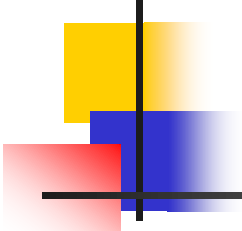


CHƯƠNG 3

SỰ PHÁT NÓNG CỦA

THIẾT BỊ ĐIỆN

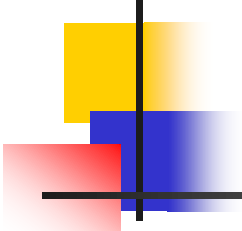


KHÁI NIỆM CHUNG

Ở trạng thái làm việc, trong các bộ phận của TBĐ như : mạch vòng dẫn điện, mạch từ, các chi tiết bằng kim loại và cách điện đều có tổn hao năng lượng tác dụng và biến thành nhiệt năng.

Một phần của nhiệt năng này làm tăng nhiệt độ của TBĐ, còn 1 phần khác tỏa ra môi trường xung quanh.

Ở chế độ xác lập nhiệt, nhiệt độ của thiết bị không tăng lên nữa mà đạt trị số ổn định, còn toàn bộ nhiệt năng tỏa ra môi trường xung quanh.



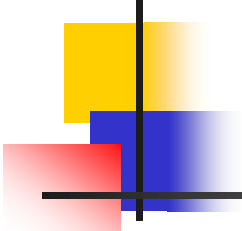
KHÁI NIỆM CHUNG

Nếu nhiệt độ của TBĐ tăng cao thì cách điện bị già hóa và độ bền cơ của các ch tiết bị suy giảm.

Khi tăng nhiệt độ của vật liệu cách điện lên 8°C so với nhiệt độ cho phép ở chế độ dài hạn thì tuổi thọ của cách điện giảm 50%.

Với vật liệu dẫn điện thông dụng nhất là Cu, nếu tăng nhiệt độ từ 100°C đến 250°C thì độ bền cơ giảm 40%, khi độ bền cơ của chúng giảm nên lực điện động trong trường hợp ngắn mạch sẽ làm hư hỏng thiết bị.

Do vậy độ tin cậy của thiết bị phụ thuộc vào nhiệt độ phát nóng của chúng.



KHÁI NIỆM CHUNG

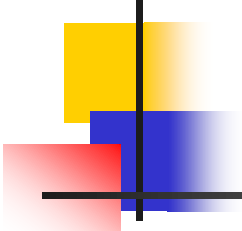
Trong tính toán phát nóng TBĐ thường dùng một số khái niệm như sau :

θ_o : nhiệt độ phát nóng ban đầu, thường lấy bằng nhiệt độ môi trường.

θ : nhiệt độ phát nóng

$\tau = \theta - \theta_o$: là độ chênh nhiệt so với nhiệt độ môi trường , ở vùng ôn đới cho phép $\tau = 35^{\circ}\text{C}$, vùng nhiệt đới $\tau = 50^{\circ}\text{C}$. Sự phát nóng thiết bị điện còn tùy thuộc vào chế độ làm việc.

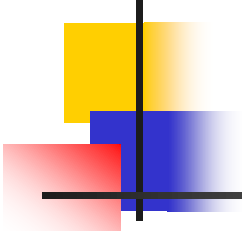
$\tau_{\text{ôđ}} = \theta_{\text{ôđ}} - \theta_o$: độ chênh nhiệt độ ổn định.



CÁC DẠNG TỔN HAO

Trong TBĐ có các dạng tổn hao năng lượng chính sau :

- ✓ Tổn hao trong các chi tiết dẫn điện,
- ✓ Tổn hao trong các chi tiết bằng vật liệu sắt từ
- ✓ Tổn hao điện môi.

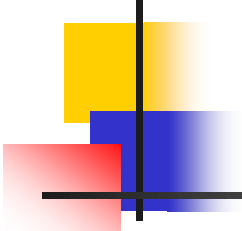


TỠN HẠO TRONG CÁC CHI TIẾT DẪN ĐIỆN

Năng lượng tỡn hao trong dẫ dẫn do dòng điện i đi qua trong thời gian t được tính theo công thức sau :

$$W = \int_0^t i^2 R dt$$

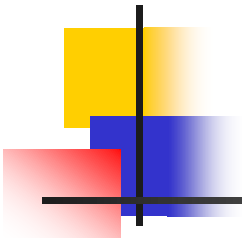
Điện trở dẫ dẫn R phụ thuộc vào điện trở suất vật liệu, kích thước dẫ dẫn, ngoài ra còn phụ thuộc vào tần số dòng điện, vị trí của dẫ dẫn : nằm đơn độc hay gần dẫ dẫn khác có dòng điện đi qua.



