Chương II : MẠCH ĐIỆN XOAY CHIỀU HÌNH SIN

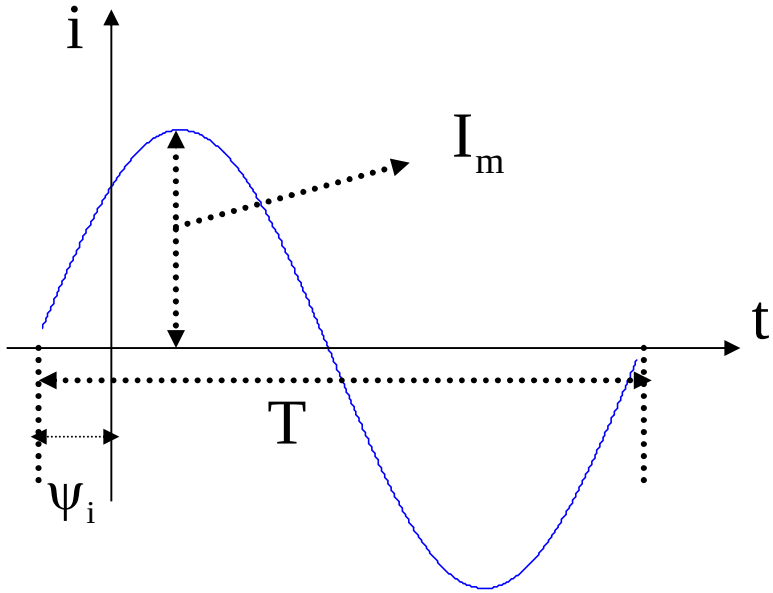
2.1 Khái niệm về mạch điện xoay chiều hình sin

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

$\omega t + \psi_i$

$\omega = 2\pi f$

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

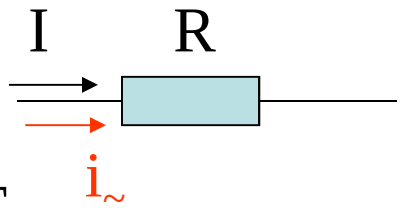


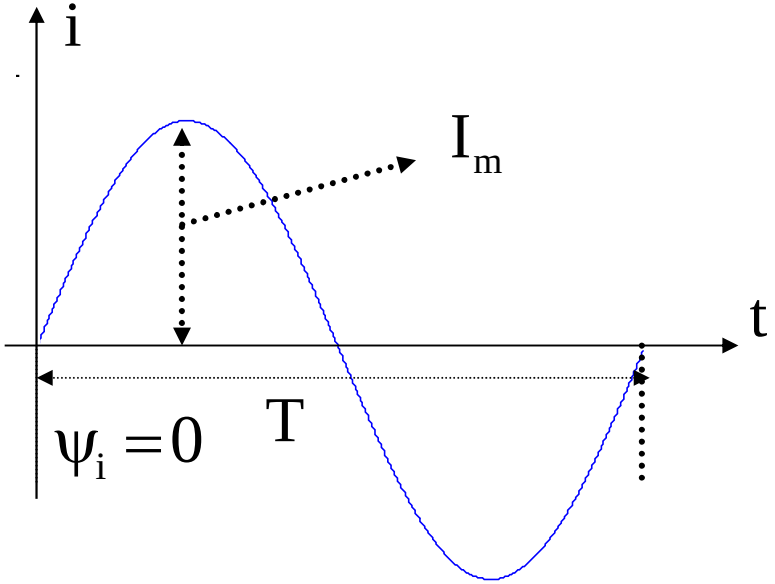
Đặc trưng: { Biên độ; Tần số; Góc pha đầu }

$e = E_m \sin(\omega t + \psi_e)$ $\qquad u = U_m \sin(\omega t + \psi_u)$

2.2 Trị hiệu dụng của dòng điện xoay chiều hình sin

a. Định nghĩa:





Sau T: $A_o = RI^2T$

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

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~~ $= \frac{1}{2}$~~$R I_m^2 T$~~

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

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

Tương tự : $\Rightarrow$ $U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$ $E = \frac{E_m}{\sqrt{2}}$

$$i = \sqrt{2}I\sin(\omega t + \psi_i)$$
$$u = \sqrt{2}U\sin(\omega t + \psi_u)$$
$$e = \sqrt{2}E\sin(\omega t + \psi_e)$$

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 :

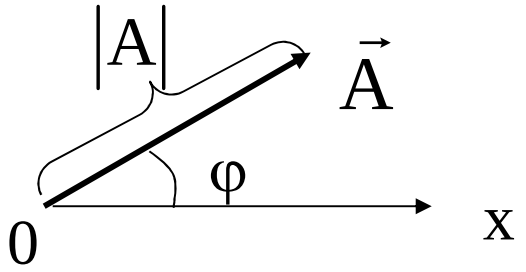
- So sánh về trị hiệu dụng
- So sánh về góc pha :

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

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 x/chiều hình sin ***cùng tần số***:

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

Ký hiệu $\vec{I}$ $\vec{U}$ $\vec{E}$

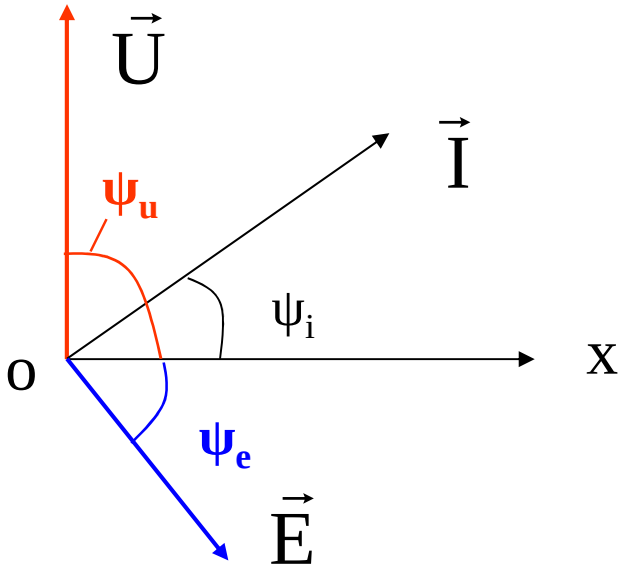
* Ưu điểm: Trực quan

* Lưu ý:

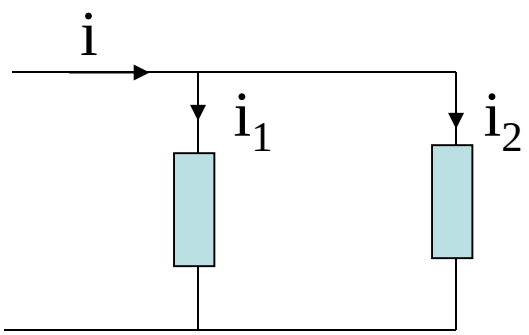
Định luật Kiếc-khốp

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

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



Giả sử có mạch điện



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

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

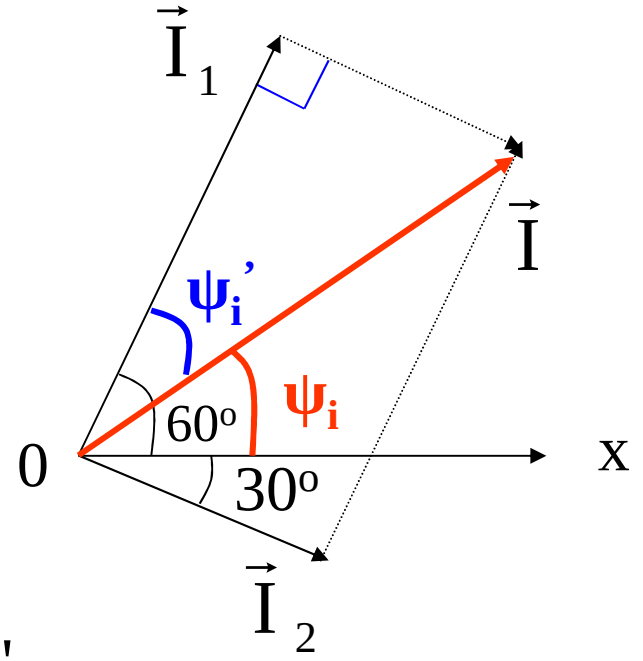
Tìm : $i = i_1 + i_2 = \sqrt{2}.I\sin(\omega t + \psi_i)$

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

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

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

$\psi_i' = 26^\circ 34' \Rightarrow \psi_i = 33^\circ 26'$



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

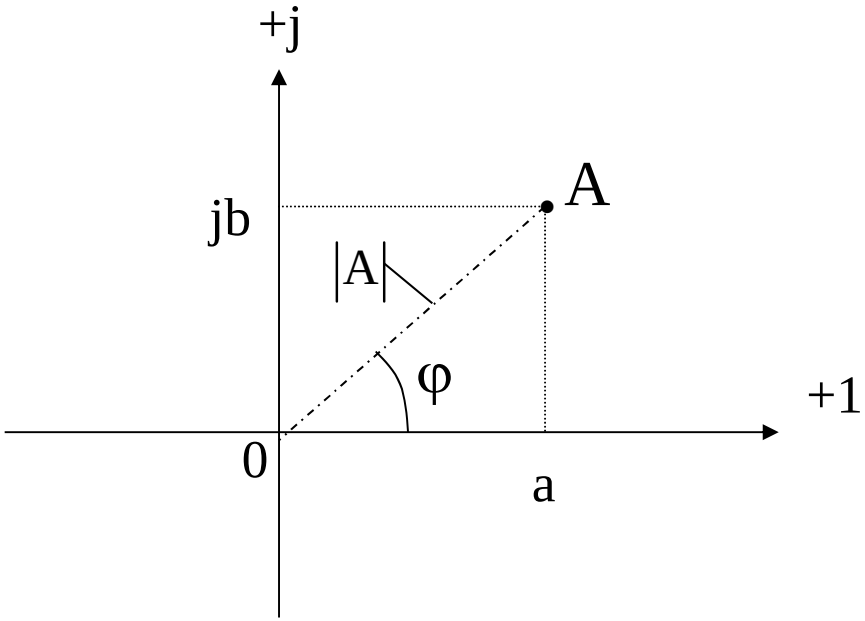
2. Số phức:

a. Nhắc lại k/n về số phức

A = a + j b

a, b : số thực

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

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

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

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

**** Các phép tính + , - số phức***

$$\left.\begin{aligned} A_1 = a_1 + j\,b_1 &= |A_1| e^{j\varphi_1} \\ A_2 = a_2 + j\,b_2 &= |A_2| e^{j\varphi_2} \end{aligned}\right\} \quad A = A_1 \pm A_2 = ?$$

$$= (a_1 \pm a_2) + j\,(b_1 \pm b_2) = \quad a + j\,b$$

**** Các phép tính *, / số phức***

$$A = A_1 * A_2 = \quad ?(a_{1*}\, a_2 - b_1 * b_2) + j\,(a_1 b_2 + a_2\, b_1) = \quad a + j\,b$$

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

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

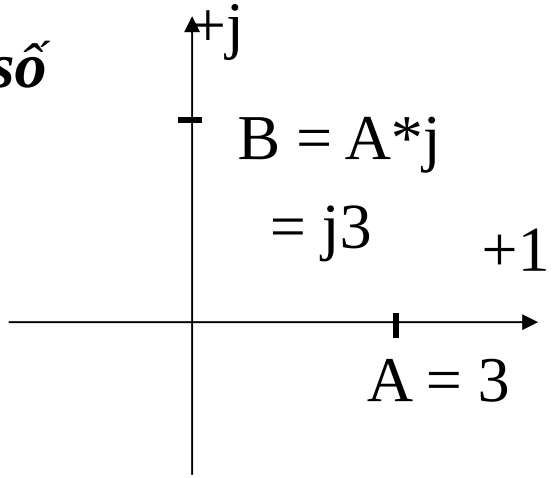
Chú ý :

1. Khi làm các phép +,- → biểu thị dạng đại số

2. Khi làm phép *, / → biểu thị dạng lũy thừa

3. Nhân 1 số với j là quay số đó 1 góc 90^o

4. Chia 1 số cho j là quay số đó 1 góc (- 90^o)



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*** :

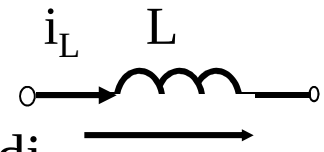
Trị hiệu dụng (I, U, E) và góc pha đầu (ψ_i , ψ_u , ψ_e)

Qui ước:

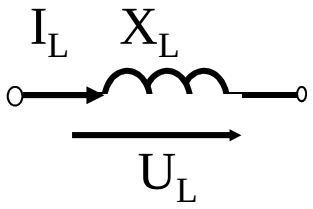
$$\dot{I} = Ie^{j\psi_i} \qquad \dot{U} = Ue^{j\psi_u} \qquad \dot{E} = Ee^{j\psi_e}$$

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

• Phép đạo hàm :



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

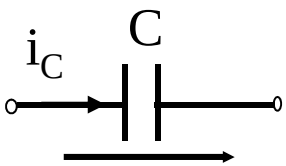


Dạng phức: $\dot{I}_L = I_L e^{j\psi_i} \Rightarrow \dot{U}_L = L\dfrac{d\dot{I}_L}{dt} = j\omega L I_L e^{j\psi_i}$

