

TÍNH TOÁN SỨC ĐIỆN ĐỘNG TỰ CẢM TRÊN HỆ THỐNG ĐÁNH LỬA LẠI

CALCULATION OF ELECTROMOTIVE FORCE (EMF) ON HYBRID IGNITION SYSTEMS

Đỗ Quốc Âm, Đỗ Văn Dũng,
 Phan Nguyễn Quý Tâm, Lê Khánh Tân
 Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP.HCM

Ngày tòa soạn nhận bài 25/3/2015, ngày phản biện đánh giá 4/4/2015, ngày chấp nhận đăng 8/4/2015

TÓM TẮT

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

Từ khóa: Sức điện động tự cảm, mạch sơ cấp, hệ thống đánh lửa lai, dao động

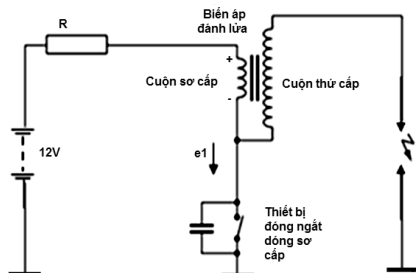
ABSTRACT

This paper presents a computing method of the electromotive force on hybrid ignition system which combines capacitor discharged and inductance ignitions. Evaluate these calculations. The results have defined the oscillating pattern of waveforms and the parameters that influenced on performance of hybrid ignition systems.

Keywords: Electromotive force, primary circuit, hybrid ignition, oscillation.

I. ĐẶT VẤN ĐỀ

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 bu-gi. Hệ thống đánh lửa có nhiệm vụ biến điện áp thấp trên ô tô (12V hay 24V) thành các xung điện cao thế (từ 15.000V đến 40.000V) và phân bố đến các bu-gi theo đúng thời điểm để đốt cháy hòa khí [1-2]. Với các công dụng trên hệ thống đánh lửa có ý nghĩa hết sức quan trọng trong việc nâng cao hiệu suất làm việc, giảm tiêu hao nhiên liệu và ô nhiễm môi trường trên động cơ đánh lửa cưỡng bức.

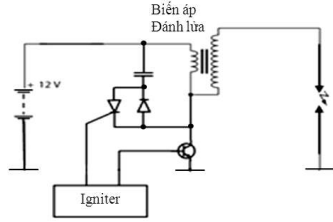


Hình 1: Sơ đồ nguyên lý mạch đánh lửa thường

Khi làm việc, trên cuộn sơ cấp của biến áp đánh lửa (bo-bin) xuất hiện sức điện động tự cảm $e_1 = W_1 (d\Phi/dt)$ (từ 100-300V) [1]. 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), gây nóng bo-bin và làm kéo dài thời gian triệt tiêu dòng điện qua cuộn sơ cấp của bo-bin, qua đó giảm giá trị cực đại của điện áp thứ cấp. Ngoài ra, sự phóng điện này sẽ gây nhiễu, ảnh hưởng đến các thiết bị điện và điện tử khác trên ô tô [1].

Sự ra đời của hệ thống đánh lửa lai, kết hợp giữa hệ thống đánh lửa điện dung và điện cảm sẽ tận dụng phần năng lượng “thừa” này. Theo đó, sức điện động tự cảm trên cuộn sơ cấp của bo-bin sẽ được tích lũy vào một tụ điện và sử dụng phần năng lượng này cho các lần đánh lửa tiếp theo. 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, nâng cao được chất lượng đánh lửa trên hệ thống

và chóng nhiều cho các thiết bị điện khác trên ô tô. Giải phương trình vi phân (1) ta được :



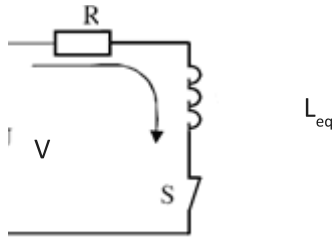
Hình 2: Mạch đánh lửa lai

Đã có một số nghiên cứu về hệ thống đánh lửa kết hợp điện dung và điện cảm. Tuy nhiên, các tác giả chỉ đi sâu nghiên cứu việc kéo dài tia lửa điện xuất hiện trên bu-gi [3-4]. Với đề xuất hệ thống đánh lửa lai tận dụng được năng lượng tự cảm nêu trên, sẽ tiết kiệm được năng lượng sử dụng trên động cơ, giảm lượng khí thải thoát ra môi trường.