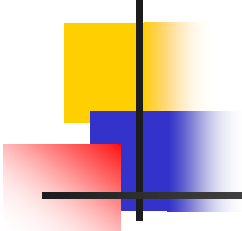
TỒN HAO TRONG PHẦN TỬ SẮT TỪ VÀ ĐIỆN MÔI

Nếu các phần tử sắt từ nằm trong vùng từ trường biến thiên thì trong chúng sẽ có tổn hao do từ trễ và dòng điện xoáy tạo ra

Dưới tác dụng của điện trường biến thiên, trong vật liệu cách điện sẽ sinh ra tổn hao điện môi.

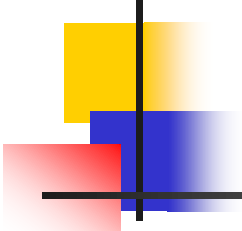


CHẾ ĐỘ LÀM VIỆC DÀI HẠN CỦA VẬT THỂ ĐỒNG NHẤT



KHÁI NIỆM

Chế độ làm việc dài hạn là chế độ làm việc của thiết bị điện với thời gian dài tùy ý nhưng không ngắn hơn thời gian để nhiệt độ phát nóng đạt tới giá trị ổn định.



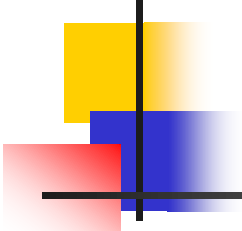
QUÁ TRÌNH PHÁT NÓNG CỦA THIẾT BỊ

Khi có dòng điện I chạy trong vật dẫn sẽ gây ra tổn hao một công suất P và trong thời gian dt sẽ gây ra một nhiệt lượng:

$$Q = P \cdot dt = RI^2 dt$$

Nhiệt lượng hao tổn này bao gồm hai phần:

- ✓ Đốt nóng vật dẫn $Q_1 = G \cdot C \cdot d\tau$
- ✓ Tỏa ra môi trường xung quanh $Q_2 = S \alpha \cdot \tau \cdot dt.$



QUÁ TRÌNH PHÁT NÓNG CỦA THIẾT BỊ

Ta có phương trình cân bằng nhiệt của quá trình phát nóng:

$$P.dt = G.C. d\tau + S \alpha.\tau.dt.$$

Trong đó:

G : là khối lượng vật dẫn (g)

C : là tỉ nhiệt vật dẫn tỏa nhiệt (J/g)

τ : là độ chênh nhiệt (0°C)

α : là hệ số tỏa nhiệt (W/cm^2)

QUÁ TRÌNH PHÁT NÓNG CỦA THIẾT BỊ

Ta có phương trình:
$$\frac{P}{G.C} = \frac{d\tau}{dt} + \frac{S.\alpha}{G.C}.\tau$$

Giải phương trình vi phân trên với điều kiện tại $t = 0$ thì độ chênh nhiệt ban đầu là τ_0 , ta được:

$$\tau = \frac{P}{S.\alpha} \left(1 - e^{-\frac{\alpha S}{GC}t} \right) + \tau_0 e^{-\frac{\alpha S}{GC}t}$$

Đặt $T = \frac{G.C}{S.\alpha}$ là hằng số thời gian phát nóng :

$\frac{P}{S.\alpha} = \tau_{od}$ độ chênh nhiệt ổn định.

