



CHƯƠNG 5: Tính toán về điện trong cung cấp điện

Tiến sĩ Nguyễn Đức Tuyên

MỤC LỤC CHƯƠNG 5

I. Khái niệm chung

II. Sơ đồ thay thế của hệ thống cung cấp điện

- a. Sơ đồ thay thế đường dây
- b. Sơ đồ thay thế của máy biến áp 2 cuộn dây

III. Tính toán chỉ tiêu kỹ thuật

- a. Tổn thất điện áp
- b. Tổn thất công suất và điện năng

IV. Tính toán chế độ xác lập trong các lưới điện hở

- a. Thiết lập bài toán
- b. Tính toán lưới điện không xét đến tổng dẫn đường dây
- c. Tính toán lưới điện hở có xét đến dung dẫn đường dây

V. Tính toán về điện trong lưới điện có nhiều cấp điện áp

I. Khái niệm chung tính toán về điện

□ Ý nghĩa tính toán về điện

- ✓ Đóng vai trò quan trọng trong thiết kế và vận hành HTCCĐ
- ✓ Xác định các thông số chế độ của hệ thống cung cấp điện
 - Điện áp tại các nút
 - Dòng công suất trên tất cả các nhánh của sơ đồ
- ✓ Tùy mục đích, tính toán có độ chính xác khác nhau

□ Các bài toán được giải quyết:

- ✓ Xác định tổn thất công suất, tổn thất điện năng trong các phần tử trong lưới điện (P)
- ✓ Lựa chọn thiết diện dây dẫn và cáp (F)
- ✓ Kiểm tra tổn thất điện áp, điều chỉnh điện áp và bù công suất phản kháng trong lưới điện (Q)
- ✓ Đánh giá chỉ tiêu kinh tế kỹ thuật của hệ thống (Z)

II. Sơ đồ thay thế đường dây

❑ Lập sơ đồ thay thế đường dây là việc đầu tiên của việc tính toán về điện.

❖ Lập sơ đồ bao gồm:

- Lựa chọn sơ đồ thay thế cho mỗi phần tử của lưới và tính toán các thông số của chúng.
- Lắp các sơ đồ thay thế của từng phần tử theo đúng trình tự chúng nối với nhau trong lưới.
- Quy đổi tất cả các thông số về cùng một cấp điện áp.

2. Sơ đồ thay thế đường dây

□ Bốn quá trình vật lý trong dây dẫn:

- Dây dẫn bị phát nóng do hiệu ứng Joule
- Dòng điện xoay chiều gây nên từ trường tự cảm của từng dây dẫn và hồ cảm giữa các dây dẫn với nhau
- Điện áp xoay chiều gây nên điện trường giữa các dây dẫn với nhau và với đất như các bản của tụ điện. Dưới tác dụng của điện trường tĩnh, trong điện môi quanh dây dẫn xuất hiện dòng điện dịch chuyển (dòng nạp) có tính điện dung I_{c0} , vượt trước điện áp pha 90° .
- Điện áp cao áp gây ra điện trường lớn trên bề mặt dây dẫn, có thể gây ra hiện tượng ion hóa không khí quanh dây dẫn hay còn gọi là hiện tượng vầng quang điện dẫn đến tổn hao công suất tác dụng trên đường dây.

3. Tính toán các thông số đường dây

□ Điện trở dây dẫn

Dòng 1 chiều qua → mật độ dòng phân bố đều. *Điện trở tác dụng một chiều* của 1km dây dẫn ở nhiệt độ tiêu chuẩn (20°C)

$$r_0 = \frac{\rho}{F} \left[\frac{\Omega}{km} \right]$$

- ❖ ρ : Điện trở suất dây dẫn [$\Omega \cdot mm^2 / km$], F: Thiết diện [mm^2]
- ❖ Nhiệt độ khác 20°C: $r_T = r_0 \cdot [1 + \alpha \cdot (T - 20)]$ [Ω / km]
- ❖ α [1/°C]: hệ số nhiệt của điện trở (4.10⁻⁴ đồng, nhôm, nhôm lõi thép)
 - Dòng xoay chiều qua dây dẫn → mật độ dòng không đều (hiệu ứng bề mặt và hiệu ứng gần từ dây dẫn khác) → $r_{xc} > r_{1c}$. Tuy nhiên, ở 50Hz khác nhau không đáng kể (1%)
 - r_0 **tra sổ tay** (thường khác tính toán 6÷10% do dây bị vặn xoắn, chiều dài thực lớn hơn chiều dài đo từ 2÷3%)
 - Điện trở dây dẫn có độ dài l: $R = r_0 \cdot l$ [Ω]

3. Tính toán các thông số đường dây

❑ Điện kháng dây dẫn

✓ Do tự cảm từng pha và hồ cảm các pha dây dẫn

$$x_0 = \omega \cdot L_0 = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot \left(4,6lg \frac{D_{tb}}{R} + 0,5 \cdot \mu \right) \cdot 10^{-4} \left[\frac{\Omega}{km} \right]$$

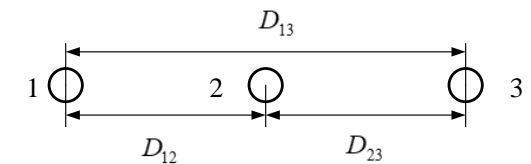
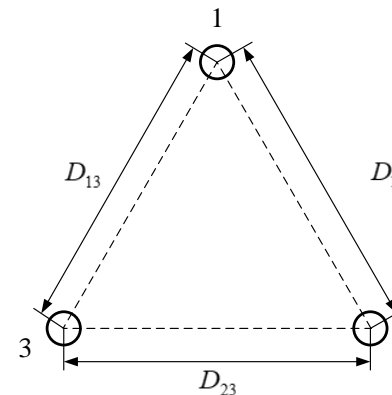
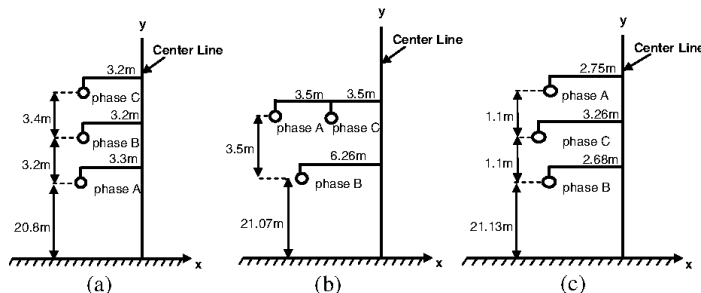
❖ μ : Hệ số dẫn từ của vật liệu làm dây dẫn (H/m)

