

Chương II : MẠCH ĐIỆN XOAY CHIỀU HÌNH SIN

2.1 Khái niệm về mạch điện xoay chiều hình sin

2.2 Trị hiệu dụng của dòng điện xoay chiều hình sin

2.3 Biểu diễn các đại lượng xoay chiều hình sin

2.4 Phản ứng của nhánh với dòng điện xoay chiều hình sin

2.5 Công suất trong mạch điện xoay chiều 1 pha

2.6 Nâng cao hệ số $\cos\varphi$ (bù công suất phản kháng)

1

1

9/29/14

2.1 Khái niệm về mạch điện xoay chiều hình sin

$$i = I_m \sin(\omega t + \psi_i)$$

$$\omega t + \psi_i$$

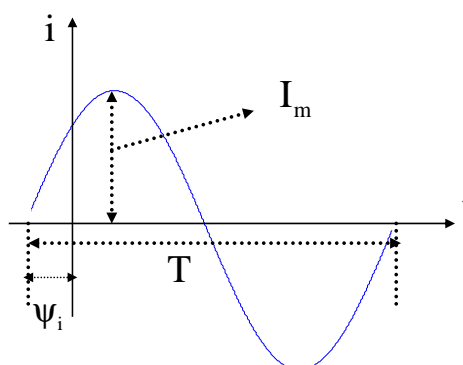
$$\omega = 2\pi f$$

$$f = \frac{1}{T} \quad f_{cb} = 50\text{Hz} \quad T = 0,02\text{s}$$

Đặc trưng: {
Biên độ
Tần số
Góc pha đầu

$$e = E_m \sin(\omega t + \psi_e)$$

$$u = U_m \sin(\omega t + \psi_u)$$

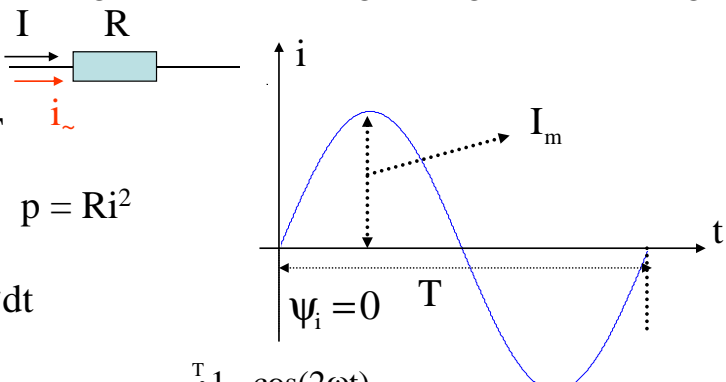


2

2

2.2 Trị hiệu dụng của dòng điện xoay chiều hình sin

a. Định nghĩa: Giá trị dòng một chiều tương đương về nhiệt năng



Sau T: $A_o = RI^2T$

$i = I_m \sin \omega t$ $p = Ri^2$

Sau T: $A_{\sim} = \int_0^T Ri^2 dt$

$A_{\sim} = RI_m^2 \int_0^T \sin^2(\omega t) dt = RI_m^2 \int_0^T \frac{1 - \cos(2\omega t)}{2} dt$

$A_{\sim} = RI_m^2 \frac{1}{2} \left(t - \frac{\sin(2\omega t)}{2\omega} \right) \Big|_0^T$

Cân bằng 2NL ~~$RI^2T = \frac{1}{2}RI_m^2T$~~

$A_{\sim} = \frac{1}{2}RI_m^2T$

\Rightarrow Trị hiệu dụng $I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$

3

3

Tương tự :

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$$

$$E = \frac{E_m}{\sqrt{2}}$$

$$i = \sqrt{2}I \sin(\omega t + \psi_i)$$

$$u = \sqrt{2}U \sin(\omega t + \psi_u)$$

$$e = \sqrt{2}E \sin(\omega t + \psi_e)$$

Đặc trưng cho các đại lượng xoay chiều hình sin **cùng tần số** :

- Trị hiệu dụng (I, U, E)

- Góc pha đầu (ψ_i , ψ_u , ψ_e)

Khi so sánh các đại lượng xoay chiều hình sin cùng tần số :

- So sánh về trị hiệu dụng

- So sánh về góc pha

Góc lệch pha giữa **điện áp** và **dòng điện** : $\varphi = \psi_u - \psi_i$

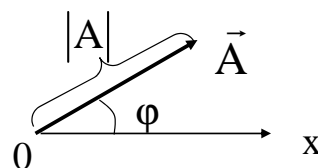
4

2.3 Biểu diễn các đại lượng xoay chiều hình sin

1. Véc tơ :

Đặc trưng cho 1 véc tơ:

$|A|$ và φ



Đặc trưng cho các đại lượng xoay chiều hình sin **cùng tần số**:

Trị hiệu dụng (I, U, E) và góc pha đầu (ψ_i, ψ_u, ψ_e)

Ký hiệu \vec{I} \vec{U} \vec{E}

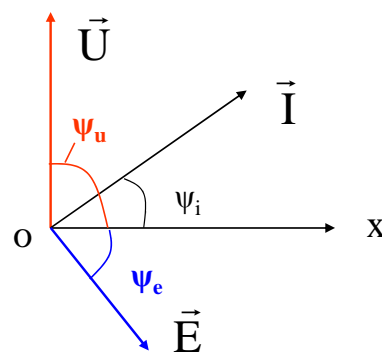
* Ưu điểm: Trực quan

* Lưu ý:

Định luật
Kiếc-khốp

$$\sum_{k=1}^{k=n} \vec{I}_k = 0$$

$$\sum_{k=1}^{k=n_1} \vec{U}_k = \sum_{k=1}^{k=n_2} \vec{E}_k$$



5

5

Giả sử có mạch điện

Biết : $i_1 = \sqrt{2} 20 \sin(\omega t + 60^\circ)$

$$i_2 = \sqrt{2} 10 \sin(\omega t - 30^\circ)$$

Tìm : $i = i_1 + i_2 = \sqrt{2} I \sin(\omega t + \underline{\psi_i})$

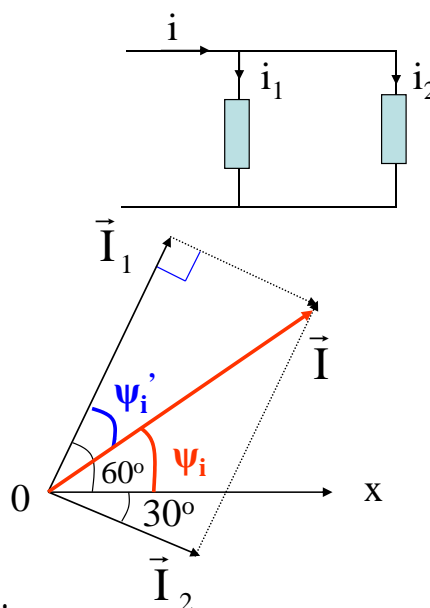
$$\vec{I} = \vec{I}_1 + \vec{I}_2 \quad I = \sqrt{I_1^2 + I_2^2}$$

$$\underline{I = \sqrt{20^2 + 10^2} = 22,36}$$

$$\psi_i' = \arctg \frac{I_2}{I_1} = \arctg \frac{10}{20}$$

$$\psi_i' = 26^\circ 34' \longrightarrow \underline{\psi_i = 33^\circ 26'}$$

Kết quả: $i = \sqrt{2} 22,36 \sin(\omega t + 33^\circ 26')$



6

6

2. Số phức:

a. Nhắc lại khái niệm về số phức

$$A = a + j b$$

a, b : số thực

$$j: \text{đơn vị ảo} = \sqrt{-1} \quad \frac{1}{j} = -j$$

* Hai dạng biểu thị số phức:

Dạng đại số: $A = a + j b$

Dạng lũy thừa: $A = |A| e^{j\varphi}$

* Quan hệ giữa 2 dạng:

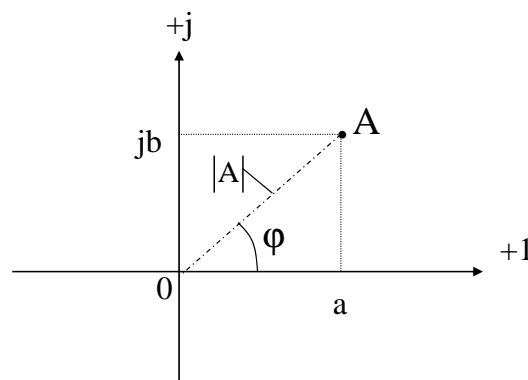
- Biết dạng đại số: $a + j b$

Biết dạng lũy thừa: $A = |A| e^{j\varphi}$

$$\begin{cases} |A| = \sqrt{a^2 + b^2} \\ \varphi = \arctg \frac{b}{a} \end{cases}$$

$$\begin{cases} a = |A| \cos \varphi \\ b = |A| \sin \varphi \end{cases}$$

7



7

* Các phép tính +, - số phức

$$\left. \begin{aligned} A_1 = a_1 + j b_1 &= |A_1| e^{j\varphi_1} \\ A_2 = a_2 + j b_2 &= |A_2| e^{j\varphi_2} \end{aligned} \right\} = (a_1 \pm a_2) + j (b_1 \pm b_2) = a + j b$$