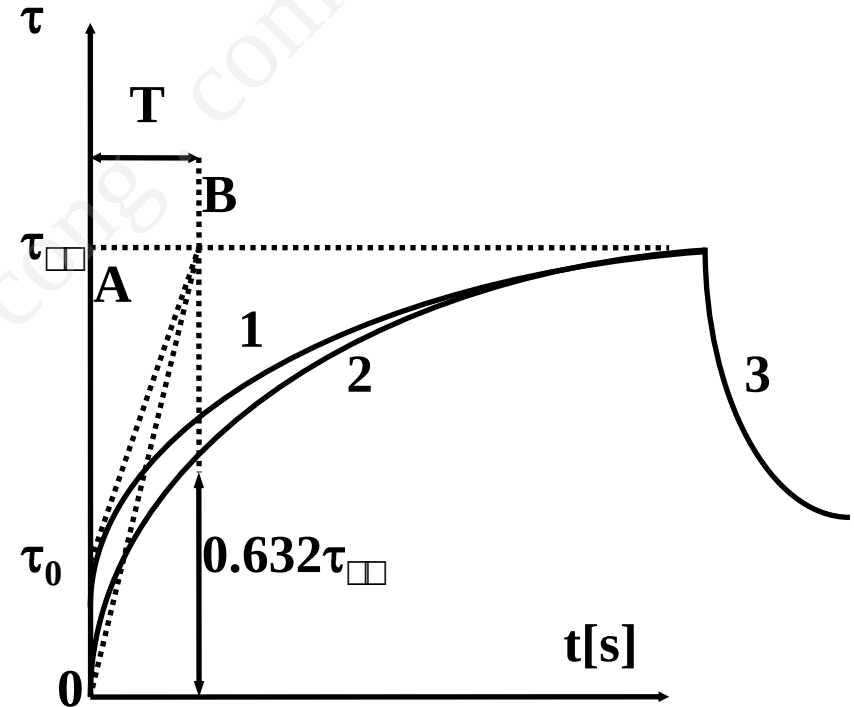
QUÁ TRÌNH PHÁT NÓNG CỦA THIẾT BỊ

Ta có: $\tau = \tau_{od} \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right) + \tau_0 e^{-\frac{t}{T}}$

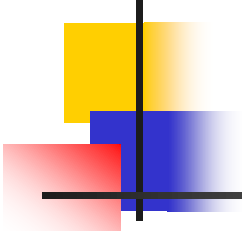
Khi $t = 0$ mà $\tau_0 = 0$

thì:

$$\tau = \tau_{od} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right)$$



Hình : Phát nóng đa dạng



QUÁ TRÌNH LÀM NGUỘI CỦA THIẾT BỊ

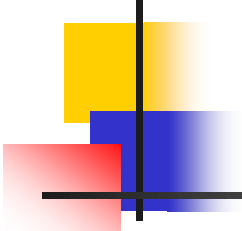
Khi ngắt dòng điện ($I = 0$), quá trình phát nóng chấm dứt và quá trình nguội lạnh bắt đầu xảy ra, nghĩa là $P \cdot dt = 0$, ta có phương trình nguội lạnh :

$$I^2 R \cdot dt = 0$$

$$\text{Và : } G \cdot C \cdot d\tau + S \alpha \cdot dt = 0$$

nên có:
$$\frac{d\tau}{dt} + \frac{G \cdot C}{S \cdot \alpha} \tau = 0$$

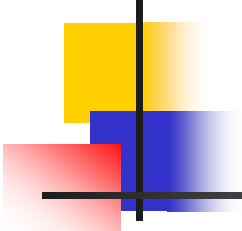
Với điều kiện khi ngắt dòng điện chênh lệch nhiệt bằng độ chênh lệch nhiệt ổn định



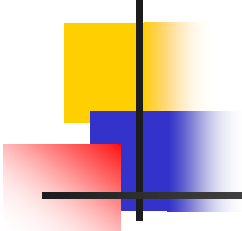
QUÁ TRÌNH LÀM NGUỘI CỦA THIẾT BỊ

Giải phương trình vi phân ta được biểu thức thể hiện quá trình nguội lạnh:

$$\tau = \tau_{od} \cdot e^{\frac{-t}{T}}$$



CHẾ ĐỘ LÀM VIỆC NGẮN HẠN CỦA VẬT THỂ ĐỒNG NHẤT



KHÁI NIỆM

Chế độ làm việc ngắn hạn là chế độ làm việc của thiết bị điện với thời gian đủ ngắn để nhiệt độ phát nóng của nó chưa đạt tới giá trị ổn định, sau đó ngưng làm việc trong thời gian đủ lớn để nhiệt độ của nó hạ xuống tới nhiệt độ môi trường.

