1.4 Subject, area and method of research

1.4.1 Subject of research:

Gasoline engine's ignition system.

1.4.2 Area of research:

Investigate, analyze, simulate, design and experiment the combined ignition system between CDI and IDI - direct ignition type using one ignition coil for one

spark plug - in the four-cylinder engine. This hybrid ignition system must be utilized the self-induced emf in the IDI stage for the CDI stage.

1.4.3 Method of research:

The following methods are used in thesis: analyzing documents, simulation, experiment.

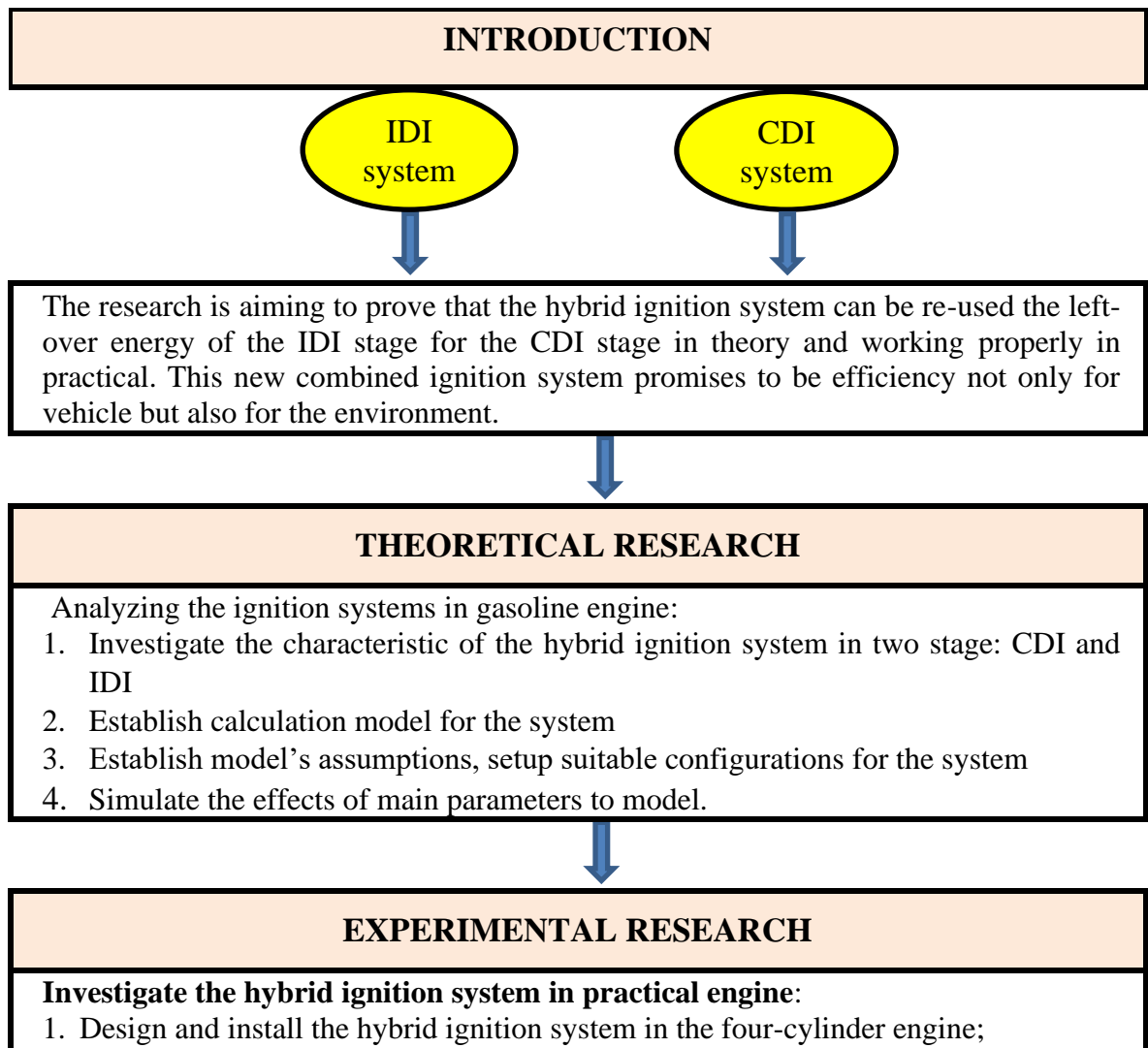
1.5 Research contents and anticipated results:

1.5.1 Research contents:

1.5.2 Anticipated results:

Step by step research flow-chart is showed below:

Table 1.1: Research flow-chart



2. Experiment and analyzing the practical results (power, torque, brake specific fuel consumption and vehicle emission, ...) in both ignition systems - the original and the hybrid - in various working conditions.

RESULTS

Evaluate two mains results:

1. The ability of saving self-induced emf energy from the IDI stage using as main energy for the CDI stage.
2. Effects of the hybrid ignition system to working of engine.

Hybrid ignition
system

Chapter 2

THEORETICAL BASIS

2.1 Mission of ignition system

2.2 Combustion process of the gasoline engine

2.3 Parameters of ignition system

2.3.1 Maximum secondary voltage V_{2m}

2.3.2 Ignition voltage V_{dl} [1, 4]

2.3.3 Coefficient K_{dt}

2.3.4 Secondary voltage fluctuation S [1, 32]

2.3.5 Period and frequency [1]

2.3.6 Current-flow time (t_d)

2.4 Ignition energy

2.4.1 Plasma analyzing [5,16]

2.4.2 Ignition energy analyzing

2.5 IDI [1,32]

The inductive-discharge ignition system (IDI) is mainly used in gasoline vehicle. The energy is stored in the primary coil of ignition coil. The schematic of IDI is showed in the picture below.