❖ R: Bán kính ngoài của dây dẫn (mm)

❖ $D_{tb} = \sqrt[3]{D_{12} \cdot D_{13} \cdot D_{23}}$: K/c t/bình hình học giữa các dd (mm)

✓ Ba pha đỉnh tam giác đều: $D_{12} = D_{13} = D_{23} = D \Rightarrow D_{tb} = D$

✓ Ba pha đặt nằm ngang: $D_{12} = D_{13} = D \Rightarrow D_{tb} = \sqrt[3]{2}D = 1,26D$



3. Tính toán các thông số đường dây

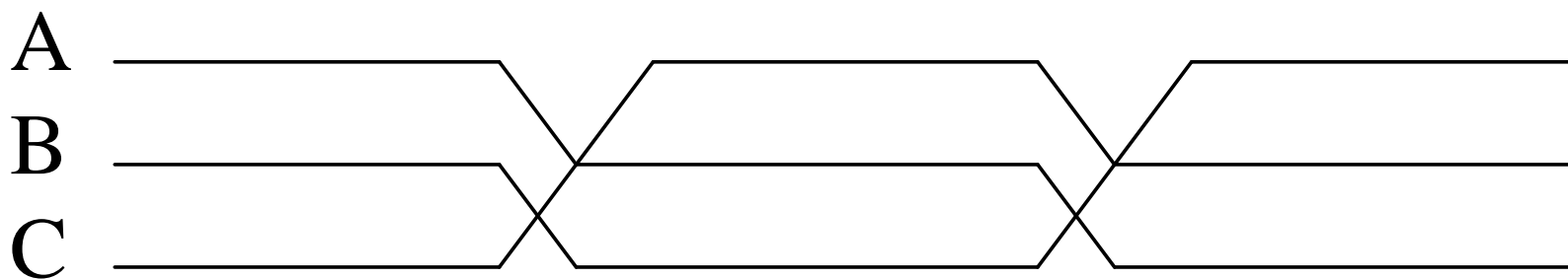
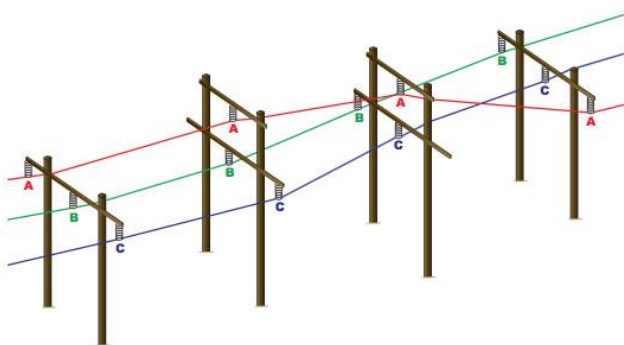
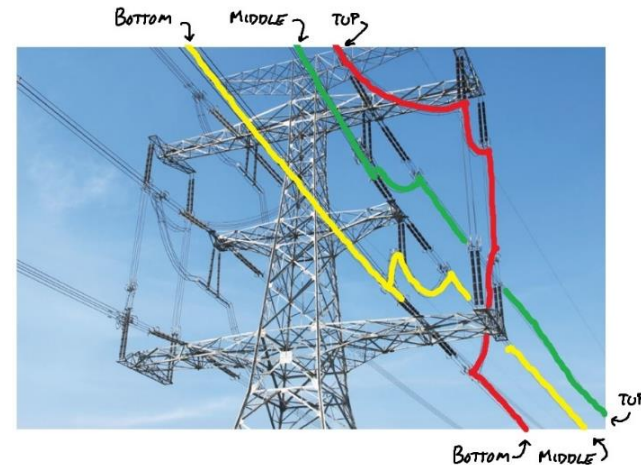
□ Điện kháng dây dẫn

✓ x_0 tra sổ tay $\rightarrow X = x_0 \cdot l$ [Ω].

- Đz trên không trung áp trở lên: sơ bộ $x_0 = 0,4 \Omega/\text{km}$
- Cáp: $x_0 = (0,08 \div 0,1) \Omega/\text{km}$

✓ Nếu dây dẫn bố trí không đối xứng \rightarrow điện kháng các pha khác nhau \rightarrow điện áp rơi các pha cũng khác nhau.

\rightarrow Hoán vị các pha (110kV, 220kV, 100 km hoán vị 3 lần)



3. Tính toán các thông số đường dây

□ Điện kháng dây dẫn

- ✓ Giảm $x_0 \rightarrow$ giảm D_{tb} hoặc tăng R
 - Giảm D_{tb} : chỉ đến mức độ nhất định phụ thuộc cấp điện áp
 - Tăng R : Lưới ≥ 110 kV, phân nhỏ dân dẫn pha

$$x_0 = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot \left(4,6lg \frac{D_{tb}}{R_{dt}} + \frac{0,5}{n} \cdot \mu \right) \cdot 10^{-4} \left[\frac{\Omega}{km} \right]$$

- $R_{dt} = \sqrt[n]{R \cdot a_{tb}^{n-1}}$; $a_{tb} = \sqrt[n]{a_1 \cdot a_2 \dots a_n}$; n : số dây dẫn trong 1 pha
- R_{dt} : bán kính đẳng trị của các dây dẫn trong 1 pha
- a_{tb} : K/c t/bình hình học giữa các dây dẫn trong 1 pha
- a_1, a_2, \dots, a_n : khoảng cách giữa các dây dẫn trong 1 pha

- ✓ Thực tế, lưới 220 kV phân pha đôi (giảm 15-20%), lưới 500kV phân pha tư

$$R_{dt} = \sqrt[4]{R \cdot a^3}; a_{tb} = \sqrt[n]{a_1 \cdot a_2 \dots a_n} = a$$



3. Tính toán các thông số đường dây

□ Dung dẫn dây dẫn

$$b_0 = \omega \cdot C_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot f \cdot 0,024}{\lg \frac{D_{tb}}{R}} \cdot 10^{-6} = \frac{7,58}{\lg \frac{D_{tb}}{R}} \cdot 10^{-6} [1/\Omega \cdot km]$$

