

PHẦN I: CƠ SỞ LÝ LUẬN

CHƯƠNG 1: KHÁI QUÁT VỀ HỆ THỐNG ĐÁNH LỬA

1.1 LỊCH SỬ PHÁT TRIỂN CỦA HỆ THỐNG ĐÁNH LỬA

Sự ra đời của hệ thống đánh lửa gắn liền với sự ra đời của động cơ đốt trong đánh dấu bước khởi đầu cho nền công nghiệp ô tô. Ban đầu động cơ sử dụng hệ thống đánh lửa điều khiển bằng má vít. Hệ thống này có nhược điểm thời điểm đánh lửa không chính xác cùng với kết cấu cơ khí nên hay phải bảo dưỡng. Năm 1964 hệ thống đánh lửa CDI (capacitor discharge ignition) đã được nghiên cứu và ứng dụng trên xe NSU sprider.

Bên cạnh đó khi xã hội phát triển, các yêu cầu ngày càng cao về môi trường, sự tiêu hao nhiên liệu đã khiến cho hệ thống đánh lửa thường và hệ thống đánh lửa CDI không còn đáp ứng được những yêu cầu đặt ra. Chính điều đó đã khiến cho các nhà khoa học tìm tòi phát minh ra hệ thống đánh lửa mới đáp ứng tốt hơn tính kinh tế nhiên liệu và tính ô nhiễm môi trường. Đến năm 1978 các hãng xe BMW, Chrysler, Fiat, Lancia, Leyland, Mercedes, Peugeot, Porsche, và Volvo, cho ra đời hệ thống đánh lửa bán dẫn TCI (Transistorized coil ignition) sự phát triển tiếp theo của đánh lửa CDI.

Sự hỗ trợ của khoa học kỹ thuật, lịch sử phát triển cho ra đời hệ thống đánh lửa điện tử SI (Semiconductor ignition) và hệ thống đánh lửa không có bộ chia điện BSI (Breakerless semiconductor ignition). Trong đó hệ thống đánh lửa SI vẫn sử dụng bộ chia điện và một bobin còn BSI sử dụng với nhiều bobin hơn và không có bộ chia điện. Ứng dụng đầu tiên của hệ thống BSI trên xe Citroën Visa giới thiệu ra công chúng năm 1978. Với đà phát triển đó năm 1979 hãng Bosch đã cho ra đời hệ thống điều khiển động cơ “Motronic” với sự tích hợp điều khiển nhiều hệ thống như điều khiển thời điểm đánh lửa, điều khiển nhiên liệu, điều khiển tốc độ không tải. Giúp quá trình điều khiển linh hoạt hơn, độ chính xác cao hơn tăng tính kinh tế nhiên liệu và giảm tính ô nhiễm của khí thải.

1.2 CÁC VẤN ĐỀ CHUNG

1.2.1 CHỨC NĂNG CỦA HỆ THỐNG ĐÁNH LỬA

Biến đổi dòng điện 1 chiều điện áp thấp (12V, 24V) thành các xung điện áp cao (12.000V ÷ 45.000V) đủ tạo ra tia lửa điện mạnh (nhiệt độ 10.000⁰C) vào đúng thời điểm quy định (thời điểm đánh lửa sớm) và theo một thứ tự nhất định (thứ tự nổ).

1.2.2 YÊU CẦU

Một hệ thống đánh lửa làm việc tốt phải đảm bảo các yêu cầu sau:

- Hệ thống đánh lửa phải sinh ra sức điện động đủ lớn để phóng qua khe hở bugi trong tất cả các chế độ làm việc của động cơ.
- Tia lửa trên bugi phải đủ năng lượng và thời gian phóng để sự cháy bắt đầu.
- Góc đánh lửa phải đúng trong mọi chế độ hoạt động của động cơ.
- Các phụ kiện của hệ thống đánh lửa phải hoạt động tốt trong điều kiện nhiệt độ cao và độ rung xóc lớn.
- Sự mài mòn điện cực bugi phải nằm trong khoảng cho phép.