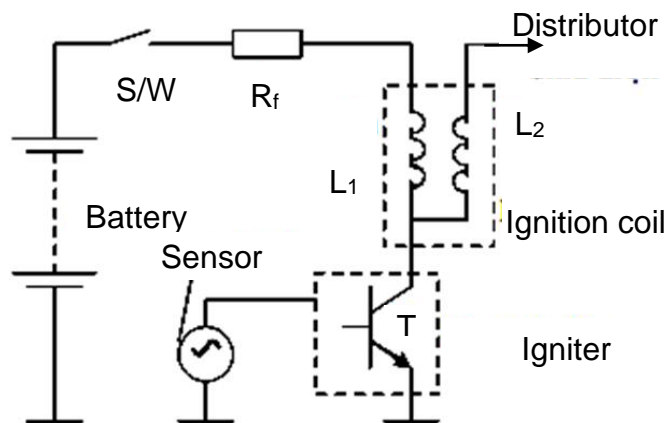


Figure 2.6: Schematic of IDI [1,32]

Three stages of the ignition

2.5.1 The energy storage stage

2.5.2 The interrupt stage [1,32]

2.5.3 The plasma stage in spark plug [1,4,32]

2.5.4 Advantage and disadvantage

Advantage

- Long spark duration (around 1 - 2,5ms) ensuring that mixture will be completely burned in most working stages of engine [5, 6, 36].
- Increase spark plug life due to small spark plug gap.[1]
- High efficiency in fuel consumption.[1]

Disadvantage

- Energy storage stage is lengthy, especially in low rpm. The energy is easily wasted, increase the ignition coil temperature and damage transistor.[1, 4,37]
- Low secondary voltage in high rpm due to lack of time for primary current rising. [1, 4, 37]
- Secondary voltage is raising slower than in CDI system, therefore less efficiency.[1, 32, 37]

2.6 CDI

2.6.1 Structure and principle of the CDI system [32]

The CDI system has a signal generator, supply coil, capacitor, ignition coil and control unit. Inside the control unit, a trigger circuit is installed to control the working of our system via collected data from sensors.

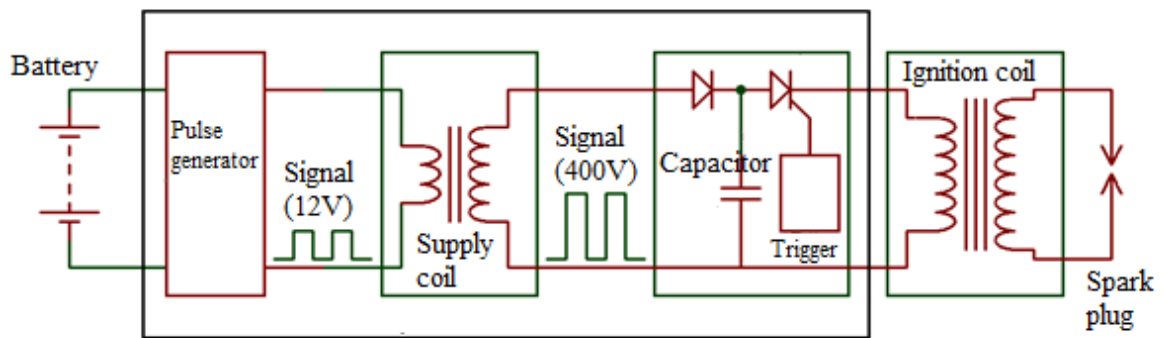


Figure 2.12: Schematic of the CDI system.

Working principle of the CDI

Current runs from battery to pulse generator, creating 12V signal. This effect creates the high voltage in the secondary circuit of supply coil, which around 300 - 400V. This voltage will be charged for the capacitor. When the signal from trigger device makes the SCR opens, the accumulated energy in capacitor will be released to primary circuit of ignition coil, creating a high voltage (30.000-60.000V) in the secondary circuit and transferring to spark plug to ignite mixture in cylinder.

2.6.2 Advantage and disadvantage

Advantage

- The characteristic of ignition system is not affected by engine speed due to fast charge - discharge stage of capacitor. [1,34,37]
- Secondary voltage raised faster. [1,4, 34]
- Secondary voltage in CDI (30kV- 60kV) bigger than in the IDI (7 - 40kV) [1, 34].

Disadvantage

The charge and discharge time of capacitor is very short, therefore the time for plasma exists in spark plug is not long, only (0,1 - 0,3) ms [5, 38]:

- Lean mixture is hard to ignite. [1, 5, 32]
- Spark plug gap is large, therefore the spark plug is easily wear [1, 32].

2.7 Self-induced emf

Self-induced emf will be emerged in the coil if the magnetic flux is changed. If the current flowing through the coil is changed; the flux linking with it, changes and hence emf is induced in the coil.

Chapter 3

INVESTIGATE - SIMULATE - EXPERIMENT THE HYBRID IGNITION SYSTEM

3.1. Mathematic model of the hybrid ignition system

3.1.1 Hybrid ignition system overview

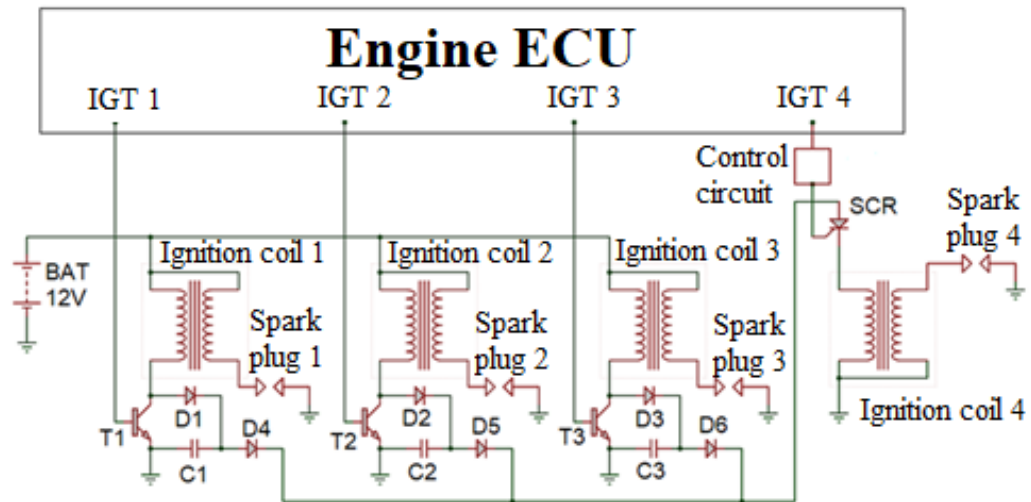


Figure 3.1: Schematic of the hybrid ignition system (four-cylinder engine)

The hybrid ignition system is a combination of CDI and TCI system. In the first stage, the inductive-discharge stage, the self-induced emf, which is undesirable in primary coil, is stored in capacitors. This energy is controlled via SCR and diodes; released in the next stage, the capacitor-discharge stage. Applied in the four-cylinder engine in figure 3.1, the first three ignition coils (ignition coil 1, ignition coil 2 and ignition coil 3) are used for the inductive-discharge ignition stage; the fourth ignition coil (ignition coil 4) is for the capacitor-discharge ignition stage. In one ignition cycle, the self-induced emf from the primary coils will be stored in capacitors C1, C2, C3, correspondingly with the first three inductive-discharge ignition stages. At the last ignition in this cycle, the energy will be released via SCR through the last ignition coil, performing capacitor-discharge ignition stage.

