

Chương 4: Mạch điện ba pha

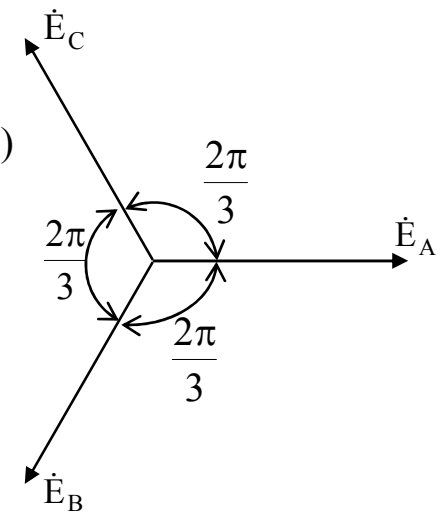
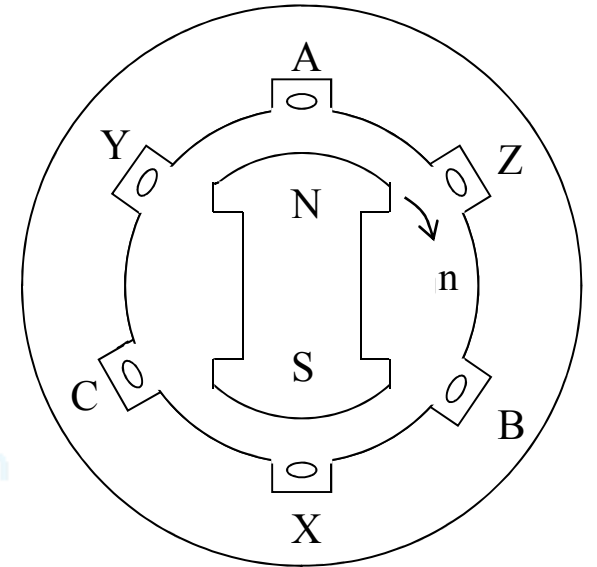
4.1. Khái niệm chung:

Mạch điện 3 pha bao gồm nguồn điện ba pha, đường dây truyền tải và các phụ tải ba pha.

Để tạo ra nguồn điện ba pha, dùng máy phát điện đồng bộ ba pha

- Cấu tạo (như hình vẽ), gồm 2 phần:
 - Phần tĩnh (stato): gồm có lõi thép xẻ rãnh, trong các rãnh đặt ba dây quấn AX, BY, CZ có cùng số vòng dây và lệch nhau một góc $2\pi/3$ trong không gian. Mỗi dây quấn được gọi là một pha: dây quấn AX gọi là pha A, BY gọi là pha B, CZ gọi là pha C.
 - Phần quay (roto): là nam châm điện N-S
- Nguyên lý làm việc: Khi roto quay, từ trường sẽ lần lượt quét các dây quấn stato và cảm ứng trong dây quấn stato các sức điện động sin có cùng biên độ, cùng tần số nhưng lệch pha nhau một góc $\frac{2\pi}{3}$ (nguồn ba pha đối xứng)

$$\begin{cases} e_A = \sqrt{2}E \sin \omega t \\ e_B = \sqrt{2}E \sin \left(\omega t - \frac{2\pi}{3} \right) \\ e_C = \sqrt{2}E \sin \left(\omega t + \frac{2\pi}{3} \right) \end{cases} \quad \text{hoặc} \quad \begin{cases} \dot{E}_A = E e^{j0} \\ \dot{E}_B = E e^{-j(2\pi/3)} \\ \dot{E}_C = E e^{j(2\pi/3)} \end{cases}$$



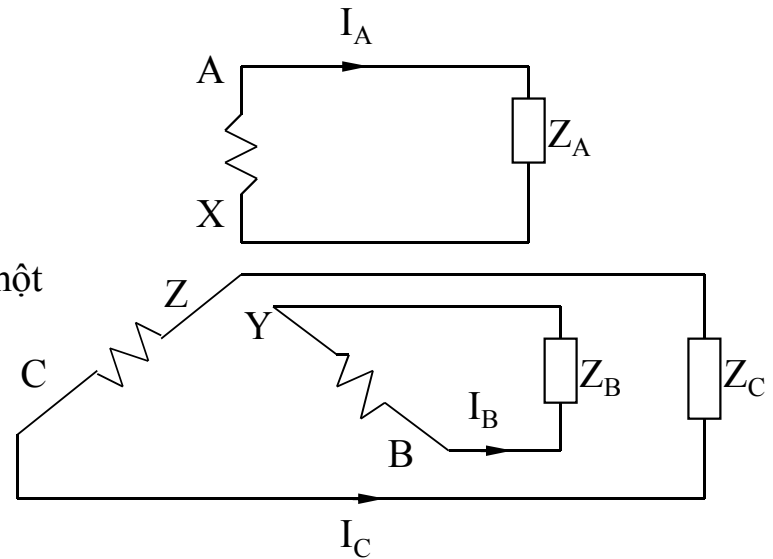
- Với mạch điện 3 pha đối xứng:

$$e_A + e_B + e_C = 0$$

$$\dot{E}_A + \dot{E}_B + \dot{E}_C = 0$$

- Nếu các dây quấn AX, BY, CZ của nguồn nối riêng rẽ với các tổng trở $\bar{Z}_A, \bar{Z}_B, \bar{Z}_C$, ta có hệ thống ba pha gồm ba mạch một pha không liên hệ với nhau. Mỗi mạch điện gọi là một pha của mạch điện ba pha.