1.2.3 CÁC THÔNG SỐ CHỦ YẾU CỦA HỆ THỐNG ĐÁNH LỬA

a. Hiệu điện thế thứ cấp cực đại U_{2m}

Hiệu điện thế thứ cấp cực đại U_{2m} là hiệu điện thế cực đại đo được ở hai đầu cuộn dây thứ cấp khi tách dây cao áp ra khỏi bugi. Hiệu điện thế thứ cấp cực đại U_{2m} phải đủ lớn để có khả năng tạo được tia lửa điện giữa hai điện cực của bugi, đặc biệt là lúc khởi động.

b. Hiệu điện thế đánh lửa U_{dl}

Hiệu điện thế thứ cấp mà ở đó quá trình đánh lửa xảy ra, được gọi là hiệu điện thế đánh lửa U_{dl} . Hiệu điện thế đánh lửa là một hàm phụ thuộc vào nhiều yếu tố, tuân theo định luật Pashen.

$$U_{dl} = K \frac{P\delta}{T} \quad (1.1)$$

Trong đó:

P : là áp suất buồng đốt tại thời điểm đánh lửa.

δ : khe hở bugi.

T : nhiệt độ ở điện cực trung tâm của bugi tại thời điểm đánh lửa.

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

c. Hệ số dự trữ K_{dl}

Hệ số dự trữ là tỷ số giữa hiệu điện thế cực đại U_{2m} và hiệu điện thế đánh lửa

U_{dl} :

$$K_{dt} = \frac{U_{2m}}{U_{dt}} \quad (1.2)$$

Đối với hệ thống đánh lửa thường, do U_{2m} thấp nên K_{dt} thường nhỏ hơn 1,5. Trên những động cơ xăng hiện đại với hệ thống đánh lửa lập trình, hệ số dự trữ đánh lửa có giá trị khá cao ($K_{dt} = 1,5 \div 2,0$), đáp ứng được việc tăng tỷ số nén, tăng số vòng quay và tăng khe hở bugi.

d. Năng lượng dự trữ W_{dt} trong cuộn sơ cấp

Năng lượng dự trữ W_{dt} là năng lượng tích lũy dưới dạng từ trường trong cuộn dây sơ cấp của bobin. Để đảm bảo tia lửa điện có đủ năng lượng để đốt cháy hoàn toàn hòa khí, hệ thống đánh lửa phải đảm bảo năng lượng dự trữ trên cuộn sơ cấp của bobin ở một giá trị xác định:

$$W_{dt} = \frac{L_1 \times I_{ng}^2}{2} = 50 \div 150 \text{ mJ} \quad (1.3)$$

Trong đó:

- W_{dt} : năng lượng dự trữ trên cuộn sơ cấp.
- L_1 : độ tự cảm của cuộn sơ cấp của bobin.
- I_{ng} : cường độ dòng điện sơ cấp tại thời điểm transistor công suất ngắt.

e. Tốc độ biến thiên của hiệu điện thế thứ cấp S

$$S = \frac{du_2}{dt} = \frac{\Delta u_2}{\Delta t} = 300 \div 600 \text{ V}/\mu\text{s} \quad (1.4)$$

Trong đó:

- S : là tốc độ biến thiên của hiệu điện thế thứ cấp.
- Δu_2 : độ biến thiên của hiệu điện thế thứ cấp.
- Δt : thời gian biến thiên của hiệu điện thế thứ cấp.

Tốc độ biến thiên của hiệu điện thế thứ cấp S càng lớn thì tia lửa điện xuất hiện ở điện cực bugi càng mạnh nhờ đó dòng không bị rò qua muội than trên điện cực bugi, năng lượng tiêu hao trên mạch thứ cấp giảm.

f. Tần số và chu kỳ đánh lửa

Đối với động cơ xăng 4 kỳ, số tia lửa trong một giây hay còn gọi là tần số đánh lửa được xác định bởi công thức:

$$f = \frac{nZ}{120} \quad (\text{Hz}) \quad (1.5)$$

Đối với động cơ 2 kỳ:

$$f = \frac{nZ}{60} \quad (\text{Hz}) \quad (1.6)$$

Trong đó:

- f : tần số đánh lửa.
- n : số vòng quay trục khuỷu động cơ (min^{-1}).
- Z : số xylanh động cơ.