3.1.2 The hypothesis of the hybrid ignition system

The hybrid ignition system is a complex system; combining two ignition systems into one larger system. Therefore, we need to carefully investigate each aspect of the hybrid ignition system simplify but maintain scientific and accurate, assumptions need to be setup:

- a. Ignore the effect of secondary current i_2 on the primary circuit.

- b. Ignore the losses in magnetic field, ignore the losses in the secondary circuit.
- c. Ignore the losses by heating at spark plugs
- d. Eliminate diode D in the calculation process to reduce the non-linear response of hybrid ignition circuit.
- e. Response of hybrid ignition system will be adjusted by coefficients.
- f. In the interrupt stage, the self-induced emf appeared is tremendous in compare with battery voltage. Therefore, we can assume that the voltage in primary circuit is the self-induced emf.

In this thesis, the mathematic model will be established in two steps. In step 1, we will develop the equations base on mentioned assumptions. In step 2, we will adjust the equations with practical coefficients.

3.1.3 Establish the mathematic model

3.1.3.1 Calculations in the hybrid ignition system - the IDI stage

3.1.3.2 Calculations in the energy storage stage

3.1.3.3 Calculations in the interrupt stage

3.1.3.4 Analyze the frequency of $i_1(t)$ and $V_1(t)$

3.1.3.5 Conclusion: The equation of i_1 at the interrupt stage is

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

The equation of V_1 at the interrupt stage is

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

$$\text{Frequency of } V_1(t) \text{ and } i_1(t): \omega_d = y = \sqrt{d - \frac{c^2}{4}} \quad (3.12)$$

Period of system:

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

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

3.2 Adjust the mathematic model with practical coefficients

We need to add practical coefficients to improve the accurate of our equations in practical conditions (e.g. losses, ...), therefore:

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

$$V_1(t) = -\alpha_0 L_1 [(\beta_0 x a + z y) e^{\beta_0 x t} \cos(y t) + (\beta_0 x z - a y) e^{\beta_0 x t} \sin(y t)] \quad (3.15)$$

With: α_0 describes the losses of i_1 and V_1 ; β_0 describes the damped oscillation of i_1 and V_1 .

3.2.1 Verify the mathematic model of the hybrid ignition system

3.2.2 Primary current i_1 and self-induced emf V_1 in practical

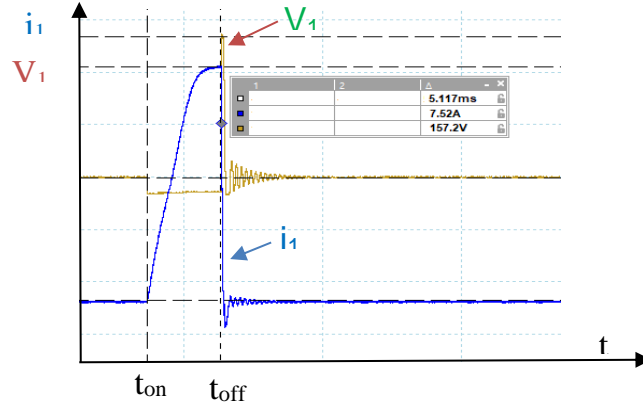


Figure 3.5: Primary current i_1 and self-induced emf V_1 in practical

3.2.3 Primary current i_1 and self-induced emf V_1 in simulate

3.2.3.1 Primary current i_1 and self-induced emf V_1 in model

3.2.3.2 Primary current i_1 and self-induced emf V_1 in adjusted model

Primary current i_1 and self-induced emf V_1 after adjustment

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

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

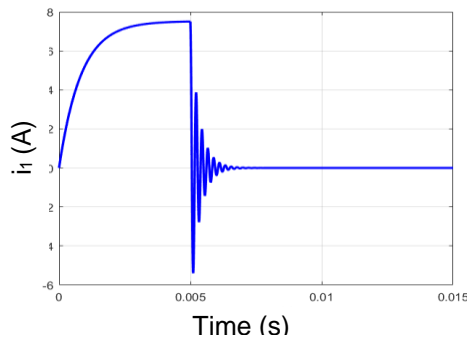


Figure 3.8: Primary current i_1

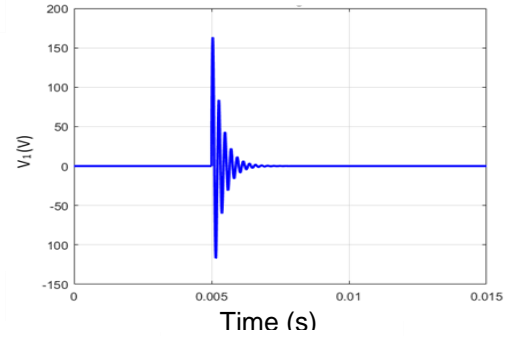


Figure 3.9: Self-induced emf V_1

3.2.3.3 Verify the mathematic model of the hybrid ignition system

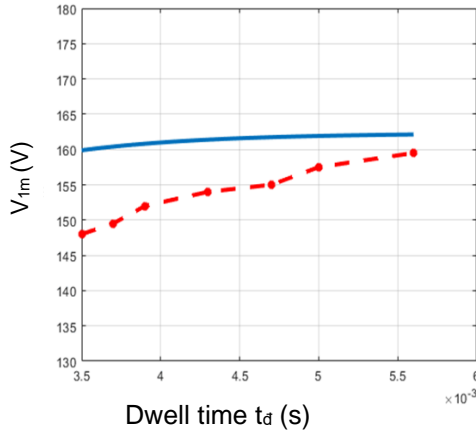


Figure 3.10: Maximum self-induced emf's simulation and experiment comparison.