- R : Bán kính ngoài của dây dẫn (mm)
- D_{tb} : Khoảng cách t/bình hình học giữa các dây dẫn (mm)

- ✓ b_0 : tra sổ tay
- ✓ b_0 nhỏ không đáng kể và có thể bỏ qua: với đường dây trên không điện áp từ trung áp trở xuống và cáp hạ áp (<35kV).
- ✓ Khi điện áp dây U đặt vào đường dây (điện áp pha U_d), dung dẫn sẽ sinh ra một lượng công suất phản kháng phát ngược vào đường dây:

$$Q_{co} = 3I_{co} \cdot U_p = 3 U_p \cdot b_0 \cdot U_p = b_0 \cdot U^2 [\text{Var/km}]$$

- ✓ 100km dây 110kV có $Q_c \approx 3\text{MVar}$ và 100km dây 220kV có $Q_c \approx 13\text{MVar}$

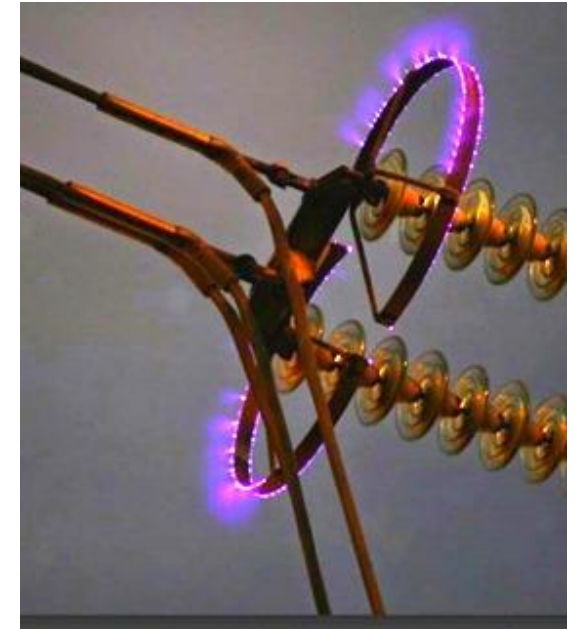
3. Tính toán các thông số đường dây

❑ Điện dẫn dây dẫn

- ✓ Điện dẫn của dây dẫn do tổn thất vàng quang điện gây ra:

$$g_0 = \frac{\Delta P_o}{U_{đm}^2} [1/\Omega. km]$$

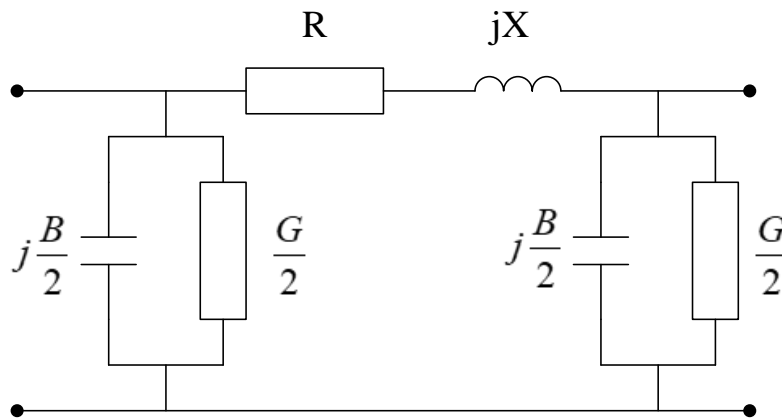
- ΔP_o : Suất tổn thất vàng quang [kW/km]
 - $U_{đm}$: Điện áp định mức của đường dây [V]
-
- ✓ Tổn thất vàng quang rất nhỏ, thường xảy ra ở các đường dây có điện áp lớn (trên 35kV) và trong những khu vực thời tiết xấu
 - ✓ Đường dây trung áp và cáp điện có thể bỏ qua tổn thất này



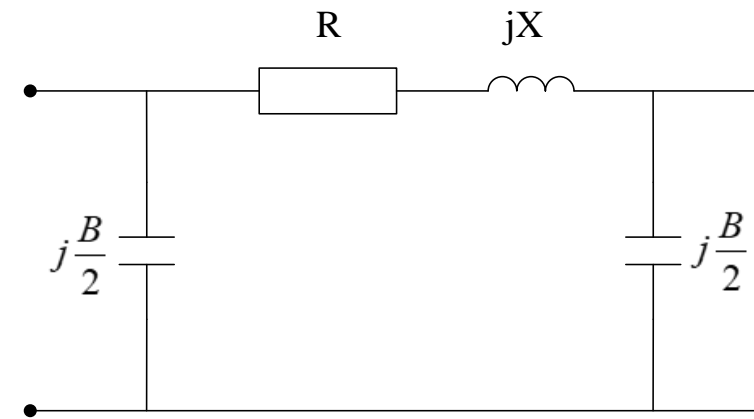
3. Tính toán các thông số đường dây

□ Sơ đồ thay thế tập trung mạng 2 cửa hình π :

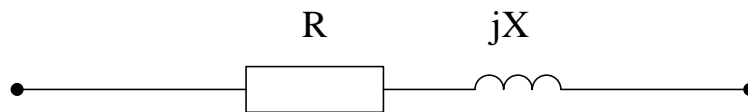
- ✓ Tổng trở: $Z = R + jX$ ($R = r_0.l$, $X = x_0.l$)
- ✓ Tổng dẫn: $Y = G + jB$ ($G = g_0.l$, $B = b_0.l$) chia là $Y/2$ đặt ở hai đầu.