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

$$T = 1/f = t_d + t_m$$

Trong đó:

- t_d : thời gian vít ngậm hay transistor công suất bão hòa.
- t_m : thời gian vít hở hay transistor công suất ngắt.

Tần số đánh lửa f tỷ lệ thuận với vòng quay trục khuỷu động cơ và số xylanh. Khi tăng số vòng quay của động cơ và số xylanh, tần số đánh lửa f tăng và do đó chu kỳ đánh lửa T giảm xuống. Vì vậy, khi thiết kế cần chú ý đến 2 thông số là chu kỳ và tần số đánh lửa để đảm bảo ở số vòng quay cao nhất của động cơ tia lửa vẫn mạnh.

g. Năng lượng tia lửa

Thông thường, tia lửa điện bao gồm hai thành phần là thành phần điện dung và thành phần điện cảm. Năng lượng của tia lửa được tính theo công thức:

$$W_p = W_c + W_L \quad (1.7)$$

✚ Năng lượng điện dung

$$W_c = \frac{C_2 U_{dl}^2}{2} \quad (1.8)$$

Trong đó :

- W_c : năng lượng của thành phần tia lửa có tính điện dung.
- C_2 :điện dung ký sinh của mạch thứ cấp của bugi.
- U_{dl} : hiệu điện thế đánh lửa.

✚ Năng lượng điện cảm

$$W_L = \frac{L_2 i_2^2}{2} \quad (1.9)$$

Trong đó :

- W_L :năng lượng của thành phần tia lửa có tính điện cảm.
- L_2 : độ tự cảm của mạch thứ cấp.
- i_2 :cường độ dòng điện mạch thứ cấp.

Tùy loại hệ thống đánh lửa mà năng lượng tia lửa có đủ cả hai thành phần điện cảm (thời gian phóng điện dài) và điện dung (thời gian phóng điện ngắn) hoặc chỉ có một thành phần.

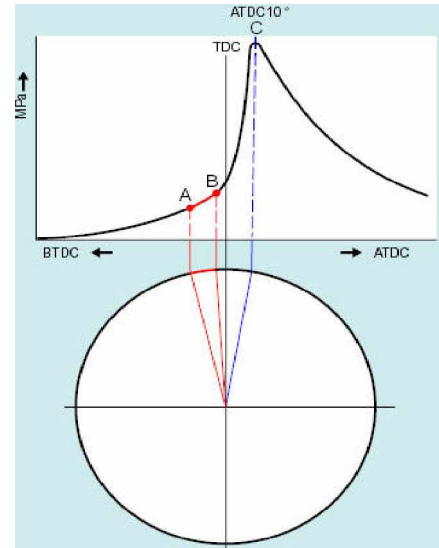
1.2.4 VẤN ĐỀ ĐÁNH LỬA SỚM

a. Quá trình cháy của hòa khí

Quá trình cháy của hòa khí tính từ khi tia lửa xuất hiện ở bugi được chia thành hai giai đoạn : giai đoạn cháy trễ và giai đoạn lan truyền ngọn lửa.

🔧 *Giai đoạn cháy trễ*

Sự bốc cháy của hỗn hợp không khí – nhiên liệu không phải xuất hiện ngay sau khi đánh lửa . Thoạt đầu, một khu vực nhỏ (hạt nhân) ở sát ngay tia lửa bắt đầu cháy, và quá trình bắt cháy này lan ra khu vực xung quanh. Quãng thời gian từ khi hỗn hợp không khí - nhiên liệu được đánh lửa cho đến khi nó bốc cháy được gọi là giai đoạn cháy trễ (khoảng A đến B trong sơ đồ). Giai đoạn cháy trễ đo gần như không thay đổi và nó không bị ảnh hưởng bởi điều kiện làm việc của động cơ.