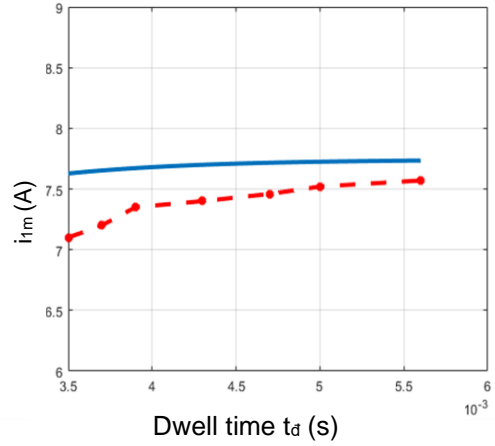


Figure 3.11: Maximum primary current's simulation and experiment comparison.

3.3 Transfer function of hybrid ignition system

Transfer function describes the relationship of V_{1m} and t_d . This transfer function of the hybrid ignition system can be explained in figure 3.13.

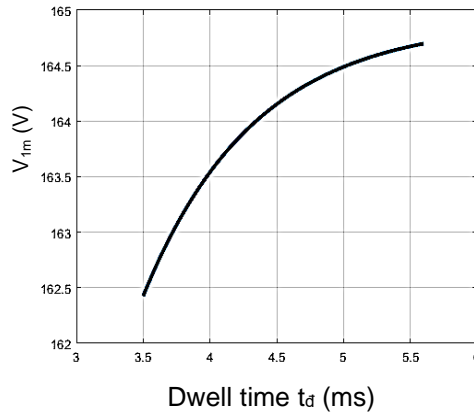


Figure 3.13: Relationship between V_{1m} and t_d

The self-induced emf's maximum voltage is increased when increasing dwell time (t_d). The accumulated energy in capacitor C_1 will be increased ($W_{dd} = C_1 V_{1m}^2 / 2$).

3.4 Investigate effects of parameters on hybrid ignition system

3.4.1 Effects of primary circuit's resistance R on $V_I(t)$, $i_I(t)$

3.4.2 Effects of self-inductance L_I on hybrid ignition system

3.4.3 Effects of capacitance C_I on hybrid ignition system

3.4.3.1 Effects of capacitance C_1 on time constant

3.4.3.2 Effects of capacitance C_1 on self-induced emf's maximum voltage V_{1m} and maximum secondary voltage V_{2m}

3.4.3.3 Effects of capacitance C_1 on the IDI W_{dc} and the stored energy (CDI) W_{dd}

According to energy balance equation:

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

With: W_L : stored energy in primary coil. W_{dd} : stored energy in capacitor. W_{dc} : energy required for inductive ignition.

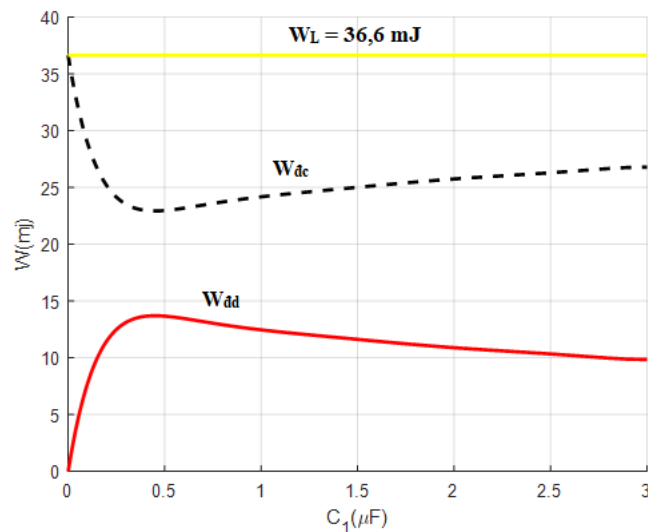


Figure 3.22: Relationship between stored energy in primary coil W_L , stored energy in capacitor W_{dd} , energy required for inductive ignition W_{dc} and capacitance C_1

Stored energy in capacitor will be raised to $W_{dd} = C_1 V_1^2 / 2$, which will be used for the CDI stage. Therefore, the saved energy for the CDI stage is $W_{dc} = W_L - W_{dd}$

Applying data from table 3.1, we can calculate W_L , W_{dd} , W_{dc} , which will be described in figure 3.22.

Capacitance C_1 doesn't involve in the raising stage of the primary current of the ignition coil. Hence, when maintain the self-inductance of ignition coil, battery voltage $V = 12,6V$ and dwell time t_d ($t_{d-min} = 3,5 ms$). The accumulated energy in the primary circuit will reach (with maximum current i_d) $W_L = 36,6mJ$.

W_{dd} : the accumulated energy in capacitor C_1 in the CDI stage ($W_{dd} = C_1 V_{1m}^2 / 2$) will meet the peak energy and then decline when increasing capacitance C_1 .

W_{dc} : energy required for inductive ignition $W_{dc} = W_L - W_{dd}$. W_{dc} will be in reverse with W_{dd} .