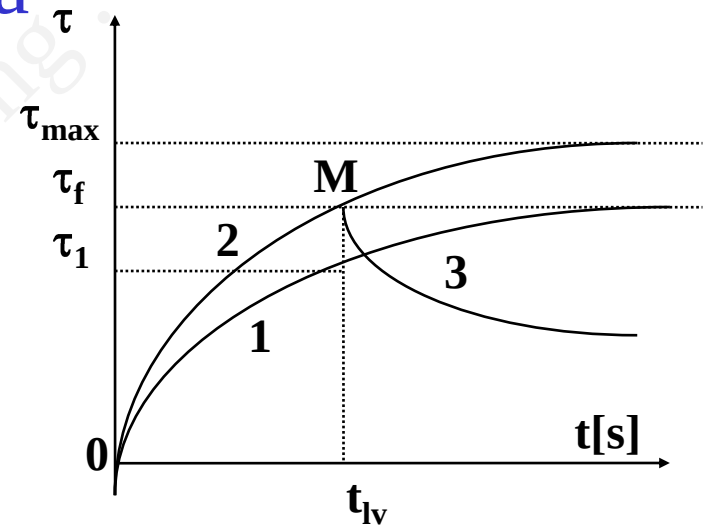
TÍNH TOÁN PHÁT NÓNG

Giả sử làm việc dài hạn
đường cong phát nóng là
đường

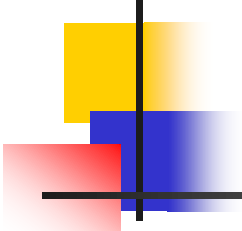
Phụ tải lúc này là P_f :

$$P_f = \alpha S \cdot \tau_f$$

Sau thời gian t_{lv} (thời gian
làm việc ngắn hạn) độ chênh
nhiệt mới đạt tới trị $\tau_1 < \tau_f$, nên
thiết bị điện làm việc non tải
và chưa lợi dụng hết khả năng
chịu nhiệt



Hình : Phát nóng khi ngắn hạn



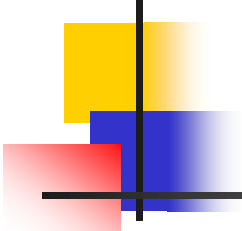
TÍNH TOÁN PHÁT NÓNG

Từ đó ta thấy rằng có thể nâng phụ tải lên để sau thời gian làm việc ngắn hạn t_{lv} độ chênh nhiệt vừa đạt tới trị số cho phép τ_f , phụ tải lúc này là P_n :

$$P_n = \alpha S \cdot \tau_{\max}$$

Đường cong phát nóng trường hợp này là đường 2. Điểm M trên đường 2 thỏa mãn phương trình độ chênh nhiệt của quá trình phát nóng.

$$\tau_f = \tau_{\max} \left(1 - e^{-\frac{t_{lv}}{T}} \right)$$



TÍNH TOÁN PHÁT NÓNG

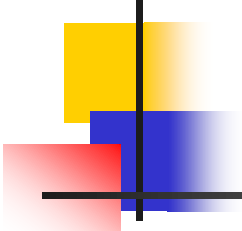
Từ các biểu thức trên và gọi $K_p = P_n/P_f$ là hệ số quá tải công suất ta có :

$$K_p = \frac{P_n}{P_f} = \frac{\tau_{\max}}{\tau_f} = \frac{1}{1 - e^{-\frac{t_{lv}}{T}}}$$

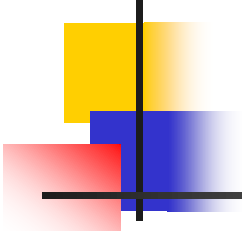
Vì công suất tỉ lệ với bình phương dòng điện nên :

$$K_I = \frac{I_n}{I_f} = \sqrt{K_p} = \sqrt{\frac{1}{1 - e^{-\frac{t_{lv}}{T}}}}$$

K_I : hệ số quá tải về dòng điện.



