

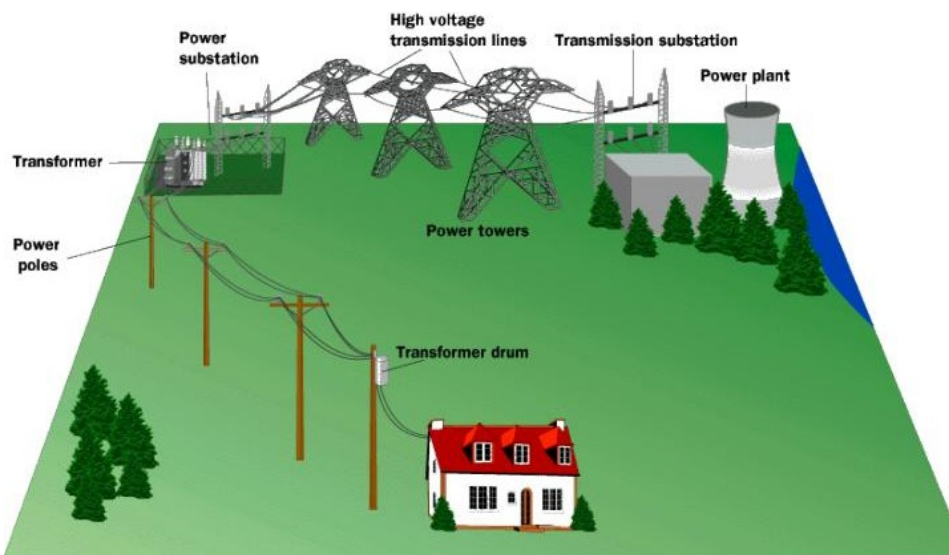
# Chương 1

## Giới thiệu Hệ thống điện & Hệ thống điện cơ

BMTBBD\_CSKTD\_nxuong\_V5

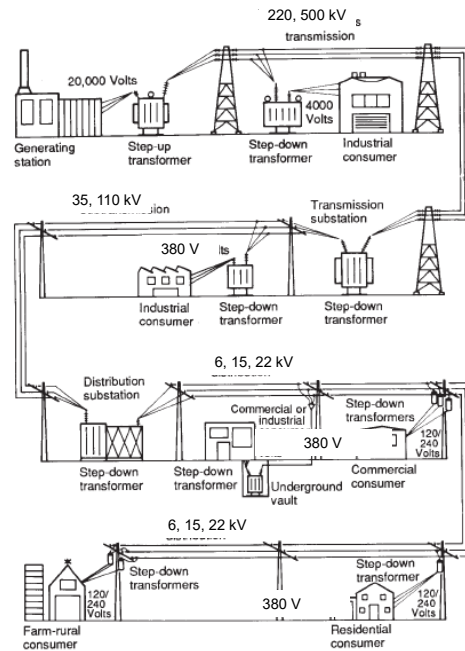
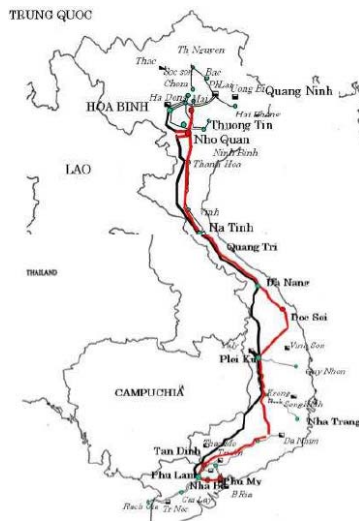
1

### Sản xuất, Truyền tải và Phân Phối Điện Năng



2

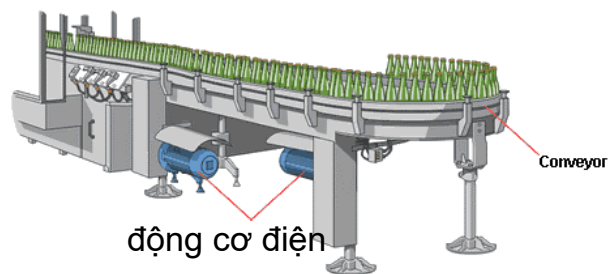
## Sản xuất, Truyền tải và Phân Phối Điện Năng



3

## Hệ Thống Biến Đổi Điện Năng → Cơ Năng

Chuyển động quay:



4

Hệ Thống Biến Đổi Cơ Năng → Điện Năng



## Chương 2

### Mạch công suất

### Phát nóng và làm mát

- 2.1 Công suất mạch 1 pha
- 2.2 Công suất mạch 3 pha
- 2.3 Phát nóng và làm mát

## 2.1 Công suất mạch 1 pha

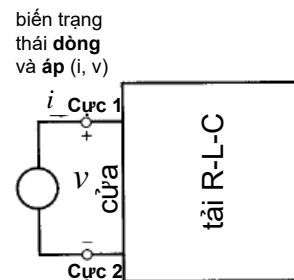
2.1 Công suất mạch 1 pha

2.2 Công suất mạch 3 pha

2.3 Phát nóng và làm mát

### Mạng 2 cực

- Những thiết bị trao đổi năng lượng/tín hiệu qua một cặp cực gọi là **mạng một cửa** hay **mạng 2 cực** (two-terminal network).



- Phương trình trạng thái là phương trình mô tả hành vi, phản ứng của mạng 2 cực thông qua các biến trạng thái.

Ví dụ: Biến trạng thái dòng và áp ( $i, v$ ) trên 2 cực của một mạng 2 cực là tải R-L-C.

## Mạng 2 cực

Năng lượng điện thường sử dụng trong công nghiệp và dân dụng là từ nguồn điện áp dạng sin, tần số 50Hz

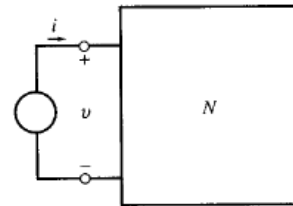
→ xét điện áp và dòng điện hàm điều hòa

$$v(t) = V_m \cos(\omega t + \theta_v) = \sqrt{2} V_{rms} \cos(\omega t + \theta_v)$$

$$i(t) = I_m \cos(\omega t + \theta_i) = \sqrt{2} I_{rms} \cos(\omega t + \theta_i)$$

$\theta_v, \theta_i$  là các giá trị góc pha ban đầu

$$V_{rms} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}, \quad I_{rms} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \quad \text{là các giá trị hiệu dụng}$$



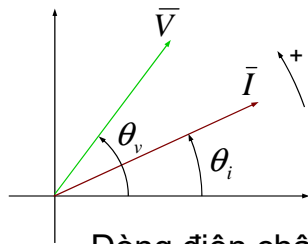
9

## Véc tơ pha

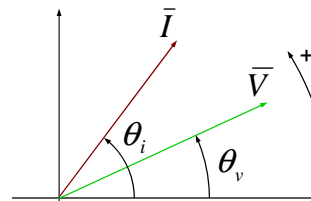
Biểu diễn hàm điều hòa bằng **véc tơ pha**

$$\bar{V} = V_{rms} \angle \theta_v \quad \bar{I} = I_{rms} \angle \theta_i$$

suất véc tơ/độ lớn (trị hiệu dụng)      đổi số/góc pha



Dòng điện chậm pha  
Tải cảm  
Hệ số công suất **trễ**



Dòng điện sớm pha  
Tải dung  
Hệ số công suất **sớm**

10

## Công suất

Nếu chọn gốc thời gian:  $t=0$ ,  $I=I_m$

$$i(t) = I_m \cos(\omega t), \quad v(t) = V_m \cos(\omega t + \theta_v - \theta_i)$$

Công suất tức thời của mạng 2 cửa:

$$p(t) = v(t)i(t) = V_m I_m \cos(\omega t + \theta_v - \theta_i) \cos(\omega t)$$

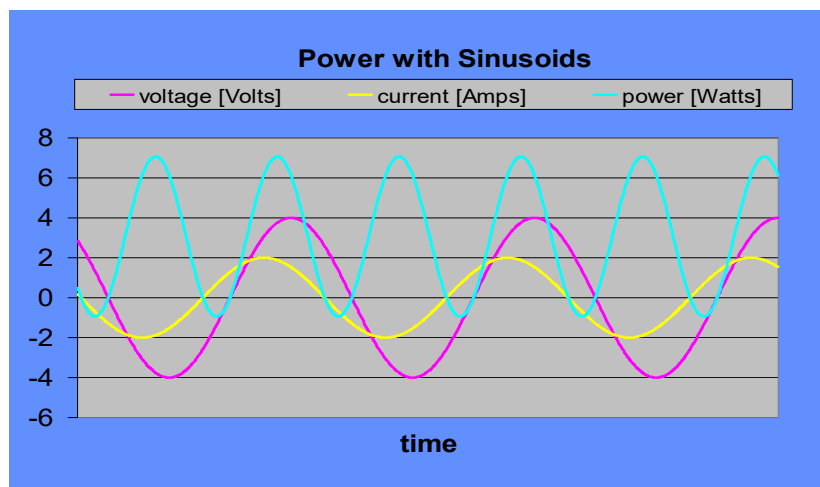
$$p(t) = \frac{V_m I_m}{2} \cos(\theta_v - \theta_i) + \frac{V_m I_m}{2} \cos(2\omega t + \theta_v - \theta_i)$$

$$p(t) = \frac{V_m I_m}{2} \cos(\theta_v - \theta_i) + \frac{V_m I_m}{2} \cos(2\omega t) \cos(\theta_v - \theta_i) - \frac{V_m I_m}{2} \sin(2\omega t) \sin(\theta_v - \theta_i)$$

11

## Công suất

$$p(t) = \frac{V_m I_m}{2} \cos(\theta_v - \theta_i) + \frac{V_m I_m}{2} \cos(2\omega t) \cos(\theta_v - \theta_i) - \frac{V_m I_m}{2} \sin(2\omega t) \sin(\theta_v - \theta_i)$$



12

## Công suất tác dụng

- Giá trị trung bình của  $p(t)$  gọi là công suất trung bình hay công suất tác dụng hoặc công suất thực hoặc công suất hữu công  $P$ :

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt$$

$$P = \frac{V_m I_m}{2} \cos(\theta_v - \theta_i) = V_{rms} I_{rms} \cos(\theta_v - \theta_i) = V_{rms} I_{rms} \cos \theta$$

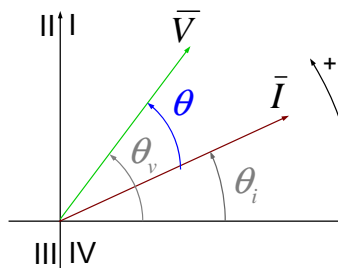
$$P = VI \cos \theta$$

$T=2\pi/\omega$ : chu kỳ

13

## Công suất tác dụng

$$P = VI \cos \theta$$



✓ Các thuật ngữ

- $V_{rms}$  và  $I_{rms}$  hay  $V$  và  $I$  là các giá trị hiệu dụng (root mean square) của điện áp và dòng điện.
- $\theta = \theta_v - \theta_i$ : góc hệ số công suất (góc lệch pha  $u, i$ )
- $\cos(\theta)$ : hệ số công suất (power factor, pf).

Quy ước hệ số công suất chỉ được xác định khi góc hệ số công suất:  $|\theta| < 90^\circ$  (phụ thuộc vào việc chọn chiều dòng và áp, ie khảo sát ở góc I và IV của hệ trục tọa độ.)