II. MÔ HÌNH TÍNH TOÁN

Dựa trên mạch đánh lửa đề xuất ta có mô hình tính toán như sau:

Quá trình tích lũy năng lượng (transistor dẫn)



Hình 3: Sơ đồ mạch đánh lửa lai tại thời điểm transistor công suất dẫn

Theo sơ đồ trên ta có thể thiết lập được phương trình vi phân sau :

$$i_1 = \frac{V}{R} \left(1 - e^{-\left(\frac{R}{L_{eq}}\right)t} \right) \quad (2)$$

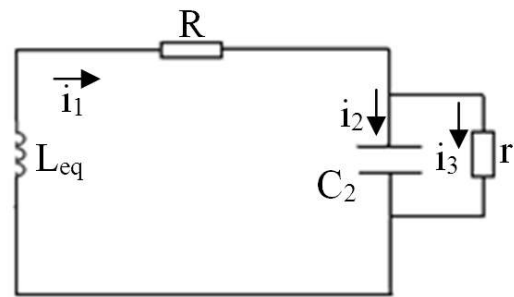
Trong đó:

- R: Tổng trở của mạch sơ cấp
- L_{eq} : Hệ số tự cảm của cuộn sơ cấp
- i_1 : Cường độ dòng điện sơ cấp

$$i_1 = \frac{V}{R} \left(1 - e^{-\left(\frac{R}{L_{eq}}\right)t} \right) \quad (2)$$

Quá trình transistor ngắt

Khi transistor ngắt ta có mô hình tính toán sau



Hình 4: Mô hình tính toán mạch đánh lửa lai

Trong đó:

R: tổng trở của mạch sơ cấp

r : điện trở rò của tụ C_2

L_{eq} : hệ số tự cảm của cuộn sơ cấp

i_1 : dòng điện qua điện trở R

i_2 : dòng điện qua tụ C_2

i_3 : dòng điện rò qua tụ C_2

C_2 : Dung lượng của tụ

Áp dụng định luật Kirchoff cho mạch trên ta có

$$\begin{cases} -L_{eq} \frac{di_1}{dt} = i_1(t)R + i_3(t)r & (3) \\ i_1(t) = i_2(t) + i_3(t) \\ r i_3(t) = \frac{1}{C_2} \int i_2(t) dt \end{cases}$$

Giải hệ phương trình (3) ta được $i_1(t)$:

$$i_1(t) = ae^{-\frac{c}{2}t} \cos\left(\sqrt{d - \frac{c^2}{4}}t\right) + \frac{b - \frac{ac}{2}}{\sqrt{d - \frac{c^2}{4}}} e^{-\frac{c}{2}t} \sin\left(\sqrt{d - \frac{c^2}{4}}t\right) \quad (4)$$

Với:

$$\begin{cases} a = I_o & c = \frac{L_{eq} + RC_2 r}{L_{eq} C_2 r} \\ b = \frac{I_o}{C_2 r} & d = \frac{R + r}{L_{eq} C_2 r} \end{cases}$$

Đặt:

$$\begin{cases} x = -\frac{c}{2} \\ y = \sqrt{d - \frac{c^2}{4}} \\ z = \frac{b - \frac{ac}{2}}{\sqrt{d - \frac{c^2}{4}}} \end{cases}$$

Phương trình $i_1(t)$ được viết lại:

$$i_1(t) = ae^{xt} \cos(yt) + ze^{xt} \sin(yt) \quad (5)$$

Sức điện động tự cảm trên cuộn sơ cấp khi transistor ngắt

Để tính toán sức điện động tự cảm trên cuộn sơ cấp khi, ta dùng công thức tính toán sau:

$$V_1 = -L_{eq} \frac{di_1}{dt} \quad (6)$$

Tiến hành đạo hàm phương trình (5) ta có:

$$\begin{aligned} \frac{di_1}{dt} &= ax.e^{xt} \cdot \cos(yt) - ay.e^{xt} \sin(yt) + \\ &+ xz.e^{xt} \sin(yt) + zy.e^{xt} \cos(yt). \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \rightarrow \frac{di_1}{dt} &= (ax + zy)e^{xt} \cos(yt) + \\ &+ (xz - ay)e^{xt} \sin(yt). \end{aligned}$$

Thay kết quả vừa tính được ở trên vào công thức tính V_1 (6), ta được:

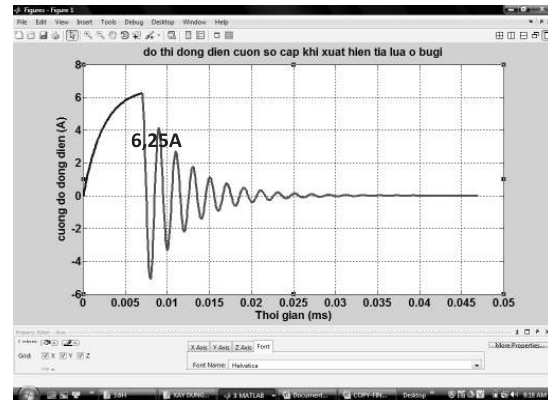
$$V_1(t) = -L_{eq} \frac{di_1}{dt} \rightarrow V_1(t) = -L_{eq} \left[(ax + zy)e^{xt} \cos(yt) + (xz - ay)e^{xt} \sin(yt) \right] \quad (8)$$

III. MÔ PHỎNG

Mạch đánh lửa như đã trình bày được mô phỏng hoạt động bằng phần mềm Matlab. Các giá trị của các thông số tính toán giống như các thông số dùng trong các thực nghiệm được trình bày trong phần 4.