- A,B,C: điểm đầu ; X,Y,Z: điểm cuối
- Nếu tổng trở phức của các pha bằng nhau $\bar{Z}_A = \bar{Z}_B = \bar{Z}_C$, ta có tải đối xứng.



- Mạch điện ba pha gồm nguồn, tải, đường dây đối xứng gọi là mạch điện ba pha đối xứng
- Sức điện động, điện áp, dòng điện mỗi pha của nguồn gọi là E_p, U_p, I_p
- Dòng điện chạy trên đường dây pha từ nguồn đến tải gọi là I_d , điện áp giữa các dây pha ấy gọi là U_p
- Mạch điện ba pha không liên hệ như hình bên thực tế ít dùng vì cần tới 6 dây. Thường ba pha của nguồn được nối với nhau, ba pha của tải được nối với nhau và có đường dây ba pha nối từ nguồn đến tải, có 2 cách nối:
 - Nối hình sao (Y)
 - Nối hình tam giác (Δ)

4.2. Cách nối hình sao

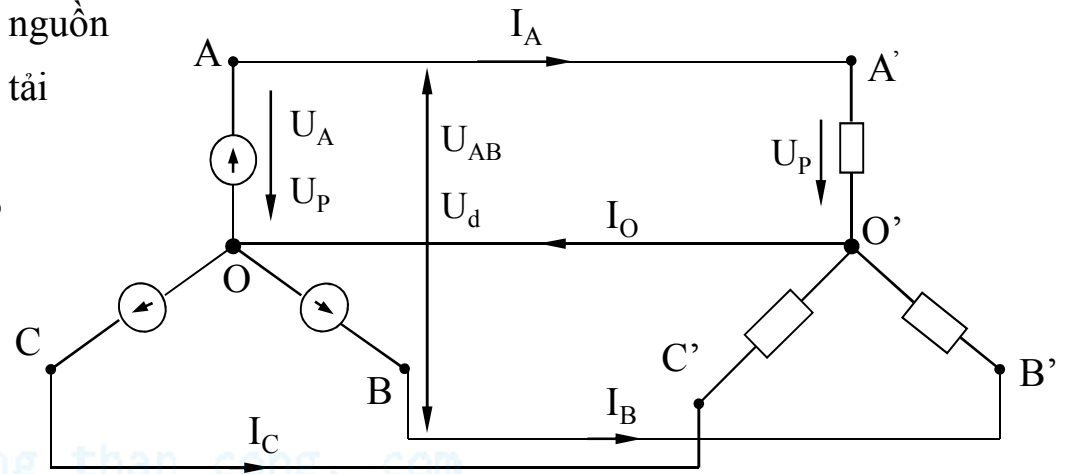
• Nối hình sao: nối 3 điểm trung tính với nhau thành điểm trung tính:

- Nối X, Y, Z \longrightarrow Điểm trung tính của nguồn
- Nối X', Y', Z' \longrightarrow Điểm trung tính của tải

- Quan hệ giữa dòng điện dây và pha: $I_d = I_p$
- Quan hệ giữa điện áp dây và điện áp pha:

Có:

$$\begin{cases} \dot{U}_{AB} = \dot{U}_A - \dot{U}_B \\ \dot{U}_{BC} = \dot{U}_B - \dot{U}_C \\ \dot{U}_{CA} = \dot{U}_C - \dot{U}_A \end{cases}$$

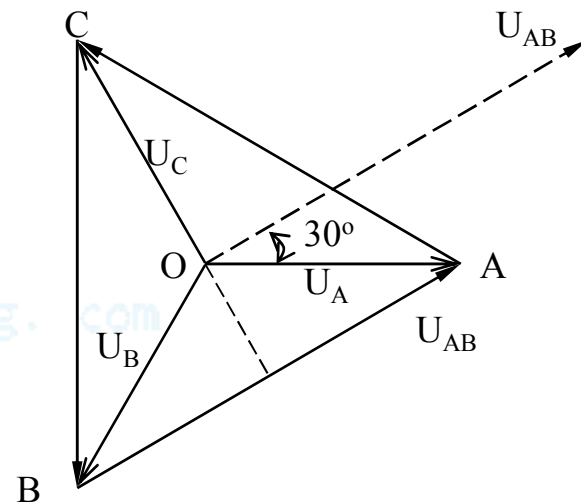


Từ đồ thị vector, xét tam giác OAB, có:

$$AB = 2.OA.\cos 30^\circ = 2.OA.\frac{\sqrt{3}}{2} = \sqrt{3}OA$$

Mà $AB = U_d$, $OA = U_p$

$$\rightarrow U_d = \sqrt{3}U_p$$



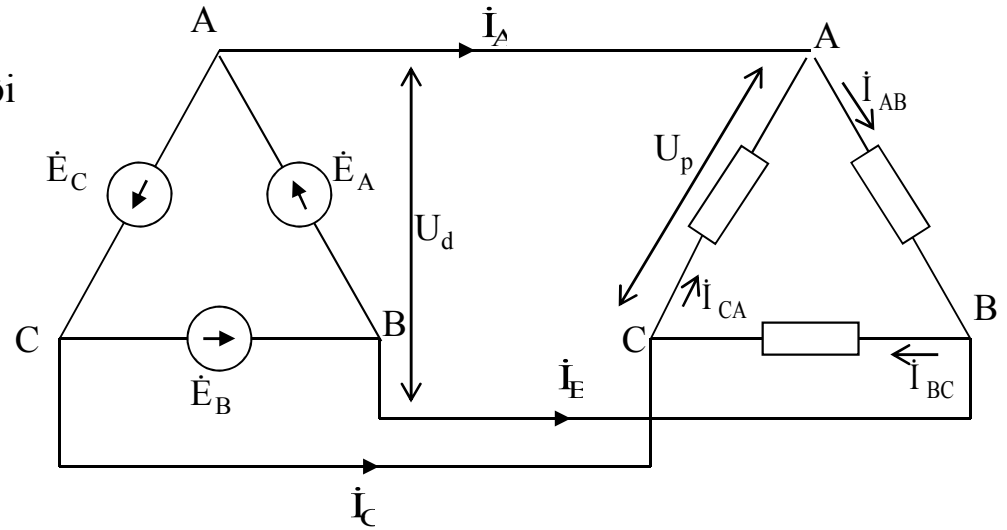
4.3. Cách nối hình tam giác:

- Nối hình tam giác: lấy đầu pha này nối với cuối pha kia (A nối với Z, B nối với X, C nối với Y)
- Viết phương trình định luật Kirhof 1 cho các nút A, B, C, ta có:

$$\dot{I}_A = \dot{I}_{AB} - \dot{I}_{CA}$$

$$\dot{I}_B = \dot{I}_{BA} - \dot{I}_{AB}$$

$$\dot{I}_C = \dot{I}_{CA} - \dot{I}_{BC}$$

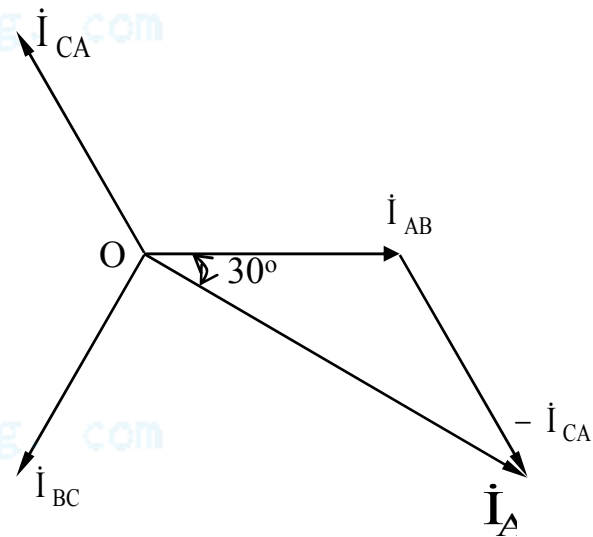


Từ đồ thị vectơ, xét tam giác OEF, ta có:

$$EF = 2.OE.\cos 30^\circ = 2.OE.\frac{\sqrt{3}}{2} = \sqrt{3}OE$$

Mà $EF = I_d$, $OE = I_p$

$$\rightarrow I_d = \sqrt{3}I_p$$



4.4. Công suất mạch điện ba pha:

4.4.1. Công suất tác dụng:

Công suất tác dụng P của mạch ba pha bằng tổng công suất tác dụng của các pha:

$$P = P_A + P_B + P_C$$

$$= U_A I_A \cos \varphi_A + U_B I_B \cos \varphi_B + U_C I_C \cos \varphi_C$$

Khi mạch ba pha đối xứng: $U_A = U_B = U_C = U_p$

$$I_A = I_B = I_C = I_p$$

$$\cos \varphi_A = \cos \varphi_B = \cos \varphi_C = \cos \varphi$$

$$\rightarrow P = 3U_p I_p \cos \varphi$$

$$P = 3R_p I_p^2$$

Nối sao: $I_p = I_d; U_p = \frac{U_d}{\sqrt{3}}$

Nối tam giác: $I_p = \frac{I_d}{\sqrt{3}}; U_p = U_d$

$$\rightarrow P = \sqrt{3} U_d I_d \cos \varphi$$

4.4.2. Công suất phản kháng:

Công suất phản kháng của ba pha là: $Q = Q_A + Q_B + Q_C = U_A I_A \sin \varphi_A + U_B I_B \sin \varphi_B + U_C I_C \sin \varphi_C$

Khi đối xứng: $Q = 3U_p I_p \sin \varphi$

$$= \sqrt{3} U_d I_d \sin \varphi$$

$$Q = 3X_p I_p^2$$

4.4.3. Công suất biểu kiến:

Đối với mạch ba pha đối xứng: $S = \sqrt{P^2 + Q^2} = 3U_p I_p = \sqrt{3} U_d I_d$

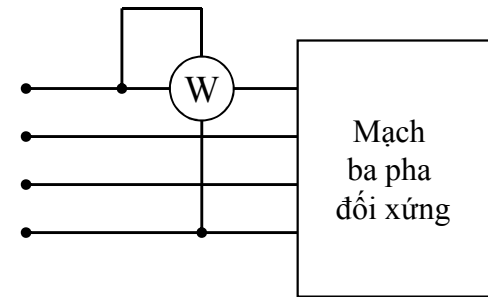
4.5. Đo công suất mạch ba pha

4.5.1. Đo công suất mạch ba pha đối xứng:

Mạch ba pha đối xứng: mỗi pha có công suất như nhau, do đó chỉ cần đo

Công suất một pha rồi suy ra công suất ba pha: $P = 3P_p = 3W$

W là số chỉ của oát kế một pha



4.5.2. Đo công suất mạch ba pha không đối xứng:

- Dùng 3 oát kế để đo công suất từng pha:

$$P = P_A + P_B + P_C$$

- Dùng 2 oát kế nối như hình vẽ:

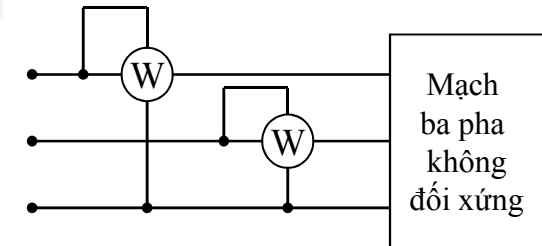
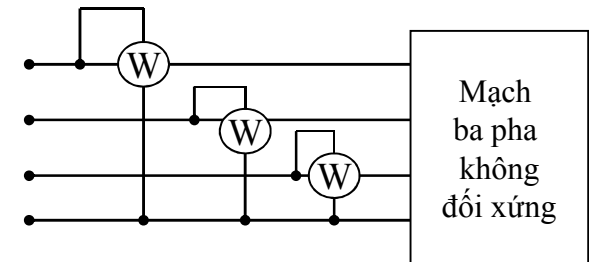
Ta có: $W_1 + W_2 = \vec{U}_{AC} \vec{I}_A + \vec{U}_{AB} \vec{I}_B$

$$= (\vec{U}_A - \vec{U}_C) \vec{I}_A + (\vec{U}_A - \vec{U}_B) \vec{I}_B$$

$$= \vec{U}_A \vec{I}_A + \vec{U}_B \vec{I}_B - \vec{U}_C (\vec{I}_A + \vec{I}_B)$$

$$= \vec{U}_A \vec{I}_A + \vec{U}_B \vec{I}_B + \vec{U}_C \vec{I}_C$$

$$= P_A + P_B + P_C$$



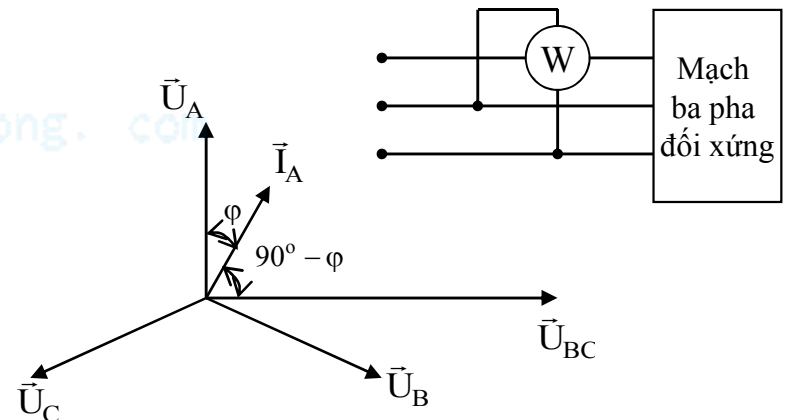
4.5.3. Đo công suất phản kháng mạch 3 pha đối xứng

Dùng 1 oát kế, nối dây như hình vẽ, oát kế sẽ chỉ $\vec{U}_{BC} \vec{I}_A$

Từ đồ thị vector, suy ra số chỉ của oát kế là:

$$W = U_d I \cos(90 - \varphi) = \sqrt{3} U_p I_p \sin \varphi = \frac{Q_{\text{bapha}}}{\sqrt{3}}$$

Từ đó suy ra công suất phản kháng của mạch ba pha đối xứng



4.6. Cách giải mạch điện ba pha đối xứng:

Trong mạch ba pha đối xứng, dòng điện (điện áp) các pha có trị số bằng nhau và lệch pha nhau một góc
Do đó, khi giải mạch đối xứng, ta tách ra một pha để tính

4.6.1. Nguồn nối sao đối xứng:

O là điểm trung tính của nguồn

Tải nối sao: O' là điểm trung tính của tải

Mạch đối xứng, ta luôn có:

$$\dot{I}_O = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = 0$$

Vì vậy, dây trung tính không có tác dụng,
có thể bỏ, $U_{OO'} = 0$

Nếu gọi sức điện động pha nguồn là E_p thì điện áp phía đầu nguồn:

$$U_p = E_p$$

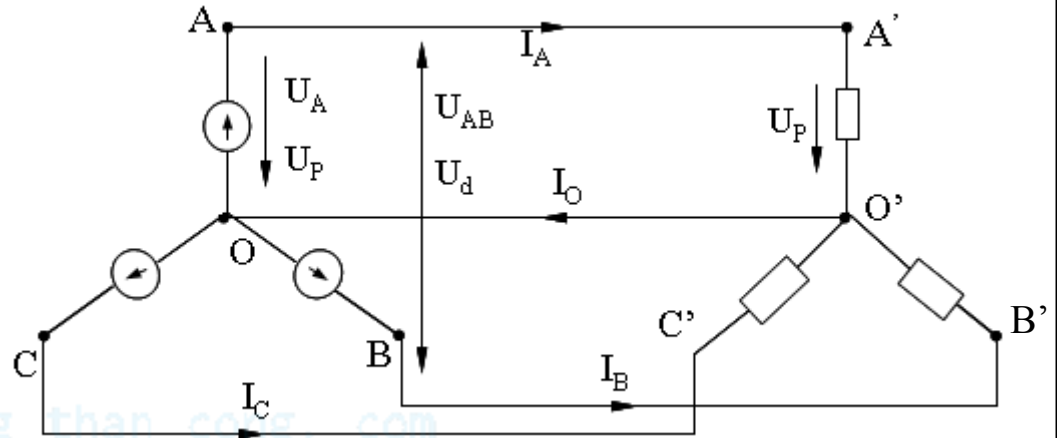
$$U_d = \sqrt{3}E_p$$

4.6.2. Nguồn nối tam giác đối xứng:

Điện áp phía đầu nguồn: $U_p = E_p$

$$U_d = U_p = E_p$$

Thường nguồn nối hình sao vì khi đó $U_p = U_d / \sqrt{3}$, do đó cách điện của các pha sẽ dễ dàng hơn



4.6.3. Giải mạch điện ba pha tải nối hình sao đối xứng

a/ Khi không xét tổng trở đường dây pha:

Điện áp đặt lên mỗi pha tải là: $U_p = \frac{U_d}{\sqrt{3}}$

Tổng trở pha tải:

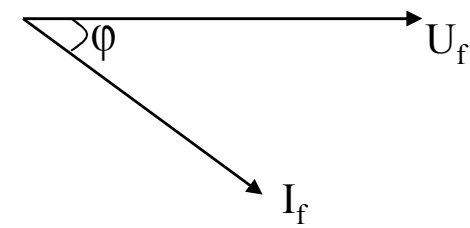
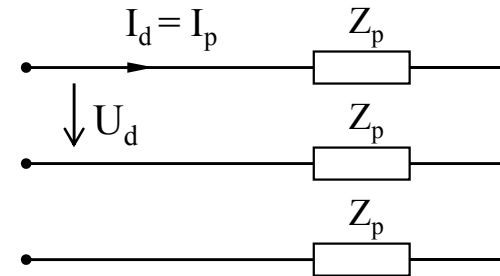
$$Z_p = \sqrt{R_p^2 + X_p^2}$$

Dòng điện pha của tải:

$$I_p = \frac{U_p}{Z_p} = \frac{U_d}{\sqrt{3} \sqrt{R_p^2 + X_p^2}}$$

Tải nối sao: $I_d = I_p$

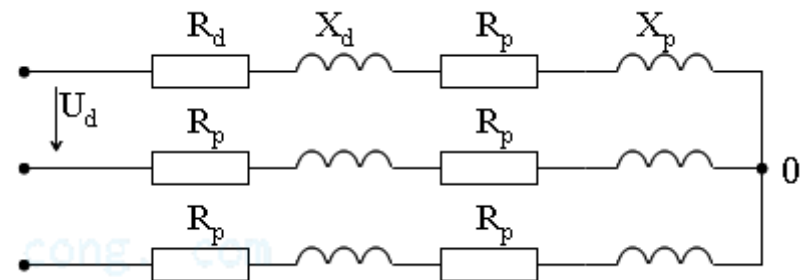
Góc lệch pha: $\varphi = \arctg \frac{X_p}{R_p}$



b/ Khi có xét tổng trở đường dây pha:

$$I_d = I_p = \frac{U_d}{\sqrt{3} \sqrt{(R_d + R_p)^2 + (X_d + X_p)^2}}$$

Trong đó, R_d , X_d là điện trở và điện kháng đường dây



4.6.4. Giải mạch điện ba pha nối tam giác đối xứng:

a/ Khi không xét tổng trở đường dây:

Điện áp pha tải bằng điện áp dây: $U_p = U_d$

Dòng điện pha tải là:

$$I_p = \frac{U_p}{Z_p} = \frac{U_d}{\sqrt{R_p^2 + X_p^2}}$$

Dòng điện dây: $I_d = \sqrt{3}I_p$

Góc lệch pha: $\varphi = \arctg \frac{X_p}{R_p}$

b/ Khi xét tổng trở đường dây:

Tổng trở mỗi pha lúc nối tam giác:

$$\bar{Z}_{\Delta} = R_p + jX_p$$

Biến đổi sang hình sao:

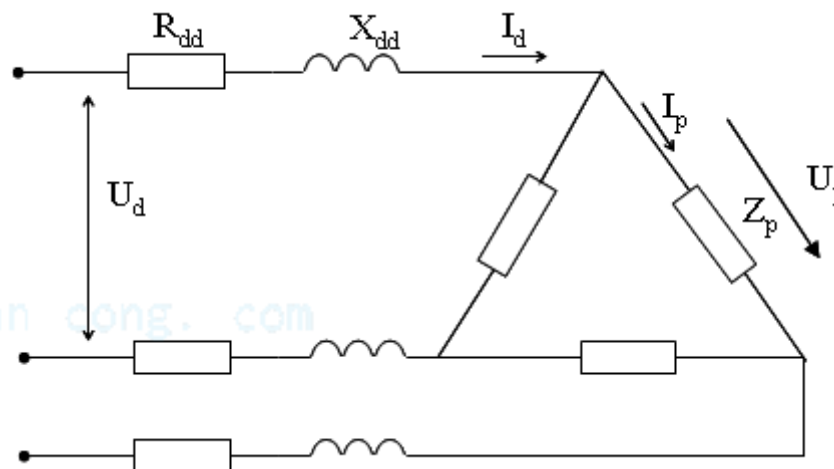
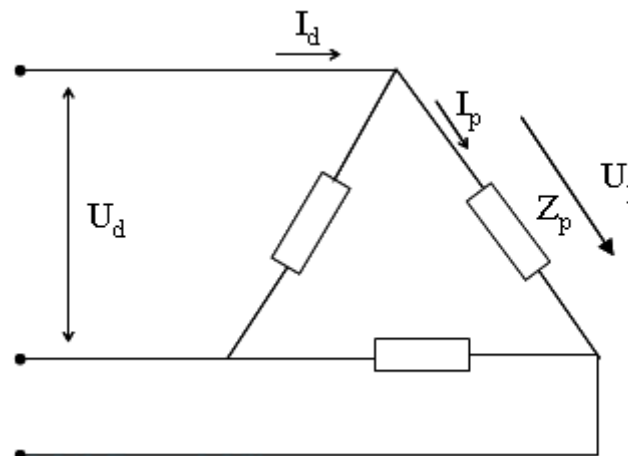
$$\bar{Z} = \frac{\bar{Z}_{\Delta}}{3} = \frac{R_p}{3} + j\frac{X_p}{3}$$

Sau đó, giải mạch điện như mạch điện hình sao, ta có:

$$I_d = \frac{U_d}{\sqrt{3} \sqrt{\left(R_{dd} + \frac{R_p}{3}\right)^2 + \left(X_{dd} + \frac{X_p}{3}\right)^2}}$$

Dòng điện của tải khi nối tam giác:

$$I_p = \frac{I_d}{\sqrt{3}}$$



4.7. Cách giải mạch ba pha không đối xứng:

Khi tải không đối xứng thì dòng điện và điện áp trên các pha không đối xứng, xét 2 trường hợp:

- Tải các pha không có liên hệ hỗ cảm với nhau: coi mạch ba pha không đối xứng là mạch phức tạp gồm nhiều nguồn sức điện động và giải theo phương pháp ở chương 3
- Tải các pha có liên hệ hỗ cảm với nhau: phân tích bài toán không đối xứng thành các bài toán đối xứng

Việc giải mạch ba pha không đối xứng là khá phức tạp, ở đây chỉ xét một số trường hợp:

4.7.1. Tải nối sao có dây trung tính, dây trung tính có tổng trở Z_0

Để giải mạch điện này, ta dùng phương pháp điện áp hai nút:

$$\dot{U}_{O'O} = \frac{\dot{U}_A \bar{Y}_A + \dot{U}_B \bar{Y}_B + \dot{U}_C \bar{Y}_C}{\bar{Y}_A + \bar{Y}_B + \bar{Y}_C + \bar{Y}_O}$$

Nếu nguồn đối xứng: $\dot{U}_A = U_p e^{j0}$; $\dot{U}_B = U_p e^{-j120^\circ}$; $\dot{U}_C = U_p e^{-j240^\circ}$

$$\rightarrow \dot{U}_{O'O} = U_p \frac{\bar{Y}_A + \bar{Y}_B e^{-j120^\circ} + \bar{Y}_C e^{-j240^\circ}}{\bar{Y}_A + \bar{Y}_B + \bar{Y}_C + \bar{Y}_O}$$

$$\rightarrow \dot{U}'_A = \dot{U}_A - \dot{U}_{O'O} \rightarrow \dot{I}_A = \frac{\dot{U}'_A}{Z_A} \quad (\text{Tương tự với pha B và C})$$

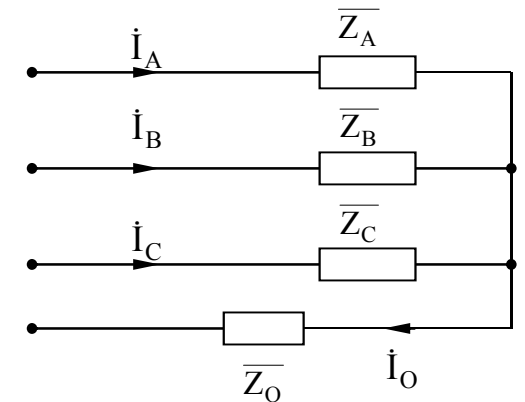
$$\dot{I}_O = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C$$

- Nếu xét đến tổng trở \bar{Z}_d của dây dẫn pha thì tính toán vẫn như trên, nhưng lúc đó tổng trở các pha phải gồm cả tổng trở của đường dây:

$$Y_A = \frac{1}{Z_A + Z_d}; Y_B = \frac{1}{Z_B + Z_d}; Y_C = \frac{1}{Z_C + Z_d}$$