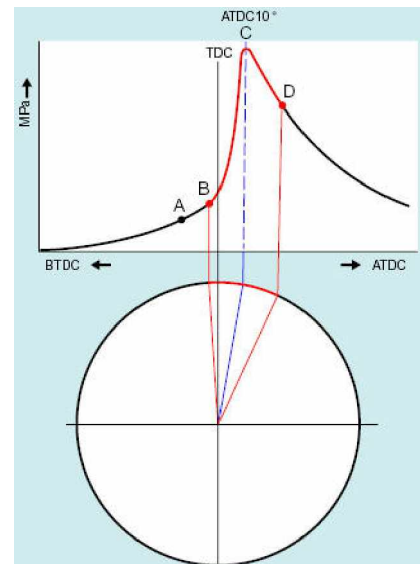
Hình 1.1: *Giai đoạn cháy trễ*

🔧 *Giai đoạn lan truyền ngọn lửa*

Sau khi hạt nhân ngọn lửa hình thành, ngọn lửa nhanh chóng lan truyền ra xung quanh. Tốc độ lan truyền này được gọi là tốc độ lan truyền ngọn lửa, và thời kỳ này được gọi là thời kỳ lan truyền ngọn lửa (B-C-D trong sơ đồ hình 1.2).

Khi có một lượng lớn không khí được nạp vào, hỗn hợp không khí- nhiên liệu trở nên có mật độ cao hơn. Vì thế, khoảng cách giữa các hạt trong hỗn hợp không khí – nhiên liệu giảm xuống, nhờ thế tốc độ lan truyền ngọn lửa tăng lên.

Ngoài ra, luồng hỗn hợp không khí- nhiên liệu xoáy lốc càng mạnh thì tốc độ lan truyền ngọn lửa càng cao. Khi tốc độ lan truyền ngọn lửa cao, cần phải định thời đánh lửa sớm. Do đó cần



Hình 1.2: *Giai đoạn lan truyền ngọn lửa.*

phải điều khiển thời điểm đánh lửa theo điều kiện làm việc của động cơ.

b. Góc đánh lửa sớm θ_{opt}

Góc đánh lửa sớm là góc quay của trục khuỷu động cơ tính từ thời điểm xuất hiện tia lửa điện tại bugi cho đến khi piston lên tới điểm chết trên.

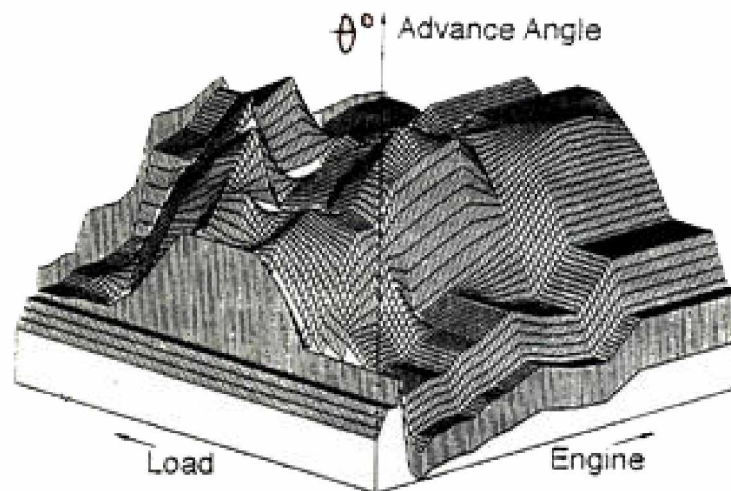
Góc đánh lửa sớm ảnh hưởng rất lớn đến công suất, tính kinh tế và độ ô nhiễm của khí thải động cơ. Góc đánh lửa sớm tối ưu phụ thuộc rất nhiều yếu tố:

$$\theta_{opt} = f(p_{bd}, t_{bd}, p, t_{wt}, t_{mt}, n, N_o, \dots) \quad (1.10)$$

Trong đó:

- P_{bd} : áp suất buồng đốt tại thời điểm đánh lửa.
- t_{bd} : nhiệt độ buồng đốt.
- P : áp suất trên đường ống nạp.
- t_{wt} : nhiệt độ nước làm mát động cơ.
- t_{mt} : nhiệt độ môi trường.
- n : số vòng quay của động cơ.
- N_o : chỉ số ốc tan của động cơ xăng.