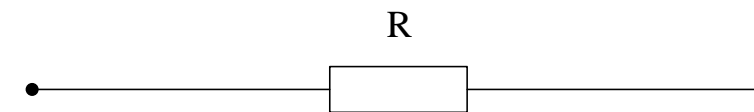
a) Đường dây trên không trên 110kV



b) Đường dây trên không 110kV, đường dây cáp trung áp



c) Đường dây trên không trung áp, đường dây cáp hạ áp



d) Đường dây tải điện 1 chiều

4. Sơ đồ thay thế máy biến áp

□ Các thông số máy biến áp

✓ Tổn hao trong MBA

- ❖ Do phát nhiệt+từ thông rò trên cuộn dây sơ cấp và thứ cấp
- ❖ Do dòng Eddy/Foucault và gây từ hóa lõi thép máy biến áp. Tổn thất trong lõi thép ít phụ thuộc vào tải và coi không đổi

✓ Điện trở tác dụng (R_B)

- ❖ Từ thí nghiệm ngắn mạch máy biến áp

$$R_B = \frac{\Delta P_N}{3I_{dm}^2} = \frac{\Delta P_N \cdot U_{dm}^2}{S_{dm}^2} \cdot 10^3 [\Omega]$$

- U_{dm} [kV]: Điện áp định mức phía lưới điện mà điện trở máy biến áp cần qui đổi về
- S_{dmB} [kVA]: Công suất định mức của máy biến áp
- ΔP_N [kW]: Tổn thất ngắn mạch của máy biến áp

4. Sơ đồ thay thế máy biến áp

□ Các thông số máy biến áp (tiếp)

✓ Điện kháng: $X_B \approx Z_B = \frac{U_N}{I_{đm}} = \frac{\frac{U_N\% \cdot U_{đm}}{100 \cdot \sqrt{3}}}{\frac{S_{đm}}{\sqrt{3} \cdot U_{đm}}} = \frac{U_N\% \cdot U_{đm}^2}{S_{đmB}} \cdot 10 [\Omega]$

- $U_N\%$: Điện áp ngắn mạch % của máy biến áp

✓ Điện dẫn tác dụng: $G_B = \frac{\Delta P_o}{U_{đm}^2} \cdot 10^{-3} \left[\frac{1}{\Omega} \right]$

- ΔP_o [kW]: Tổn thất không tải của máy biến áp

✓ Điện dẫn phản kháng: $\begin{cases} \Delta Q_o \approx U_{đm}^2 B_B \\ \Delta Q_o \approx \Delta S_o \end{cases}$

$$\Rightarrow B_B \approx \frac{\Delta S_o}{U_{đm}^2} = \frac{\sqrt{3} I_o}{U_{đm}} = \frac{\sqrt{3} \cdot \frac{I_o\%}{100} \cdot I_{đm}}{U_{đm}} = \frac{I_o\% \cdot S_{đmB}}{U_{đm}^2} \cdot 10^{-2} \left[\frac{1}{\Omega} \right]$$

- $I_o\%$: Dòng điện không tải của máy biến áp

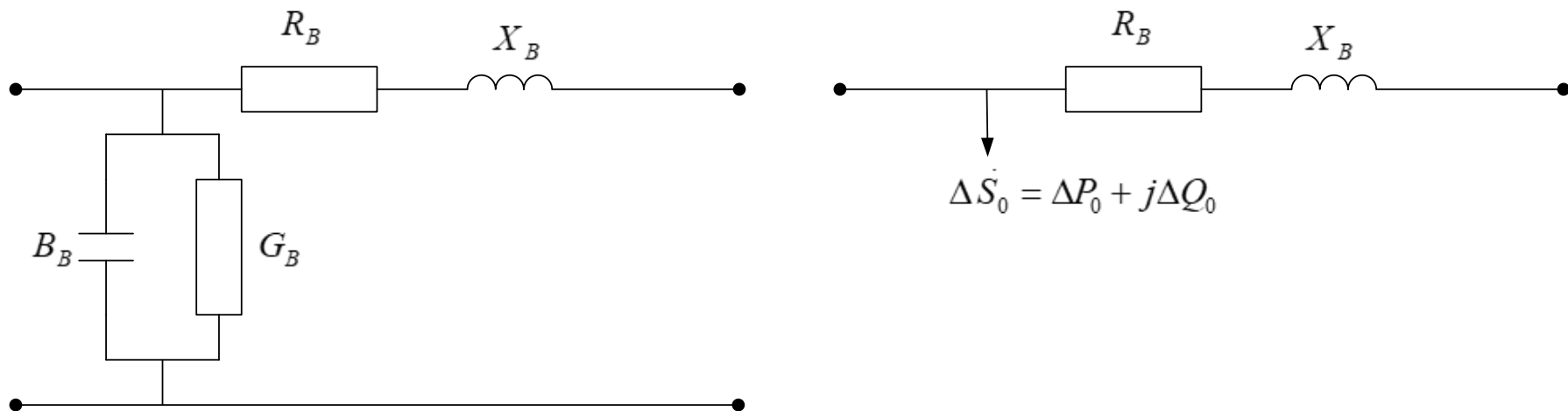
4. Sơ đồ thay thế máy biến áp

□ Sơ đồ thay thế của máy biến áp có dạng hình 7

- ✓ Tổng trở: $Z_B = R_B + jX_B$; Tổng dẫn: $Y_B = G_B + jB_B$
- ✓ Tổn hao không tải ít phụ thuộc công suất tải \rightarrow coi không đổi

$$\Delta Q_o = B_B \cdot U_{dm}^2 = \frac{I_o \% \cdot S_{dmB}}{100} \text{ (kVAr)}$$

- ✓ Sơ đồ thay thế của máy biến áp 2 cuộn dây

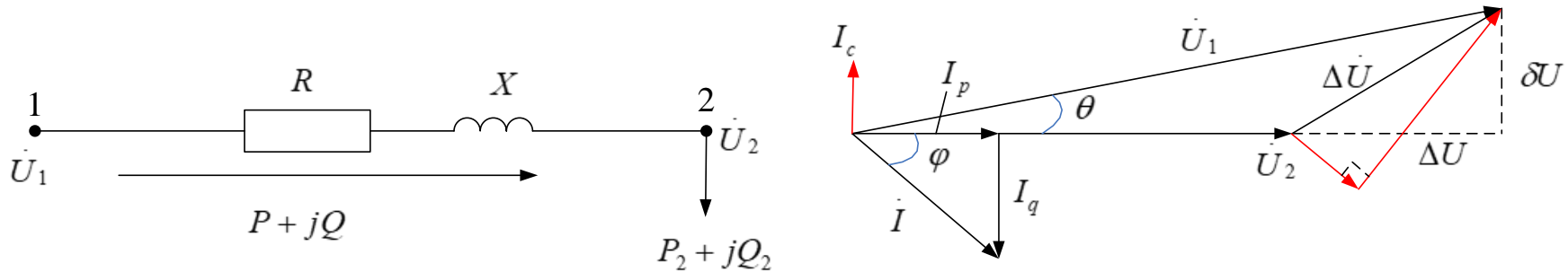


- ✓ (MBA 3 cuộn dây và tự ngẫu ít có ở lưới trung và hạ áp)

