

VẬN HÀNH VÀ ĐIỀU KHIỂN HỆ THỐNG ĐIỆN

Chương 3 Tính toán nhiệt trong thiết bị điện

1. Tổng quan

- Trong quá trình hoạt động, dòng điện làm việc của các thiết bị điện gây ra một sự tổn thất điện năng.
- Lượng điện năng tổn thất được thể hiện dưới dạng nhiệt làm tăng nhiệt độ của các thiết bị, ảnh hưởng đến cách điện.
- Đó là những nguyên nhân cơ bản làm tăng nhanh quá trình già hóa cách điện và làm giảm tuổi thọ của thiết bị điện.

2. Sự cân bằng nhiệt trong thiết bị điện

- Phương trình nhiệt:

$$\Delta P dt = G C d\theta + q F \theta dt$$

$$\Leftrightarrow \Delta P = G C \frac{d\theta}{dt} + q F \theta$$

- Giải phương trình vi phân nhận được nghiệm số: (A, B là các hằng số xác định khi biết điều kiện ban đầu)

$$\theta = A e^{kt} + B \Leftrightarrow \theta = A e^{-\frac{t}{\tau}} + B$$

- k là nghiệm của phương trình đặc trưng

$$C G k + q F = 0 \Leftrightarrow k = -\frac{q F}{C G} \Leftrightarrow \tau = -\frac{1}{k}$$

Xác định A, B:

$$\theta = A e^{kt} + B \Leftrightarrow \theta = A e^{-\frac{t}{\tau}} + B$$

- Tại thời điểm ban đầu $t = 0$ thì nhiệt độ của thiết bị và môi trường xung quanh bằng nhau, tức là độ chênh lệch nhiệt độ giữa thiết bị và môi trường xung quanh bằng không, tức $\theta = 0$.

$$A + B = 0 \Leftrightarrow A = -B$$

- Tại thời điểm $t = \infty$.

$$\theta_{\infty} = B$$

→ Suy ra nhiệt độ của thiết bị:

$$\theta = \theta_{\infty} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right)$$

Suy ra: Nhiệt độ tại thời điểm bất kỳ

$$\theta = \theta_0 + \theta_\infty \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right)$$

Bảng tham khảo hằng số thời gian đốt nóng, τ , của máy biến áp

Công suất MBA (MVA)	Làm mát	τ (giờ)
$S_{MBA} < 1$	Tự nhiên	2,5
$1 < S_{MBA} < 6,3$	Tự nhiên	3,5
$6,3 < S_{MBA} < 32$	Có thêm quạt	2,5
$32 < S_{MBA} < 63$	Có thêm quạt	3,5
$63 < S_{MBA} < 125$	Tuần hoàn cưỡng bức	2,5
$S_{MBA} > 125$	Tuần hoàn cưỡng bức có quạt	2,5

Bảng tham khảo τ của máy phát

CÔNG SUẤT ĐỊNH MỨC MÁY PHÁT (MW)	τ – HẰNG SỐ THỜI GIAN ĐÓT NÓNG MÁY PHÁT, ph			
	Cuộn dây rotor làm mát trực tiếp bằng khí hydro		Cuộn stato làm mát trực tiếp bằng nước	
	Cực đại	Trung bình	Cực đại	Trung bình
30	5,9	4,4	0,6	0,3
150	3,2	2,5	1,5	0,8
200	2,6	2,0	1,7	0,9
300	2,4	1,9	1,9	1
500	2,9	2,3	2,9	1,5

3. Tuổi thọ thiết bị điện

- Tuổi thọ của các thiết bị phụ thuộc chủ yếu vào chế độ nhiệt của chúng. Trong quá trình làm việc, các vật liệu cách điện bị già hóa do tác động của nhiệt độ, độ ẩm, tác dụng hóa học ...
- Nếu thiết bị làm việc với tải định mức thì nhiệt độ được giữ trong giới hạn cho phép ứng với các loại cách điện, thiết bị sẽ làm việc bình thường với tuổi thọ định mức, $V_{đm}$.

- Nếu thiết bị làm việc **quá tải** thì nhiệt độ sẽ có thể vượt quá giới hạn cho phép, khi đó thiết bị sẽ **bị giảm tuổi thọ** và phụ thuộc vào mức vượt quá nhiều hay ít.

- Khi nhiệt độ tăng đột ngột thì ảnh hưởng sẽ lớn hơn so với trường hợp tăng từ từ.