3.5 Determine configurations of the hybrid ignition system

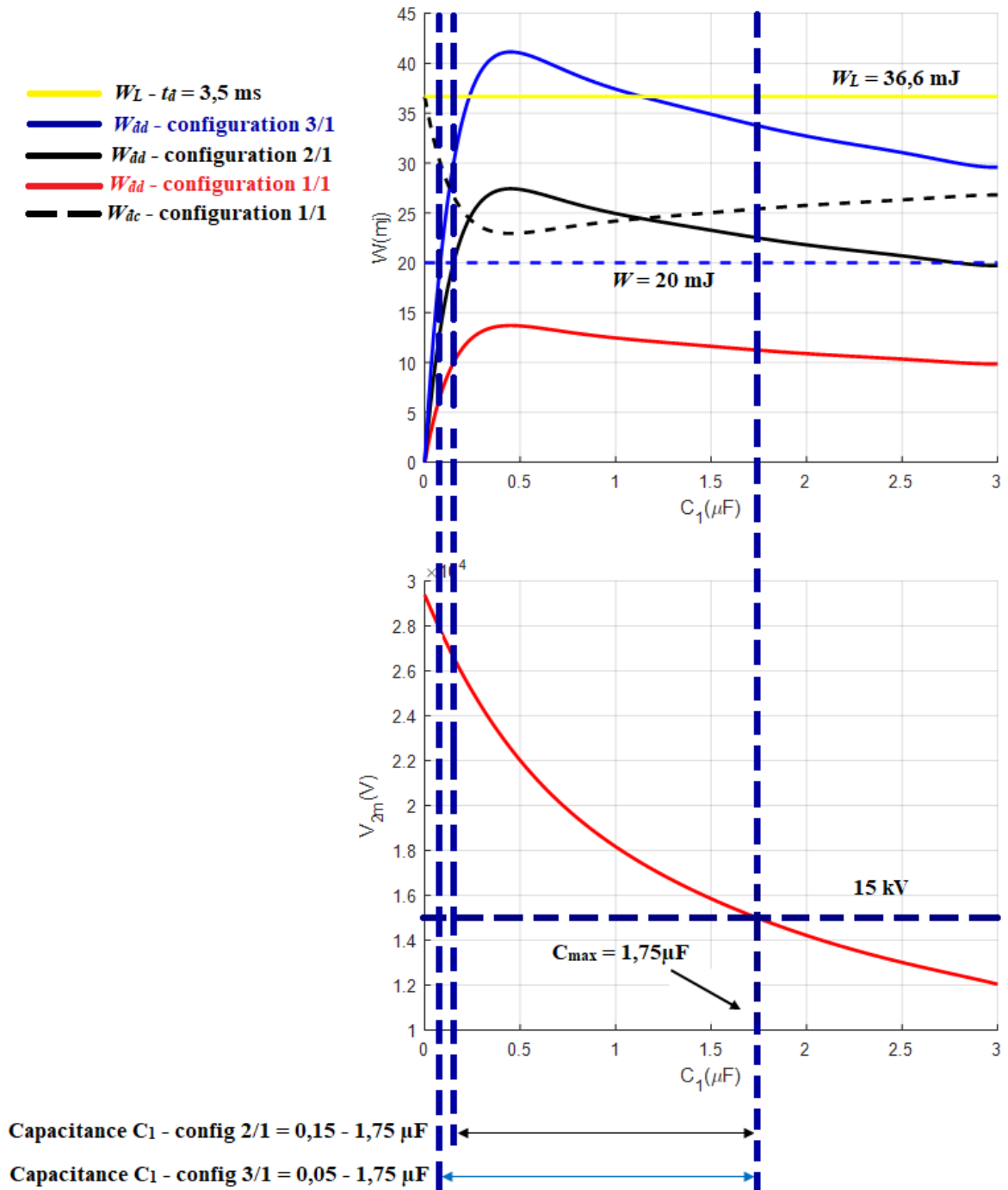


Figure 3.23: Configurations of hybrid ignition system

3.5.1 Introduce configurations of hybrid ignition system

The configuration of hybrid ignition system is distinguished by coefficient $N/1$, with N is the number of inductive ignition coil, which will provide energy for capacitor discharge stage.

In case of $N = 1$, the energy use for capacitor discharge stage is not enough to ignite mixture. Therefore, configuration with $N = 2$ or $N = 3$ is suitable for hybrid ignition system. But if we increase N , the saving energy effect will be reduced

Beside that, capacitance C_1 has major effect on the maximum secondary voltage V_{2m} as discussed in previous section.

For those reasons, with M -cylinder engine, selecting configuration $N/1$ is the most importance to maintain the spark in cylinders and ensure engine working efficiently but still keep enough energy for hybrid ignition system.

3.5.2 Determine capacitance range C_1 for hybrid ignition system

Capacitance C_1 must satisfy the following requirements:

- 1 The secondary voltage V_{2m} must be sufficient so that the spark can be appeared in cylinder, which means V_{2m} must excess 15 kV. So, coefficient $K_{dt} = \frac{V_{2m}}{V_{dt}} \sim 2,5$ to meet V_{2lim} .
- 2 Secure the required energy for both stages of ignition: inductive and capacitor discharge. The required energy must be at least 15 mJ [6] to make sure that the ignition occurs in cylinder. However, to ensure that our system has reserved energy, the limit is set at 20 mJ.

Based on these requirements, table 3.1 and figure 3.23, we can point out:

- Configuration 1/1 is not suitable because the accumulated energy in capacitor $W_{dd} < W_{lim} = 20\text{mJ}$. This energy doesn't meet the required energy for CDI system.
- To fulfill requirement 1, configuration 2/1 may be used if capacitance runs from 0,15 to 1,75 μF . Within this range, $2W_{dd}$ and $W_{dc} > W_{lim} = 20\text{mJ}$, satisfy the required energy for both CDI and IDI stage. Configuration 2/1 is suitable for 3-cylinder or 6-cylinder.
- To fulfill requirement 1, configuration 3/1 may be used if capacitance runs from 0,05 to 1,75 μF . Within this range, $3W_{dd}$ and $W_{dc} > W_{lim} = 20\text{mJ}$, satisfy the required energy for both CDI and IDI stage. Configuration 3/1 is suitable for 4-cylinder or 8-cylinder.

3.6 Calculations in the hybrid ignition system - the CDI stage

3.6.1 Calculation model

Using R-L-C model to calculate (figure 3.24), with: C_d : equivalent capacitor of C_1, C_2, C_3 ($3\mu\text{F}$), S : Switch (represent SCR), L_d : self-inductance, R_d : equivalent resistance of primary circuit.