CHẾ ĐỘ LÀM VIỆC NGẮN HẠN LẶP LẠI CỦA VẬT THỂ ĐỒNG NHẤT

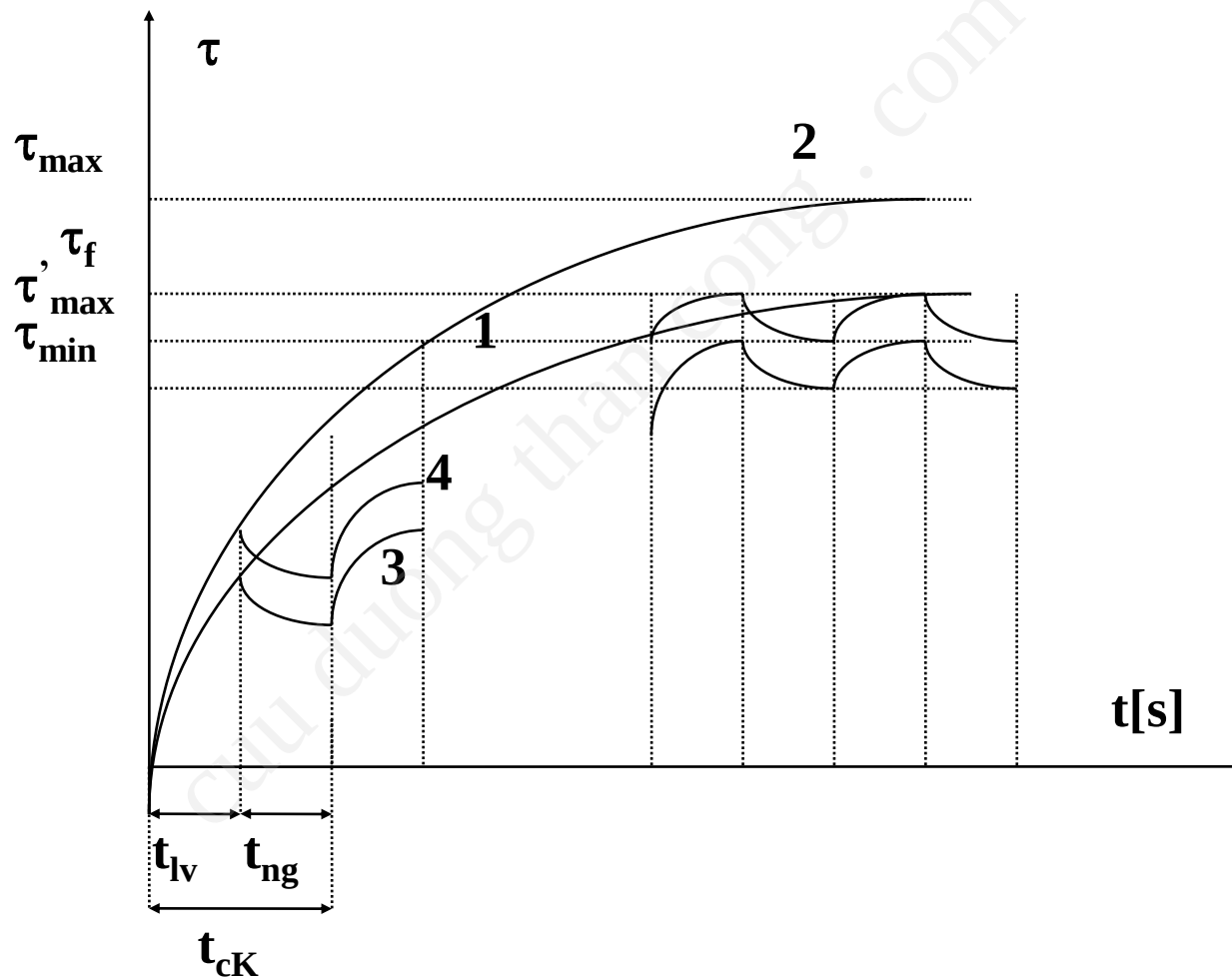


KHÁI NIỆM

Chế độ làm việc ngắn hạn lặp lại là chế độ làm việc của thiết bị điện trong một thời gian t_{lv} mà nhiệt độ phát nóng chưa đạt tới bão hòa và sau đó nghỉ một thời gian t_{ng} mà nhiệt độ chưa giảm về nhiệt độ ban đầu rồi tiếp tục làm việc và nghỉ xen kẽ.

Quá trình làm việc và nghỉ cứ lặp lại tuần hoàn như vậy theo chu kỳ với thời gian $t_{ck} = t_{lv} + t_{ng}$. Sau thời gian đủ lớn, thiết bị đạt được chế độ tựa xác lập, ở đó trong thời gian làm việc nhiệt độ đạt tới giá trị $\theta_{max} = \text{const}$ và trong thời gian nghỉ, nhiệt độ hạ xuống giá trị $\theta_{min} = \text{const}$.