- Nếu tổng trở dây trung tính bằng 0 thì điểm trung tính nguồn trùng với điểm trung tính tải, điện áp trên các pha của nguồn bằng điện áp trên các pha của tải tương ứng:

$$\dot{I}_A = \frac{\dot{U}_A}{Z_A}; \dot{I}_B = \frac{\dot{U}_B}{Z_B}; \dot{I}_C = \frac{\dot{U}_C}{Z_C}$$



4.7.2. Khi dây trung tính bị đứt hoặc không có dây trung tính:

Điện áp $U_{O'O}$ có thể lớn, do đó điện áp trên các pha tải khác điện áp pha nguồn rất nhiều, có thể gây nên quá điện áp ở một pha nào đó

Ví dụ: xét mạch ba pha có tải không đối xứng như hình vẽ:

$$\bar{Y}_A = -\frac{1}{-jX_C} = jb \quad \bar{Y}_B = \bar{Y}_C = \frac{1}{R} = g$$

Nguồn điện ba pha đối xứng có điện áp pha là U_p

Theo phương pháp điện áp hai nút: $\dot{U}_{O'O} = U_p \frac{jb + ge^{-j120^\circ} + ge^{j120^\circ}}{jb + g + g}$

Với: $e^{-j120^\circ} = \cos(-120^\circ) + j\sin(-120^\circ) = -0,5 - j0,866$

$e^{j120^\circ} = \cos 120^\circ + j\sin 120^\circ = -0,5 + j0,866$

$\rightarrow \dot{U}_{O'O} = U_p \frac{jb + g(-0,5 - j0,866) + g(-0,5 + j0,866)}{jb + g + g}$ Nếu chọn $g = b \rightarrow \dot{U}_{O'O} = U_p(-0,2 + j0,6)$

Điện áp đặt lên bóng đèn pha B và pha C:

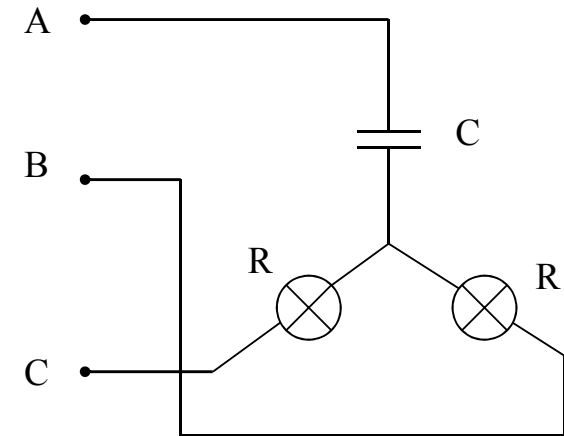
$$\dot{U}'_B = \dot{U}_B - \dot{U}_{O'O} = U_p(-0,5 - j0,866) - U_p(-0,2 + j0,6) = U_p(-0,3 - j1,466)$$

$$\rightarrow U'_B = U_p \sqrt{0,3^2 + 1,466^2} \approx 1,5U_p$$

$$\dot{U}'_C = \dot{U}_C - \dot{U}_{O'O} = U_p(-0,5 + j0,866) - U_p(-0,2 + j0,6) = U_p(-0,3 - j0,266)$$

$$\rightarrow U'_C = U_p \sqrt{0,3^2 + 0,266^2} \approx 0,4U_p$$

Ta thấy $U'_B > U'_C$ nên bóng đèn pha B sáng hơn bóng đèn pha C, điện áp ở các pha tải khác điện áp ở pha nguồn



4.7.3. Cách giải mạch điện ba pha tải nối hình tam giác không đối xứng:

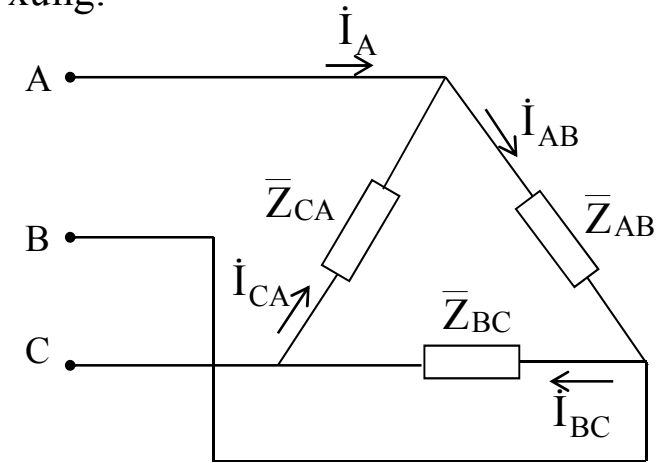
Trường hợp tải không đối xứng nối hình tam giác:

Nếu không xét tổng trở của các dây dẫn pha, điện áp đặt trên các pha tải là điện áp dây nguồn, ta có dòng điện trong các pha tải được tính như sau:

$$\dot{I}_{AB} = \frac{\dot{U}_{AB}}{\bar{Z}_{AB}} ; I_{AB} = \frac{U_{AB}}{Z_{AB}}$$

$$\dot{I}_{BC} = \frac{\dot{U}_{BC}}{\bar{Z}_{BC}} ; I_{BC} = \frac{U_{BC}}{Z_{BC}}$$

$$\dot{I}_{CA} = \frac{\dot{U}_{CA}}{\bar{Z}_{CA}} ; I_{CA} = \frac{U_{CA}}{Z_{CA}}$$