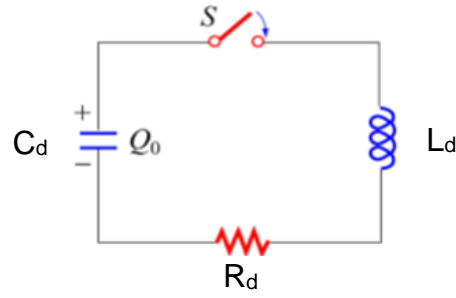


Figure 3.24: The mathematics model of the CDI stage

3.6.2 Establish equations for primary current $i_d(t)$ and self-induced emf $e_d(t)$.

After the IDI stage, the left-over energy in ignition coil 1, 2, 3 will be stored sequentially in capacitor C1, C2, C3 (figure 3.1). The stored energy will be raised to Q_0

Based on the mathematic model of CDI stage (figure 3.24)

Construct the energy balance equation on the circuit:

$$W = W_{Cd} + W_{Ld} = \frac{1}{2} \frac{Q_0^2}{C_d} + \frac{1}{2} L_d i_d^2 \quad (3.24)$$

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

Develop primary circuit's self-induced emf equation $e_d(t)$

The self-induced emf equation of primary circuit is showed below:

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

Proceeding the derivative of equation (3.34):

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

3.6.3 Investigate effects of parameters on hybrid ignition system - CDI stage

3.6.3.1 Primary current $i_d(t)$ and self-induced emf $e_d(t)$

3.6.3.2 Effects of R_d on primary current $i_d(t)$ and self-induced emf $e_d(t)$

3.6.3.3 Effects of self-inductance L_d on primary current $i_d(t)$ and self-induced emf $e_d(t)$

3.6.4 Discussion

Based on mentioned calculations, the equation of primary current $i_d(t)$ and self-induced emf $e_d(t)$ in the primary circuit in the CDI stage of hybrid ignition system are described. Simulation results shows that if increasing R_d , losses also increases, reducing the maximum value of i_{dm} and self-induced emf e_{dm} . When changing L_d , self-induced emf e_d is barely affected. However, the maximum value of i_d will be decreased if increasing L_d .

3.7 Conclusion

- The hybrid ignition system's mathematic model, which is proposed in this chapter, allows the correct representation of system responses. It also allows us to determine parameters of system with high accuracy (deviation less than 7% compares with practical results). This proves that the proposed method of constructing the mathematical model for hybrid ignition system is suitable.
- The developed mathematic model is general and can be calibrated to specific hybrid ignition system using appropriate coefficients.
- The developed mathematic model can be used to precisely define parameters for hybrid ignition system such as W_L , W_{ad} và W_{dc} . Thereby, it can help design the hybrid ignition system.
- Establish the structure for building configurations of hybrid ignition system and deciding capacitance for M-cylinder engine.
- Evaluate effects of parameters on hybrid ignition system in both stages: IDI and CDI.

Chapter 4

MANUFACTURING THE HYBRID IGNITION SYSTEM

4. 1 Investigate the ignition control of TOYOTA 1NZ-FE engine according to the manufacturer's design

4.1.1 Introduction the engine control system

4.1.2 Working principle of the TOYOTA 1 NZ-FE engine's ignition system

4.1.3 Igniter

4.1.4 Primary circuit's control strategy

4.1.5 IGT signal- Ignition timing

4.1.6 IGF signal

4.1.7 TOYOTA 1 NZ-FE engine's ignition system schematic

4.2 Manufacturing hybrid ignition system

4.2.1 Hypothesis of manufacturing hybrid ignition circuit

Based on computer-controlled IDI system as originally designed, the making of the hybrid ignition system will retain key components such as:

- ECU and sensors. Thus, the ignition control signals IGT to each igniter will be guaranteed as designed by the manufacturer.
- The inductance ignition coil and igniter of the 1NZ-FE engine are arranged in system, because the capacitor cannot be connected to the primary circuit to accumulate the self-induced energy, so it will be replaced with the coil used on the engine TOYOTA 1MZ-FE.
- Design the CDI system for CDI stage of hybrid ignition system.
- In order to ensure IGF feedback as described in section 4.1.6, the hybrid ignition system must design an IGF signal generator circuit.

4.2.2 Determine capacitance C_1

In the hybrid ignition system of mentioned engine, configuration 3/1 is applied (3 IDI ignition coils and 1 CDI ignition coil). Hence, the capacitance range of the capacitors meets the requirements (in 3.4.2), has the value: 0,05-1,75 μF .

Capacitance of C_1 is 1 μF . At this capacitance, $W_{dc} = 23, 45\text{mJ}$ ($> 20\text{mJ}$), accumulated energy in 3 capacitors $3W_{dd} = 3 \cdot 13,15 = 39,45\text{mJ}$ ($> 20\text{mJ}$ – table 4.1), while $V_{2m} = 18\text{kV} > V_{2lim} = 15\text{kV}$ (figure 3.21). In terms of energy, this option satisfies these requirements: (1) High voltage spark formation. (2) Ensure sufficient ignition energy for both IDI and CDI stages (section 3.5.2). The above energy calculations correspond to the minimum dwell time $t_d = 3, 5 \text{ ms}$ - corresponding to the maximum

rpm. When the engine speed is reduced, the corresponding accumulated energies will be increased (Table 4.1).

4.2.3 Working principle of hybrid ignition system (4-cylinder engine)

4.2.4 IDI stage

4.2.5 CDI stage

4.2.6 IGF signal generator

4.2.7 Investigate self-induced emf in hybrid ignition system

4.2.8 Estimate the lifespan of hybrid ignition system

The hybrid ignition system is based on parts of the manufacture's ignition circuit and the redesigned circuit. The lifespan of system is estimated approximately $T \sim 2709$ hours.

4.3 Conclusion

From the features in the design, manufacture and working principle of the hybrid ignition system, the following observations can be concluded:

- Retain IGT signals from the engine control system, with all system functions, the ignition system characteristics can be guaranteed such as: ignition timing and the ability to accumulate energy (base on t_d value) of the system during working.
- The system only uses ignition signals (IGT) to control the circuit, not external energy. Therefore, it ensures to save energy according to the given idea.
- During working process, components on the ignition system will be affected by high temperatures in engine room. Components such as coil and transistor T1-3 are original. In addition, the semiconductor components used on hybrid ignition system have operating temperatures satisfying the engine room temperature (Appendix 4).
- Additionally, if we position hybrid ignition system in the engine room, the main parameters affecting the ability to accumulate energy on system will be affected (table 4.2). However, the energy used for the system's working process still meets requirements (table 4.3).
- Lifespan of system is acceptable.
- The structure of the whole circuit is simple, the components are easy to find, the compact circuit size can be easily arranged and installed in the engine room or in the passenger room.