* Các phép tính *, / số phức

$$A = A_1 * A_2 = (a_1 * a_2 - b_1 * b_2) + j (a_1 b_2 + a_2 b_1) = a + j b$$

$$\text{hoặc } |A_1| e^{j\varphi_1} * |A_2| e^{j\varphi_2} = |A_1| |A_2| e^{j(\varphi_1 + \varphi_2)} = |A| e^{j\varphi}$$

$$A = \frac{A_1}{A_2} = \frac{|A_1|}{|A_2|} e^{j(\varphi_1 - \varphi_2)} = |A| e^{j\varphi}$$

8

8

Chú ý :**1. Nhân 1 số với j**

- Mô đun không đổi
- Góc cộng 90°

2. Chia 1 số cho j (nhân -j)

- Mô đun không đổi
- Góc cộng (-90°)

b. Biểu thị các đại lượng xoay chiều hình sin bằng số phức :

Đặc trưng cho số phức : $|A|$ và ϕ

Đặc trưng cho đại lượng xoay chiều hình sin **cùng tần số** :

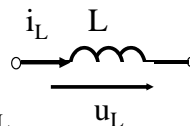
Trị hiệu dụng (I, U, E) và góc pha đầu (ψ_i, ψ_u, ψ_e)

Ký hiệu: $\dot{I} = I e^{j\psi_i}$ $\dot{U} = U e^{j\psi_u}$ $\dot{E} = E e^{j\psi_e}$

9

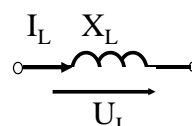
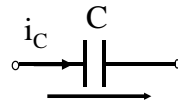
9

9/29/14

*** Các phép tính đạo hàm và tích phân số phức :****• Phép đạo hàm :**

Dạng tức thời $u_L = L \frac{di_L}{dt}$

Dạng số phức: $\dot{I}_L = I_L e^{j\psi_i} \Rightarrow \dot{U}_L = L \frac{d\dot{I}_L}{dt} = j\omega L \dot{I}_L e^{j\psi_i}$

**• Phép tích phân :**

Dạng tức thời: $u_C = \frac{1}{C} \int i_C dt$

Dạng số phức:

$\dot{U}_C = \frac{1}{j\omega C} \dot{I}_C$ $\dot{U}_C = -jX_C \dot{I}_C$

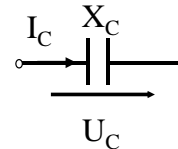
(cảm kháng)

$$\dot{U}_L = jX_L \dot{I}_L$$

Định luật Kiéc - khớp :

$$\sum_{k=1}^{k=n} \dot{I}_k = 0$$

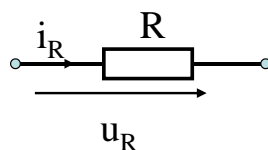
$$\sum_{k=1}^{k=n_1} \dot{U}_k = \sum_{k=1}^{k=n_2} \dot{E}_k$$



10

2.4 Phản ứng của nhánh với dòng điện xoay chiều hình sin

1. Nhánh thuần trở



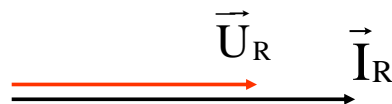
$$i_R = \sqrt{2}I_R \sin \omega t \quad (1)$$

$$\Rightarrow u_R = Ri_R = \sqrt{2}\underline{RI_R} \sin \omega t \quad (2)$$

$$\text{Biểu thức t/q : } u_R = \sqrt{2}\underline{U_R} \sin(\omega t + \psi_u) \quad (3)$$

$$\text{Từ (2) và (3) } \Rightarrow \begin{cases} U_R = RI_R & \psi_u = 0 \\ \phi_R = \psi_u - \psi_i = 0 \end{cases}$$

• Dạng véc tơ:



11

11

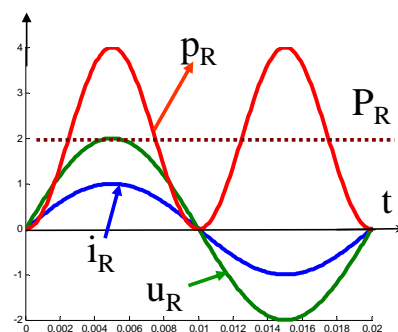
9/29/14

• Dạng phức : \dot{I}_R, \dot{U}_R

$$\dot{U}_R = U_R e^{j\psi_u} = \underline{RI_R} e^{j\psi_i}$$

$$\phi_R = \psi_u - \psi_i = 0$$

$$\dot{U}_R = R \dot{I}_R$$



• Công suất : $p_R = u_R i_R$ $i_R = \sqrt{2}I_R \sin \omega t \quad (1)$

$$p_R = 2U_R I_R \sin^2(\omega t) \quad u_R = \sqrt{2}RI_R \sin \omega t \quad (2)$$