Ở các xe đời cũ, góc đánh lửa sớm chỉ được điều khiển theo hai thông số: tốc độ (bộ sớm ly tâm) và tải (bộ sớm áp thấp) của động cơ. Tuy nhiên, hệ thống đánh lửa ở một số xe (TOYOTA, HONDA...), có trang bị thêm van nhiệt và sử dụng bộ phận đánh lửa sớm theo hai chế độ nhiệt độ. Trên các xe đời mới, góc đánh lửa sớm được điều khiển bằng điện tử nên góc đánh lửa sớm được hiệu chỉnh theo các thông số nêu trên. Trên hình 1.3 trình bày bản đồ góc đánh lửa sớm theo tốc độ và tải động cơ trên xe đời mới.

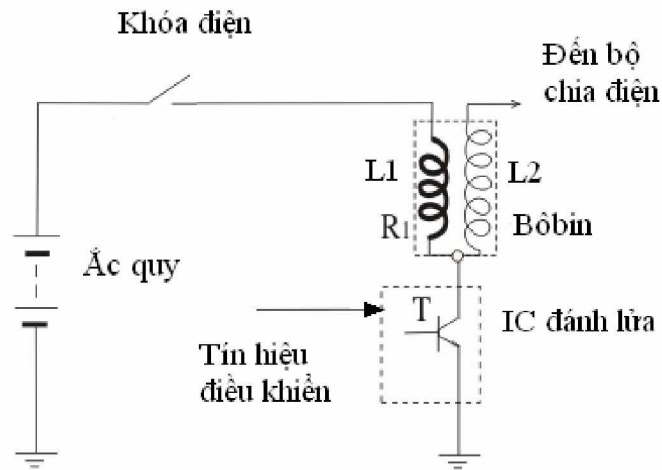


Hình 1.3: Bản đồ góc đánh lửa sớm theo tốc độ và tải động cơ trên ô tô đời mới

1.3 LÝ THUYẾT ĐÁNH LỬA

Trong động cơ xăng 4 kỳ, hòa khí sau khi được đưa vào trong xylanh và được hòa trộn đều nhờ sự xoáy lốc của dòng khí, sẽ được piston nén lại. Ở một thời điểm thích hợp cuối kỳ nén, hệ thống đánh lửa sẽ cung cấp một tia lửa điện cao thế đốt cháy hòa khí và sinh công cho động cơ. Để tạo được tia lửa giữa hai điện cực của bugi, quá trình đánh lửa được chia làm 3 giai đoạn: quá trình tăng trường của dòng sơ cấp hay còn gọi là quá trình tích lũy năng lượng, quá trình ngắt dòng sơ cấp và quá trình xuất hiện tia lửa ở điện cực bugi.

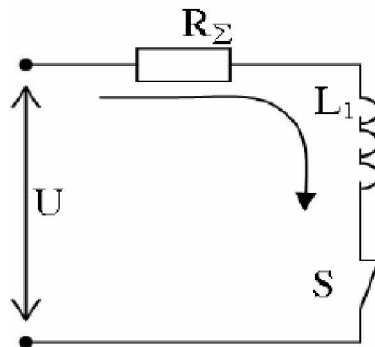
a. Quá trình tăng trường dòng sơ cấp.



Hình 1.4: Sơ đồ nguyên lý hệ thống đánh lửa.

Trong sơ đồ hệ thống đánh lửa trên:

- R_1 : điện trở của cuộn sơ cấp.
- L_1, L_2 : độ tự cảm của cuộn sơ cấp và thứ cấp của bôbin.
- T : transistor công suất được điều khiển nhờ tín hiệu từ ECU



Hình 1.5: Sơ đồ tương đương của mạch sơ cấp của hệ thống đánh lửa

Khi transistor công suất dẫn, trong mạch sơ cấp sẽ có dòng điện i_1 từ (+) ắc quy $\rightarrow R_1 \rightarrow L_1 \rightarrow T \rightarrow \text{mát}$. Dòng i_1 tăng từ từ do sức điện động tự cảm sinh ra trên cuộn sơ cấp L_1 chống lại sự tăng của cường độ dòng điện. Ở giai đoạn này, mạch thứ cấp của hệ thống đánh lửa gần như không ảnh hưởng đến quá trình tăng dòng ở mạch sơ cấp. Hiệu điện thế và cường độ dòng điện xuất hiện ở mạch thứ cấp không đáng kể nên ta có thể coi mạch thứ cấp hở. Vì vậy, ở giai đoạn này ta có sơ đồ tương đương trình bày trên hình 1.5. Trên sơ đồ, giá trị điện trở của ắc quy được bỏ qua, trong đó:

$$R_{\Sigma} = R_1$$

$$U = U_a - \Delta U_T$$

U_a : hiệu điện thế của ắc quy.