14

### Ví dụ

➤ Ví dụ 2.1: viết dạng véc tơ pha của  $v(t)$  và  $i(t)$ , và tính giá trị công suất trung bình  $P$

$$v(t) = \sqrt{2}.10 \cos(\omega t + 30^\circ)$$

$$i(t) = \sqrt{2}.5 \cos(\omega t - 20^\circ)$$

$$\Rightarrow \bar{V} = 10 \angle 30^\circ$$

$$\Rightarrow \bar{I} = 5 \angle -20^\circ$$

$$P = V.I.\cos(\theta_v - \theta_i) = (10)(5)\cos(30 - (-20)) = 32,14 \text{ W} > 0$$

→ Mạng hai cực tiêu thụ công suất trung bình 32,14 W

15

### Ví dụ

➤ Ví dụ 2.2: tính giá trị công suất trung bình  $P$  với:

$$v(t) = \sqrt{2}.10 \cos(\omega t + 30^\circ)$$

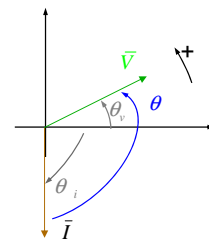
$$i(t) = \sqrt{2}.5 \cos(\omega t - 90^\circ)$$

$$P = (10)(5)\cos(120^\circ) = -25 \text{ W} < 0$$

→ Mạng hai cực phát ra công suất trung bình 25W

Góc hệ số công suất của mạch:

Hệ số công suất của mạch:



16



## Công suất phản kháng

Viết lại công suất tức thời của mạng 2 cửa:

$$p(t) = v(t)i(t) = P + P \cos(2\omega t) - VI \sin(\theta) \sin(2\omega t)$$

- Ta đã có định nghĩa công suất tác dụng

$$P = VI \cos \theta$$

- Định nghĩa công suất phản kháng, hoặc công suất ảo, hoặc công suất vô công

$$Q = VI \sin \theta$$

17

## Công suất phức

- Biểu diễn dạng phức các đại lượng điện :

$$\bar{V} = V e^{j\theta_v} \quad \bar{I} = I e^{j\theta_i}$$

$$P = \operatorname{Re}(\bar{V} \cdot \bar{I}^*) = VI \cos \theta$$

$$Q = \operatorname{Im}(\bar{V} \cdot \bar{I}^*) = VI \sin \theta$$

$$\theta = \theta_v - \theta_i$$

- Định nghĩa **công suất phức**

$$\bar{S} = (\bar{V} \cdot \bar{I}^*) = P + jQ$$

18

## Tổng kết công suất

<u>ký hiệu và công thức</u>	<u>tên gọi</u>	<u>đơn vị đo</u>
• $S =  S  =  P + jQ  = VI$	công suất biểu kiến	Volt-Amperes (VA)
• $P = VI \cos \theta$	công suất tác dụng	Watts (W)
• $Q = VI \sin \theta$	công suất phản kháng	Volt-Ampere phản kháng (VAR)

19

## Tính công suất

Nếu mạng 2 cực N là tổng trở Z:

$$Z = R + jX$$

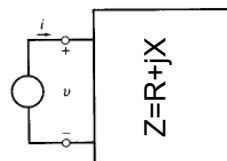
theo định luật Ohm, ta có

$$\bar{V} = Z\bar{I}$$

$$\bar{S} = \bar{V}\bar{I}^* = Z\bar{I}\bar{I}^* = I^2 Z = I^2 (R + jX) = P + jQ$$

Vậy,

$$P = I^2 R \quad Q = I^2 X$$



20

## Mạch thuần trở

Xét **mạch thuần trở**  
tổng trở  $Z = R$ , góc  $\theta=0$

$$V(\omega) = V \angle 0 \quad I(\omega) = I$$

$$Z = \frac{V(\omega)}{I(\omega)} = \frac{V}{I} \angle 0 = R$$

- Công suất tác dụng  $P=VI=I^2R=V^2/R$
- Công suất phản kháng  $Q=0$
- Công suất biểu kiến  $S=P$

➤ Dùng điện năng kế hay đồng hồ Watt-giờ

→ đo được năng lượng điện sử dụng = công suất tác dụng \* giờ

21

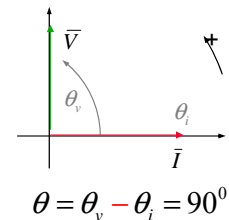
## Mạch cảm kháng

Xét **mạch cảm kháng**,  
tổng trở  $Z = j\omega L$ , góc  $\theta=90^\circ$

$$V(\omega) = V \angle 90^\circ \quad I(\omega) = I$$

$$Z = \frac{V(\omega)}{I(\omega)} = \frac{V}{I} \angle 90^\circ$$

- Công suất tác dụng  $P=0$
- Công suất phản kháng  $Q=VI=I^2 \omega L$
- Công suất biểu kiến  $S=Q$



➤ Cuộn cảm  $L$  không tiêu thụ công suất tác dụng, vì năng lượng được tích trữ trong từ trường, và sau đó được trả về mạch trở lại.  
 $Q>0$ , ie dấu “+”  $\Leftrightarrow$  quy ước cuộn  $L$  “nhận” công suất phản kháng.

22

## Mạch dung kháng

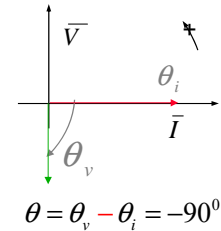
### Xét mạch dung kháng

tổng trở  $Z = -j/(\omega C)$ , góc  $\theta = -90^\circ$

$$V(\omega) = V \angle -90^\circ \quad I(\omega) = I$$

$$Z = \frac{V(\omega)}{I(\omega)} = \frac{V}{I} \angle -90^\circ$$

- Công suất tác dụng  $P=0$
- Công suất phản kháng  $Q = -VI = -I^2/(\omega C)$
- Công suất biểu kiến  $S=Q$



➤ Tụ điện C không tiêu thụ công suất tác dụng, vì năng lượng được tích trữ trong điện trường, và sau đó được trả về mạch trở lại.  $Q < 0$ , ie dấu “-”  $\Leftrightarrow$  quy ước tụ C “phát” công suất phản kháng.

23

## Ý nghĩa công suất tác dụng và phản kháng

- **Công suất tác dụng** là công suất (tiêu thụ) của thành phần điện trở R

$$\text{Công suất tác dụng} = P = VI \cos(\theta)$$

- **Công suất phản kháng**: công suất do cuộn cảm (/tụ điện) nhận (/trả) trong  $\frac{1}{4}$  chu kỳ, sau đó trả (/nhận) lại vào (/từ) mạch điện ở  $\frac{1}{4}$  chu kỳ kế tiếp khi dòng hoặc áp đổi chiều.

$$\text{công suất phản kháng} = Q = VI \sin(\theta)$$



góc  $\theta = 90^\circ$

$$Q = VI = I^2 \omega L$$

→ Quy ước cuộn dây “hấp thu” công suất phản kháng



góc  $\theta = -90^\circ$

$$Q = -VI = -I^2/(\omega C)$$

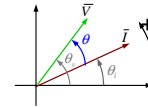
→ Quy ước tụ điện “phát ra” công suất phản kháng

24

## Một số thuật ngữ khác liên quan đến công suất

- Góc hệ số công suất  $\equiv \theta$  (có thể ký hiệu là góc  $\varphi$ )

$$\theta = \theta_v - \theta_i \quad \text{quy ước góc hệ số công suất: } |\theta| < 90^\circ,$$



- Hệ số công suất (power factor, pf)  $\equiv \cos \theta$  (có thể gọi là  $\cos \varphi$ )

- Hệ số công suất **trễ** ứng với tải cảm khi  $\theta > 0$ , dòng điện chậm pha so với điện áp

$\theta > 0 \rightarrow \sin \theta > 0 \rightarrow Q > 0$ , ie công suất phản kháng bị hấp thu (nhận)

- Hệ số công suất **sớm** khi tải dung khi  $\theta < 0$ , dòng điện sớm pha so với điện áp

$\theta < 0 \rightarrow \sin \theta < 0 \rightarrow Q < 0$ , ie công suất phản kháng được phát ra (trả)



25

## Ví dụ

➤ Ví dụ 2.4: Xác định công suất phức của đại lượng điện có  $v(t)$  và  $i(t)$  đi qua:

$$v(t) = \sqrt{2} \cdot 10 \cos(\omega t + 10^\circ)$$

$$i(t) = \sqrt{2} \cdot 20 \sin(\omega t + 70^\circ)$$

$$\Rightarrow \bar{V} = 10 \angle 10^\circ$$

$$i(t) = \sqrt{2} \cdot 20 \cos(\omega t + 70^\circ - 90^\circ)$$

$$\Rightarrow \bar{I} = 20 \angle -20^\circ$$

Công suất phức:

$$\bar{S} = (\bar{V} \bar{I}^*) = (10 \angle 10^\circ)(20 \angle 20^\circ) = 200 \angle 30^\circ = 173,2 + j100 \text{ VA}$$

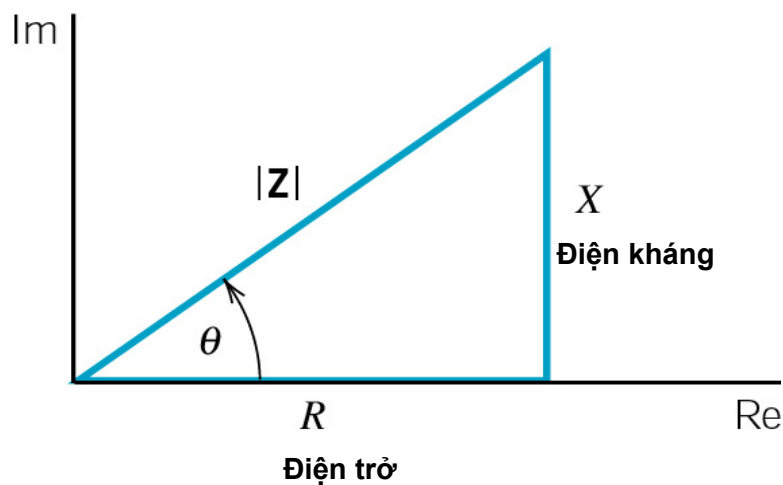
$$P = 173,2 \text{ W}$$

$$Q = 100 \text{ VAR}$$

26

### Tam giác tổng trở phức

Tam giác **tổng trở** phức  $Z = R + jX$

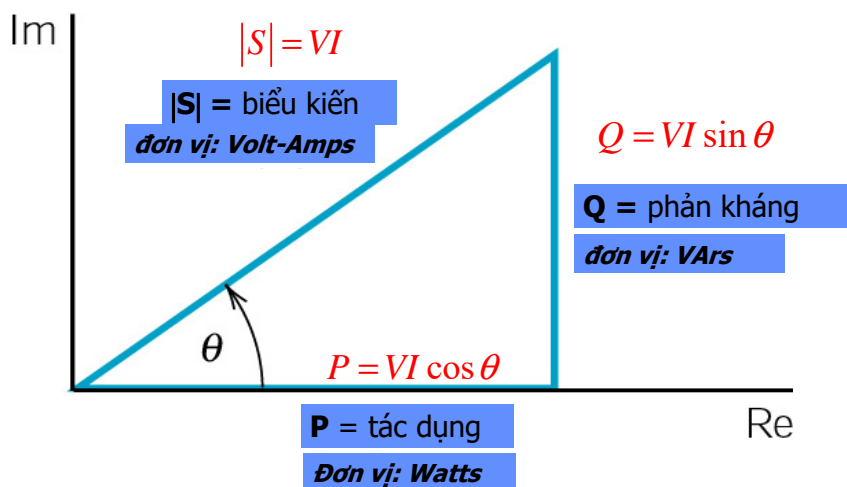


**Chú ý:**  $\theta = \theta_V - \theta_I$

27

### Tam giác công suất phức

Tam giác công suất phức  $\bar{S} = \bar{V}\bar{I}^* = P + jQ$



$\theta = \theta_V - \theta_I$

28

## Ví dụ

- Ví dụ 2.7: Vẽ tam giác công suất

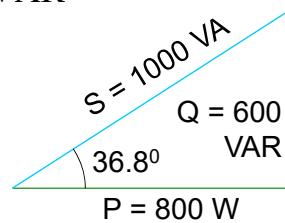
$$S = VI^* = (100\angle 10^\circ)(10\angle -26.8^\circ)^* = 1000\angle 36.8^\circ = 800 + j600 \text{ VA}$$

Với

$$P = 800 \text{ W} \quad Q = 600 \text{ VAR}$$

$$S = 1000 \text{ VA}$$

Vì  $Q > 0$ , dòng chậm pha  
hơn áp nên tải có tính cảm.

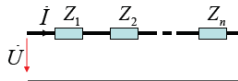


- Giải các BT 2.8, 2.9 và 2.10: xem [1]

29

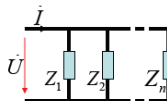
## Sự Bảo Toàn Công Suất

- Với mạch nối tiếp



$$\bar{S} = \bar{V} \cdot \bar{I}^* = (\bar{V}_1 + \bar{V}_2 + \dots + \bar{V}_n) \bar{I}^* = \bar{S}_1 + \bar{S}_2 + \dots + \bar{S}_n$$

- Với mạch song song



$$\bar{S} = \bar{V} \cdot \bar{I}^* = \bar{V} (\bar{I}_1 + \bar{I}_2 + \dots + \bar{I}_n)^* = \bar{S}_1 + \bar{S}_2 + \dots + \bar{S}_n$$

- Như vậy công suất phức tổng sẽ bằng tổng các công suất phức thành phần, với 2 thành phần P tổng và Q tổng được xác định bởi:

$$P = P_1 + P_2 + \dots + P_n \quad Q = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n$$

30

## Mô tả công suất của tải

Có 6 đại lượng điện liên  
quan đến tải:

- $V$
- $I$
- $\cos\theta$
- $S$
- $P$
- $Q$

thông qua ba quan hệ:

$$S = VI = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

$$P = VI \cos \theta$$

$$Q = VI \sin \theta$$

31

## 2.2 Công suất mạch 3 pha

2.1 Công suất mạch 1 pha

2.2 Công suất mạch 3 pha

2.3 Phát nóng và làm mát



## Hệ Thống Ba Pha

### • Khái niệm về hệ thống ba pha

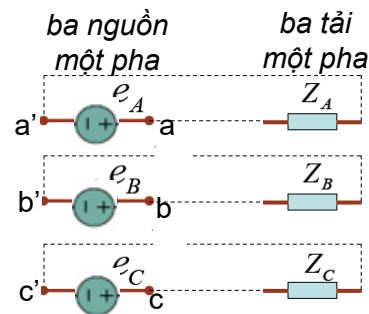
- Hệ thống ba pha gồm nguồn ba pha và tải ba pha.
- Nguồn ba pha gồm 3 nguồn sức điện động một pha ghép lại.
- Tải ba pha gồm 3 tải một pha ghép lại.