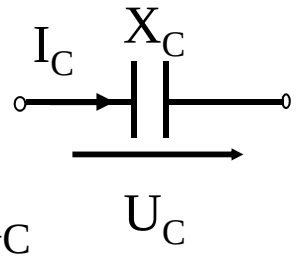
$\dot{I}$, X_L

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

• Phép tích phân :



Dạng tức thời: $u_C = \dfrac{1}{C}\int_{u_C} i_C dt$



Dạng số phức:

$\dot{U}_C = \dfrac{1}{j\omega C}\dot{I}_C$, X_C

$$\dot{U}_C = -jX_C \dot{I}_C$$

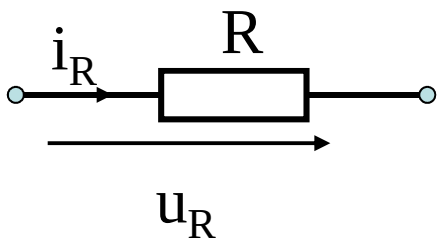
Định luật Kiếc - khốp :

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

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

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

1. Nhánh thuần trở



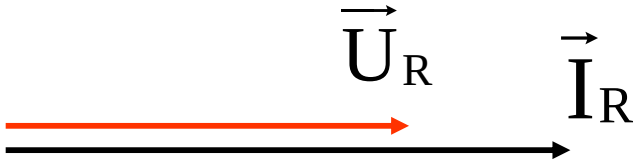
$$i_R = \sqrt{2} I_R \sin \omega t \qquad (1)$$

$$\Rightarrow u_R = R i_R = \sqrt{2} R I_R \sin \omega t \qquad (2)$$

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

Từ (2) và (3) => $\begin{cases} U_R = R I_R \qquad \psi_u = 0 \\ \varphi_R = \psi_u - \psi_i = 0 \end{cases}$

• Dạng véc tơ:

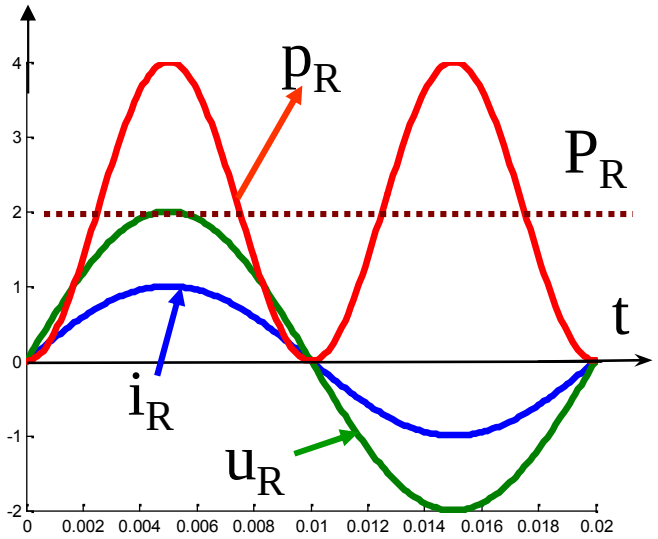


• Dạng phức : $\dot{I}_R, \dot{U}_R$

$$\dot{U}_R = U_R e^{j\psi_u} = R I_R e^{j\psi_i}$$

$$\varphi_R = \psi_u - \psi_i = 0$$

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



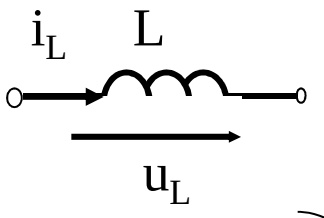
• Công suất : $p_R = u_R\, i_R$ $\qquad i_R = \sqrt{2} I_R \sin \omega t \quad (1)$

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

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

Công suất trung bình : $P_R = \frac{1}{T}\int_0^T p_R\, dt = U_R I_R = R I_R^2 \geq 0$

2. Nhánh điện cảm



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

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

X_L

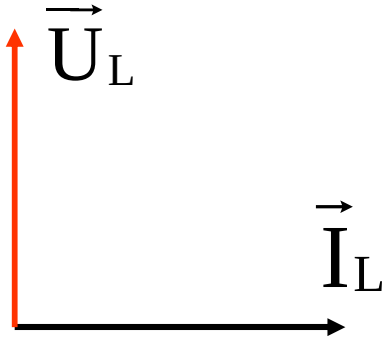
$$u_L = \sqrt{2} \omega L I_L \sin(\omega t + 90^\circ) \quad (3)$$

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

$$U_L = X_L I_L$$

$$\psi_u = 90^o$$

$$\varphi_L = \psi_u - \psi_i = 90^o$$



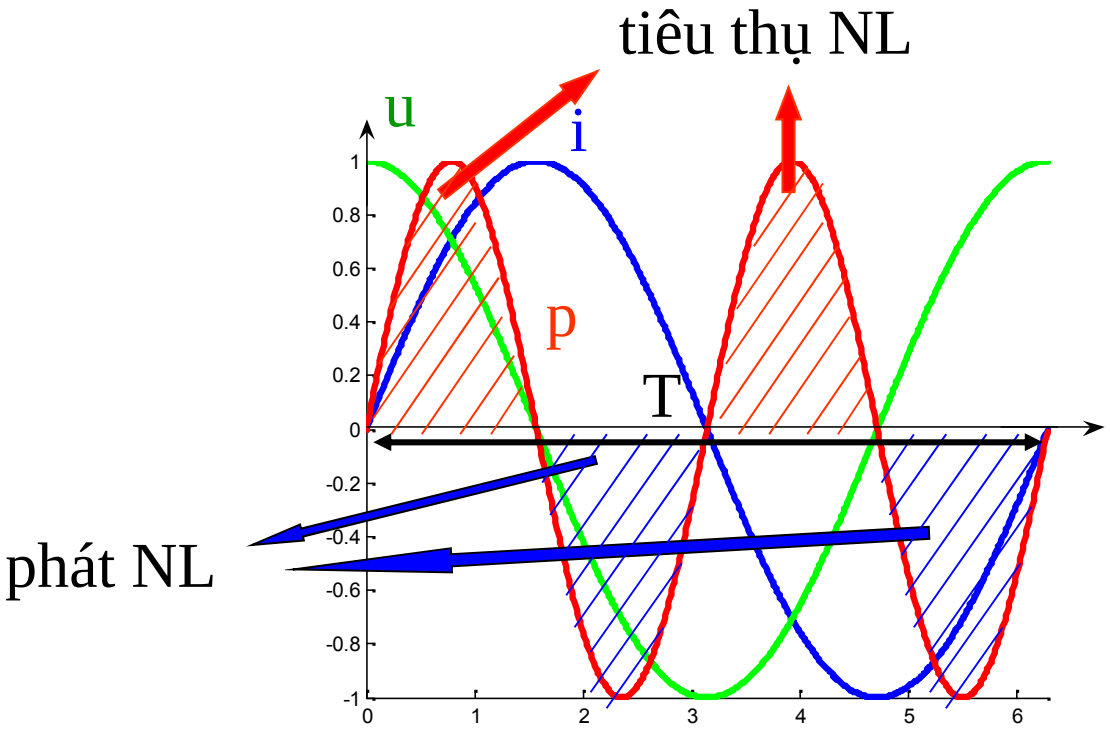
- Dạng véc tơ:
- Dạng phức : $\dot{I}_L, \dot{U}_L \Rightarrow \dot{U}_L = jX_L \dot{I}_L$
- Công suất : $p_L = u_L i_L$