5. Tính toán các chỉ tiêu kinh tế kỹ thuật

❑ Tổn thất điện áp

- ❖ Dòng điện qua Đz gây độ rơi điện áp → ĐA đầu và cuối đường dây khác nhau:
 - Độ rơi điện áp là hiệu vectơ điện áp đầu và cuối đường dây.
 - Hao tổn điện áp là hiệu đại số {điện áp đầu và cuối Đz}
- ✓ Trong HTCCĐ, trung áp trở xuống → Chỉ gồm tổng trở:



$$\Delta \dot{U} = \sqrt{3} \cdot \dot{I} \cdot Z = \sqrt{3} \cdot (I_p - j \cdot I_q) \cdot (R + jX) = \sqrt{3} \cdot (I \cdot \cos \varphi - j \cdot I \cdot \sin \varphi) \cdot (R + jX) =$$

$$\sqrt{3} \cdot [(I \cdot \cos \varphi \cdot R + I \cdot \sin \varphi \cdot X) + j(I \cdot \cos \varphi \cdot X - I \cdot \sin \varphi \cdot R)] = \frac{P_2 \cdot R + Q_2 \cdot X}{U_2} + j \frac{P_2 \cdot X - Q_2 \cdot R}{U_2} = \Delta U + j\delta U$$

$$(\text{Tính toán } |\Delta \dot{U}| = \Delta U = \frac{P \cdot R + Q \cdot X}{U_{dm}})$$

5. Tính toán các chỉ tiêu kinh tế kỹ thuật

❑ Tổn thất điện áp (tiếp)

- ✓ Với cùng P, ΔU lớn khi: $\cos\varphi$ thấp, mạng 1 pha, mạng 3 pha mất đối xứng → Biện pháp giảm ΔU :
 - Tăng $\cos\varphi$ (thêm tụ)
 - Tăng F (giảm R)
 - Cân bằng pha
 - Chuyển phụ tải 1pha sang ba pha
 - Giảm tải cho đường dây (Giảm P, Q)
 - Giảm chiều dài đường dây (giảm R)
- ✓ Đz có một phụ tải: $\Delta U = \frac{P.R+Q.X}{U_{dm}} [V]$
 - P, Q: Công suất tác dụng và phản kháng chạy trên đường dây (kW, kVAr)
 - R, X: Điện trở và điện kháng đường dây (Ω)
 - U_{dm} : Điện áp định mức của đường dây (kV)

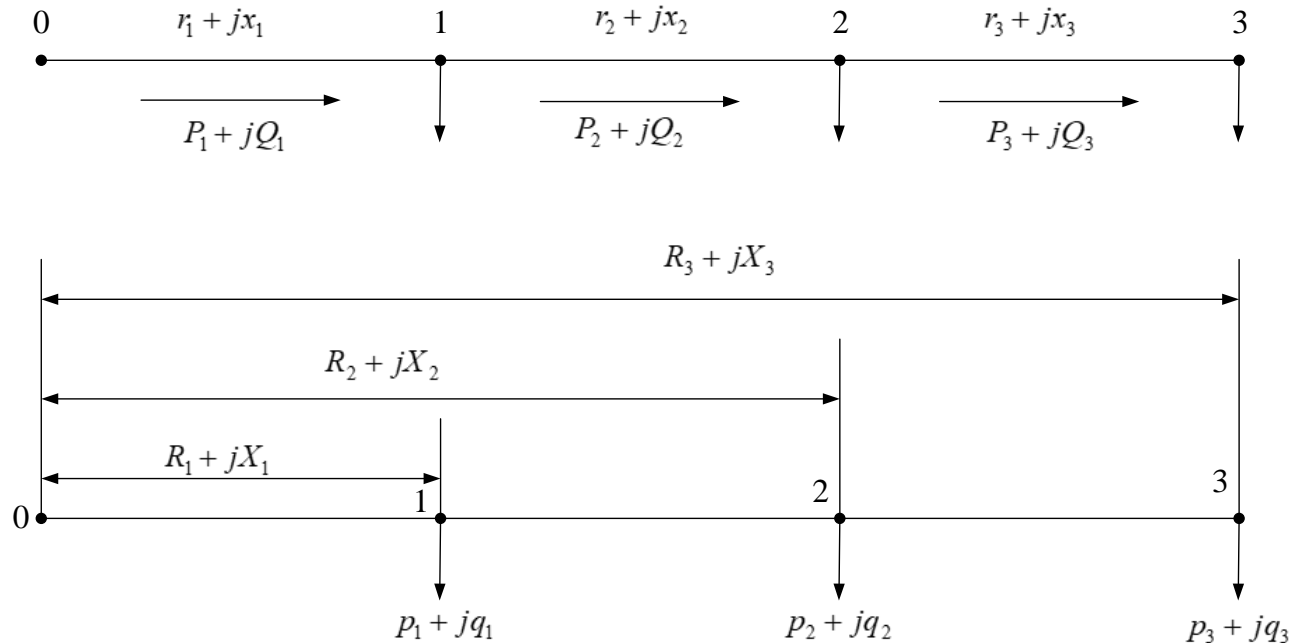
5. Tính toán các chỉ tiêu kinh tế kỹ thuật

❑ Tổn thất điện áp (tiếp)

✓ Đường dây có nhiều phụ tải

$$\Delta U = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i \cdot r_i + Q_i \cdot x_i)}{U_{đm}} [V]$$

$$\Delta U = \frac{\sum_{i=1}^n (p_i \cdot R_i + q_i \cdot X_i)}{U_{đm}} [V]$$



- P_i, Q_i : CSTD và CSPK chạy trên đoạn đường dây thứ i (kW, kVAr)
- p_i, q_i : CSTD và CSPK đoạn đường dây thứ i (Ω)
- r_i, x_i : Điện trở và điện kháng đoạn Dz thứ i (Ω)
- R_i, X_i : Điện trở và điện kháng đoạn Dz từ nút nguồn đến nút tải thứ i (Ω)