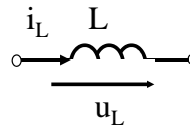
$$= \underline{U_R I_R} (1 - \cos(2\omega t))$$

$$\text{Công suất trung bình : } P_R = \frac{1}{T} \int_0^T p_R dt = \underline{U_R I_R} = RI_R^2 > 0$$

12

12

2. Nhánh điện cảm



$$i_L = \sqrt{2} I_L \sin \omega t \quad (1)$$

$$u_L = L \frac{di_L}{dt} = \sqrt{2} \omega L I_L \cos(\omega t) \quad (2)$$

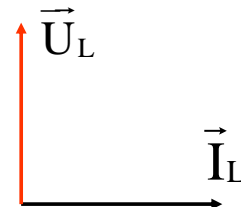
$$u_L = \sqrt{2} \omega L I_L \sin(\omega t + 90^\circ) \quad (3)$$

$$\text{T/quát : } u_L = \sqrt{2} U_L \sin(\omega t + \psi_u) \quad (4)$$

$$U_L = X_L I_L$$

$$\psi_u = 90^\circ$$

$$\phi_L = \psi_u - \psi_i = 90^\circ$$



• Dạng véc tơ:

• Dạng phức : $\dot{I}_L, \dot{U}_L \longrightarrow \dot{U}_L = jX_L \dot{I}_L$

• Công suất : $p_L = u_L i_L$

$$p_L = 2 U_L I_L \sin(\omega t) \cos(\omega t) = U_L I_L \sin(2\omega t)$$

13

13

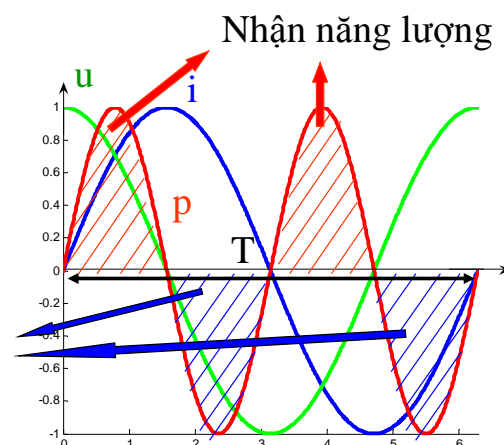
9/29/14

$$p_L = U_L I_L \sin(2\omega t)$$

Công suất trung bình :

$$P_L = \frac{1}{T} \int_0^T p_L dt = 0$$

Phát năng lượng



Kết luận : Phần tử điện cảm không biến đổi năng lượng điện

Đặc trưng cho quá trình tích lũy năng lượng trên điện cảm:

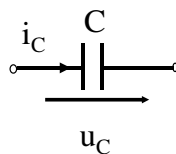
$$\text{biên độ } p_L = U_L I_L = Q_L$$

\longrightarrow Công suất phản kháng $Q_L = X_L I_L^2$ VAr, kVAr

14

14

3. Nhánh điện dung



$$i_C = \sqrt{2} I_C \sin \omega t$$

$$u_C = \frac{1}{C} \int i_C dt = \sqrt{2} \frac{1}{\omega C} I_C (-\cos \omega t)$$

$$u_C = \sqrt{2} \frac{1}{\omega C} I_C \sin(\omega t - 90^\circ)$$

$$\text{Biểu thức : } u_C = \sqrt{2} U_C \sin(\omega t + \psi_u)$$

$$U_C = X_C I_C$$

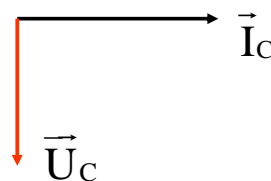
$$\psi_u = -90^\circ$$

$$\phi = \psi_u - \psi_i = -90^\circ$$

• Dạng véc tơ:

• Dạng phức : $\dot{U}_C = -jX_C \dot{I}_C$

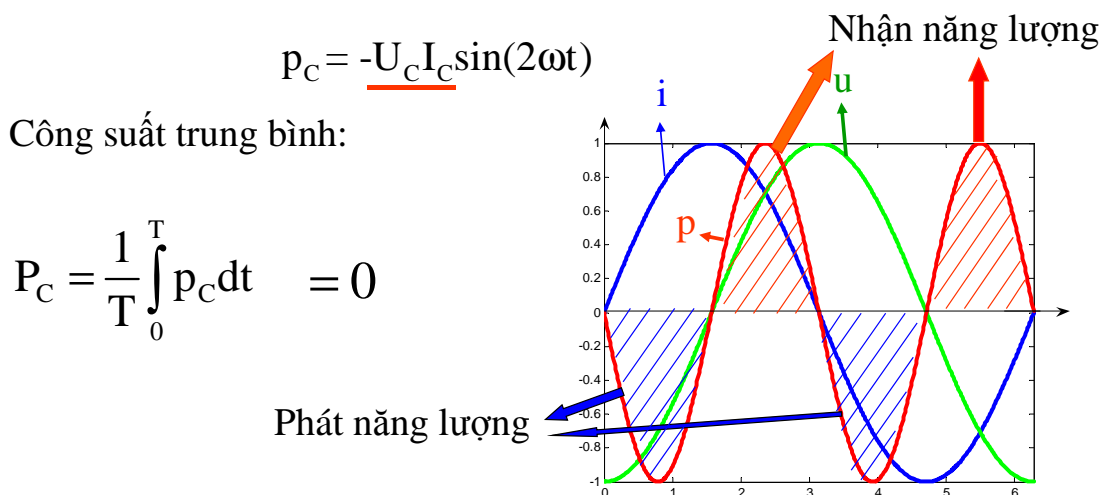
• Công suất : $p_C = u_C i_C$



$$p_C = -2 U_C I_C \sin(\omega t) \cos(\omega t) = -U_C I_C \sin(2\omega t)$$

15

15



Kết luận : Phần tử điện dung không biến đổi năng lượng điện

Đặc trưng cho quá trình tích lũy năng lượng

trên điện dung : $-U_C I_C = Q_C$

➡ Công suất phản kháng $Q_C = -X_C I_C^2$ VAR, kVAR

16

4. Nhánh R – L – C nối tiếp

$$i = \sqrt{2}I \sin \omega t \Rightarrow u = u_R + u_L + u_C$$

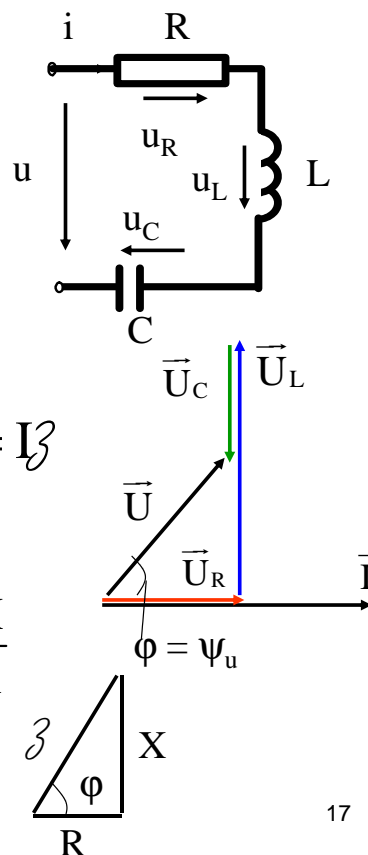
$$u = \sqrt{2}U \sin(\omega t + \psi_u)$$

$$\vec{U} = \vec{U}_R + \vec{U}_L + \vec{U}_C$$

$$U = \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2} = I \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = IZ$$

$$\begin{cases} Z = \sqrt{R^2 + X^2} \\ \varphi = \arctg \frac{U_L - U_C}{U_R} = \arctg \frac{X_L - X_C}{R} = \arctg \frac{X}{R} \end{cases}$$

Tam giác tổng trở



17

17

9/29/14

- Khi $X_L > X_C$ $X > 0, \varphi > 0$

\vec{U} vượt trước $\vec{I} \rightarrow$ Tính chất điện cảm (r - L)

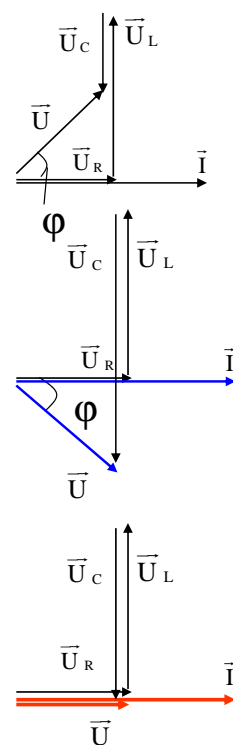
- Khi $X_L < X_C$ $X < 0, \varphi < 0$

\vec{U} chậm sau $\vec{I} \rightarrow$ Tính chất điện dung (r - C)