- Tuổi thọ trung bình của thiết bị điện N phụ thuộc vào nhiệt độ của môi trường xung quanh và hệ số mang tải có thể biểu thị dưới dạng biểu thức sau:

$$V_{tb} = V_{dm} 2^{\frac{(\theta_{cp} - \theta_{tbm txq})(1 - k^2)}{\alpha}} = V_{dm} H$$

Trong đó:

$$H = 2^{\frac{(\theta_{cp} - \theta_{tbm txq})(1 - k^2)}{\alpha}}$$

- Tuổi thọ thực tế của thiết bị được tính bởi công thức:

$$V = V_{dm} \frac{t_{qtcp}}{t_{dt}}$$

t_{qtcp} là thời gian làm việc quá tải cho phép của thiết bị
 t_{dt} là thời gian dự trữ do trước đó đã làm việc non tải

- Thời gian quá tải cho phép của thiết bị điện:

$$t_{qtc p} = t_{dt} H$$

- Như vậy, ta có thể nhận biết là trong quá trình vận hành, thiết bị làm việc non tải thì nó có thể làm việc quá tải trong một khoảng thời gian cho phép mà không ảnh hưởng đến tuổi thọ định mức theo ấn định nhà chế tạo.

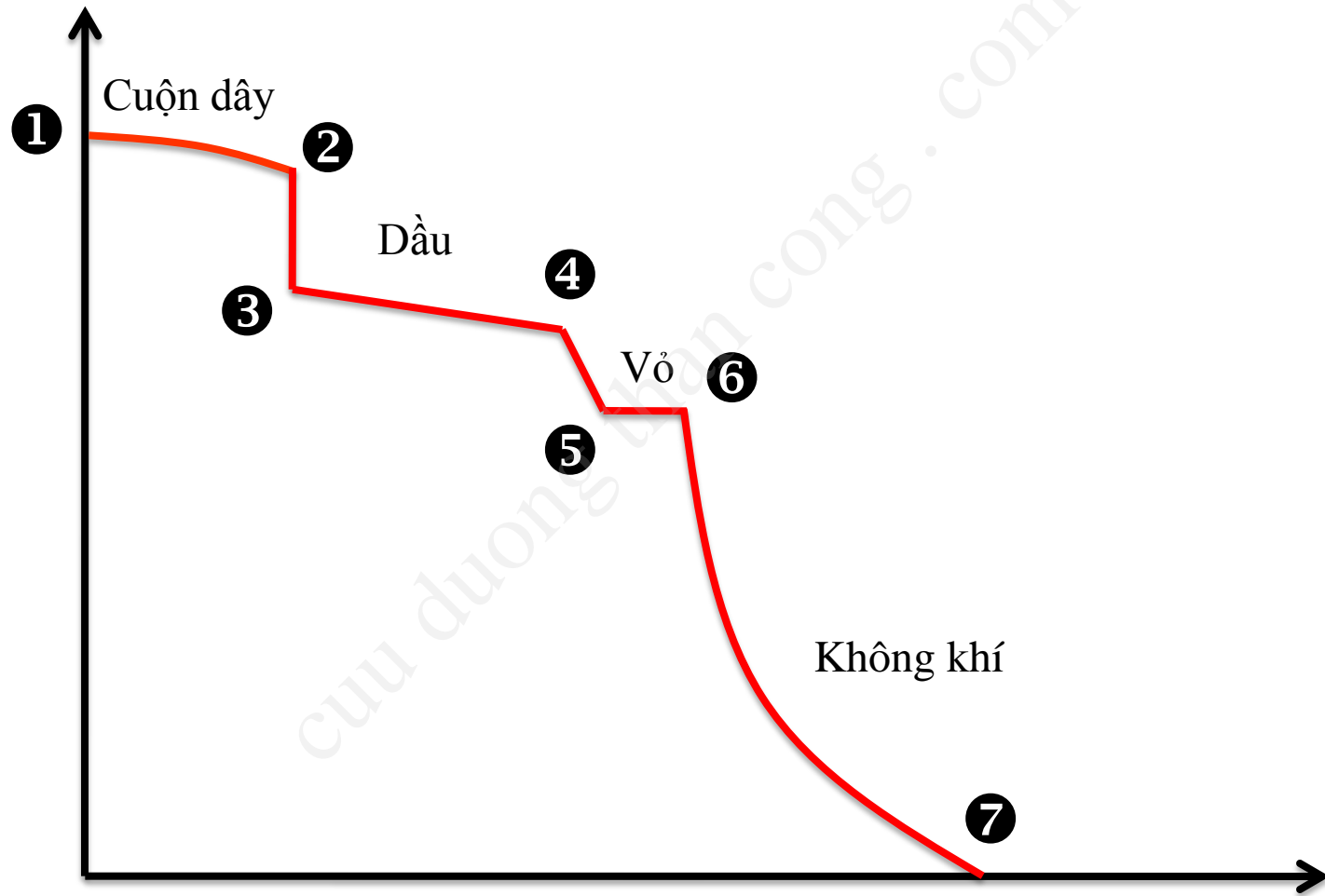
4. Chế độ nhiệt của máy biến áp

- Ở chế độ xác lập, khi MBA làm việc bình thường, nhiệt độ đạt đến một giá trị ổn định. Lúc này toàn bộ lượng nhiệt do máy sinh ra sẽ được tỏa ra môi trường xung quanh nhờ quá trình trao đổi nhiệt với sự trợ giúp của hệ thống làm mát.