### • Mô hình nối nguồn ba pha với tải

Cho ba nguồn một pha và ba tải một pha riêng biệt.

Nối sao (Y) hoặc tam giác ( $\Delta$ )  
3 nguồn một pha.

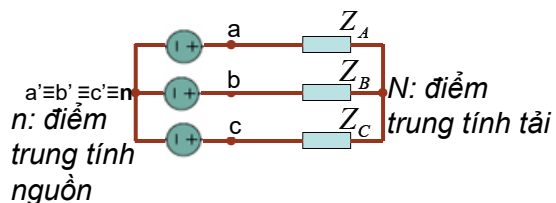
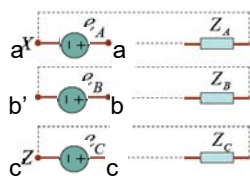
Nối sao (Y) hoặc tam giác ( $\Delta$ )  
3 tải một pha.



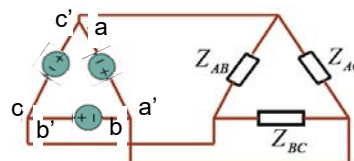
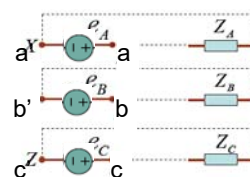
33

## Nối Sao và Nối Tam Giác

### • Nối sao/sao Y/Y



### • Nối tam giác/tam giác $\Delta/\Delta$

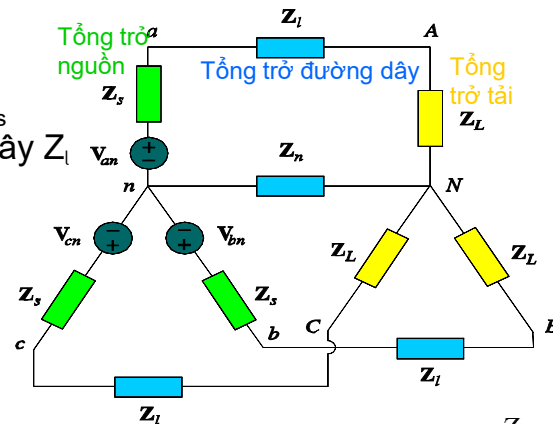


34

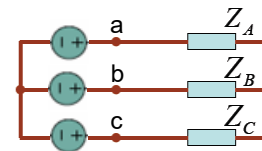
## Sơ Đồ Thực Tế Hệ Thống Ba Pha

Trong **thực tế**, hệ thống ba pha Y-Y cân bằng bao gồm:

- nguồn điện  $\leftrightarrow$  tổng trở nguồn  $Z_s$
- đường dây  $\leftrightarrow$  tổng trở đường dây  $Z_l$
- tải  $\leftrightarrow$  tổng trở tải  $Z_L$



□ Giải gần đúng: xem nguồn điện là **lý tưởng**  $\rightarrow$  bỏ qua tổng trở nguồn và đường dây.

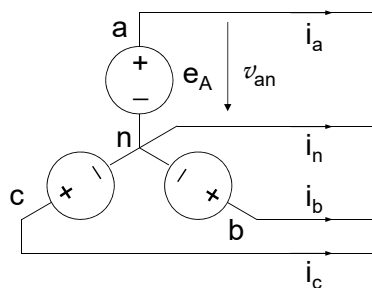


35

## Điện áp pha và véc tơ pha nguồn điện đầu sao

**Điện áp pha** tức thời của pha a, b và c bằng với nguồn sức điện động của pha tương ứng.

$$v_{an} = e_A \quad v_{bn} = e_B \quad v_{cn} = e_C$$



điện áp pha  $\equiv$  điện áp giữa dây pha và dây trung tính (đầu Y)

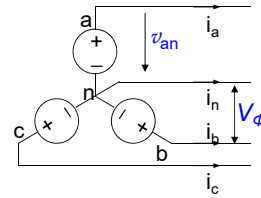
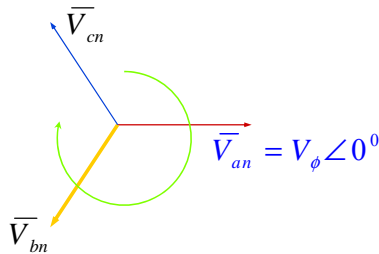
36

## Điện áp pha và véc tơ pha nguồn điện đầu sao

□ Nếu nguồn điện ba pha cân bằng

$$\begin{cases} v_{an} = V_m \cos(\omega t) \\ v_{bn} = V_m \cos(\omega t - 120^\circ) \\ v_{cn} = V_m \cos(\omega t + 120^\circ) \end{cases}$$

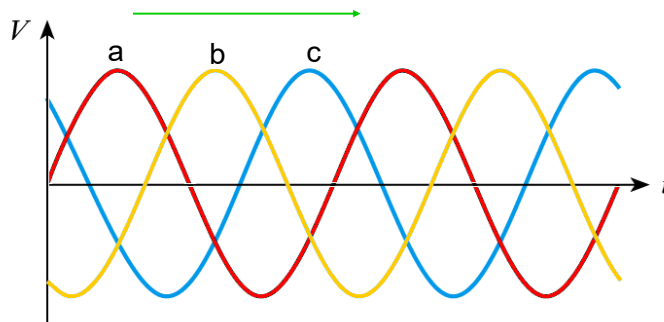
$$\begin{cases} \bar{V}_{an} = V_\phi \angle 0^\circ \\ \bar{V}_{bn} = V_\phi \angle -120^\circ \\ \bar{V}_{cn} = V_\phi \angle 120^\circ \end{cases}$$



Với  $V_\phi$  (hoặc ký hiệu  $V_p$ ) là điện áp pha  $\equiv$  điện áp giữa dây pha và dây trung tính (đầu Y)

37

## Thứ Tự Pha

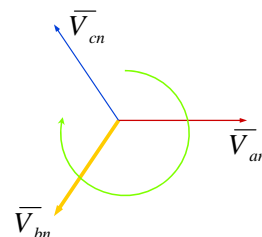


- Thứ tự pha thuận: a-b-c (theo thứ tự xuất hiện các giá trị đỉnh trên đồ thị theo thời gian).

$$\bar{V}_{an} = V_\phi \angle 0^\circ$$

$$\bar{V}_{bn} = V_\phi \angle -120^\circ$$

$$\bar{V}_{cn} = V_\phi \angle 120^\circ$$



38

## Thứ Tự Pha

Ví dụ: xác định thứ tự pha của hệ thống sau:

$$v_{an} = 200 \cos(\omega t + 10^\circ)$$

$$v_{bn} = 200 \cos(\omega t - 230^\circ)$$

$$v_{cn} = 200 \cos(\omega t - 110^\circ)$$

39

## Điện Áp Dây và Véc Tơ Dây nguồn điện đầu sao

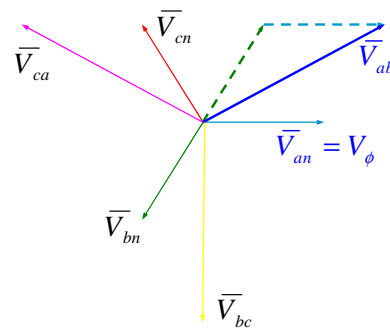
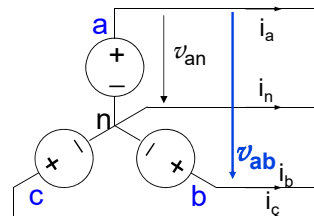
**Điện áp dây = Điện áp giữa các dây pha**

Ví dụ tính điện áp dây giữa pha a và pha b

$$V_{ab} = \bar{V}_{an} - \bar{V}_{bn} = 2V_\phi \cos(30^\circ) = \sqrt{3}V_\phi$$

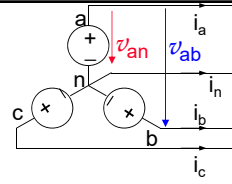
Tương tự

$$\begin{cases} \bar{V}_{ab} = \bar{V}_{an} - \bar{V}_{bn} = \sqrt{3}V_\phi \angle 30^\circ \\ \bar{V}_{bc} = \bar{V}_{bn} - \bar{V}_{cn} = \sqrt{3}V_\phi \angle -90^\circ \\ \bar{V}_{ca} = \bar{V}_{cn} - \bar{V}_{an} = \sqrt{3}V_\phi \angle 150^\circ \end{cases}$$



40

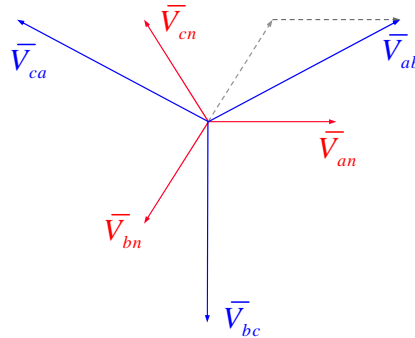
## Quan hệ giữa các điện áp



Khi nguồn điện ba pha cân bằng

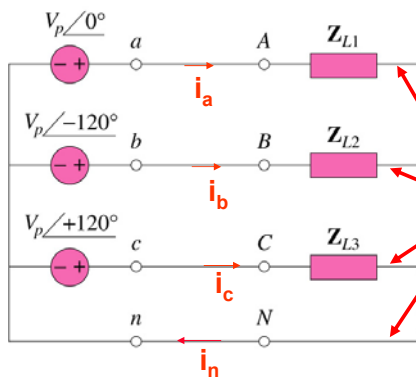
$$\bar{V}_{an} + \bar{V}_{bn} + \bar{V}_{cn} = 0$$

$$\bar{V}_{ab} + \bar{V}_{bc} + \bar{V}_{ca} = 0$$

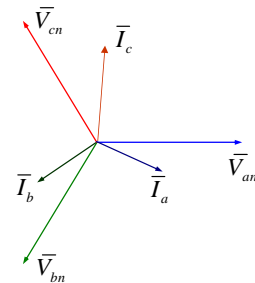


41

## Dòng điện hệ thống ba pha trong mạch đấu sao



Hệ thống 3 pha, 4 dây



$i_a$ ,  $i_b$ , và  $i_c$  là các dòng điện dây=dòng điện pha  
 $i_n$  là dòng điện dây trung tính.