- Khi $X_L = X_C$ $X = 0, \varphi = 0$

\vec{U} trùng pha $\vec{I} \rightarrow$ cộng hưởng điện áp (r)

$$\vec{U} = \vec{U}_R$$



18

18

Dạng phức :

$$\begin{aligned}\dot{U} &= \dot{U}_R + \dot{U}_L + \dot{U}_C = R\dot{I} + jX_L\dot{I} - jX_C\dot{I} \\ &= [R + j(X_L - X_C)]\dot{I} = \underbrace{(R + jX)}_Z \dot{I} \Rightarrow \dot{U} = Z\dot{I}\end{aligned}$$

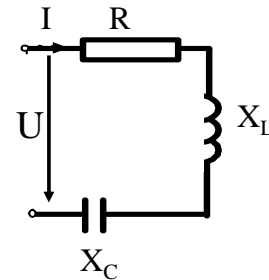
$Z = R + jX = \mathcal{Z}e^{j\varphi} \Rightarrow$ Là tổng trở phức của nhánh

VD: Biết $R = 4 \Omega$; $X_L = 10 \Omega$; $X_C = 7 \Omega$;
 $U = 100 \text{ V}$. Tìm Z và \dot{I}



$$\begin{aligned}Z &= R + j(X_L - X_C) = R + jX = \mathcal{Z}e^{j\varphi} \\ &= 4 + j3 = \sqrt{4^2 + 3^2} e^{j\arctg \frac{3}{4}} = 5e^{j36^\circ 52'}\end{aligned}$$

$$\dot{I} = \frac{\dot{U}}{Z} = \frac{100e^{j0^\circ}}{5e^{j36^\circ 52'}} \Rightarrow \dot{I} = 20e^{-j36^\circ 52'}$$



19

19

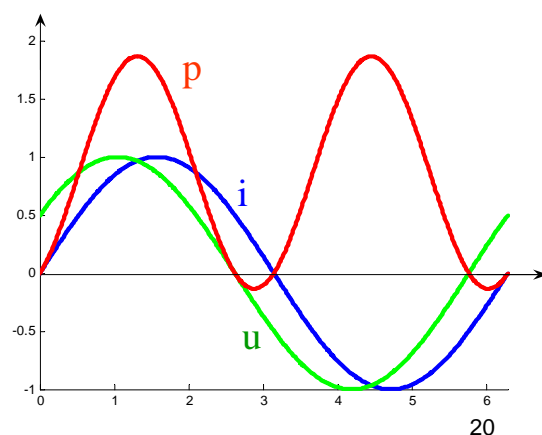
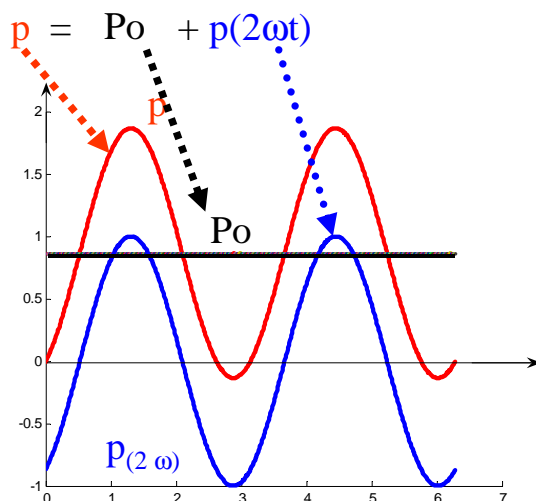
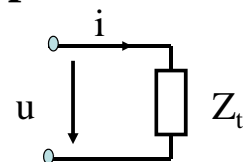
9/29/14

2.5 Công suất trong mạch điện xoay chiều 1 pha

$$i = \sqrt{2}I \sin \omega t \quad u = \sqrt{2}U \sin(\omega t + \varphi)$$

1. Công suất tức thời

$$p = ui = 2UI \sin \omega t \sin(\omega t + \varphi) = \underline{UI[\cos \varphi - \cos(2\omega t + \varphi)]}$$