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

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

Công suất trung bình :

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

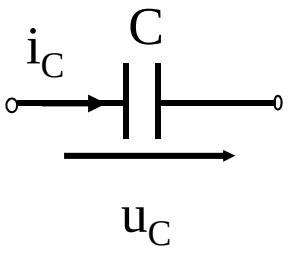


Kết luận : Phần tử điện cảm không tiêu tán năng lượng

Đặc trưng cho quá trình tích lũy năng lượng trên điện cảm: biên độ $p_L = U_L I_L = Q_L$

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

3. Nhánh điện dung



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

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

X_c

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

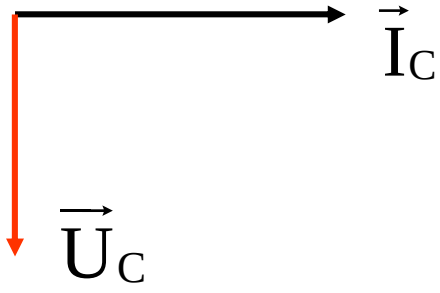
Biểu thức : $u_C = \sqrt{2} U_C \sin(\omega t + \psi_u)$

$$U_C = X_C I_C$$

$$\psi_u = -90^o$$

$$\varphi = \psi_u - \psi_i = -90^o$$

- Dạng véc tơ:



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

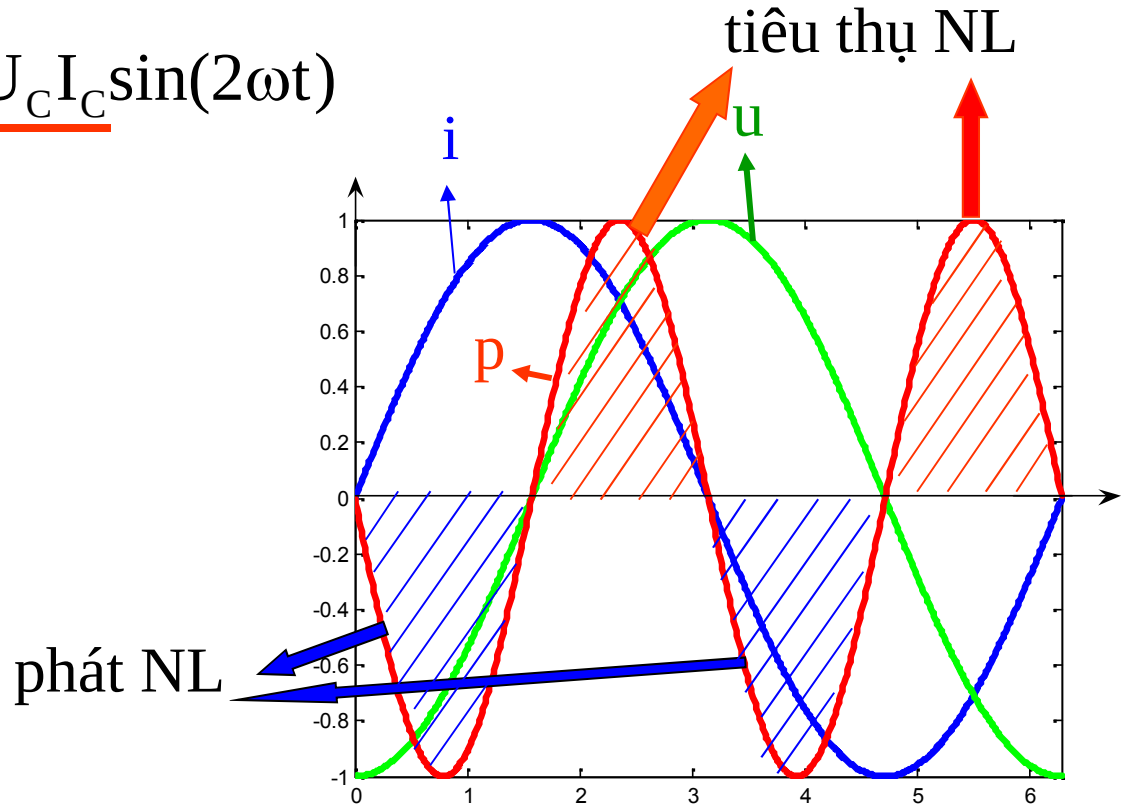
- Công suất : $p_C = u_C\, i_C$

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

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

Công suất trung bình:

$$P_C = \frac{1}{T}\int_0^T p_C dt = 0$$



Kết luận : Phần tử điện dung không tiêu tán năng lượng

Đặc trưng cho q/t NL trên điện dung : $-U_C I_C = Q_C$

⇒ Công suất phản kháng $Q_C = -X_C I_C^2$ VAr, kVAr

4. Nhánh R – L – C nối tiếp

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

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

$= \varphi$

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

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

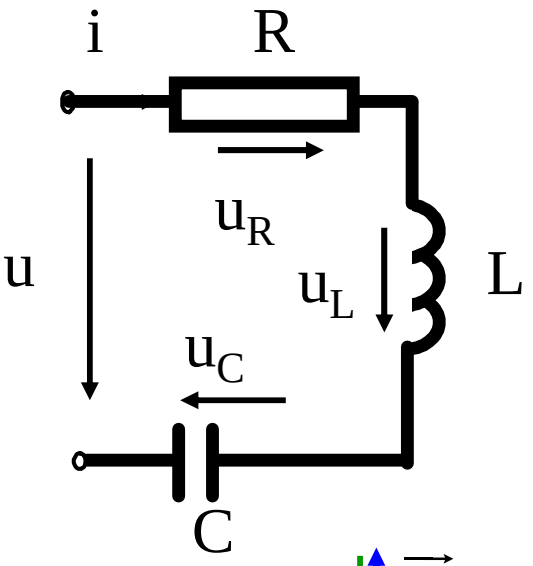
$\mathcal{Z}$

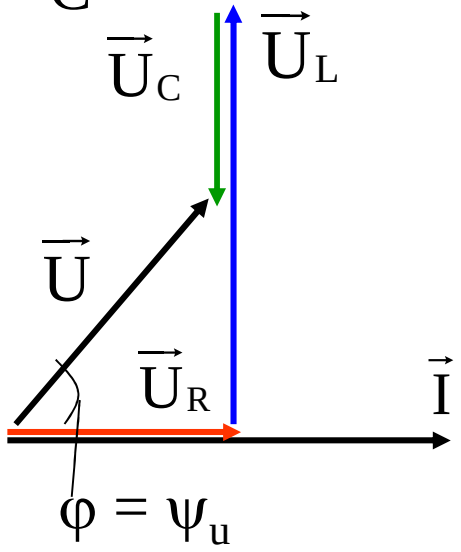
X

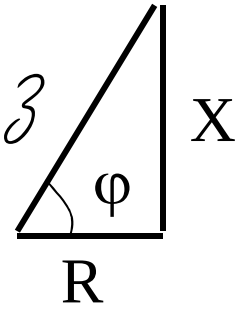
$$\mathcal{Z} = \sqrt{R^2 + X^2}$$

$$\varphi = \text{arctg}\frac{U_L - U_C}{U_R} = \text{arctg}\frac{X_L - X_C}{R} = \text{arctg}\frac{X}{R}$$