The designed hybrid ignition system meets the requirements of energy saving, stable work, and longevity to meet the working requirements of the engine.

Chapter 5

EXPERIMENTAL RESULTS AND DISCUSSIONS

5.1 Experiment model in the four-cylinder gasoline engine

5.1.1 Experimental contents

- Develop the engine performance curves $N_e = f(n)$ and $M_e = f(n)$ at throttle position 20%, 35%, 50%, 75%, 100% using the original and hybrid ignition system.

- Develop the engine fuel consumption G_{nl} (g/h) and brake specific fuel consumption g_e (g/kW.h) at throttle 100% using the original and hybrid ignition system.

- Evaluate engine emissions of both original and hybrid ignition system.

5.1.2 Experimental subject

5.1.3 Experimental requirement

5.1.4 Experimental equipment

5.1.5 Schematic of laboratory facility

5.2 Experimental procedures

5.2.1 Develop the engine performance curves $(M_e) = f(n)$ and $(N_e) = f(n)$

5.2.2 -Develop the engine fuel consumption (G_{nl}) and brake specific fuel consumption (g_e)

5.2.3 Engine emissions

5.3 Experimental results and discussions

5.3.1 Performance curves $N_e = f(n)$ and $M_e = f(n)$

20% load position:

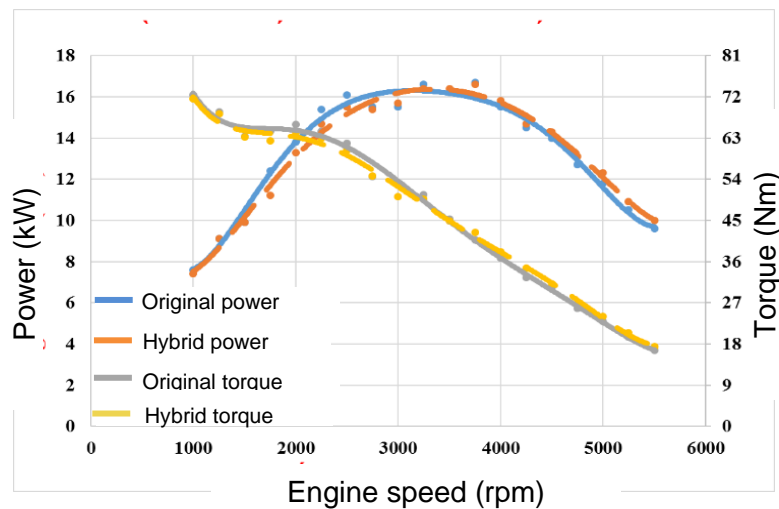


Figure 5.3: Engine performance curves at 20% load position

In the original ignition system, maximum power is reached 16,3 kW at 3.250 rpm, maximum torque is reached 72,4 Nm at 1.000 rpm. In the hybrid ignition system, maximum power is reached 16,6 kW at 3.280 rpm, maximum torque is reached 72,1

Nm at 1.000 rpm. Beside that, at the throttle position is 20%, increasing rpm will increase losses in intake mixture so that the peak torque is in small rpm zone.

100% load position:

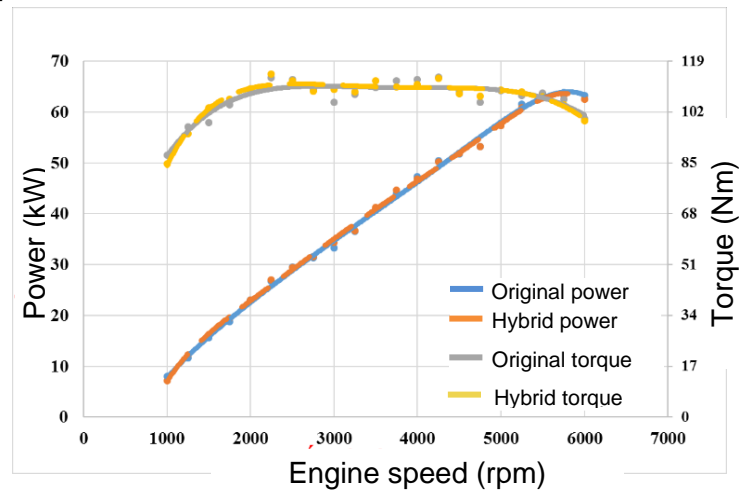


Figure 5.7: Engine performance curves at 100% load position

In the original ignition system, maximum power is reached 64,8 kW at 5.850 rpm, maximum torque is reached 111,9 Nm at 2750 rpm. In the hybrid ignition system, maximum power is reached 64,6 kW at 5.860 rpm, maximum torque is reached 112,3 Nm at 2750 rpm.

The comparison showed that the differences in peak power N_{emax} and peak torque M_{emax} in the original and hybrid ignition system can be negligible. However, due to the conditions of experiment engine (already used), both N_{emax} and M_{emax} is less than the published of manufacturer (new engine) - approximately 20% (table 5.1). This shows that the accumulated energy in the IDI ignition coils are large enough to provide energy to ignite the mixture in ignition coil 4 (CDI stage).

5.3.2 Evaluate the engine's fuel consumption

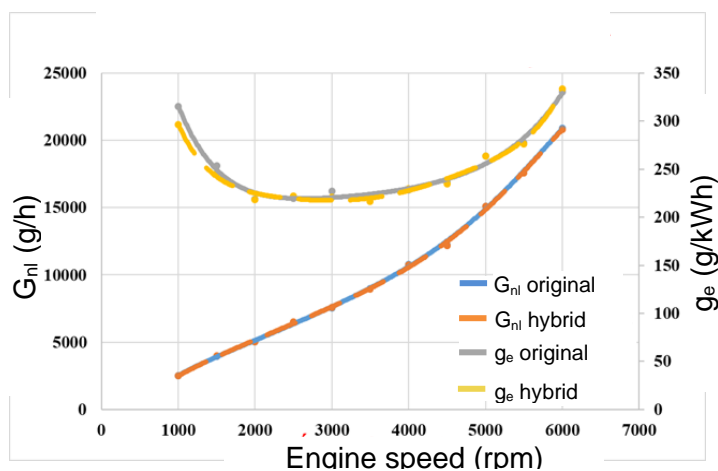


Figure 5.8: Fuel consumption (G_{nl}) and brake specific fuel consumption (g_e) curves

The result shows that minimum brake specific fuel consumption is reached $g_{emin} = 223\text{g/ kW.h}$ at 2.500 rpm (fuel consumption $G_{nl} = 15,7\text{ kg/h}$). The comparison showed that the differences in the original and hybrid ignition system can be negligible

The ignition coil energy:

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

W_n : The heat losses in ignition coil [1, 32]

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

W_L : The coil energy:

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

The energy consumed in one hour by ignition coil of the IDI stage corresponding to the engine speed given in table 5.2 is calculated as follows:

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

ne : engine speed (rpm)

When inductance ignition is not performed, saved power is $W_{\Sigma 1h}$ (per hour).