5. Tính toán các chỉ tiêu kinh tế kỹ thuật

❑ Tổn thất điện áp (tiếp)

- ✓ Đường dây phụ tải đều
 - Tổng thất do điện trở trên dx :

$$d\Delta U_r = \frac{P_x \cdot dR_x}{U_{đm}} = \frac{P_0 \cdot x \cdot r_0 \cdot dx}{U_{đm}}$$

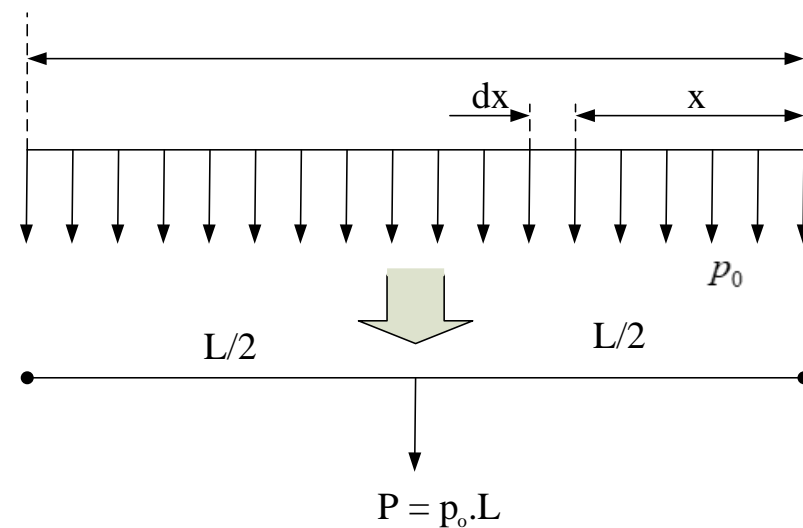
→ Tổng thất toàn tuyến:

$$\Delta U_r = \int_0^L d\Delta U_r = \int_0^L \frac{P_0 \cdot x \cdot r_0 \cdot dx}{U_{đm}} = \frac{P_0 \cdot r_0 \cdot L^2}{2 \cdot U_{đm}} = \frac{P \cdot R}{2 \cdot U_{đm}}$$

- Tổng thất toàn tuyến do điện kháng:

$$\Delta U_x = \frac{Q \cdot X}{2 \cdot U_{đm}} ; \Delta U = \Delta U_r + \Delta U_x = \frac{P \cdot R + Q \cdot X}{2 \cdot U_{đm}}$$

- ❖ Mật độ P_0 (kW/km)
- ❖ Chiều dài đường dây L (km)
- ❖ Điện trở đơn vị là r_0 (Ω)



$$\Delta U_{pbd} = \frac{1}{2} \Delta U_{tt}$$

5. Tính toán các chỉ tiêu kinh tế kỹ thuật

□ Tổn thất điện áp (tiếp)

✓ Kiểm tra tổn thất điện áp

❖ Trong HTCCĐ Trung&Hạ áp: $\Delta U \leq \Delta U_{cp} = 5\% \cdot U_{đm}$

- Đz trực chính: $\Delta U = \sum \Delta U_i \leq \Delta U_{cp}$
- Đz nhiều nhánh: $\Delta U_{max} = \text{Max}(\Delta U_{nhánh}) \leq \Delta U_{cp}$

❖ Hậu quả sai lệch so với $U_{đm}$

- Kém hiệu quả và hiệu suất thấp: Đèn tỏa không đúng quang thông, động cơ quay không đều.
- Ngắt p/tải nhạy cảm: UPS chuyển chạy pin → nhanh hỏng
- Thấp áp: nóng động cơ ($0,9U_{đm} \rightarrow t^{\circ}\text{C}$ tăng 10÷15%)
- Quá áp: hỏng hay phá hủy cách điện, tăng tổn thất không tải MBA do dòng từ hóa lớn ở điện áp cao

5. Tính toán các chỉ tiêu kinh tế kỹ thuật

□ Tổn thất điện áp (tiếp)

✓ Trong máy biến áp

- ❖ Tương tự như tổn thất điện áp trên đường dây có phụ tải tập trung, tổn thất điện áp trong MBA được tính:

$$\Delta U_B \% = \frac{P \cdot R_B + Q \cdot X_B}{U_{dm}^2} \cdot \frac{100}{1000}$$

- P (kW), Q (kVAr): CSTD và CSPK máy biến áp truyền tải
- R_B (Ω), X_B (Ω): điện trở và điện kháng máy biến áp đã được quy đổi về cấp điện áp cơ sở.

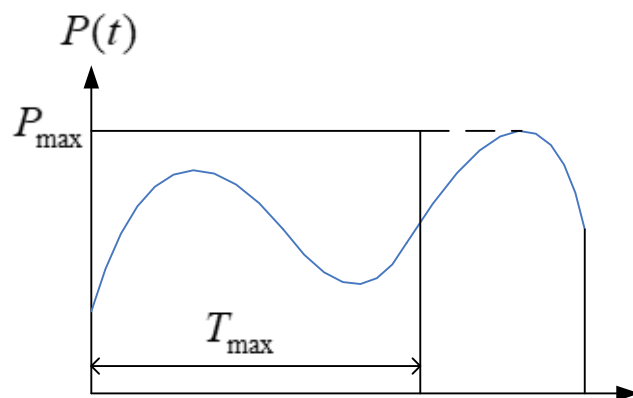
5. Tính toán các chỉ tiêu kinh tế kỹ thuật