QUÁ TRÌNH PHÁT NÓNG



Hình : Phát nóng khi ngắn hạn lặp lại

QUÁ TRÌNH PHÁT NÓNG

Ta giả thiết tại thời điểm ban đầu độ chênh nhiệt độ của vật dẫn là τ_0 sau thời gian làm việc t_{lv} vật dẫn được đốt nóng đến độ chênh nhiệt là:

$$\tau_1 = \tau_{od} = \left(1 - e^{-\frac{t_{lv}}{T}}\right) + \tau_0 e^{-\frac{t_{lv}}{T}}$$

Sau thời gian nghỉ tng vật dẫn nguội xuống nhiệt độ τ_{max} :

$$\tau_2 = \tau_1 e^{-\frac{t_{ng}}{T}}$$

Chu kì tiếp theo vật dẫn lại bị đốt nóng tới chênh nhiệt độ:

$$\tau_3 = \tau_{od} \left(1 - e^{-\frac{t_{lv}}{T}}\right) + \tau_2 e^{-\frac{t_{lv}}{T}}$$

QUÁ TRÌNH PHÁT NÓNG

Sau một số chu kì nhiệt độ chênh lệch nhiệt độ đạt đến độ chênh nhiệt cực đại $\tau_{\max}$ và độ chênh lệch nhiệt độ cực tiểu $\tau_{\min}$ không thay đổi, ta gọi là thời kì ổn định. Tương tự như trên, ta viết:

Quá trình phát nóng :

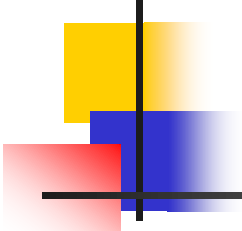
$$\tau_{\max} = \tau_{od} \left(1 - e^{-\frac{t_{lv}}{T}} \right) + \tau_{\min} e^{-\frac{t_{lv}}{T}}$$

Quá trình nguội lạnh :

$$\tau_{\min} = \tau_{\max} \cdot e^{-\frac{t_{lv}}{T}}$$

Giải hai phương trình này ta được:

$$\tau_{\max} = \frac{\tau_{od} \left(1 - e^{-\frac{t_{lv}}{T}} \right)}{1 - e^{-\frac{t_{lv} + t_{ng}}{T}}}$$



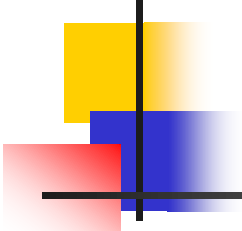
QUÁ TRÌNH PHÁT NÓNG

Hệ số công suất:

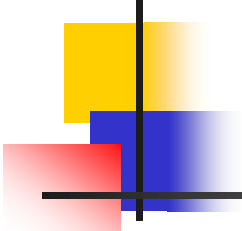
$$K_p = \frac{\tau_{nl}}{\tau_{cf}} = \frac{1 - e^{-\frac{t_{cx}}{T}}}{1 - e^{-\frac{t_{lv}}{T}}}$$

Hệ số quá tải dòng điện:

$$K_1 = \frac{I_{nl}}{I_f} = \sqrt{K_p} = \sqrt{\frac{1 - e^{-\frac{t_{cx}}{T}}}{1 - e^{-\frac{t_{lv}}{T}}}}$$



SỰ PHÁT NÓNG KHI NGẮN MẠCH



KHÁI NIỆM

Thời gian xảy ra ngắn mạch rất ngắn nên nhiệt độ cung cấp cho vật thể hoàn toàn dùng để đốt nóng vật dẫn và gần đúng ta coi nhiệt lượng tỏa ra môi trường xung quanh. Trong thời gian dt dòng điện ngắn mạch sinh ra nhiệt lượng là:

$$dQ = K_{nm} \cdot I^2 \cdot R \cdot dt = K_{nm} \cdot I^2 \cdot \rho \frac{1}{S} \cdot dt$$

Trong đó: $K_{nm} = \frac{R'}{R}$, với R là điện trở một chiều của vật dẫn; R' là điện trở xoay chiều của vật dẫn; S là tiết diện vật thể

Toàn bộ nhiệt lượng do dòng điện ngắn mạch sinh ra dùng để đốt nóng vật dẫn lên độ chênh nhiệt độ là τ_{nm} .

KHÁI NIỆM

Ta có phương trình:

$$dQ = C.G.d\tau_{nm} = C.S.l.\gamma.d\tau_{nm}$$

Với γ là khối lượng riêng của vật dẫn. C là nhiệt dung riêng của vật dẫn.

So sánh các biểu thức ta có: $d\tau_{nm} = \frac{\rho}{\gamma.c} K_{nm} \left(\frac{I}{S} \right)^2 .dt$

Độ chênh nhiệt ngắn mạch :

$$\tau_{nm} = \frac{K_{nm}}{\gamma} \frac{\rho_0 \left(1 + \alpha_0 \frac{\tau_{nm}}{T_0} \right)}{c_0 \left(1 + b_0 \frac{\tau_{nm}}{T_0} \right)} \left(\frac{I}{S} \right)^2 .dt$$