Tam giác tổng trở







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

$\vec{U}$ vượt trước $\vec{I}$ ⟹ Tính chất điện cảm

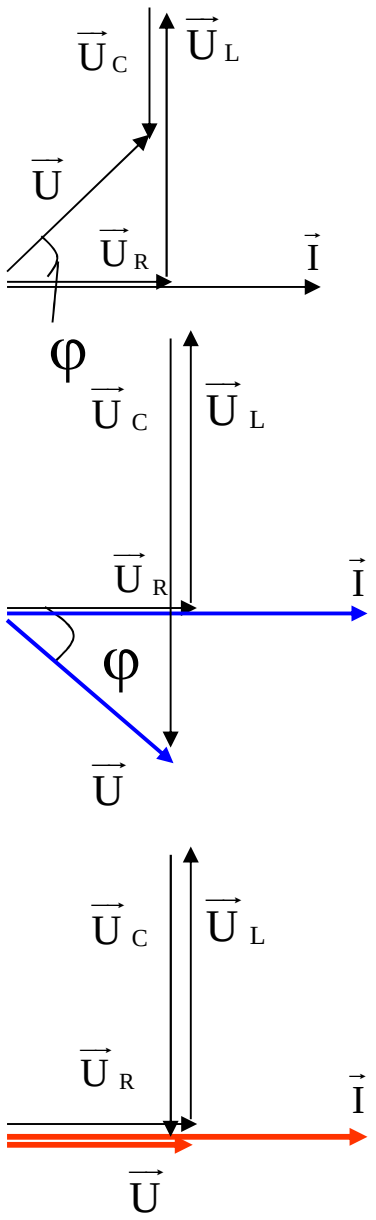
- Khi $X_L < X_C$ $X < 0, \varphi < 0$

$\vec{U}$ chậm sau $\vec{I}$ ⟹ Tính chất điện dung

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

$\vec{U}$ trùng pha $\vec{I}$ ⟹ cộng hưởng điện áp

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



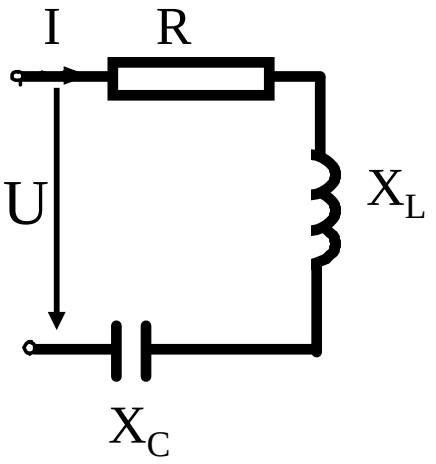
Dạng phức :

$$\dot{U} = \dot{U}_R + \dot{U}_L + \dot{U}_C = R\dot{I} + jX_L\dot{I} - jX_C\dot{I}$$

$$= [R + j(X_L - X_C)]\dot{I} = \underbrace{(R + jX)}_{Z}\dot{I} \Longrightarrow \dot{U} = Z\dot{I}$$

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

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



$$Z = R + j\,(X_L - X_C) = R + j\,X = \mathcal{Z}e^{j\varphi}$$

$$= 4 + j\,3 = \sqrt{4^2 + 3^2}\, e^{j\,\mathrm{arctg}\frac{3}{4}} = 5e^{j36^\circ 52'}$$

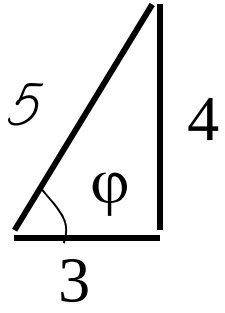
$$\dot{I} = \frac{\dot{U}}{Z} = \frac{100e^{j0^\circ}}{5e^{j36^\circ 52'}} \Longrightarrow \dot{I} = 20e^{-j36^\circ 52'}$$

CÁC SỐ PHỨC ĐẶC BIỆT:

$3 + J4 = \mathcal{Z} e^{j\varphi}$

$= \sqrt{3^2 + 4^2}\, e^{j \operatorname{arctg} \frac{4}{3}}$

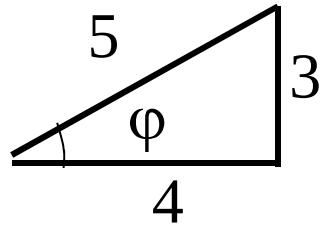
$= 5e^{j53^\circ 8'}$



$4 + j\,3 = \,?$

$= \sqrt{4^2 + 3^2}\, e^{j \operatorname{arctg} \frac{3}{4}}$

$= 5e^{j36^\circ 52'}$

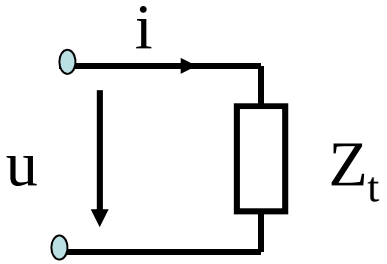


a	b	$\mathcal{Z}$	φ
3	4	5	53o8’
6	8	10	nt
9	12	15	nt
12	16	20	nt

a	b	$\mathcal{Z}$	φ
4	3	5	36o52’
8	6	10	nt
12	9	15	nt
16	12	20	nt

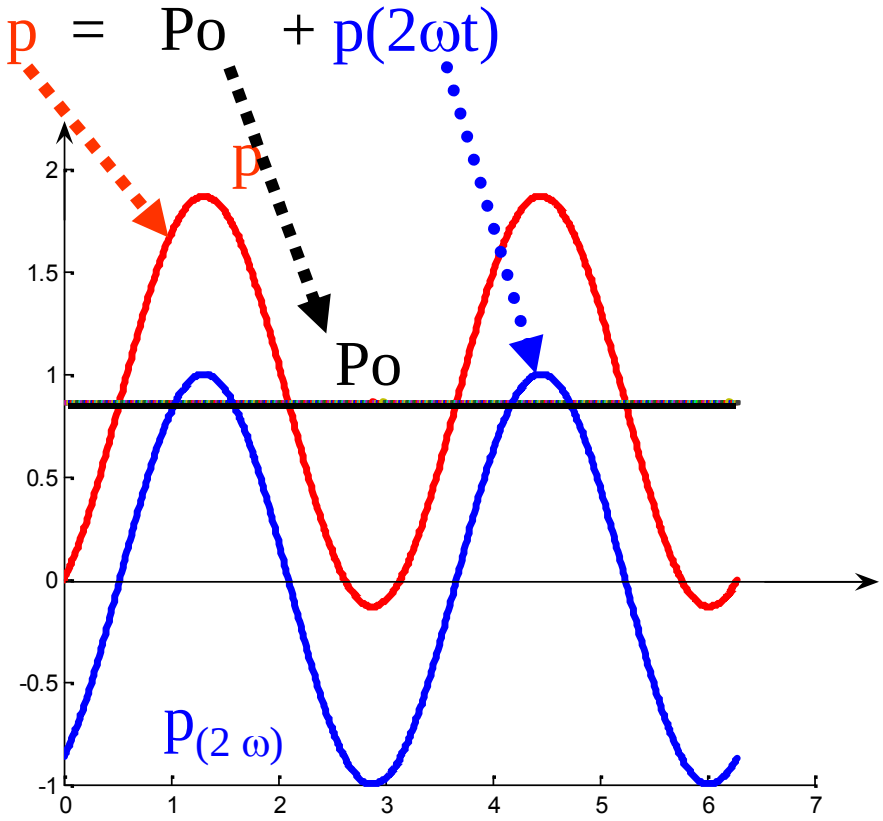
2.5 Công suất trong mạch điện xoay chiều 1 pha

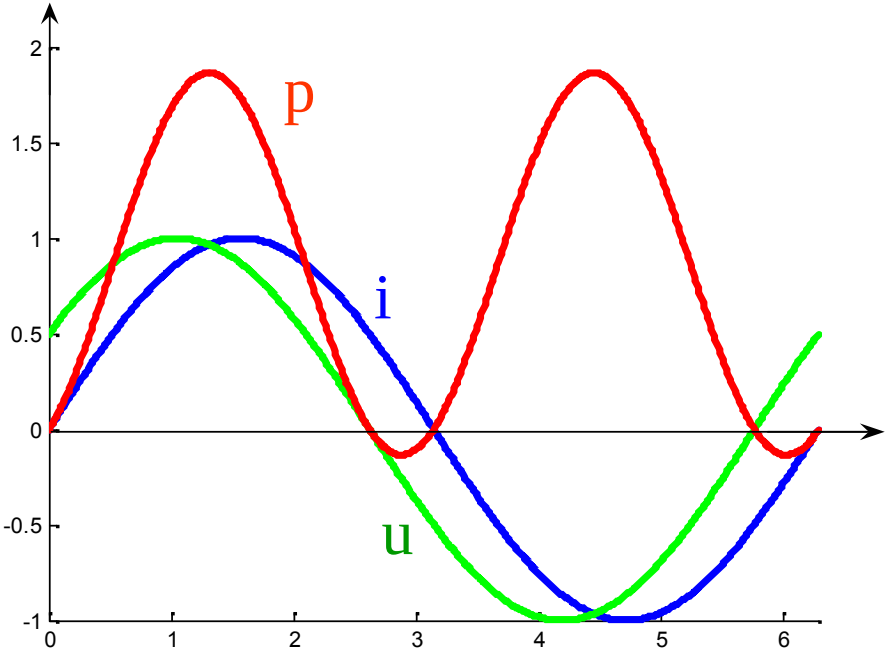
$i = \sqrt{2} I \sin \omega t \qquad u = \sqrt{2} U \sin(\omega t + \varphi)$



1. Công suất tức thời

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



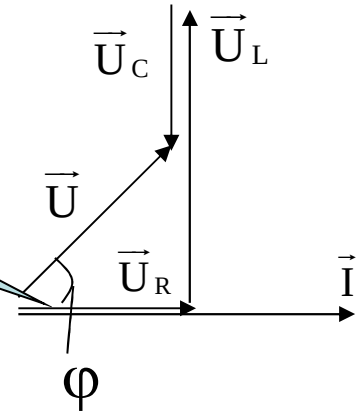


2. **Công suất tác dụng** $P = \frac{1}{T}\int_0^T pdt = ? \Big| p(t) = UI[\cos\varphi - \cos(2\omega t + \varphi)]$

$P = UI\cos\varphi$ $= U\cos\varphi\ I$

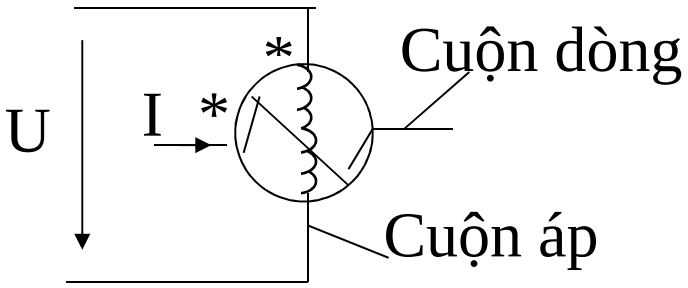
$P = RI^2$

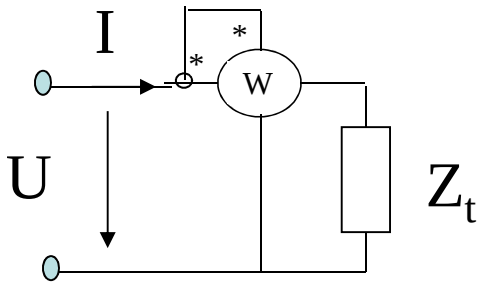
$P = \sum_i P_{r_i} = \sum_i r_i I_{r_i}^2$ W, kW