Với các tham số định mức MBA có thể làm việc bình thường trong khoảng thời gian 25 – 30 năm.

- Độ đốt nóng của MBA đang vận hành được kiểm tra theo nhiệt độ lớp dầu trên cùng bằng nhiệt kế.
- Nhiệt độ lớn nhất của lớp dầu trên cùng không được vượt quá giá trị cho phép (khoảng 70⁰C, 75⁰C, 95⁰C).

Sự phân bố nhiệt trong MBA



- Tổn hao trong MBA gồm tổn hao sắt và tổn hao đồng. Tổn thất trong MBA làm phát nóng MBA. Một phần đốt nóng MBA, một phần tản ra môi trường xung quanh.

- Khi vận hành ở định mức:

$$\Delta P_{MBA} = \Delta P_{Fe} + \Delta P_{Cu} = \Delta P_0 + \Delta P_N$$

- Khi vận hành khác định mức:

$$\begin{aligned} \Delta P_{MBA} &= \Delta P_{Fe} + \Delta P_{Cu} = \Delta P_0 + \Delta P_N \left(\frac{S}{S_{MBA}} \right)^2 = \Delta P_0 + \Delta P_N k^2 \\ &= \Delta P_0 \left(1 + \frac{\Delta P_0}{\Delta P_N} k^2 \right) = \Delta P_0 (1 + b k^2) \end{aligned}$$

- Độ tăng nhiệt của dầu có công thức:

$$\theta_d = \theta_{ddm} \left(\frac{1 + b k^2}{1 + b} \right)^m$$

Trong đó: m là chỉ số phụ thuộc vào điều kiện làm mát

m = 0.8 khi làm mát bằng dầu tự nhiên $\vartheta_{cp} = 95^{\circ}C$

m = 0.9 khi làm mát bằng dầu có thêm quạt $\vartheta_{cp} = 95^{\circ}C$

m = 1 khi làm mát cưỡng bức có thêm quạt $\vartheta_{cp} = 70^{\circ}C$

Và θ_{ddm} khi tải định mức, có thể tính như sau:

$$\theta_{ddm} = \vartheta_{cp} - \vartheta_{tbm txq}$$

- Độ tăng nhiệt của cuộn dây so với dầu có công thức:

$$\Delta \theta_{cd} = \Delta \theta_{cdm} (k)^{2m}$$

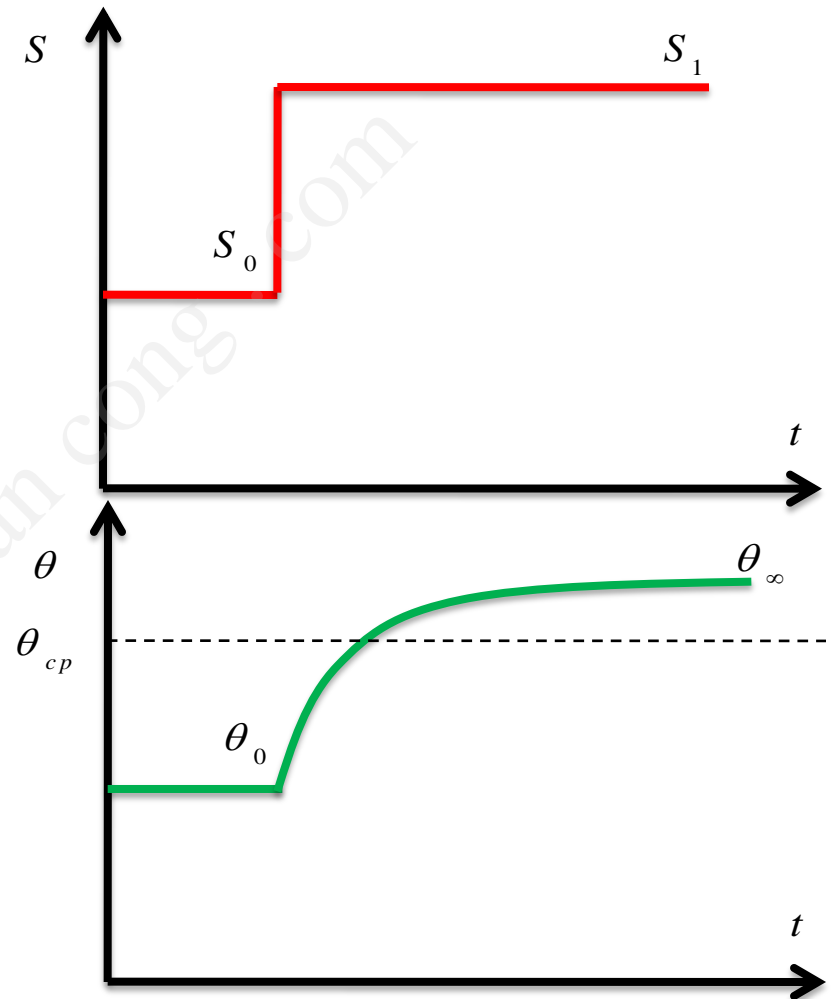
- Vậy tính được độ tăng nhiệt của cuộn dây:

$$\theta_{cd} = \theta_d + \Delta \theta_{cd}$$

Khi ấy, nhiệt độ cuộn dây:

$$\vartheta_{cd} = \theta_{cd} + \vartheta_{kk}$$

Ta khảo sát MBA vận hành
đồ thị phụ tải 2 bậc, khi bậc
 S_1 có thời gian T_1 lớn hơn
(4-5) τ , khoảng 10g -14g thì
độ tăng nhiệt sẽ ổn định θ_∞



- Mỗi quan hệ độ tăng nhiệt và tổn thất:

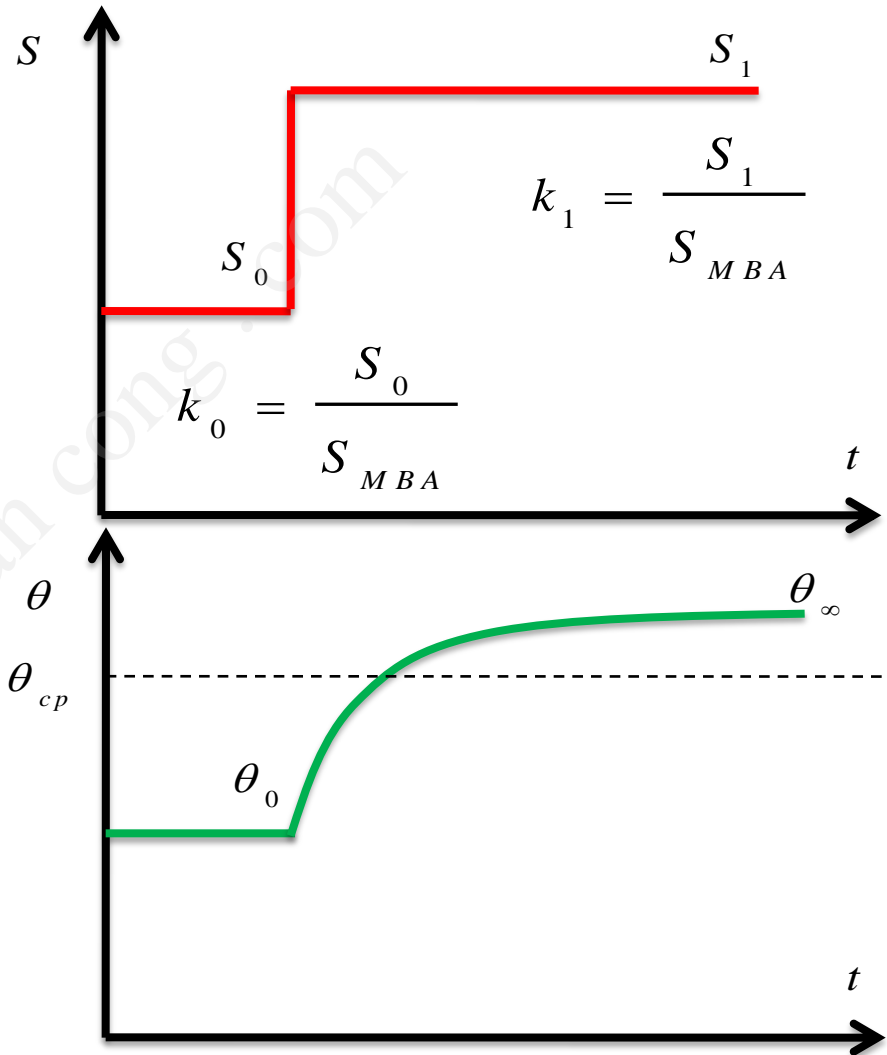
$$\frac{\theta_0}{\theta_{dm}} = \frac{\Delta P}{\Delta P_{dm}} = \left(\frac{S_0}{S_{dm}} \right)^2 = k_0^2$$

$$\Leftrightarrow \theta_0 = k_0^2 \theta_{dm}$$

$$\Leftrightarrow \theta_\infty = k_1^2 \theta_{dm}$$

- Từ đó, tính được thời gian cho phép:

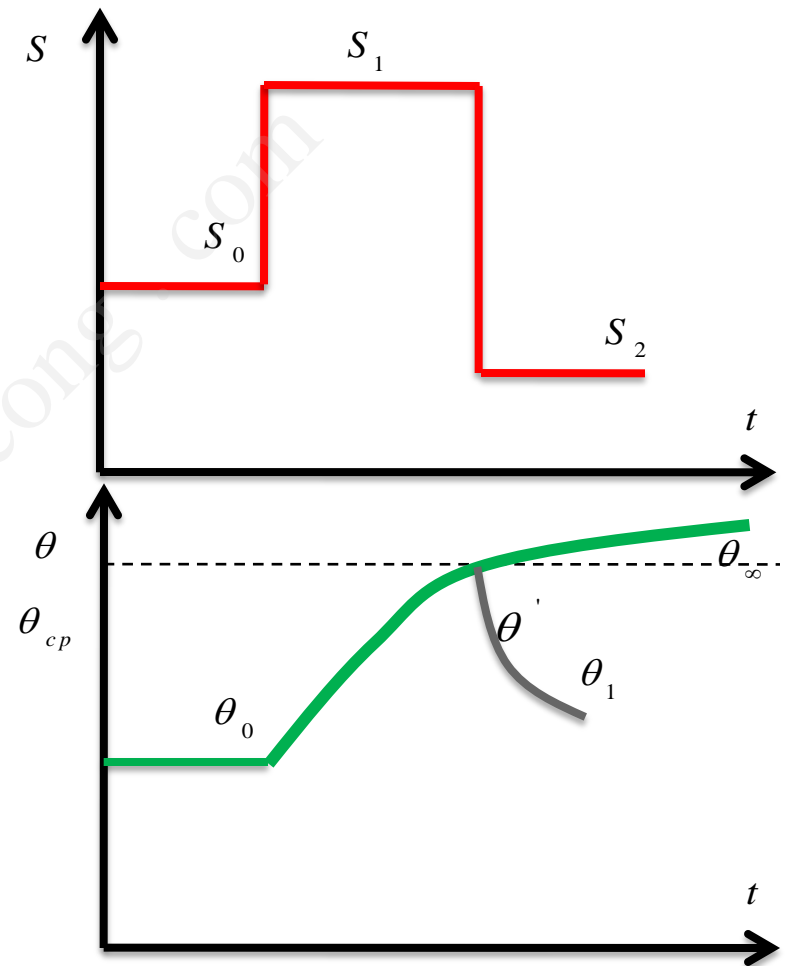
$$t_{cp} = \tau \ln \frac{k_1^2 - k_0^2}{k_1^2 - 1}$$



- Khi bậc S_1 có khoảng thời gian T_1 nhỏ và nhảy sang bậc S_2 khác. Ví dụ bậc S_2 giảm thì độ tăng nhiệt sẽ không tăng đến độ tăng nhiệt ổn định mà nó chỉ tăng tới θ' rồi giảm theo đường θ_1

Từ đó, tính được thời gian cho phép:

$$t_{cp} = \tau \ln \frac{k_1^2 - k_0^2}{k_1^2 - 1}$$



5. Chế độ nhiệt của động cơ

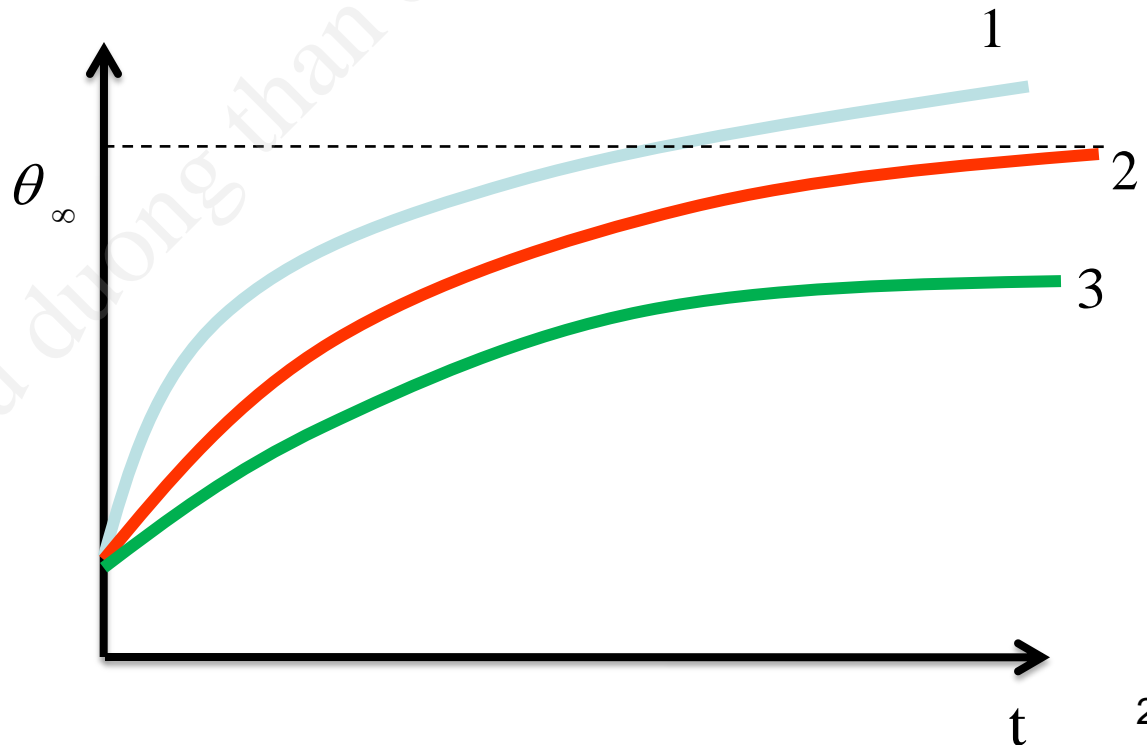
- Tổn thất trong động cơ cũng tương tự như trong máy phát.

Bao gồm: tổn thất đồng, tổn thất sắt, tổn thất cơ.

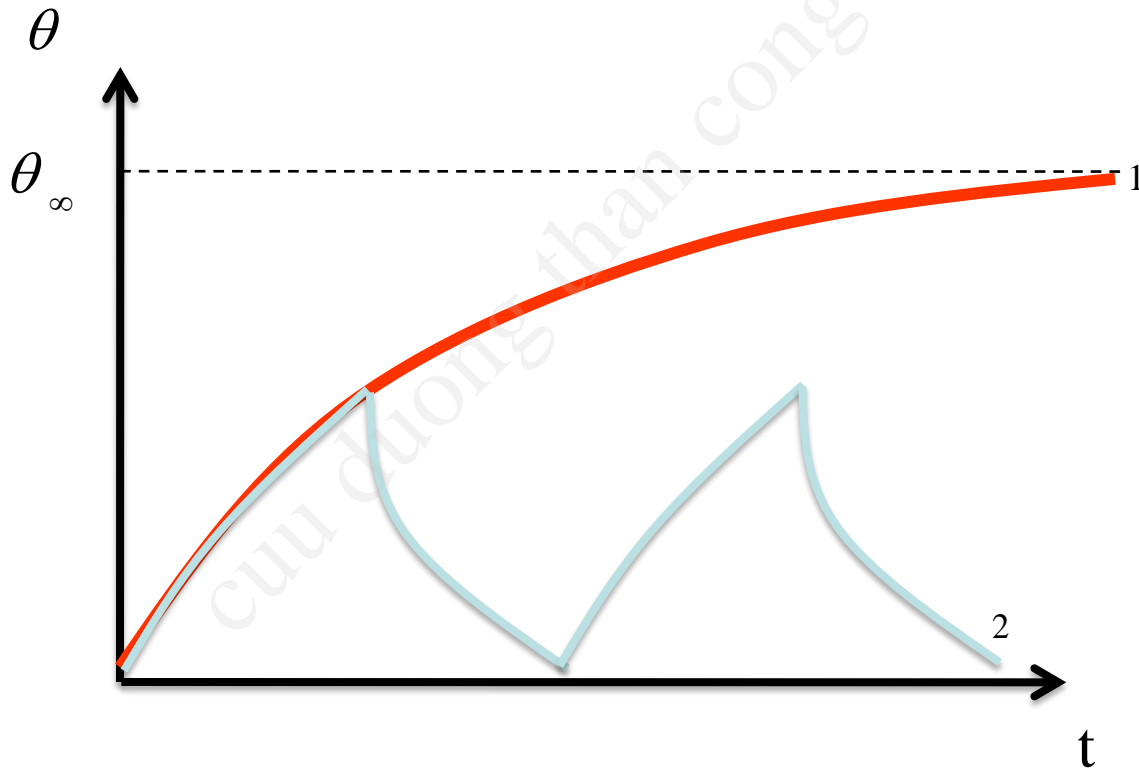
$$P_{dc} > P_{dm}$$

$$P_{dc} = P_{dm}$$

$$P_{dc} < P_{dm}$$



Ta khảo sát đường đặc tính nhiệt của động cơ làm việc lâu dài đường 1 và ngắn hạn lặp lại đường 2.