Theo KCL

$$i_a + i_b + i_c = i_n$$

$$\bar{I}_a + \bar{I}_b + \bar{I}_c = \bar{I}_n$$

42

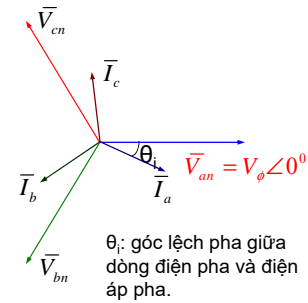
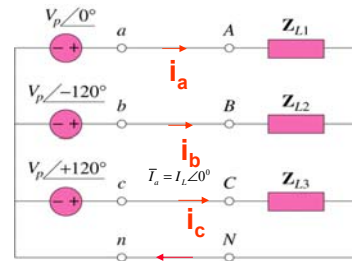
## Dòng điện hệ thống ba pha cân bằng

Nếu thêm điều kiện nguồn và tải ba pha cân bằng:

$$Z_{L1} = Z_{L2} = Z_{L3} = |Z| \angle \theta$$

$$\begin{cases} \bar{I}_a = I_L \angle \theta_i \\ \bar{I}_b = I_L \angle \theta_i - 120^\circ \\ \bar{I}_c = I_L \angle \theta_i + 120^\circ \end{cases}$$

$$\Rightarrow \bar{I}_a + \bar{I}_b + \bar{I}_c = \bar{I}_n = 0$$



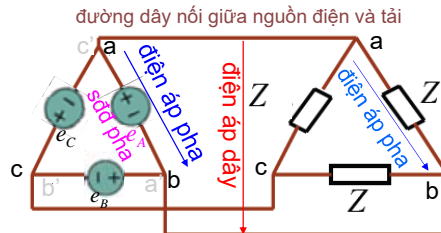
43

## Nguồn điện ba pha **đầu tam giác**

Quan hệ giữa các điện áp

Điện áp dây  $V_L$  = Điện áp pha  $V_\phi$

Điện áp pha  $V_\phi$  = nguồn sức điện động pha  $e_{(tương ứng)}$



$$v_{ab} = e_A \quad v_{bc} = e_B \quad v_{ca} = e_C$$

Theo KVL:  $v_{ab}(t) + v_{bc}(t) + v_{ca}(t) = 0$

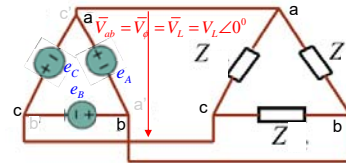
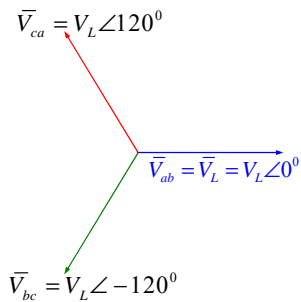
44

## Nguồn điện ba pha **đầu tam giác**

### Quan hệ giữa các điện áp

□ Nếu hệ thống nguồn điện ba pha cân bằng

$$\begin{cases} \vec{V}_{ab} = V_L \angle 0^\circ \\ \vec{V}_{bc} = V_L \angle -120^\circ \\ \vec{V}_{ca} = V_L \angle 120^\circ \end{cases}$$



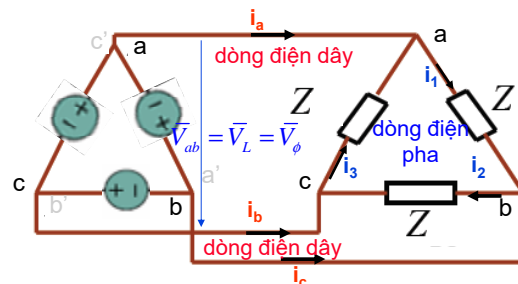
45

## Nguồn điện ba pha **đầu tam giác**

### Quan hệ giữa các dòng điện

Phân biệt dòng điện pha và dòng điện dây

- $I_1, I_2$  và  $I_3$  **dòng điện pha**  
(dòng điện trong mạch tam giác tải hoặc tam giác nguồn).



- $I_a, I_b$  và  $I_c$ : **dòng điện dây**

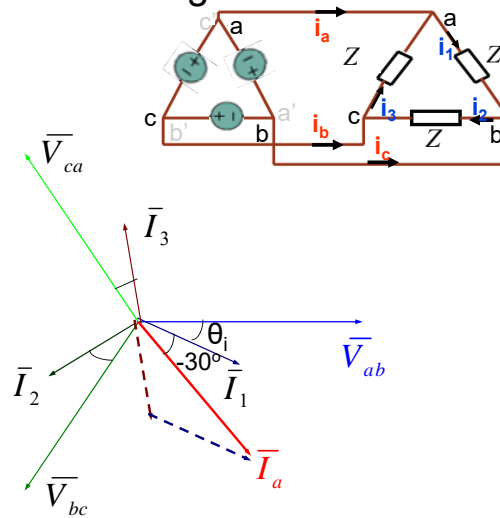
46

## Nguồn điện ba pha đầu tam giác

### Quan hệ giữa các dòng điện

$$\begin{cases} \bar{I}_1 = I_\phi \angle \theta_i \\ \bar{I}_2 = I_\phi \angle \theta_i - 120^\circ \\ \bar{I}_3 = I_\phi \angle \theta_i + 120^\circ \end{cases}$$

$$\begin{cases} \bar{I}_a = \bar{I}_1 - \bar{I}_3 = \angle -30^\circ + \theta_i \\ \bar{I}_b = \bar{I}_3 - \bar{I}_2 = \sqrt{3} I_\phi \angle -150^\circ + \theta_i \\ \bar{I}_c = \bar{I}_2 - \bar{I}_1 = \sqrt{3} I_\phi \angle 90^\circ + \theta_i \end{cases}$$

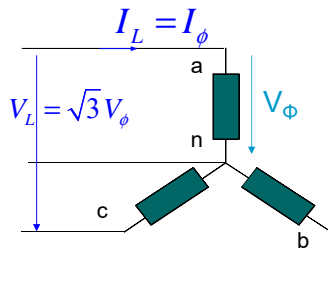


$\theta_i$ : góc lệch pha giữa dòng điện pha và điện áp pha,  
 $I_\phi$ : giá trị hiệu dụng dòng điện pha  
 Nguồn điện đầu với tải ba pha cân bằng.

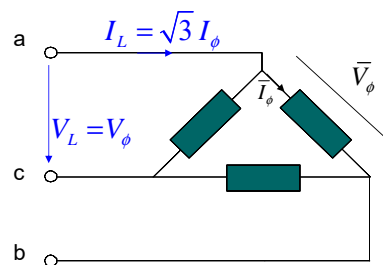
47

## So sánh mạch đầu sao và đầu tam giác

### • Tải đầu sao



### • Tải đầu tam giác



48



## Công Suất Hệ Thống Ba Pha Cân Bằng

### Tải đầu sao

- Công suất một pha

$$P_\phi = V_\phi I_\phi \cos(\theta)$$

$$\bar{S}_\phi = \bar{V}_\phi \bar{I}_\phi^* = V_\phi I_\phi \angle \theta$$

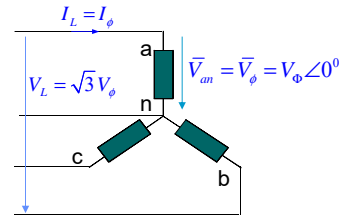
- Công suất ba pha

$$P_T = 3P_\phi = 3V_\phi I_\phi \cos(\theta) = \sqrt{3}V_L I_L \cos(\theta)$$

$$\bar{S}_T = 3\bar{S}_\phi = 3\bar{V}_\phi \bar{I}_\phi^* = 3V_\phi I_\phi \angle \theta = \sqrt{3}V_L I_L \angle \theta$$

$$\bar{S}_T = \sqrt{3}V_L I_L \cos \theta + j\sqrt{3}V_L I_L \sin \theta$$

$$S_T = \sqrt{3}V_L I_L$$



$V_\phi$ ,  $I_\phi$  và  $V_L$ ,  $I_L$  là các đại lượng pha và dây

49

## Công Suất Hệ Thống Ba Pha Cân Bằng

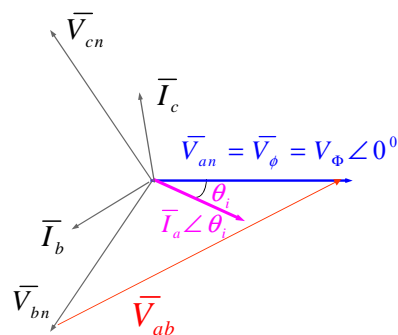
### Tải đầu sao

Công suất ba pha

$$\bar{S}_T = 3\bar{S}_\phi = 3\bar{V}_\phi \bar{I}_\phi^* = 3V_\phi I_\phi \angle \theta = \sqrt{3}V_L I_L \angle \theta$$

Lưu ý về góc lệch pha  $\theta$

$$\theta = \theta_v - \theta_i = 0 - \theta_i = -\theta_i$$



$\theta$ : góc lệch pha giữa dòng điện pha và điện áp pha  
hay là góc của tổng trở tải

- $\theta > 0$  dòng điện chậm pha
- $\theta < 0$  dòng điện sớm pha

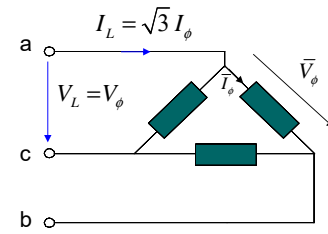
50

## Công Suất Hệ Thống Ba Pha Cân Bằng

### Tải đầu tam giác

Tương tự, lưu ý  $I_\phi = I_L / \sqrt{3}$   $V_\phi = V_L$

- Công suất một pha  $\bar{S}_\phi = V_\phi I_\phi \angle \theta$
- Công suất ba pha  $\bar{S}_T = 3\bar{V}_\phi \bar{I}_\phi^* = \sqrt{3}V_L I_L \angle \theta$



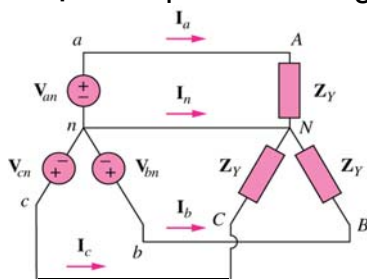
$\theta$ : góc lệch pha giữa dòng điện pha và điện áp pha hay là góc của tổng trở tải

51

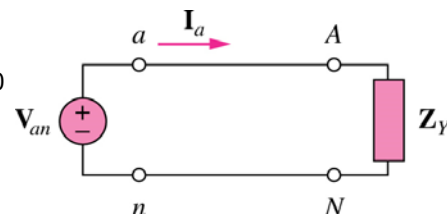
## Tính Toán Hệ Thống Ba Pha Cân Bằng

### Phương pháp phân tích

Mạch ba pha cân bằng  $\rightarrow$  mạch một pha.



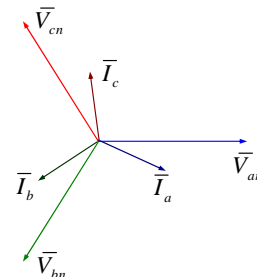
do  $I_n = 0 \rightarrow V_{nN} = 0$



Chuyển mạch ba pha cân bằng về mạch một pha tương đương để giải do thế ở các điểm trung tính bằng nhau khi nguồn điện và tải cân bằng.

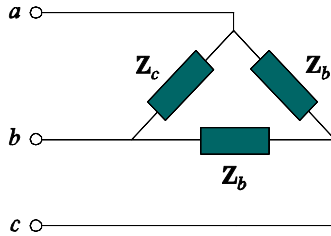
$$I_a = \frac{V_{an}}{Z_Y}$$

$\Rightarrow I_b, I_c$  theo giản đồ véc tơ



52

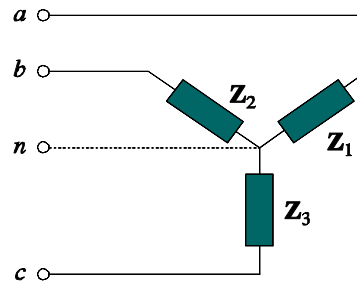
## Biến đổi tải $\Delta$ -Y



Tải đầu tam giác

$$Z_{\Delta} = Z_a = Z_b = Z_c$$

$$Z_{\Delta} = 3Z_Y$$



Tải đầu sao

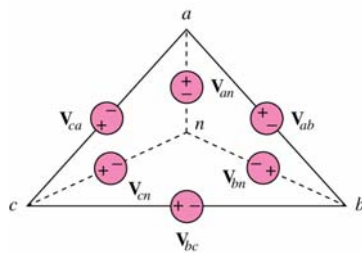
$$Z_Y = Z_1 = Z_2 = Z_3$$

$$Z_Y = \frac{1}{3} Z_{\Delta}$$

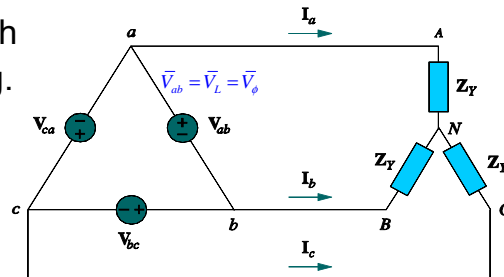
53

## Biến đổi nguồn điện $\Delta$ -Y

Biến đổi nguồn điện đầu  $\Delta$  thành nguồn điện đầu Y tương đương.



Mạch một pha tương đương của hệ thống ba pha  $\Delta$ -Y



$$\frac{V_{\phi} \angle -30^{\circ}}{\sqrt{3}} = V_{an}$$

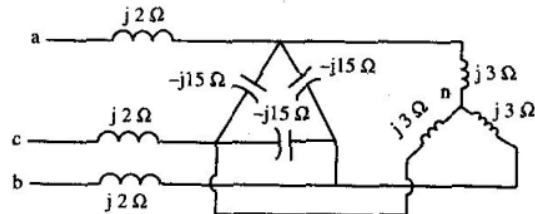
$$I_a = \frac{V_{an}}{Z_Y} = \frac{\frac{V_{\phi}}{\sqrt{3}} \angle -30^{\circ}}{Z_Y}$$

54

## Ví dụ áp dụng

### ➤ Ví dụ. 2.14:

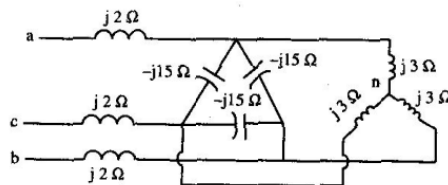
Tụ điện ba pha có công suất bao nhiêu kVAr, nếu điện áp định mức của tụ là 400 V.