ΔU_T : độ sụt áp trên transistor công suất ở trạng thái dẫn bão hòa .

Từ sơ đồ hình 1.5 ta có thể thiết lập được phương trình vi phân sau:

$$i_1 \cdot R_{\Sigma} + L_1 \frac{di_1}{dt} = U \quad (1.11)$$

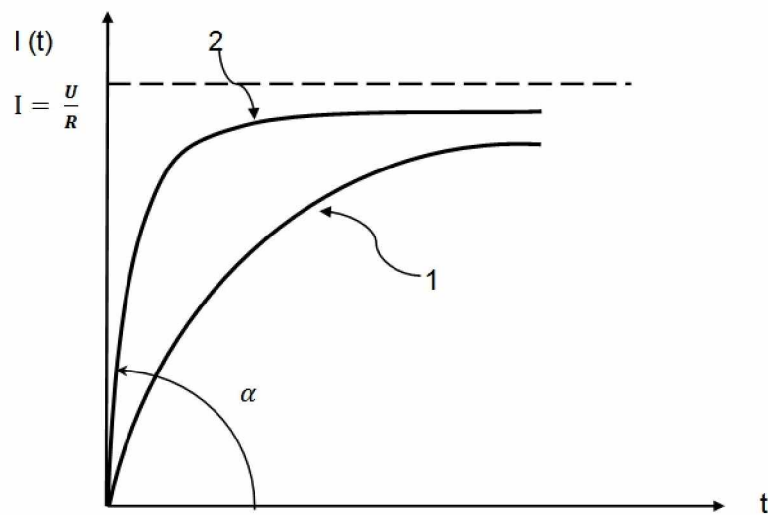
Giải phương trình vi phân (1.11) ta được:

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

Gọi $\tau_1 = L_1 / R_{\Sigma}$ là hằng số điện từ của mạch.

$$i_1(t) = (U / R_{\Sigma}) (1 - e^{-t/\tau_1}) \quad (1.12)$$

Lấy đạo hàm (1.12) theo thời gian t , ta được tốc độ tăng trưởng của dòng sơ cấp (hình 1.7). Như vậy, tốc độ tăng dòng sơ cấp phụ thuộc chủ yếu vào độ tự cảm L_1 .



Hình 1.6 : Quá trình tăng trưởng dòng sơ cấp

Với bobin xe đời cũ với độ tự cảm lớn (đường 1), tốc độ tăng dòng sơ cấp chậm hơn so với bobin xe đời mới với độ tự cảm nhỏ (đường 2). Chính vì vậy, lửa sẽ càng yếu khi tốc độ càng cao. Trên xe đời mới, hiện tượng này được khắc phục nhờ sử dụng bobin có L_1 nhỏ.

Đồ thị cho thấy độ tự cảm L_1 của cuộn sơ cấp càng lớn thì tốc độ tăng trường dòng i_1 càng giảm.

Gọi t_d là thời gian transistor công suất dẫn bão hòa thì cường độ dòng điện sơ cấp I_{ng} tại thời điểm đánh lửa khi transistor công suất ngắt là:

$$I_{ng} = \frac{U}{R_{\Sigma}} (1 - e^{-t_d/\tau_1}) \quad (1.13)$$

Trong đó:

$$t_d = \gamma_d \cdot T = \gamma_d \cdot 120 / (n \cdot Z).$$

T : chu kỳ đánh lửa (S).

n : số vòng quay trục khuỷu động cơ (min^{-1}).

Z : số xylanh của động cơ.

γ_d : thời gian tích lũy năng lượng tương đối.