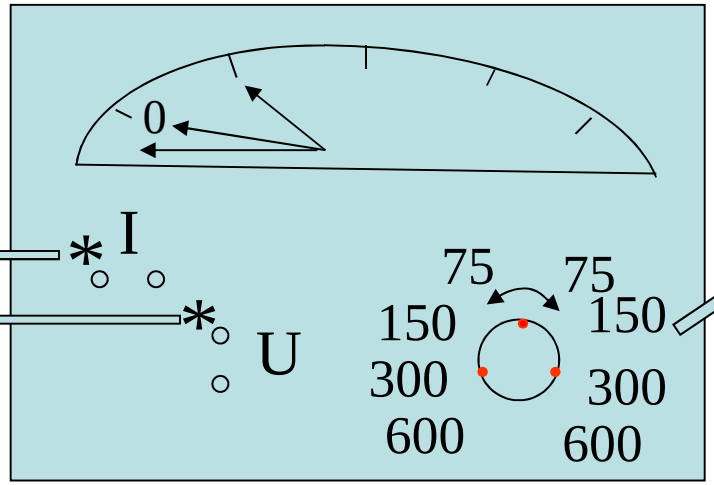


Để đo công suất P dùng đồng hồ Oát kế

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

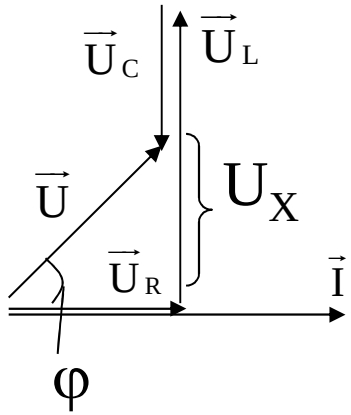






Đầu vào cuộn dòng và cuộn áp

Điều chỉnh thang đo điện áp



3. **Công suất phản kháng**

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

$Q = XI^2$ = XI I → U_X ⟹ $Q = UI \sin\varphi$

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

4. Công suất biểu kiến (toàn phần)

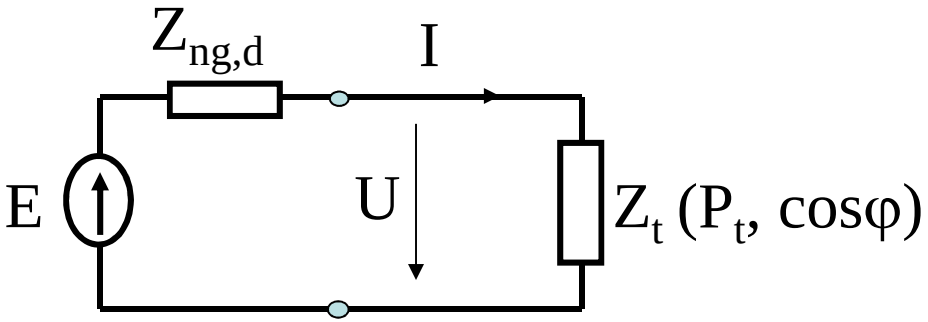
$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = UI$$

VA, kVA, MVA

2.6 Nâng cao hệ số cos¨ (bù cos¨)

1. Sự cần thiết phải nâng cao hệ số cos¨

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



G/t: - P_t = const

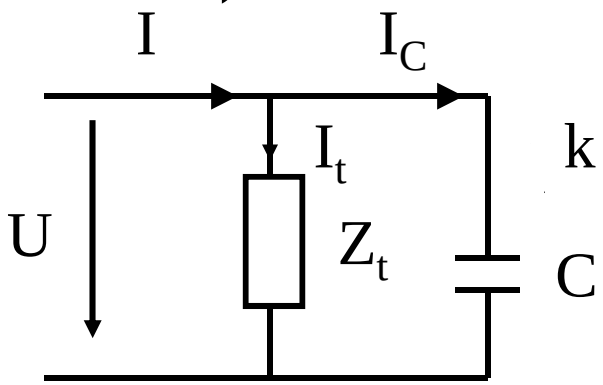
- U = const

=> Cosφ càng thấp => I càng lớn

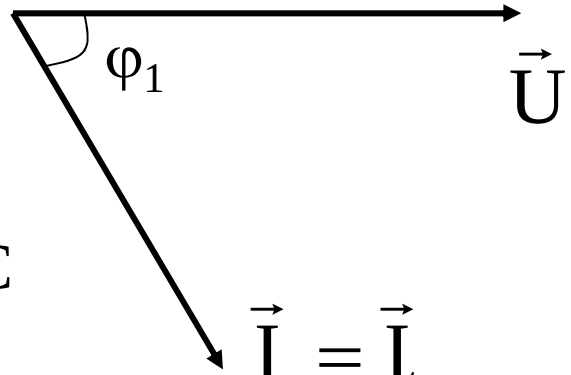
- ΔU_d, ΔP_d càng lớn
- Tiết diện dây s_d lớn => chi phí đầu tư đường dây cao

=> Phải tìm cách nâng cao cosφ

2. Cách nâng cao hệ số cos¨ (tải mang t/c đ/cảm)



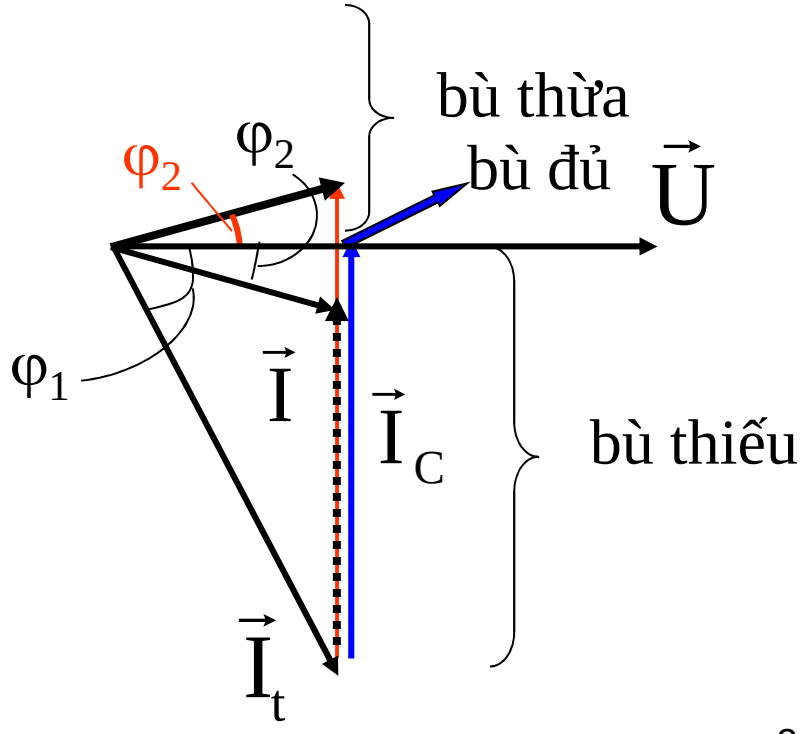
a) Khi k mở $\vec{I} = \vec{I}_t$



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

$I_C = U\omega C$

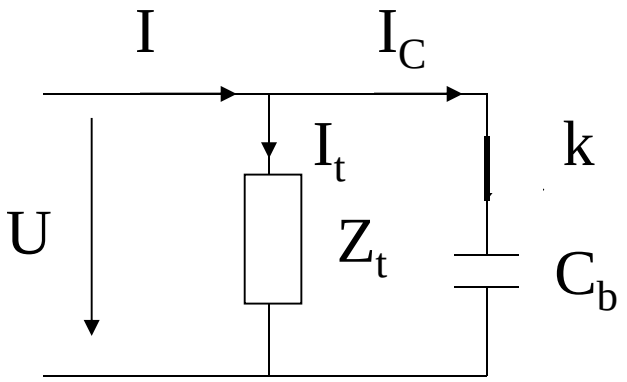
b) Khi k đóng $\vec{I} = \vec{I}_t + \vec{I}_c$