❑ Tổn thất công suất và tổn thất điện năng

❖ Thời gian sử dụng công suất lớn nhất T_{max}

$$A(t) = P_{max} \cdot T_{max} = \int_0^{t=8760} P(t) \cdot dt$$

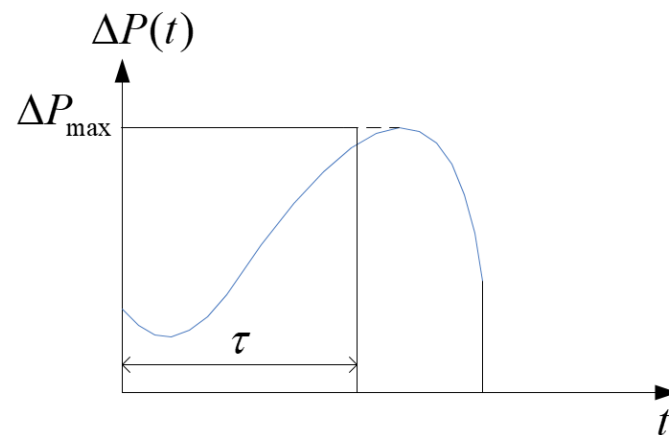
- 1 ca $T_{max} = 1500 \div 2000h$
- 2 ca $T_{max} = 3000 \div 4500h$
- 3 ca $T_{max} = 5000 \div 7000h$



❑ Tổn thất công suất và tổn thất điện năng

❖ Thời gian chịu tổn thất lớn nhất τ

- $\tau = f(T_{max}, \cos\varphi)$ trong sổ tay
- $\tau = (0,124 + T_{max} \cdot 10^{-4})^2 \cdot 8760$ (h)
- 1 ca $\tau = 1500 \div 2000h$
- 2 ca $\tau = 2500 \div 3500h$
- 3 ca $\tau = 4000 \div 5000h$



5. Tính toán các chỉ tiêu kinh tế kỹ thuật

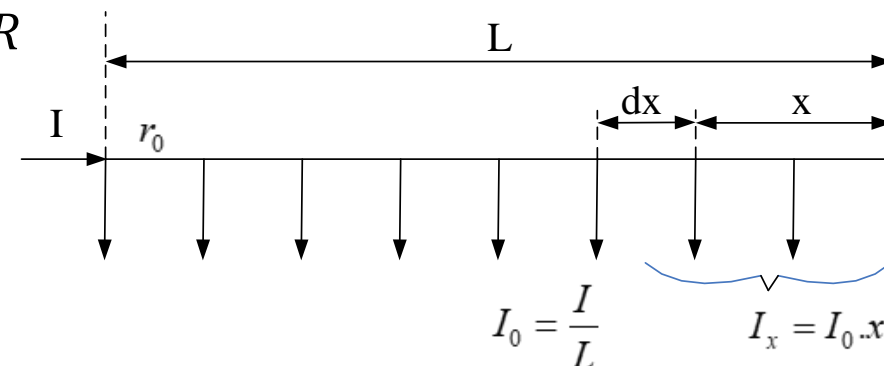
❑ Tổn thất công suất và tổn thất điện năng trên đường dây

❖ Tổn thất công suất

$$\Delta P = 3 \cdot I^2 \cdot R = 3 \cdot \left(\frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{đm}}} \right)^2 \cdot R = \frac{S^2}{U_{\text{đm}}^2} \cdot R = \frac{P^2 + Q^2}{U_{\text{đm}}^2} \cdot R$$

$$\Delta Q = 3 \cdot I^2 \cdot X = \frac{P^2 + Q^2}{U_{\text{đm}}^2} \cdot X$$

$$\rightarrow \Delta S = \Delta P + j\Delta Q = \frac{P^2 + Q^2}{U_{\text{đm}}^2} (R + jX)$$



$$\Delta P_{\text{pbd}} = \frac{1}{3} \Delta P_{\text{tt}}$$

Đz phân bố đều:

$$d(\Delta P) = 3 \cdot I_x^2 \cdot dR_x = 3 \cdot (I_0 \cdot x)^2 \cdot r_0 \cdot dx$$

$$\Delta P = \int_0^L d(\Delta P) = \int_0^L 3 \cdot (I_0 \cdot x)^2 \cdot r_0 \cdot dx = I_0^2 \cdot r_0 \cdot L^3 = I^2 \cdot R$$

❖ Tổn thất điện năng trên đường dây

$$\Delta A = \Delta P \cdot \tau \text{ (kWh)}$$

5. Tính toán các chỉ tiêu kinh tế kỹ thuật

❑ Tổng thất công suất và tổn thất điện năng trên đường dây

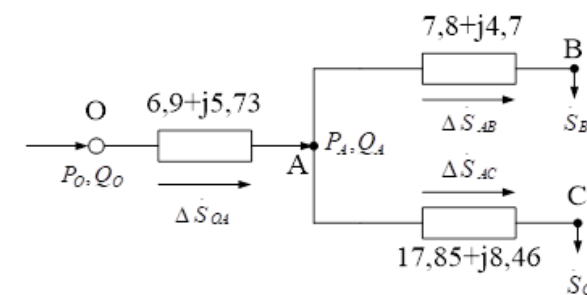
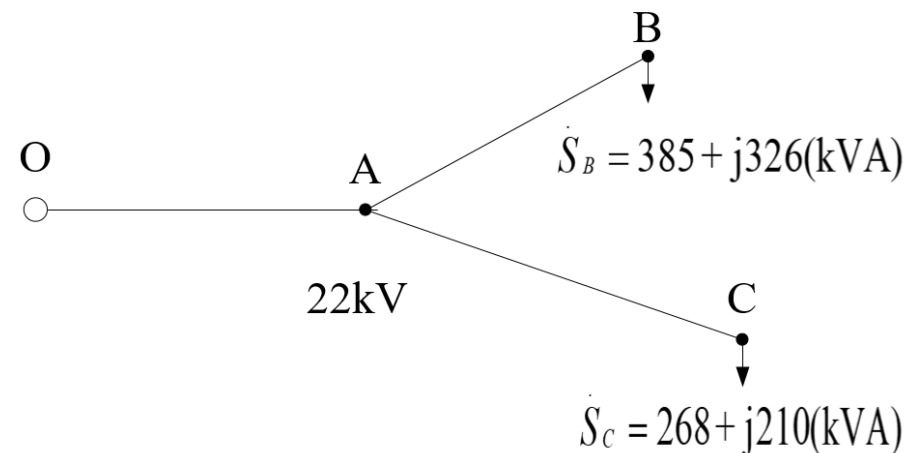
❖ Ví dụ