Mô phỏng cường độ dòng điện

Mô phỏng cường độ dòng điện qua cuộn sơ cấp của biến áp đánh lửa của hai quá trình transistor dẫn và transistor ngắt dựa trên hai phương trình (2) và (8), với thông số của hệ thống như sau: $R=1.9 \Omega$, $L=4,52\text{mH}$; $V=12,54 \text{V}$; $C=0,33\mu\text{F}$, thời gian tích lũy năng lượng $t_{ng}=7\text{ms}$.

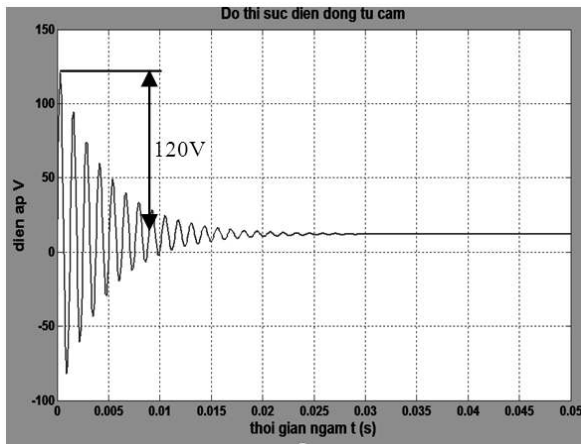


Hình 5: Kết quả mô phỏng cường độ dòng điện qua cuộn sơ cấp của bo-bin

Mô phỏng sức điện động tự cảm

Mô phỏng và tính toán sức điện động tự cảm trên sơ cấp của bo-bin dựa trên phương trình (8), với thông số của hệ thống như sau $V=12,54\text{V}$; $R_{\text{bo-bin}}=1,6 \Omega$; $L_1=4,52\text{mH}$; $r_{\text{rò}}=1000000\Omega$; $C=0,33\mu\text{F}$;

$$R = R_{\text{bo-bin}} + R_{\text{igniter}} = 1,6 + 0,3 = 1,9\Omega.$$



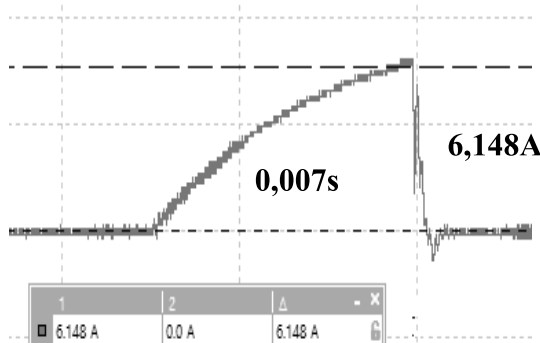
Hình 6: Kết quả mô phỏng sức điện động tự cảm trên cuộn sơ cấp bo-bin, tương ứng với thời gian tích lũy năng lượng $t_{ng}=3,7ms$

IV. THỰC NGHIỆM VÀ ĐÁNH GIÁ KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM

Nhằm mục đích đánh giá các kết quả tính toán trên, người thực hiện đề tài tiến hành các thực nghiệm theo mô hình hệ thống đã nêu.

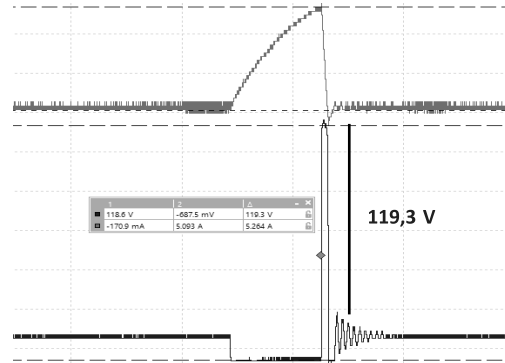
Các thông số của mạch được xác định bằng đồng hồ LCR, nguồn điện áp sử dụng trong thực nghiệm được ổn định có giá trị DC= 12,54V. Thiết bị đóng ngắt dòng sơ cấp (Igniter) có thể thay đổi được thời gian tích lũy năng lượng và có điện trở là 0,3Ω, các thông số của hệ thống: $V=12,54V$; $R_{bo-bin}=1,6\Omega$; $L_1=4,52mH$; $r_{r0}=1000000\Omega$; $C=0,33\mu F$; $R=1,9\Omega$