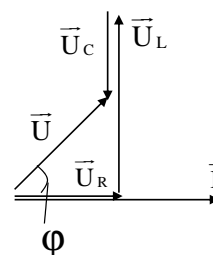
20

2. Công suất tác dụng $P = \frac{1}{T} \int_0^T p dt$ $p(t) = UI[\cos\varphi - \cos(2\omega t + \varphi)]$

$$P = UI \cos\varphi$$

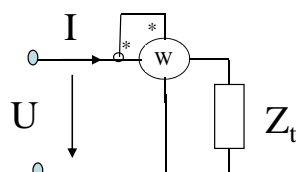
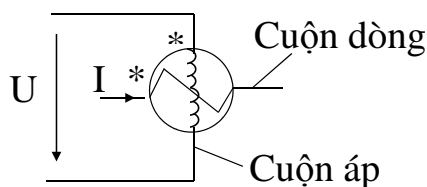
$$P = RI^2$$

$$P = \sum_i P_{r_i} = \sum_i r_i I_{r_i}^2 \quad \text{W, kW}$$



Để đo công suất P dùng đồng hồ Oát kế

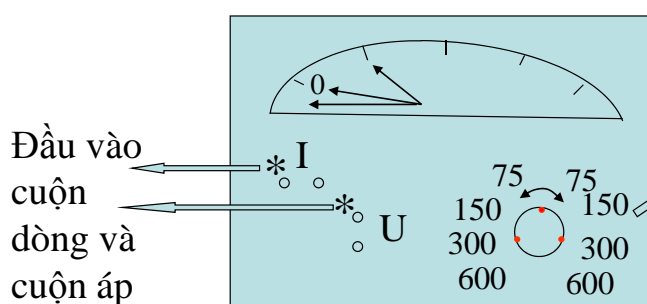
Chỉ số $W = UI \cos(\psi_u - \psi_i)$



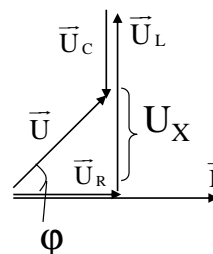
21

21

9/29/14



Điều chỉnh
thang đo
điện áp



3. Công suất phản kháng

$$Q = Q_L + Q_C = X_L I_L^2 - X_C I_C^2$$

$$Q = XI^2 = \cancel{XI} I \rightarrow U_X \Rightarrow Q = UI \sin\varphi$$

$$Q = \sum_{i,j} (Q_{L_i} + Q_{C_j})$$

4. Công suất biểu kiến (toàn phần)

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = UI \quad \text{VA, kVA, MVA}$$

22

22

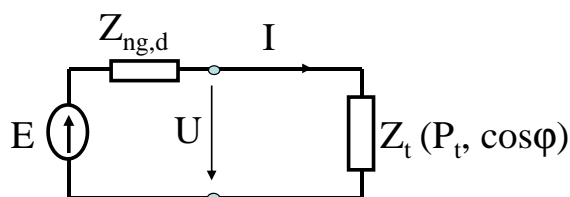
2.6 Nâng cao hệ số $\cos\varphi$ (bù công suất phản kháng)

1. Sự cần thiết phải nâng cao hệ số $\cos\varphi$

$$I = \frac{P_t}{U \cos\varphi}$$

Giả thiết: - $P_t = \text{const}$

- $U = \text{const}$



→ $\cos\varphi$ càng thấp → I càng lớn

→ {
 - Xụt áp ΔU_d , tổn hao công suất ΔP_d càng lớn
 - Tiết diện dây S_d lớn → chi phí đầu tư đường dây cao

→ Phải tìm cách nâng cao $\cos\varphi$

23

23

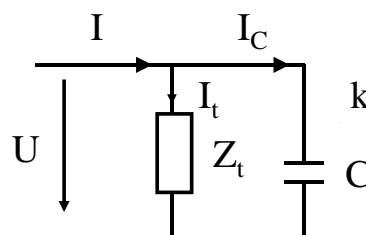
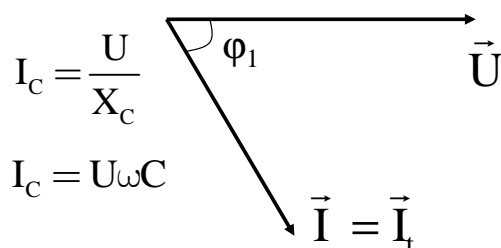
9/29/14