55

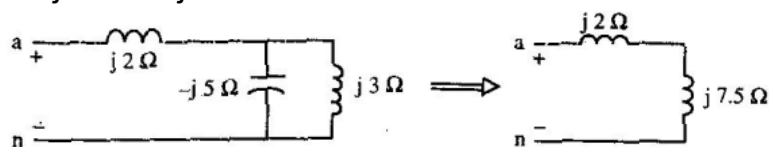
## Ví dụ áp dụng

### ➤ Ví dụ. 2.14:



Vẽ mạch một pha tương đương của sơ đồ trên

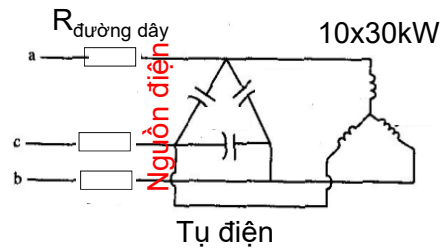
Thay tụ điện ba pha đấu tam giác thành đấu sao với tổng trở pha  $-j15/3 = -j5 \Omega$ .



56

### Ví dụ áp dụng (tt)

➤ Ví dụ 2.15: Tải là 10 động cơ cảm ứng ba pha công suất 30kW,  $\text{pf}=0,6$  đấu song song vào nguồn điện ba pha. Tính công suất phản kháng cần thiết của tụ điện đấu vào nguồn sao cho hệ số công suất hệ thống  $\text{pf}=1$ .



57

### Ví dụ áp dụng (tt)

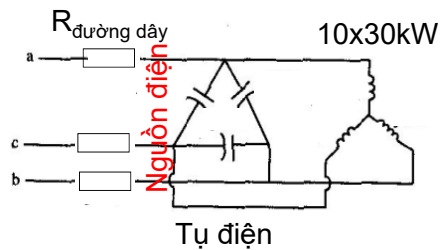
Có thể giải trên mạch một pha tương đương  $\rightarrow$  kết quả hệ thống ba pha [1],  
hoặc giải trên các đại lượng công suất ba pha như sau:

58

### Ví dụ áp dụng (tt)

➤ Ví dụ 2.15':

Cho  $R_{\text{đường dây}} = 10 \text{ m}\Omega$ . So sánh tổn thất công suất và tổn thất điện năng trên đường dây trong trường hợp có gắn tụ bù và không gắn tụ bù.



59

### Ví dụ áp dụng (tt)

➤ Ví dụ 2.16: Cũng như ví dụ 2.15, nhưng cần có hệ số công suất mới  $\text{pf} = 0,9$ .

➤ Tính công suất phản kháng cần thiết của tụ điện.

60

## Chương 2

### Mạch công suất

### Phát nóng và làm mát

- 2.1 Công suất mạch 1 pha
- 2.2 Công suất mạch 3 pha
- 2.3 Phát nóng và làm mát

## 2.3 Phát nóng và làm mát

- 2.3.1 Giới thiệu về phát nóng trong các thiết bị điện
- 2.3.2 Tính tổn hao công suất
- 2.3.3 Khảo sát quá trình quá độ
- 2.3.4 Sự truyền nhiệt ở chế độ xác lập
- 2.3.5 Các chế độ làm việc của thiết bị điện

## 2.3.1 Giới thiệu về phát nóng trong các thiết bị điện

### 2.3 Phát nóng và làm mát

#### 2.3.1 Giới thiệu về phát nóng trong các thiết bị điện

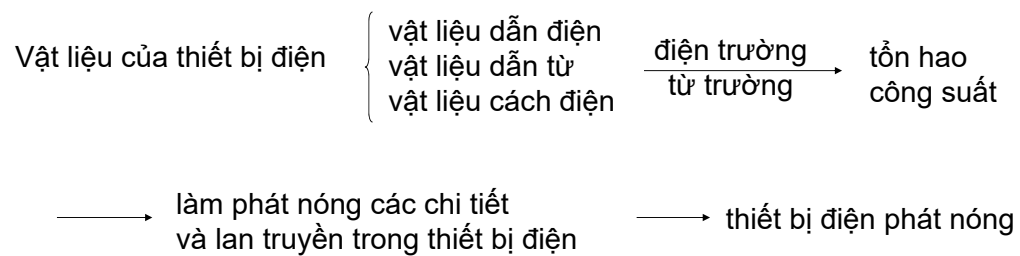
#### 2.3.2 Tính tổn hao công suất

#### 2.3.3 Khảo sát quá trình quá độ

#### 2.3.4 Sự truyền nhiệt ở chế độ xác lập

#### 2.3.5 Các chế độ làm việc của thiết bị điện

## Quá trình nhiệt của thiết bị điện





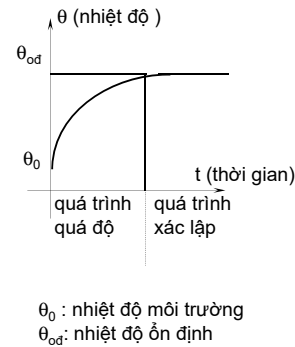
## Quá trình nhiệt của thiết bị điện

Tổn hao công suất làm tăng nhiệt độ của một vật thể theo thời gian gồm hai giai đoạn:

1/ quá trình quá độ: một phần nhiệt năng làm tăng nhiệt độ của vật thể còn một phần khác tỏa ra môi trường chung quanh.

Sự tỏa nhiệt này tỷ lệ với độ chênh nhiệt ( $\tau$ ) giữa nhiệt độ của vật thể  $\theta$  và nhiệt độ môi trường chung quanh  $\theta_0$

$$\tau = \theta - \theta_0$$



2/ quá trình xác lập: nhiệt độ của vật thể tăng đến một nhiệt độ nào đó, gọi là nhiệt độ ổn định  $\theta_{od}$ , khi đó toàn bộ nhiệt năng phát ra trong vật thể đều tỏa hết ra môi trường chung quanh. Nhiệt độ của vật thể không tăng lên được nữa mà ổn định ở nhiệt độ này- chế độ xác lập nhiệt.

65

## Nhiệt độ cho phép của thiết bị điện

Yêu cầu: **thiết bị điện phải có nhiệt độ phát nóng thấp hơn so với nhiệt độ cho phép.**

Trong các vật liệu dẫn điện, dẫn từ và vật liệu cách điện của thiết bị điện: **vật liệu cách điện chịu nhiệt kém nhất.**

Hậu quả: nếu nhiệt độ của cách điện tăng cao thì nó bị già hóa nhanh, bị suy giảm độ bền điện và độ bền cơ, dẫn đến giảm tuổi thọ của thiết bị điện.

66

## Nhiệt độ cho phép của thiết bị điện

### Vật liệu cách điện

→ nhiệt độ cho phép của thiết bị điện thường được quy định bởi nhiệt độ cho phép của cách điện.

Cấp cách điện	70	90	105	120	130	155	180	>180
---------------	----	----	-----	-----	-----	-----	-----	------

Ví dụ: vật liệu cách điện bằng PVC là cách điện cấp 70, chịu được nhiệt độ liên tục 70°C trong 7 năm mà vẫn bảo đảm độ bền cơ không bị suy giảm hơn 50%.

67

## Nhiệt độ cho phép của thiết bị điện

### Nhiệt độ cho phép **cấp điện**

Wiring Regulations published by the Institute of Electrical Engineers (IEE).

Material (Note 3)	Long Life (20 year)	Limited Life (5 year)
Maximum Conductor Temperature °C		
70°C PVC	70	85

68

## 2.3.2 Tính tổn hao công suất

### 2.3 Phát nóng và làm mát

2.3.1 Giới thiệu về phát nóng trong các thiết bị điện

2.3.2 Tính tổn hao công suất

2.3.3 Khảo sát quá trình quá độ

2.3.4 Sự truyền nhiệt ở chế độ xác lập

2.3.5 Các chế độ làm việc của thiết bị điện

## Các dạng tổn hao công suất trong các thiết bị điện

Năng lượng tổn hao trong các vật liệu kỹ thuật điện trong một đơn vị thời gian được gọi là **công suất tổn hao**.

*Công suất tổn hao trong các chi tiết dẫn điện*

*Công suất tổn hao trong các chi tiết dẫn từ*

*Công suất tổn hao trong các chi tiết cách điện*

## Công suất tổn hao trong các chi tiết dẫn điện

Dòng điện → dây dẫn điện → tổn hao công suất bên trong dây dẫn

$$P = \int_V j^2 \rho \, dv$$

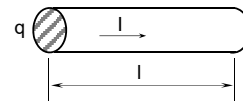
$j$  - mật độ dòng điện, A/m<sup>2</sup>

$\rho$  - điện trở suất, Ωm;  $V$  - thể tích dây dẫn, m<sup>3</sup>

71

## Công suất tổn hao trong các chi tiết dẫn điện

Nếu dây dẫn có tiết diện đều dọc theo toàn bộ chiều dài, véc tơ mật độ dòng điện vuông góc và phân bố đều trên bề mặt tiết diện:



$$P = j^2 \rho V = j^2 \rho l \cdot q = I^2 R$$

$$R = \rho \frac{l}{q}$$

$\rho$ : điện trở suất của vật dẫn phụ thuộc vào nhiệt độ  $\theta$  của dây dẫn

$$\rho = \rho_{\theta_1} [1 + \alpha(\theta - \theta_1)]$$

$\rho_{\theta_1}$  : điện trở suất ở nhiệt độ  $\theta_1$

$\alpha$  [1/°C]: hệ số nhiệt điện trở,  $\alpha_{Al} = 0,0042$  (1/°C);  $\alpha_{Cu} = 0,0043$  (1/°C)

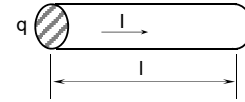
Thường cho sẵn  $\rho_{\theta_1}$  ở  $\theta_1 = 0^\circ\text{C}$  nên  $\rho = \rho_0 (1 + \alpha \theta)$

72

## Công suất tổn hao trong các chi tiết dẫn điện

Dòng điện 1 chiều:

$$R_{DC} = R = \rho \frac{l}{q}$$



Dòng điện xoay chiều:

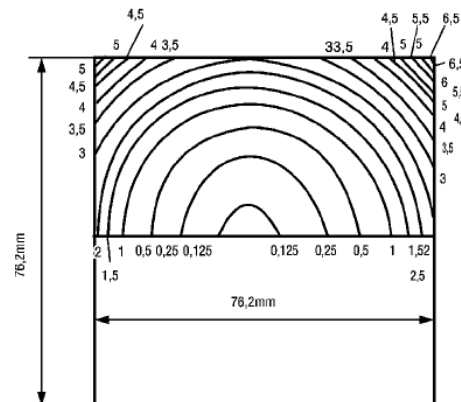
$$R_{AC} = k_f R_{DC} = k_f \rho \frac{l}{q}$$

$k_f = k_{bm} k_g > 1$  : hệ số tổn hao phụ do hiệu ứng bề mặt ( $k_{bm} > 1$ ) và hiệu ứng gần ( $k_g > 1$ )

73

## Hiệu ứng bề mặt

Hiệu ứng bề mặt sinh ra do hiện tượng phân bố dòng điện không đều trên bề mặt tiết diện  $q$  của dây dẫn điện.



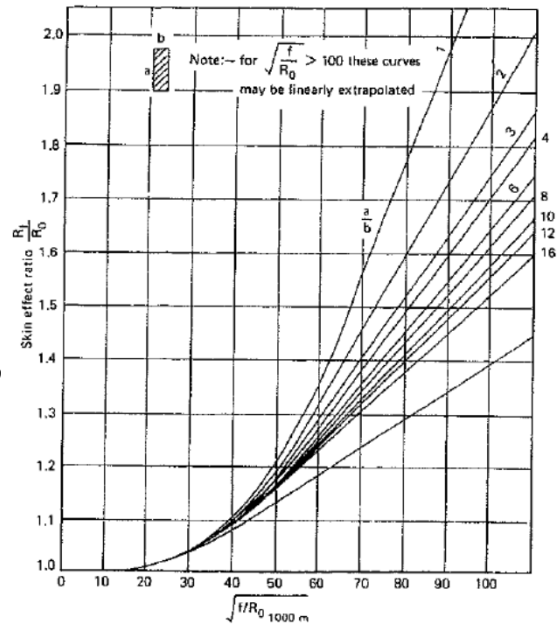
74

## Hiệu ứng bề mặt

Hệ số tổn hao phụ  $k_{bm}$  do hiệu ứng bề mặt phụ thuộc vào:

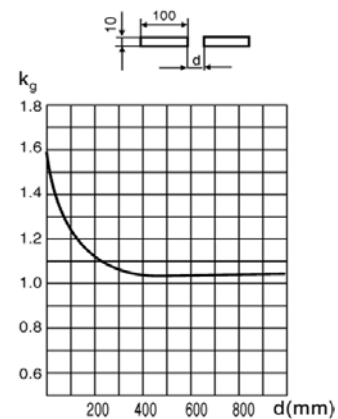
- tần số của dòng điện
- thông số hình học của tiết diện dây dẫn

$f$ , Hz: tần số của dòng điện  
 $R_0$ , Ohm, điện trở 1 chiều của thanh dẫn có chiều dài 1000m.