Researches show that: Engine efficiency: $\eta_e = 0,2 - 0,35$ [27,28], Belt efficiency: $\eta_d = 0,95 - 0,96$ [48], Alternator efficiency: $\eta_p = 0,4 - 0,65$ [3], Battery efficiency: $\eta_a = 0,75 - 0,9$ [49], total efficiency: $\eta_{\Sigma} = \eta_e \cdot \eta_d \cdot \eta_p \cdot \eta_a = 0,057 - 0,1966$.

Suppose $\eta_{\Sigma min} = 0,057$ and $\eta_{\Sigma max} = 0,1966$

Saved power (W_e) is obtained when we consider the transmission power loss given in table 5.3, saved power is calculated by equation (5.8).

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

thus: Maximum saved power: $W_{emax} = \frac{W_{\Sigma 1h}}{\eta_{\Sigma min}}$

Minimum saved power: $W_{emin} = \frac{W_{\Sigma 1h}}{\eta_{\Sigma max}}$

For gasoline fuel, we have $Q_H = 44\text{ MJ/kg}$ [27]. The equivalent amount of fuel saved in 1 hour, from the ignition energy savings given in table 5.3 is calculated by the following expression:

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

While: G_{nltk} : saved fuel amount (g), Q_H : low heat value of fuel (J/kg)

W_e : saved power (J)

Table 5.4: The saved fuel of the hybrid ignition system in one hour

Engine speed (rpm)	W_{emax} (J/h)	W_{emin} (J/h)	$G_{nltkmax}$ (g/h)	$G_{nltkmin}$ (g/h)
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

5.3.3 Emission quality

Table 5.6: Emission of the original engine and hybrid ignition engine

Exhaust gas	Original engine	Hybrid ignition engine
Average value of CO (% volume)	2,29	2,63
Average value of HC (ppm volume)	69,33	77

5.4 Conclusion

- The hybrid ignition system is able to work efficiently and reliably at different conditions of the engine.

- The system is capable of saving energy used for the ignition system in particular and for the engine in general.

Specifically:

Effective: Torque (M_e) and power (N_e)

When comparing the difference in M_e and N_e on the same TOYOTA 1NZ-FE engine using the original and hybrid ignition system the differences can be negligible (< 5%). This shows the reliability of hybrid ignition system in various engine conditions. due to the conditions of experiment engine (already used), both N_{emax} and M_{emax} is less than the published of manufacturer (new engine) - approximately 20%.

Emission

Through parameters of CO (% volume) and HC (ppm volume)

At idle, according to the assessment procedures of the Vietnam Register, the deviation of (% volume) and HC (volume ppm) emissions are less than 5%, which is matched with level 3 of Vietnam Emission Standard - according to TCVN 6438-2018.

Saved energy

In the four-cylinder engine, the hybrid ignition system is capable of using inductance energy from three inductor ignition coils to perform the ignition process for the remaining cylinder, without additional energy costs for the 4th ignition process. Thus, 25% of the energy supplied to the ignition system can be saved when the engine is working.

CONCLUSION AND DEVELOPMENT

Conclusion

The thesis is completed and can be concluded by:

1. The thesis has successfully researched and manufactured the hybrid ignition system on a four-cylinder engine (TOYOTA 1NZ-FE). This engine is capable of accumulating self-induced emf (from IDI stage) on three 1 μ F capacitors and serves for CDI stage. Its structure is simple and have advantages of the features available from the engine control system. The hybrid ignition system as shown ensures stable operation of the engine in different conditions and saves energy for one ignition / one engine duty cycle. This corresponds to 25% of the energy used for the ignition system.

2. The thesis has proposed a solution to recuse part of inductance energy on the primary circuit of the ignition coil. Thereby, contributing to reduce the energy used for the ignition system in particular and for the engine in general; participating in reducing emissions to the environment at the same time.

3. The thesis has successfully built a mathematic model and determined the parameters of the system and investigations of factors affecting system properties. (Total resistance of the primary circuit R , self-inductance of primary coil L_1 , capacitor capacitance C_1).

4. The thesis has given the basis of selecting the configuration of the hybrid ignition system and a method of determining the capacitance of the capacitor to play the role of inductance energy accumulation. Thereby, satisfying the ignition energy required for both stages (IDI and CDI), while still meet the required energy of the ignition system.

5. Experiment results on the four-cylinder TOYOTA 1NZ-FE engine using the original ignition system and hybrid ignition system shows that:

- The differences in $Ne = f(n)$, $Me = f(n)$ can be negligible (< 5%).
- The differences in emission of the original engine and hybrid ignition engine are: CO (% volume): 2,29 and 2,63. HC (ppm volume): 69,33 and

77, which is matched with level 3 of Vietnam Emission Standard - according to TCVN 6438-2018.

- The hybrid ignition system is able to meet the requirement of energy saving: Although the energy saving of the hybrid ignition system is not great, [the maximum savings of fuel equivalent is $G_{nltkmax} \text{ (g/h)} = 24,4 \text{ g fuel/h}$ when the engine is running at 6000 rpm - Table 5.4].

Development

1 Research using the accumulated energy from the self-induced emf of the coils for other purposes.

2 Study the hybrid ignition system on 1-cylinder engine in the direction of using multiple capacitors charged in turn and using energy on capacitors in one CDI stage.

3 Evaluate the impact of climatic conditions in Vietnam (hot, humid), on the operation of the ignition system in general and the hybrid ignition system in particular.

4 Research on strengthen the spark duration in the CDI system.