Áp dụng định luật Kirhof 1 tại từng nút, ta có các dòng điện dây:

$$\dot{I}_A = \dot{I}_{AB} - \dot{I}_{CA}$$

$$\dot{I}_B = \dot{I}_{BC} - \dot{I}_{AB}$$

$$\dot{I}_C = \dot{I}_{CA} - \dot{I}_{BC}$$

Nếu xét cả tổng trở của các dây dẫn pha, ta biến đổi tương đương tải nối hình tam giác thành hình sao, rồi giải như bài toán mạch điện ba pha tải nối hình sao không đối xứng

4.7. Cách nối nguồn và tải trong mạch ba pha

Nguồn điện và tải ba pha đều có thể nối hình sao hoặc hình tam giác, tùy theo điều kiện cụ thể như điện áp quy định của thiết bị, điện áp của mạng điện và các yêu cầu kỹ thuật khác.

4.7.1. Cách nối nguồn điện:

- Các nguồn điện dùng trong sinh hoạt thường nối thành hình sao có dây trung tính với ưu điểm có thể cung cấp hai điện áp khác nhau: điện áp pha và điện áp dây
- Hiện tại ở nước ta vẫn tồn tại 2 loại mạng điện 380V/220V ($U_d = 380V$; $U_p = 220V$) và mạng 220V/127V ($U_d = 220V$; $U_p = 127V$)

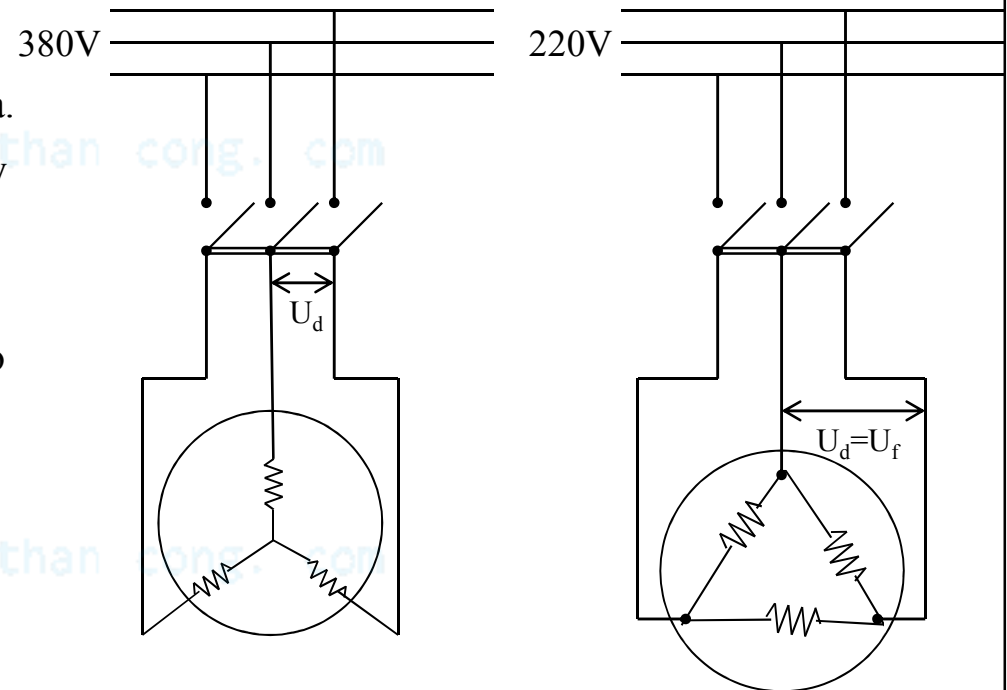
4.7.2. Cách nối động cơ điện ba pha:

Mỗi động cơ điện ba pha gồm có ba dây quấn pha. Khi thiết kế người ta đã quy định điện áp cho mỗi dây quấn. Lúc động cơ làm việc yêu cầu phải đúng với điện áp quy định ấy. Do đó, tùy theo điện áp lưới và yêu cầu của dây quấn động cơ mà động cơ nối sao hay tam giác.

Ví dụ: nhãn hiệu động cơ ghi: $\Delta/Y-220/380V$
(điện áp quy định cho mỗi pha dây quấn là 220V)

Nếu mạng điện 380V, động cơ phải nối sao

Nếu mạng điện 220V, động cơ phải nối tam giác



4.7.3. Cách nối các tải một pha:

- Tùy thuộc vào điện áp quy định lúc thiết kế cho tải một pha để nối tải vào mạng điện 3 pha.
- VD: động cơ một pha điện áp 220V, bóng đèn 220V lúc làm việc ở mạng điện 380/220V thì phải nối giữa dây pha với dây trung tính, lúc làm việc ở mạng điện 220/127V thì phải nối vào hai dây pha
- Trong thực tế điện áp đặt lên thiết bị sinh hoạt

là điện áp pha (điện áp giữa dây pha và dây trung tính). Nhờ có dây trung tính nên mặc dù điện áp đặt lên các thiết bị không vượt quá điện áp pha, và khi cầu chì pha nào cháy thì chỉ có thiết bị của pha đó không hoạt động.