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 $\cos\varphi_2 > \cos\varphi_1$

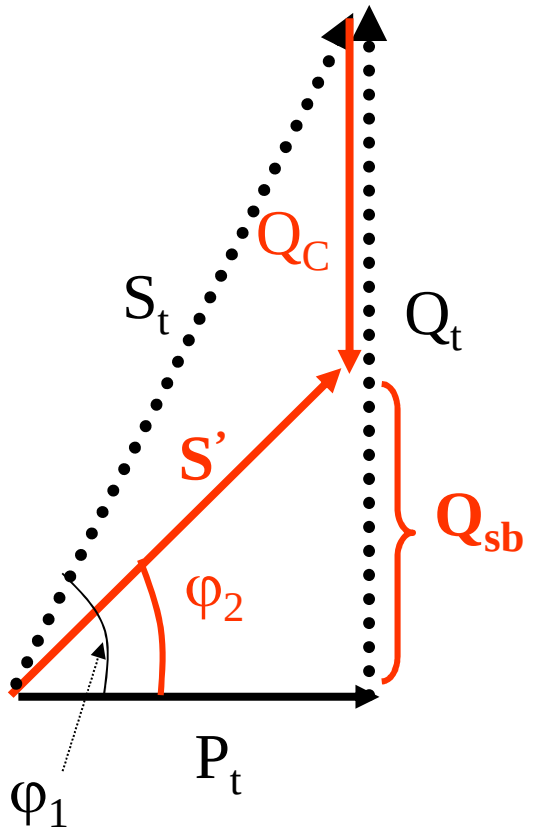


Khi chưa bù Sau khi bù (đóng k)

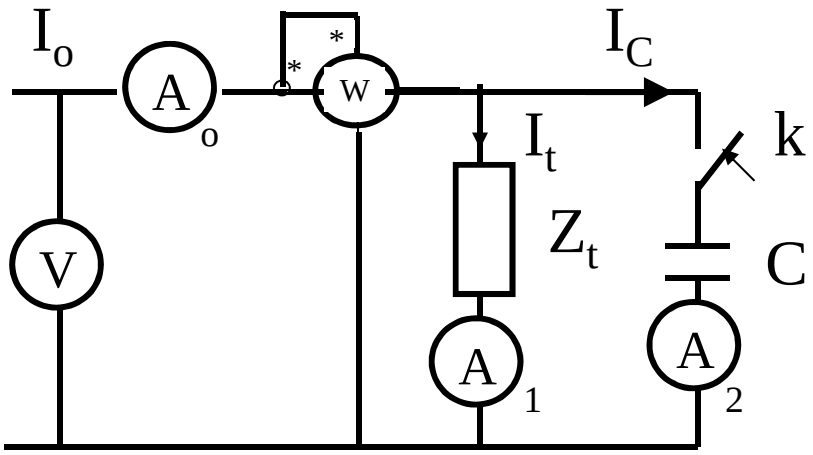
$$Q_C = Q_{sb} - Q_t = P_t(tg\varphi_2 - tg\varphi_1)$$

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

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



Ví dụ : Cho mạch điện như hình vẽ :



Khi k mở, chỉ số các đồng hồ đo :

A_o = 20 A

V = 220 V

W = 3000 W

Khi k đóng, chỉ số các đồng hồ đo :

A_o = 15 A

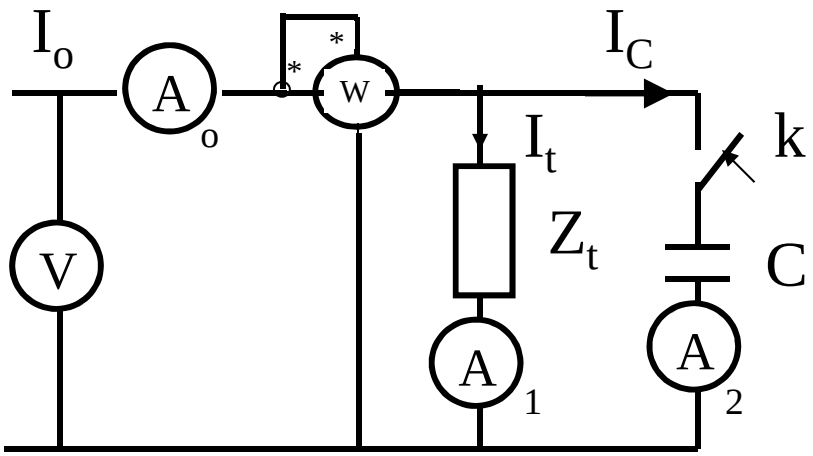
Tìm : R, X, Z, cosφ của tải

C, X_C, I_C, Q_C của tụ

P, Q, S, cosφ toàn mạch sau khi đóng k

Giải

1. Tìm : R, X, Z, cosφ của tải



$$R = \frac{P}{I_m^2} = \frac{3000}{20^2} = 7{,}5\ \Omega$$

$$\mathcal{Z} = \frac{U}{I_m} = \frac{220}{20} = 11\ \Omega$$

$$X = \sqrt{\mathcal{Z}^2 - R^2} = \sqrt{11^2 - 7{,}5^2} = 8\ \Omega$$

$$\cos\varphi = \frac{R}{\mathcal{Z}} = \frac{P}{U.I_m} = \frac{3000}{220.20} = 0{,}68$$

2. Tìm C, X_C, I_C, Q_C của tụ

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

$$\cos\varphi_1 = 0,68 \Rightarrow tg\varphi_1 = 1,078$$

$$\cos\varphi_2 = \frac{P}{U.I_đ} = \frac{3000}{220.15} = 0,91$$

$$\Rightarrow tg\varphi_2 = 0,46 \Rightarrow C_b = \frac{3000}{220^2 314}(1,078 - 0,46) = 1,22.10^{-4}\ F$$

$$= 122\ \mu F$$

$$X_c = \frac{1}{\omega C} = \frac{1.10^4}{314.1,22} = 26,1\ \Omega$$

$$I_C = \frac{U}{X_C} = \frac{220}{26,1} = 8,43\ A$$

$$Q_C = -U.I_C = -220.8,43$$

$$= -1855\ VAr$$

3. Tìm P, Q, S, cosφ toàn mạch sau khi đóng k

$P = 3000\ W$

$Q = Q_t + Q_C = P_t tg\varphi_1 - 1855 = 3000.1{,}078 - 1855$

$Q = Ptg\varphi_2 = 3000.0{,}46$

$Q \approx 1380\ VAr$

$S = U.I_đ = 220.15 = 3300\ VA$

$\cos\varphi_2 = 0{,}91$