Cường độ dòng điện qua cuộn sơ cấp



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

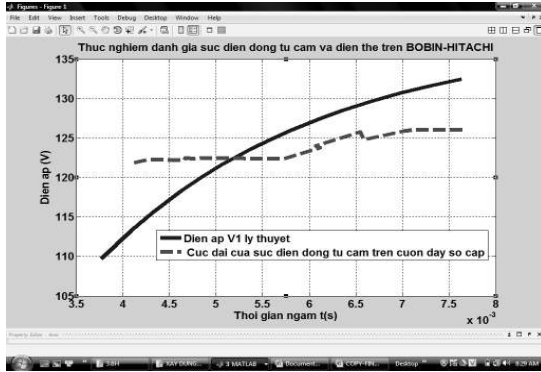
Dựa vào kết quả thực nghiệm cường độ qua cuộn sơ cấp của bo-bin cho thấy, ở giai đoạn tích lũy năng lượng (ứng với thời gian ngậm điện $t_{ng} = 0,007s$), qui luật tăng trưởng dòng điện giống như kết quả tính toán, giá trị cực đại của cường độ dòng điện có sai lệch khoảng 1% so với kết quả tính toán. Tuy nhiên, ở giai đoạn transistor ngắt, số dao động và biên độ dao động của dòng điện nhỏ hơn kết quả mô phỏng.



Hình 8: Kết quả thực nghiệm đánh giá sức điện động tự cảm trên cuộn sơ cấp của bo-bin ứng với thời gian tích lũy năng lượng: $t_{ng}=3,7ms$.

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

Khi đưa vào phương trình (8) một hệ số k tác động vào thông số y (với $y=k\sqrt{d-\frac{c^2}{4}}$) với $k = 0,19$ ứng với R cuộn sơ cấp $R_{bo-bin} = 1,6\Omega$; $k=0,15$ ứng với R cuộn sơ cấp $R_{bo-bin} = 0,9\Omega$; $k=0,12$ ứng với R cuộn sơ cấp $R_{bo-bin} = 0,6\Omega$, sai lệch về giá trị cực đại của dao động điện thế trên cuộn sơ cấp khi so sánh giữa các kết quả tính toán và thực nghiệm nằm trong khoảng $\Leftrightarrow 10\%$



Hình 9: So sánh điện áp cực đại của sức điện động tự cảm tính toán V_1 với các giá trị thực nghiệm ở các thời gian tích lũy năng lượng khác nhau

Trên hình 9 trình bày so sánh cực đại của giá trị sức điện động tự cảm trong tính toán và thực

nghiệm khi thay đổi thời gian tích lũy năng lượng trên cuộn sơ cấp của bo-bin Hitachi, với các thông số: $U=12,54V$; $R_{bo-bin}=1,6 \Omega$; $L_1=4,52mH$; $r_{r0}=1000000\Omega$; $C=0,33\mu F$; $R=1,9\Omega$ cho thấy sai lệch giữa kết quả tính toán và thực nghiệm nhỏ hơn 10%.

V. KẾT LUẬN

Từ kết quả thử nghiệm và các tính toán dựa trên mô hình toán đã xây dựng, cho thấy sức điện động tự cảm trên mạch sơ cấp của hệ thống đã trình bày là một dao động dạng sin tắt dần. Giá trị cực đại của sức điện động tự cảm được tính toán theo mô hình đề xuất sai lệch so với các giá trị thực nghiệm khoảng 10%. Kết quả này sẽ là cơ sở để đánh giá các yếu tố liên quan đến sức điện động tự cảm trên mô hình đã đề xuất.

VI. TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] PGS.TS. Đỗ Văn Dũng, *Điện động cơ và điều khiển động cơ*, NXB Đại học Quốc gia Tp. Hồ Chí Minh, 2013.
- [2] Đinh Ngọc Ân, *Trang bị điện ô tô máy kéo*, Nhà xuất bản đại học và trung học chuyên nghiệp Hà Nội, 1980
- [3] Michael J Frech, Kenosha, Win; Matthew Joseph Edwards, Des, plaines III, *Hybrid ignition for an internal combustion engine*, USA Patent No: 5,806,504, sep, 15, 1998
- [4] Shingo Morita, Takafumi Narishige, Mitsuru Koiwa; all of Himeji, Japan; *Capacitive ignition system with inductively extended discharge time*, USA Patent No: 5220901, jul, 22, 1993
- [5] Terrence Lyle Williamson; *Ignition system requirements and their application to the design of capacitor discharge ignition system*, Naval postgraduate school, Monterey, California, December, 1971.
- [6] Keithley Instruments, Inc, *Capacitor Leakage Measurements Using a Model 6517A Electrometer*, Application Note Series .