2. Cách nâng cao hệ số $\cos\varphi$

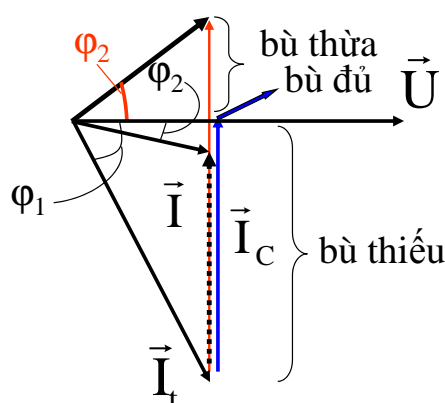
Tải có tính chất điện cảm

→ *Mắc song song với tải bộ tụ bù C*

a) Khi k mở $\vec{I} = \vec{I}_t$



b) Khi k đóng $\vec{I} = \vec{I}_t + \vec{I}_c$



24

24

3. Cách tính tụ C_b (tải có t/c đ/cảm)

Khi chưa bù, tải có P_t , Q_t , $\cos\varphi_1$ thấp

Tìm tụ C_b để bù nâng lên $\cos\varphi_2 > \cos\varphi_1$

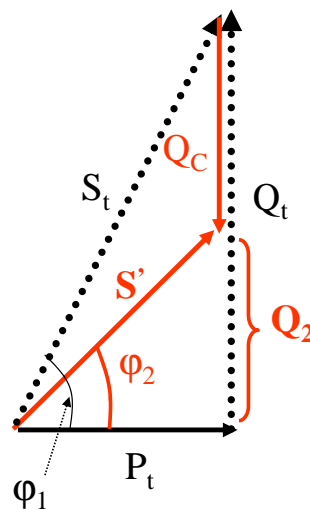
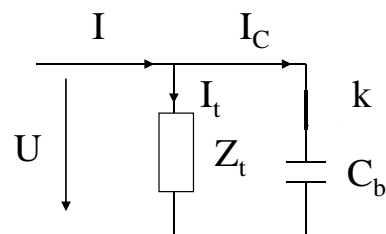
Khi chưa bù: $Q_1 = Q_t$

Sau khi bù (đóng k): $Q_2 = Q_t + Q_C$

$$Q_C = Q_2 - Q_t = P_t (\tan\varphi_2 - \tan\varphi_1)$$

$$Q_C = -UI_C = -U \frac{U}{X_C} = -\omega C_b U^2$$

$$C_b = \frac{P_t}{U^2 \omega} (\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2)$$



25

25

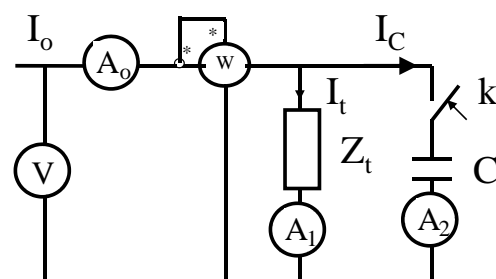
Ví dụ : Cho mạch điện như hình vẽ :

Khi k mở, chỉ số các đồng hồ đo :

$$A_0 = 20 \text{ A}$$

$$V = 220 \text{ V}$$

$$W = 3000 \text{ W}$$



Khi k đóng, chỉ số các đồng hồ đo :

$$A_0 = 15 \text{ A}$$

Tìm : R , X , Z , $\cos\varphi$ của tải

C , X_C , I_C , Q_C của tụ

P , Q , S , $\cos\varphi$ toàn mạch sau khi đóng k

26

26

Giải

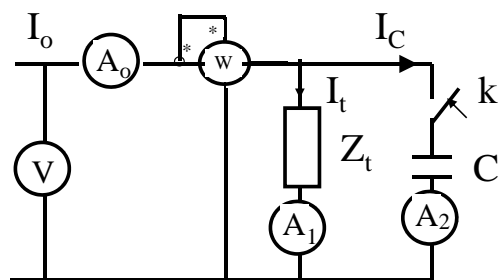
1. Tìm : R, X, Z, $\cos\varphi$ của tải

$$R = \frac{P}{I_m^2} =$$

$$\beta = \frac{U}{I_m} =$$

$$X = \sqrt{\beta^2 - R^2} =$$

$$\cos\varphi = \frac{R}{\beta} = \frac{P}{U \cdot I_m} =$$



27

27

2. Tìm C, X_C , I_C , Q_C của tụ

$$\cos\varphi_1 = \quad \Rightarrow \quad \tan\varphi_1 =$$

$$\cos\varphi_2 = \frac{P}{U \cdot I_d} =$$

$$\Rightarrow \tan\varphi_2 = \quad \Rightarrow$$

$$X_c = \frac{1}{\omega C} =$$

$$I_C = \frac{U}{X_C} =$$

3. Tìm P, Q, S, $\cos\varphi$ toàn mạch sau khi đóng k

$$P = \quad Q = Q_t + Q_C =$$

$$Q = P \tan\varphi_2 =$$

$$\cos\varphi_2 =$$

$$C_b = \frac{P_t}{U^2 \omega} (\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2)$$

$$C_b =$$

$$Q_C = -U \cdot I_C = - \quad \text{VAr}$$

$$S = U \cdot I_d$$

28

28