6. Sự đốt nóng tiếp điểm

- Các điểm tiếp xúc trong mạch điện là những nơi có nhiệt độ cao, vì điện trở quá độ khá cao.
- Điện trở quá độ: phụ thuộc vào hệ số biểu thị đặc tính vật liệu (ε_{vl}), phương pháp xử lý bề mặt tiếp điểm và lực ép (F) và chỉ số phụ thuộc vào loại tiếp điểm (k).

$$R_{qd} = \frac{\varepsilon_{vl}}{F^k}$$

- Điện trở quá độ thay đổi theo nhiệt độ

$$R_{qd} = R_{qd1} \left(1 + \frac{2}{3} \alpha_R (\theta_2 - \theta_1) \right)$$

7. Đo nhiệt độ

- a. Phương tiện kiểm tra nhiệt độ
- b. Kiểm tra nhiệt độ của các thiết bị

a. Phương tiện kiểm tra nhiệt độ

Một trong những nhiệm vụ quan trọng trong quá trình vận hành thiết bị điện là kiểm tra nhiệt của chúng. Người ta trang bị các phương tiện đo nhiệt độ ngay trên thiết bị.

- Nhiệt kế thủy ngân
- Nhiệt kế áp suất
- Nhiệt kế trưng nở
- Cặp nhiệt độ
- Nhiệt điện trở

b. Kiểm tra nhiệt độ các thiết bị

Việc đo nhiệt độ trong các thiết bị điện được thực hiện theo phương thức tự động hoặc bằng tay bởi các nhân viên.

- Nhiệt độ thực tế của MBA được kiểm tra thông qua nhiệt độ của lớp dầu trên cùng.

- Nhiệt độ của các cuộn dây máy phát được kiểm tra bằng phương pháp gián tiếp thông qua công thức:

$$\theta_2 = \frac{R_1}{R_2} \left(\theta_1 + \frac{1}{\alpha_R} \right) - \frac{1}{\alpha_R}$$

- Nhiệt độ thực tế của ruột cáp được xác định trên cơ sở nhiệt độ đo được ở vỏ và hiệu chỉnh theo biểu thức:

$$\theta_1 = \theta_\infty + \frac{I^2 n \rho R_Q}{100 F}$$

R_Q tổng nhiệt trở của vật liệu và lớp bảo vệ ($^{\circ}\text{Cm/w}$)

Dây dẫn	A	AC	Thanh dẫn Cu	Dây dẫn Cu	Al+Mg và Si
$\rho (\Omega\text{mm}^2/\text{m} \cdot 10^{-3})$	28.5	29.26	18.2	17.5	28.92

- Nhiệt độ bên trong của vật liệu cách điện có thể xác định bằng công thức:

$$\theta_{tr} = \theta_{ng} + \frac{A}{k_{vl}}$$

θ_{ng} : nhiệt độ bên ngoài của vật liệu cách điện

A : hằng số bằng 1,888

k_{vl} : hằng số phụ thuộc vào vật liệu cách điện

- Nhiệt độ các tiếp điểm thường được kiểm tra bằng cầu đo gắn trên sào cách điện. Khi đo, đầu đo được gí vào tiếp điểm trong 30s đến 50s. Ngoài ra có thể dùng bộ chỉ thị tín hiệu nhiệt độ dạng băng nhiệt.

- Khi cần mức độ chính xác cao cần áp dụng phương pháp đo gián tiếp. Tức là đo nhiệt qua đại lượng trung gian.

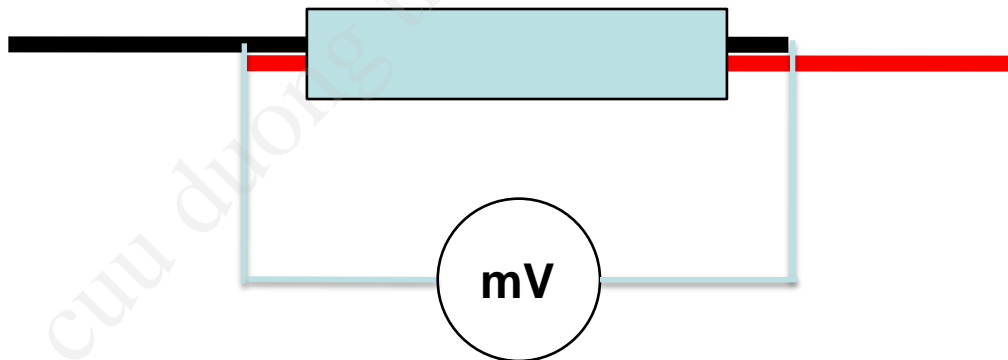
Có hai dạng thông dụng:

+ Đo nhiệt độ qua độ rơi điện áp

+ Đo điện trở quá độ

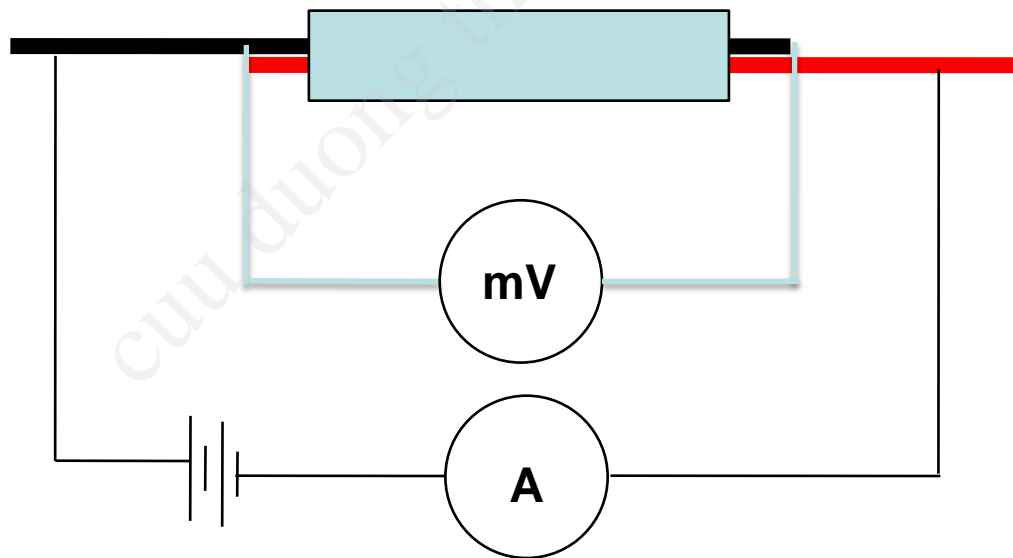
* Đo nhiệt độ qua độ rơi điện áp:

Phương pháp này dựa vào việc so sánh điện áp rơi trên của đoạn dây có chứa điểm nối và điện áp rơi của đoạn dây nguyên khi có cùng dòng điện đi qua.



* Phương pháp đo điện trở quá độ:

Phương pháp này dựa vào việc so sánh điện áp rơi trên của đoạn dây có chứa điểm nối và điện áp rơi của đoạn dây nguyên khi có cùng dòng điện đi qua.



8. Ví dụ

Ví dụ 1: Cho một máy biến áp (MBA) loại TM. Tuổi thọ của MBA sẽ như thế nào nếu MBA làm việc quá tải với hệ số mang tải trung bình là 1,05. Biết tuổi thọ định mức ứng với nhiệt độ môi trường xung quanh 25°C là 25 năm.

Lưu ý:

Từ mã hiệu MBA là TM, nhiệt độ giới hạn 95°C ; $\alpha = 9$.

Tuổi thọ của MBA:

$$V_{tb} = V_{dm} 2^{\frac{(\theta_{cp} - \theta_{tbmtxq})(1 - k^2)}{\alpha}} = 14,39$$

Trong đó:

$$V_{dm} = 25 \text{ năm}$$

$$\theta_{cp} = 95^{\circ}\text{C}$$

$$\theta_{tbmtxq} = 25^{\circ}\text{C}$$

$$k = 1,05$$

$$\alpha = 9$$

Ví dụ 2: MBA loại TM2500/35, làm việc với đồ thị phụ tải 2 bậc, bậc đầu có $k_0 = 0,72$. Hỏi MBA có thể làm việc trong thời gian cho phép bao lâu nếu hệ số mang tải bậc sau là $k_1 = 1,25$?

Lưu ý:

Từ mã hiệu MBA ta có hằng số thời gian phát nóng $\tau = 3,5$

Thời gian quá tải cho phép:

$$t_{cp} = \tau \ln \frac{(k_1^2 - k_0^2)}{(k_1^2 - 1)} = 2.16 (g)$$

Trong đó:

$$\tau = 3,5$$

$$k_1 = 1,25$$

$$k_0 = 0,72$$