Trên các xe đời cũ, thời gian tích lũy năng lượng tương đối $\gamma_d = 2/3$, còn các xe đời mới nhờ cơ cấu hiệu chỉnh thời gian tích lũy năng lượng (góc ngậm điện) nên $\gamma_d < 2/3$.

$$\Rightarrow I_{ng} = \frac{U}{R_{\Sigma}} \left(1 - e^{-\gamma_d \frac{120}{nZ} \cdot \frac{1}{\tau_1}} \right) \quad (1.14)$$

Từ công thức (1.14), ta thấy I_{ng} phụ thuộc vào tổng trở của mạch sơ cấp (R_l), độ tự cảm của cuộn dây sơ cấp (L_1), số vòng quay trục khuỷu động cơ (n_{dc}), và số xylanh (Z). Nếu R_{Σ}, L_1, Z không đổi thì khi tăng số vòng quay trục khuỷu động cơ (n_{dc}), cường độ dòng điện I_{ng} sẽ giảm.

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

$$W_{dt} = \frac{I_{ng}^2 \cdot L}{2} = \frac{L_1}{2} \times \frac{U^2}{R_{\Sigma}^2} (1 - e^{-t_d/\tau_1})^2$$

$$W_{dt} = \frac{L_1}{2} \times \frac{U^2}{R_{\Sigma}^2} (1 - 2e^{-a} + e^{-2a}) \quad (1.15)$$

Trong đó:

- W_{dt} : năng lượng tích lũy trong cuộn sơ cấp.

$$- a = \frac{t_d}{\tau_1} = \frac{R_\Sigma}{L_1} t_d$$

Hàm $W_{dt} = f(a)$ (1.5) đạt được giá trị cực đại, tức nhận được năng lượng từ hệ thống cấp điện nhiều nhất khi:

$$a = \frac{R_\Sigma}{L_1} t_{\bar{n}} = 1,256 \quad (1.16)$$

Đối với hệ thống đánh lửa thường và đối với hệ thống đánh lửa bán dẫn không có mạch hiệu chỉnh thời gian tích lũy năng lượng t_d , điều kiện (1.16) không thể thực hiện được vì t_d là giá trị thay đổi phụ thuộc và tốc độ của động cơ (n_{dc}). Sau khi đạt được giá trị U / R_Σ , dòng điện qua cuộn sơ cấp sẽ gây tiêu phí năng lượng vô ích, tỏa nhiệt trên cuộn sơ cấp. Trên các xe đời mới, nhược điểm trên được loại trừ nhờ mạch hiệu chỉnh thời gian tích lũy năng lượng t_d (dwell control) hay còn gọi là kiểm soát góc ngấm điện.

Lượng nhiệt tỏa ra trên cuộn sơ cấp của bobin W_n được xác định bởi công thức sau:

$$\begin{aligned} W_n &= \int_0^{t_d} i_1^2 \cdot R_1 \cdot dt \\ W_n &= \int_0^{t_{\bar{n}}} \frac{U^2}{R_\Sigma^2} R_1 (1 - 2e^{-t/\tau_1} + e^{-2t/\tau_1}) dt \\ W_n &= \frac{U^2}{R_\Sigma^2} R_1 (t + 2\tau_1 e^{-t/\tau_1} - (\tau_1 / 2) e^{-2t/\tau_1}) \quad (1.17) \end{aligned}$$

Công suất tỏa nhiệt P_n trên cuộn dây sơ cấp của bobin:

$$\begin{aligned} P_n &= \frac{1}{T} \int_0^{t_{\bar{n}}} i_1^2 R_1 dt \\ P_n &= \frac{U^2}{R_\Sigma^2} R_1 \left[\frac{t_{\bar{n}}}{T} - 2 \frac{\tau_1}{T} (1 - e^{-t_{\bar{n}}/\tau_1}) + \frac{\tau_1}{2T} (1 - e^{-2t_{\bar{n}}/\tau_1}) \right] \quad (1.18) \end{aligned}$$

Khi công tắc máy ở vị trí ON mà động cơ không hoạt động, công suất tỏa nhiệt trong bobin là lớn nhất:

$$P_{n\max} \approx \frac{U^2}{R_\Sigma^2} R_1$$

Thực tế khi thiết kế, $P_{n\max}$ phải nhỏ hơn 30W để tránh tình trạng nóng bobin. Vì nếu $P_{n\max} \geq 30W$, nhiệt lượng sinh trên cuộn sơ cấp lớn hơn nhiệt lượng tiêu tán.