## Hiệu ứng gần

Hiệu ứng gần là hiện tượng phân bố dòng điện không đều trên tiết diện của các dây dẫn đặt gần nhau khi có dòng điện xoay chiều chạy qua. Hiệu ứng gần được đánh giá bằng hệ số gần  $K_g$ .



## Công suất tổn hao trong các chi tiết dẫn từ

Các chi tiết sắt từ (các loại mạch từ, các chi tiết bằng sắt thép, vỏ máy làm từ các hợp kim sắt v.v...) nằm trong vùng có từ trường biến thiên  
→ tổn hao do từ trễ và dòng xoáy.

### Mạch từ ghép từ tôle kỹ thuật điện

*Công suất tổn hao do từ trễ và dòng xoáy trong các chi tiết dẫn từ*

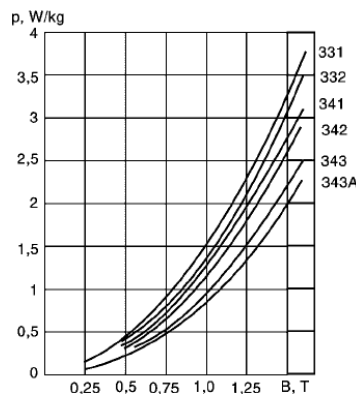
$$p_{\text{tổng}} = p_{\text{tr}} \frac{f}{f_0} \left( \frac{B}{B_0} \right)^2 \quad p_{\text{dòng xoáy}} = p_x \left( \frac{f}{f_0} \frac{B}{B_0} \right)^2$$

$p_{\text{tr}}, p_x$  [W/kg] : công suất tổn hao do từ trễ và dòng xoáy trên 1 đơn vị khối lượng ở tần số  $f_0$  và từ cảm  $B_0$

77

## Công suất tổn hao trong các chi tiết dẫn từ

Có thể xác định tổn hao trong mạch từ ghép từ tôle kỹ thuật điện từ các đường cong thực nghiệm  $P_{Fe} = f(B_m)$

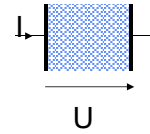


78

## Công suất tổn hao trong vật liệu cách điện

Bỏ qua tổn hao nhiệt Joule trong vật liệu cách điện do cách điện có điện trở  $R$  rất lớn.

$$P = \frac{U^2}{R} \approx 0$$



Khi điện trường biến thiên  $\rightarrow$  xảy ra **tổn hao điện môi** trong vật liệu cách điện:

$$P = U^2 \cdot 2\pi f \cdot C \cdot \tan \delta \quad \delta = \frac{\pi}{2} - \varphi$$

$P, W$  : công suất tổn hao  
 $f, \text{Hz}$ : tần số điện trường  
 $U, V$ : điện áp  
 $\tan \delta$ : hệ số tổn hao điện môi  
 $C, F$ : điện dung của cách điện  
 $\varphi$ : góc lệch pha giữa dòng điện và điện áp

79

## 2.3.3 Khảo sát quá trình quá độ

### 2.3 Phát nóng và làm mát

2.3.1 Giới thiệu về phát nóng trong các thiết bị điện

2.3.2 Tính tổn hao công suất

2.3.3 Khảo sát quá trình quá độ

2.3.4 Sự truyền nhiệt ở chế độ xác lập

2.3.5 Các chế độ làm việc của thiết bị điện



## Quá trình phát nóng

Xét một vật thể đồng nhất có diện tích tỏa nhiệt  $S$  [ $\text{m}^2$ ], đẳng nhiệt có nguồn nhiệt nội tại:

- Công suất nhiệt  $P$  [ $\text{W}$ ] =const
- Nhiệt độ  $\theta$  [ $^{\circ}\text{C}$ ] bằng nhau ở mọi điểm bên trong vật thể
- Hệ số tỏa nhiệt  $K_T$  [ $\text{W}/\text{m}^2 \text{ } ^{\circ}\text{C}$ ] và nhiệt dung  $C$  [ $\text{W.s}/^{\circ}\text{C}$ ] của vật thể không phụ thuộc vào nhiệt độ.

Nhắc lại:

- Nhiệt dung riêng  $C_s$  [ $\text{kcal}/\text{kg}^{\circ}\text{C}$ ,  $\text{J}/\text{kg}^{\circ}\text{C}$ ], là nhiệt lượng cần thiết để cung cấp cho một đơn vị khối lượng của một chất để tăng nhiệt độ lên  $1^{\circ}\text{C}$ .
- Nhiệt dung  $C$  [ $\text{W s}/^{\circ}\text{C}$ ] =  $C_s \times$  khối lượng,
- Hệ số tỏa nhiệt  $K_T$  [ $\text{W}/\text{m}^2 \text{ } ^{\circ}\text{C}$ ] là công suất tỏa nhiệt trên một đơn vị diện tích của bề mặt tỏa nhiệt ứng với 1 đơn vị nhiệt độ chênh nhiệt so với nhiệt độ môi trường.

81

## Quá trình phát nóng

Năng lượng sản sinh từ bên trong vật thể trong thời gian  $dt$  ( $Pdt$ ) sẽ biến thành nhiệt năng, một phần làm tăng nhiệt độ của nó ( $Cd\tau$ ) và phần khác tỏa ra môi trường xung quanh ( $K_T S \tau dt$ ).

Phương trình cân bằng năng lượng

$$P dt = C \cdot d\tau + K_T S \tau dt$$

$$\frac{d\tau}{dt} + \frac{K_T \cdot S}{C} \cdot \tau - \frac{P}{C} = 0$$

Với

$\tau = \theta - \theta_o$  độ tăng nhiệt so với nhiệt độ của môi trường,  $^{\circ}\text{C}$ .

82

## Quá trình phát nóng

$$\frac{d\tau}{dt} + \frac{K_T \cdot S}{C} \cdot \tau - \frac{P}{C} = 0$$

Giải phương trình vi phân bậc nhất xét đến các điều kiện biên của bài toán

- Với điều kiện biên:  $t=0, \tau = \tau_0 = 0$

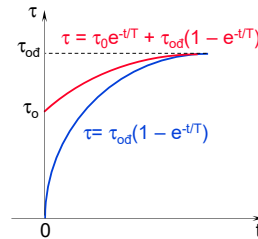
$$\tau = \tau_{od}(1 - e^{-t/T})$$

- Với điều kiện biên:  $t=0, \tau = \tau_0 \neq 0$

$$\tau = \tau_0 e^{-t/T} + \tau_{od}(1 - e^{-t/T})$$

$$\tau_{od} = \frac{P}{k_T S} : \text{độ tăng nhiệt ổn định } [^{\circ}\text{K}]$$

$$T = \frac{C}{k_T S} : \text{hằng số thời gian phát nóng } [\text{s}]$$



83

## Quá trình phát nóng

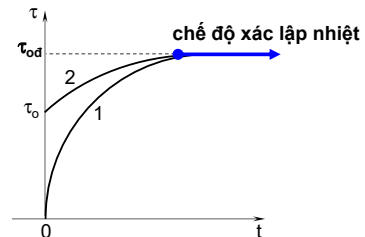
$$\tau = \tau_0 e^{-t/T} + \tau_{od}(1 - e^{-t/T})$$

Các nhận xét:

$$t \rightarrow \infty \Rightarrow \tau \rightarrow \tau_{od} = \frac{P}{k_T S}$$

Đây là **chế độ xác lập nhiệt**: công suất tổn hao gây phát nóng vật thể cân bằng với công suất tỏa nhiệt ra môi trường chung quanh.

$$\tau_{od} = \frac{P}{k_T S} \quad \text{phương trình cân bằng nhiệt Newton ở chế độ xác lập}$$



84

## Quá trình phát nóng

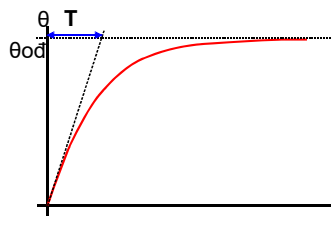
$$\tau = \tau_0 e^{-t/T} + \tau_{od}(1 - e^{-t/T}) \quad T = \frac{C}{k_T S}$$

Các nhận xét (tt):

Nếu toàn bộ năng lượng tổn hao không tỏa ra môi trường xung quanh mà chỉ dùng để đốt nóng vật thể - **chế độ đoạn nhiệt**:

$$P dt = C \cdot d\tau \quad \Rightarrow \quad \tau = \frac{P}{C} t = \frac{\tau_{od}}{T} t$$

→ khi  $t=T$  thì  $\tau = \tau_{od}$

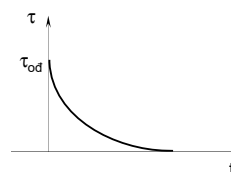


85

## Quá trình nguội

$$\left. \begin{array}{l} 0 = Cd\tau + K_T S \tau dt \\ \text{khi } t=0 \text{ thì } \tau = \tau_{od} \end{array} \right\}$$

$$\rightarrow \tau = \tau_{od} e^{-t/T}$$



86

## 2.3.4 Sự truyền nhiệt ở chế độ xác lập

### 2.3 Phát nóng và làm mát

2.3.1 Giới thiệu về phát nóng trong các thiết bị điện

2.3.2 Tính tổn hao công suất

2.3.3 Khảo sát quá trình quá độ

2.3.4 Sự truyền nhiệt ở chế độ xác lập

2.3.5 Các chế độ làm việc của thiết bị điện

### Sự truyền nhiệt của vật thể phát nóng ở chế độ xác lập

**Sự truyền nhiệt** hay còn gọi là **sự trao đổi nhiệt** xảy ra giữa các vật thể có nhiệt độ khác nhau.

Các dạng truyền nhiệt cơ bản là dẫn nhiệt, trao đổi nhiệt đối lưu và trao đổi nhiệt bức xạ.

1/ **Dẫn nhiệt** là quá trình trao đổi nhiệt giữa các phần của vật thể hay giữa các vật thể có nhiệt độ khác nhau khi chúng tiếp xúc với nhau. Ví dụ khi cầm một thanh sắt bị đốt nóng ở một đầu thì đầu kia cũng sẽ bị nóng hay khi áp tay vào một vật nóng thì tay sẽ cảm giác được sự phát nóng.

2/ **Trao đổi nhiệt đối lưu** là quá trình trao đổi nhiệt nhờ sự chuyển động của chất lỏng hoặc chất khí giữa các vùng có nhiệt khác nhau.

**Sự tỏa nhiệt đối lưu** - trường hợp đặc biệt của trao đổi nhiệt đối lưu - quá trình trao đổi nhiệt giữa bề mặt vật rắn với chất lỏng hoặc chất khí chuyển động.

### Sự truyền nhiệt của vật thể phát nóng ở chế độ xác lập

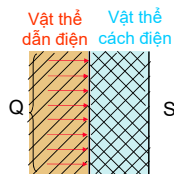
3/ **Trao đổi nhiệt bức xạ** là quá trình trao đổi nhiệt dưới dạng các tia nhiệt do vật thể phát nóng bức xạ ra môi trường xung quanh : tia sáng, tia hồng ngoại.

Trong thực tế cả ba dạng trao đổi nhiệt xảy ra đồng thời và có ảnh hưởng lẫn nhau gọi là **sự trao đổi nhiệt hỗn hợp**. Ta cần xét xem dạng trao đổi nhiệt nào là cơ bản, ảnh hưởng của các dạng còn lại được tính đến bằng cách dựa vào các hệ số hiệu chỉnh.

89

### Sự truyền nhiệt của vật thể phát nóng ở chế độ xác lập

Xét vật thể dẫn điện có **nhiệt lượng Q** truyền qua vách cách điện có **tiết diện S** không có nguồn nhiệt nội tại:



$$\phi_T = \frac{dQ}{dt} \quad \text{nhiệt thông, nghĩa là công suất truyền nhiệt}$$

$$\phi_{T_0} = \frac{\phi_T}{S} \quad \text{mật độ nhiệt thông}$$

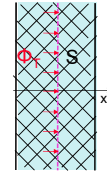
$\phi_T = P$  ở chế độ xác lập nhiệt  
 $P$  là **công suất tổn hao** trong vật thể.

90

## Sự truyền nhiệt của vật thể phát nóng ở chế độ xác lập

Phương trình truyền nhiệt Fourier:

$$\phi_T = -\lambda \frac{\partial \theta}{\partial x} S$$



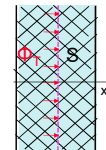
Nhiệt thông truyền thẳng góc qua tiết diện  $S$  tỷ lệ với gradient nhiệt độ tại vị trí  $x$ .  
Dấu trừ do nhiệt thông truyền từ nơi có nhiệt độ cao sang nơi có nhiệt độ thấp.

$\lambda$  là hệ số dẫn nhiệt hay độ dẫn nhiệt,  $[W/(m^{\circ}K)]$ ,

91

## Hệ số dẫn nhiệt hay độ dẫn nhiệt $\lambda$

**Hệ số dẫn nhiệt** hay **độ dẫn nhiệt**  $\lambda$ ,  $[W/(m^{\circ}C)]$ , là công suất nhiệt truyền thẳng góc qua một đơn vị bề dày vật liệu trong một đơn vị thời gian, ứng với một đơn vị độ chênh nhiệt độ).



Vật liệu	Độ dẫn nhiệt $\lambda$ [W/(m°C)]
Bạc	420
Đồng	385
Nhôm	203
Thép	45
Nước	0,6
PVC	0,19
Sợi thủy tinh	0.055
Không khí (30°C)	0.026

92

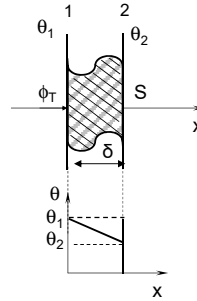
### Sự truyền nhiệt qua vách phẳng

Xét sự truyền nhiệt của một vật thể dẫn điện dài vô cùng qua 1 vách phẳng có tiết diện  $S$ , bề dày  $\delta$ , được giới hạn bởi 2 mặt phẳng song song 1 và 2.

Do vật thể dẫn điện dài vô cùng, nhiệt lượng chỉ truyền theo phương  $x$

$$\Phi_T = -\lambda \frac{d\theta}{dx} S$$

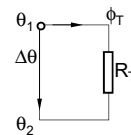
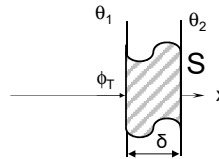
$$\left. \begin{array}{l} \frac{d\theta}{dx} = \frac{-\Phi_T}{\lambda S} \\ x = 0, \theta = \theta_1 \end{array} \right\} \quad \left. \begin{array}{l} \theta = \frac{-\Phi_T}{\lambda S} x + \theta_1 \\ x = \delta, \theta = \theta_2 \end{array} \right\} \quad \Delta\theta = \theta_1 - \theta_2 = \Phi_T \frac{\delta}{\lambda S} = \Phi_T R_T$$



93

### Sự truyền nhiệt qua vách phẳng

$$\Delta\theta = \theta_1 - \theta_2 = \Phi_T \frac{\delta}{\lambda S} = \Phi_T R_T$$



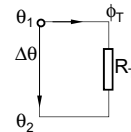
$$R_T = \frac{\delta}{\lambda S} \text{ [}^\circ\text{C/W]}: \text{ nhiệt trở do dẫn nhiệt qua vách cách điện có bề dày } \delta, \text{ tiết diện } S \text{ và hệ số dẫn nhiệt } \lambda$$

$$\Delta\theta = \theta_1 - \theta_2 : \text{ độ chênh nhiệt}$$

94

## Sự truyền nhiệt qua vách phẳng

$$\Delta\theta = \theta_1 - \theta_2 = \Phi_T \frac{\delta}{\lambda S} = \Phi_T R_T$$



Phương trình  $\Delta\theta = \Phi_T R_T$  là **định luật Ohm trong truyền nhiệt**, tương tự với định luật Ohm trong mạch điện. Ở đây ta có sự tương tự giữa hai đại lượng nhiệt và đại lượng điện.

Đại lượng nhiệt, đơn vị	Đại lượng điện, đơn vị
Nhiệt lượng, W.s	Điện lượng, A.s
Nhiệt thông, W	Dòng điện, A
Mật độ nhiệt thông, W/m <sup>2</sup>	Mật độ dòng điện, A/m <sup>2</sup>
Hệ số dẫn nhiệt, W/m°C	Điện dẫn suất, 1/Ωm
Độ chênh nhiệt, °C	Điện áp, V
Nhiệt trở, °C/W	Điện trở, Ω
Nhiệt dung, W.s/ °C	Điện dung, F

95

## Ví dụ 1

Cho thanh dẫn bằng đồng rất dài có tiết diện chữ nhật 100 x 10mm<sup>2</sup>. Tổn hao công suất nhiệt Joule trên 1 cm chiều dài của thanh dẫn là 2,5W. Thanh dẫn được bọc lớp cách điện dày 1mm có hệ số dẫn nhiệt  $\lambda = 0,114 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ .

Hãy xác định độ tăng nhiệt trên bề dày lớp cách điện nếu bỏ qua tổn hao điện môi trong nó và sự truyền nhiệt qua các phần góc.

96



## Sự truyền nhiệt qua vách phẳng

Nếu nhiệt lượng truyền qua nhiều vách phẳng sát nhau cùng tiết diện  $S$  có bề dày  $\delta_i$  và hệ số dẫn nhiệt  $\lambda_i$  thì nhiệt trở tổng bằng tổng các nhiệt trở:

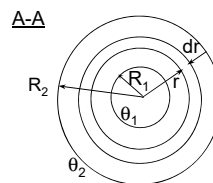
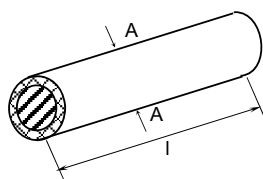
$$R_T = \frac{1}{S} \sum_i \frac{\delta_i}{\lambda_i}$$

97

## Sự truyền nhiệt qua vách trụ

Xét dây dẫn tròn, chiều dài  $l$ , bán kính dây dẫn  $R_1$ , bán kính kẻ cả cách điện  $R_2$ ; hệ số dẫn nhiệt của lớp cách điện  $\lambda$ ; nhiệt độ phần dẫn điện  $\theta_1$ , nhiệt độ của bề mặt ngoài lớp cách điện  $\theta_2$

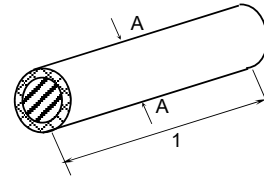
Xét  $l \gg R_1, R_2$  do đó **nhiệt chỉ truyền theo hướng ngang trục** (hướng kính)



98

## Sự truyền nhiệt qua vách trụ

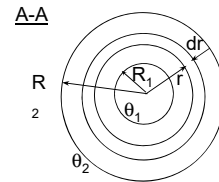
Xét ống trụ có chiều dài 1 đơn vị



$$\Delta\theta = \theta_1 - \theta_2 = \phi_{T_1} R_{T_1}$$

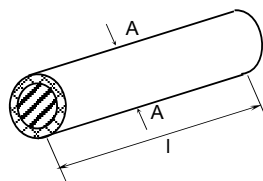
$$\phi_{T_1} = \frac{\phi_T}{l} \text{ nhiệt thông trên một đơn vị chiều dài ống}$$

$$R_{T_1} = \frac{1}{2\pi\lambda} \ln \frac{R_2}{R_1} \quad \text{nhiệt trở trên một đơn vị chiều dài ống}$$



99

## Sự truyền nhiệt qua vách trụ



Trường hợp thành ống bao gồm nhiều lớp cách điện có hệ số dẫn nhiệt  $\lambda_i$ :

$$R_{T_1} = \frac{1}{2\pi} \sum_i \frac{\ln \frac{R_{i+1}}{R_i}}{\lambda_i}$$

100

## Quá trình tỏa nhiệt từ bề mặt vật thể phát nóng ra môi trường xung quanh

Nhiệt lượng truyền tới mặt ngoài lớp cách điện sẽ tỏa nhiệt ra môi trường xung quanh bằng tỏa nhiệt đối lưu và bức xạ theo phương trình cân bằng nhiệt Newton ở chế độ xác lập:

$$\Delta\theta = \tau = \frac{\phi_T}{k_T S} = \phi_T R_T$$

$R_T = \frac{1}{k_T S}$  là nhiệt trở ứng với sự tỏa nhiệt từ bề mặt vật thể ra môi trường chung quanh.

$\phi_T$ : nhiệt thông trên bề mặt tỏa nhiệt, bằng với tổn hao công suất trong vật dẫn điện nếu bỏ qua tổn hao công suất trong vách cách điện  
 $k_T$ : hệ số tỏa nhiệt (do đối lưu và bức xạ)

101

## Ví dụ 2

Dòng điện  $I = 800$  A chạy qua một thanh dẫn tròn bằng đồng có đường kính  $d = 30$  mm bọc lớp cách điện dày 5mm. Hệ số dẫn nhiệt của lớp cách điện  $\lambda = 0,2$  W/m°C, hệ số tỏa nhiệt từ bề mặt ngoài lớp cách điện ra môi trường chung quanh  $k_T = 12$  W/m<sup>2</sup> °C, nhiệt độ của môi trường  $\theta_0 = 35$  °C.

Hãy xác định nhiệt độ trên bề mặt lớp cách điện nếu điện trở suất của đồng và hệ số tỏa nhiệt không phụ thuộc vào nhiệt độ, cho  $\rho = 2,04 \cdot 10^{-8}$  Ωm.

102

## 2.3.5 Các chế độ làm việc của thiết bị điện

### 2.3 Phát nóng và làm mát

2.3.1 Giới thiệu về phát nóng trong các thiết bị điện

2.3.2 Tính tổn hao công suất

2.3.3 Khảo sát quá trình quá độ

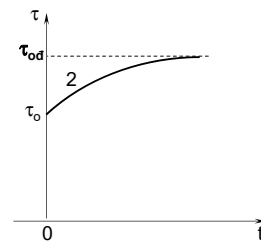
2.3.4 Sự truyền nhiệt ở chế độ xác lập

2.3.5 Các chế độ làm việc của thiết bị điện

### Chế độ làm việc dài hạn

Độ chênh nhiệt  $\tau$  của vật thể phát nóng:

$$\tau = \tau_0 e^{-t/T} + \tau_{od}(1 - e^{-t/T})$$



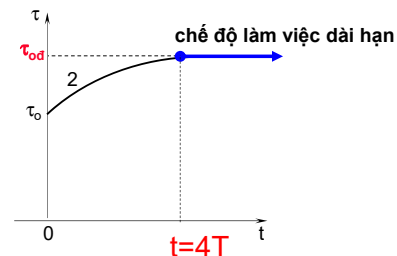
Chế độ làm việc dài hạn: thời gian làm việc của thiết bị điện đủ lớn để  $\tau = \tau_{od}$  và thời gian nghỉ đủ dài để  $\tau = 0$

Về **lý thuyết**, chế độ làm việc dài hạn  $\leftrightarrow$  thời gian làm việc và thời gian nghỉ là vô cùng.

khi  $t = 4T$

$$\tau|_{t=4T} = \tau_{od}(1 - e^{-4}) \approx 0,982\tau_{od} \approx \tau_{od}$$

sai số tương đối  $\Delta\tau\% < 2$



### Chế độ làm việc dài hạn

$$\tau|_{t=4T} = \tau_{od} (1 - e^{-4}) \approx 0,982\tau_{od} \approx \tau_{od}$$

→ **trong thực tế** khi  $t \geq 4T$  thì có thể coi là thiết bị điện làm việc ở chế độ dài hạn.

Độ chênh nhiệt ổn định của thiết bị điện được xác định bằng **phương trình cân bằng nhiệt Newton**:

$$\tau_{od} = \frac{P}{k_T S}$$

105

### Chế độ làm việc dài hạn

$$\tau_{od} = \frac{P}{k_T S}$$

Để đảm bảo tuổi thọ làm việc của thiết bị điện thì độ chênh nhiệt ổn định hay nhiệt độ ổn định của thiết bị điện phải nhỏ hơn độ chênh nhiệt hoặc nhiệt độ cho phép của thiết bị điện.

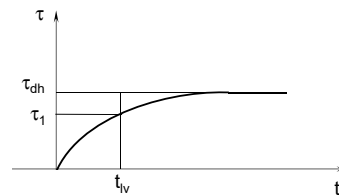
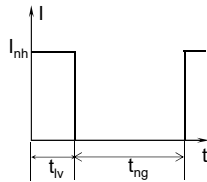
Nhiệt độ cho phép này thường được quy định bởi nhiệt độ cho phép của vật liệu cách điện sử dụng trong thiết bị điện.

Để sử dụng tối ưu hóa các vật liệu trong thiết bị điện, người ta thường thiết kế sao cho nhiệt độ ổn định của thiết bị điện ở chế độ làm việc dài hạn định mức không nhỏ hơn nhiều so với nhiệt độ cho phép của nó.

106

## Chế độ làm việc ngắn hạn

Ở chế độ làm việc ngắn hạn, thời gian làm việc  $t_{lv}$  chưa đủ lớn ( $t_{lv} < 4T$ ) nên nhiệt độ vật thể chưa đạt đến nhiệt độ ổn định còn thời gian nghỉ  $t_{ng}$  thì đủ dài ( $t_{ng} > 4T$ ) để nhiệt độ của thiết bị điện bằng với nhiệt độ môi trường.



khi  $t = t_{lv}$  thì  $\tau = \tau_1 < \tau_{dh}$

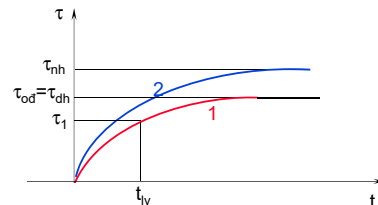
Nếu thiết bị điện làm việc ở chế độ ngắn hạn với dòng điện bằng với dòng điện định mức (hoặc công suất bằng với công suất dài hạn định mức) thì sẽ không tận dụng hết khả năng chịu nhiệt của thiết bị điện, ie thiết bị điện làm việc non tải.

107

## Chế độ làm việc ngắn hạn

Đường cong 1 là đường cong phát nóng khi thiết bị điện làm việc với dòng điện dài hạn  $I_{dh}$  ứng với công suất tổn hao dài hạn  $P_{dh}$

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



Đường cong 2 là là đường cong phát nóng khi thiết bị điện làm việc với dòng điện ngắn hạn  $I_{nh}$  ứng với công suất tổn hao ngắn hạn  $P_{nh}$ .

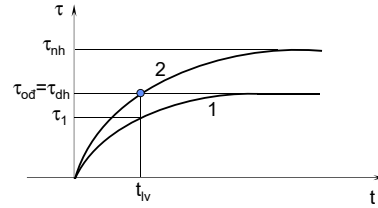
$$\tau = \tau_{nh} \left(1 - e^{-\frac{t}{T}}\right)$$

$$\tau_{dh} = \frac{P_{dh}}{k_T S} \quad \tau_{nh} = \frac{P_{nh}}{k_T S}$$

108

## Chế độ làm việc ngắn hạn

Để sử dụng hết khả năng làm việc của thiết bị điện, ta có thể tăng dòng điện làm việc tới  $I_{nh}$  sao cho:



$$t = t_{lv} \Rightarrow \tau = \tau_{nh} \left(1 - e^{-\frac{t_{lv}}{T}}\right) = \tau_{dh}$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{\tau_{nh}}{\tau_{dh}} &= \frac{1}{\left(1 - e^{-\frac{t_{lv}}{T}}\right)} \\ \frac{\tau_{nh}}{\tau_{dh}} &= \frac{P_{nh}}{P_{dh}} = \frac{I_{nh}^2}{I_{dh}^2} \end{aligned} \right\}$$

$$\frac{I_{nh}}{I_{dh}} = \sqrt{\frac{1}{1 - e^{-t_{lv}/T}}}$$

Hệ số quá tải dòng điện cho phép

$$K_I = \frac{I_{nh}}{I_{dh}} = \sqrt{\frac{1}{1 - e^{-t_{lv}/T}}}$$

109

## Chế độ làm việc ngắn hạn

Hệ số quá tải dòng điện cho phép

$$K_I = \frac{I_{nh}}{I_{dh}} = \sqrt{\frac{1}{1 - e^{-t_{lv}/T}}}$$

Khi  $t_{lv} \ll T$

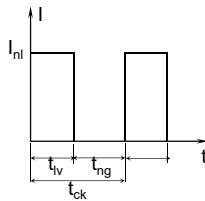
$$K_I = \frac{I_{nh}}{I_{dh}} = \sqrt{\frac{T}{t_{lv}}}$$

Hệ số quá tải càng lớn khi thời gian làm việc càng nhỏ và hằng số thời phát nóng càng lớn.

110

## Chế độ làm việc ngắn hạn lặp lại

Thiết bị điện làm việc theo chu kỳ với dòng điện ngắn hạn lặp lại  $I_{nl}$



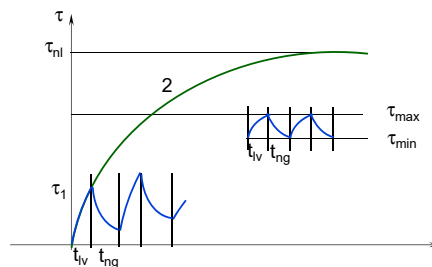
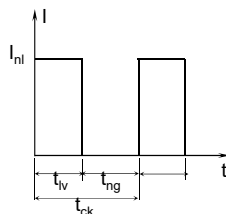
Trong mỗi chu kỳ:

- Thời gian làm việc chưa đủ lớn ( $t_{lv} < 4T$ ) nên nhiệt độ của thiết bị chưa đạt đến giá trị xác lập.
- Thời gian nghỉ chưa đủ dài ( $t_{ng} < 4T$ ) nên nhiệt độ chưa giảm xuống nhiệt độ môi trường.

111

## Chế độ làm việc ngắn hạn lặp lại

Khi số chu kỳ đủ lớn thì độ chênh nhiệt sẽ dao động giữa hai giá trị  $\tau_{max}$  và  $\tau_{min}$  xác lập, đây là chế độ tựa xác lập.



112



## Chế độ làm việc ngắn hạn lặp lại

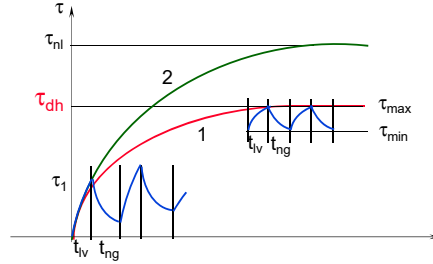
Đường cong 2 là đường cong phát nóng khi thiết bị điện làm việc với dòng điện ngắn hạn lặp lại  $I_{nl}$  ứng với công suất tổn hao ngắn hạn lặp lại  $P_{nl}$

Để tận dụng hết khả năng chịu nhiệt của thiết bị thì cần tăng dòng điện làm việc đến  $I_{nl}$  sao cho:

$$\tau_{\max} = \tau_{dh}$$

Đường cong 1 là đường cong phát nóng khi thiết bị điện làm việc với dòng điện định mức dài hạn  $I_{dh}$  ứng với công suất tổn hao dài hạn  $P_{dh}$

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



113

## Chế độ làm việc ngắn hạn lặp lại

Viết phương trình phát nóng ở chế độ tựa xác lập:

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

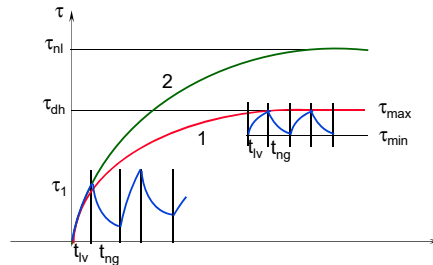
$$\tau = \tau_{\min} e^{-\frac{t}{T}} + \tau_{nl} \left(1 - e^{-\frac{t}{T}}\right)$$

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

Phương trình nguội khi  $t = t_{ng}$   $\tau_{\min} = \tau_{\max} e^{-\frac{t_{ng}}{T}}$

Điều kiện:  $\tau_{\max} = \tau_{dh}$

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

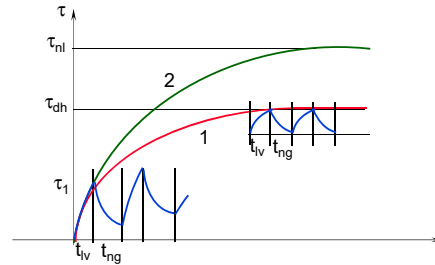


114

## Chế độ làm việc ngắn hạn lặp lại

$$\frac{\tau_{nl}}{\tau_{dh}} = \frac{1 - e^{-t_{ck}/T}}{1 - e^{-t_{lv}/T}}$$

Do 
$$\frac{\tau_{nl}}{\tau_{dh}} = \frac{P_{nl}}{P_{dh}} = \frac{I_{nl}^2}{I_{dh}^2}$$



Suy ra **hệ số quá tải dòng điện cho phép**

$$K_I = \frac{I_{nl}}{I_{dh}} = \sqrt{\frac{1 - e^{-t_{ck}/T}}{1 - e^{-t_{lv}/T}}}$$

115

## Chế độ làm việc ngắn hạn lặp lại

$$K_I = \frac{I_{nl}}{I_{dh}} = \sqrt{\frac{1 - e^{-t_{ck}/T}}{1 - e^{-t_{lv}/T}}}$$

Khi  $t_{ck} \ll T$  ta có công thức gần đúng

$$K_I = \frac{I_{nl}}{I_{dh}} = \sqrt{\frac{t_{ck}}{t_{lv}}}$$

Nếu định nghĩa hệ số tiếp điện TL %:  $TL\% = \frac{t_{lv}}{t_{ck}} 100$

$$K_I = \sqrt{\frac{100}{TL\%}}$$

Hệ số quá tải dòng điện càng lớn khi  $t_{lv}$  càng bé và  $t_{ck}$  càng lớn.

116

## Chế độ làm việc ngắn mạch

Dòng điện ngắn mạch  $I_{nm} = (10 - 100) I_{dm}$  xảy ra trong khoảng thời gian vài giây (do các thiết bị bảo vệ tác động ngắt mạch điện).

$$t_{nm} = \text{vài giây} \ll T = 22 \text{ phút} = 1320 \text{ giây của cáp } 185 \text{ mm}^2$$

→ Ở chế độ ngắn mạch, nếu  $t_{nm} < 0,05 T$ : nhiệt lượng do dòng điện ngắn mạch gây ra chỉ đốt nóng thiết bị điện và chưa kịp tỏa ra môi trường chung quanh: quá trình đoạn nhiệt.

Nhiệt độ phát nóng cho phép ở chế độ ngắn mạch lớn hơn rất nhiều so với ở chế độ làm việc dài hạn vì trong khoảng thời gian ngắn (vài giây) tính chất vật lý của vật liệu chưa kịp thay đổi.

Ví dụ như đối với dây đồng có bọc cách điện cấp A (XLPE), nhiệt độ cho phép trong thời gian ngắn mạch là 250°C.

117

## Ứng suất nhiệt cho phép (thermal stress withstand capacity)

Độ bền nhiệt của mạch vòng dẫn điện trong thiết bị kỹ thuật điện được đặc trưng bằng giá trị dòng điện ngắn mạch cho phép chảy qua nó trong một khoảng thời gian xác định mà không gây ra hư hỏng mạch vòng dẫn điện, ie nhiệt độ cấp nhỏ hơn nhiệt độ phát nóng cho phép ở chế độ ngắn mạch.

Sau sự cố ngắn mạch, thiết bị kỹ thuật điện trở lại làm việc bình thường.

↔ dòng điện ngắn mạch cho phép trong khoảng thời gian nhỏ  $I_{cw}$  (short time withstand current).

Giá trị dòng điện bền nhiệt thường được tính theo các thời gian tiêu chuẩn là 0,5; 1; 2; 3; 4 và 5 giây.

Nếu cần phải tính giá trị dòng điện ở thời gian khác tiêu chuẩn, ta có thể xác định theo:

$$I_{cw2} = I_{cw1} \sqrt{\frac{t_{cw1}}{t_{cw2}}}$$

118

## Ứng suất nhiệt cho phép

Điều kiện thỏa độ bền nhiệt của cáp:

$$\int_0^{t_{nm}} i_{nm}^2 dt \leq K^2 S^2$$

K: hệ số đặc trưng của cáp được cho bởi nhà sản xuất cáp. K phụ thuộc vào vật liệu dẫn điện và cách điện, và nhiệt độ ban đầu khi xảy ra ngắn mạch.

S: tiết diện cáp

$t_{nm}$ : thời gian ngắt bảo vệ

Công thức gần đúng: 
$$S \geq \frac{I}{K} \sqrt{t_{nm}}$$