Đoạn dây	OA	AB	AC
Dây dẫn AC	70	50	35
Chiều dài (km)	15	12	21

❖ Giải

Đoạn dây	OA	AB	AC
r_0 (Ω/km)	0,46	0,65	0,85
x_0 (Ω/km)	0,382	0,392	0,403
$R(\Omega)$	6,9	7,8	17,85
$X(\Omega)$	5,73	4,7	8,46

$$\begin{aligned}
 \bullet \Delta P_{AB} &= \frac{P_B^2 + Q_B^2}{U_{dm}^2} \cdot R_{AB} = \frac{385^2 + 326^2}{22^2} \cdot 7,8 = 4101 \text{ (W)} \\
 \bullet \Delta Q_{AB} &= \frac{P_B^2 + Q_B^2}{U_{dm}^2} \cdot X_{AB} = \frac{385^2 + 326^2}{22^2} \cdot 4,7 = 2474 \text{ (VAr)} \\
 \bullet \Delta P_{AC} &= \frac{P_C^2 + Q_C^2}{U_{dm}^2} \cdot R_{AC} = \frac{268^2 + 210^2}{22^2} \cdot 17,85 = 4275 \text{ (W)} \\
 \bullet \Delta Q_{AC} &= \frac{P_C^2 + Q_C^2}{U_{dm}^2} \cdot X_{AC} = \frac{268^2 + 210^2}{22^2} \cdot 8,46 = 2067 \text{ (VAr)}
 \end{aligned}$$



5. Tính toán các chỉ tiêu kinh tế kỹ thuật

$$P_A = P_B + \Delta P_{AB} + P_C + \Delta P_{AC} = 385 + 4,101 + 268 + 4,275 = 661,4(kW)$$

$$Q_A = Q_B + \Delta Q_{AB} + Q_C + \Delta Q_{AC} = 326 + 2,474 + 210 + 2,067 = 540,5(kVAr)$$

$$\Delta P_{OA} = \frac{P_A^2 + Q_A^2}{U_{dm}^2} \cdot R_{OA} = \frac{661,4^2 + 540,5^2}{22^2} \cdot 6,9 = 10401(W)$$

$$\Delta Q_{OA} = \frac{P_A^2 + Q_A^2}{U_{dm}^2} \cdot X_{OA} = \frac{661,4^2 + 540,5^2}{22^2} \cdot 5,73 = 8637 (VAr)$$

$$P_O = P_A + \Delta P_{OA} = 661,4 + 10,4 = 671,8 (kW)$$

$$Q_O = Q_A + \Delta Q_{OA} = 540,5 + 8,6 = 549,1 (kVAr)$$

❖ Tổn thất điện áp:

$$\Delta U_{AB} = \frac{P_B \cdot R_{AB} + Q_B \cdot X_{AB}}{U_{dm}} = \frac{385 \cdot 7,8 + 326 \cdot 4,7}{22} = 206 (V)$$

$$\Delta U_{AC} = \frac{P_C \cdot R_{AC} + Q_C \cdot X_{AC}}{U_{dm}} = \frac{268 \cdot 17,85 + 210 \cdot 8,46}{22} = 298 (V)$$

$$\Delta U_{OA} = \frac{P_A \cdot R_{OA} + Q_A \cdot X_{OA}}{U_{dm}} = \frac{661,4 \cdot 6,9 + 540,5 \cdot 5,73}{22} = 348 (V)$$

❖ Điện áp các nút:

$$U_A = U_{dm} - \Delta U_{OA} = 22000 - 348 = 21652 (V)$$

$$U_B = U_A - \Delta U_{AB} = 21652 - 206 = 21446 (V)$$

$$U_C = U_A - \Delta U_{AC} = 21652 - 298 = 21354 (V)$$

5. Tính toán các chỉ tiêu kinh tế kỹ thuật

□ Tổn thất công suất và tổn thất điện năng trong MBA

TTCS không tải: $\Delta S_0 = \Delta P_0 + j\Delta Q_0 = \Delta P_0 + j \frac{I_0 \% \cdot S_{\text{đmB}}}{100}$

TTCS có tải: $\Delta S_t = k_t^2 \cdot \Delta P_N + jk_t^2 \cdot \Delta Q_N = k_t^2 \cdot \Delta P_N + jk_t^2 \cdot \frac{U_N \% \cdot S_{\text{đmB}}}{100}$

- $k_t = \frac{S_t}{S_{\text{đm}}}$: Hệ số tải
- S_t : Công suất tải của máy biến áp trong thời gian t

Tổn thất điện năng: $\Delta A_T = \Delta P_0 \cdot t + \Delta P_N \left(\frac{S_{t\text{max}}}{S_{\text{đmB}}} \right)^2 \cdot \tau$

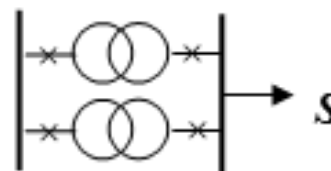
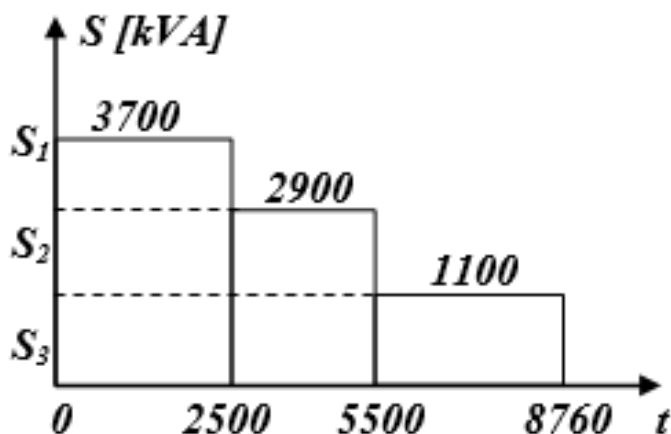
- t : thời gian vận hành thực tế của máy biến áp (h)
- τ : thời gian chịu tổn thất lớn nhất (h)
- $S_{t\text{max}}$: công suất tải cực đại (kVA)

Có n MBA song song: $\Delta A_T = n \cdot \Delta P_0 \cdot t + \frac{1}{n} \Delta P_N \left(\frac{S_{t\text{max}}}{S_{\text{đmB}}} \right)^2 \cdot \tau$

5. Tính toán các chỉ tiêu kinh tế kỹ thuật

❑ Tổn thất công suất và tổn thất điện năng trong MBA

- ❖ Hãy xác định tổn thất điện năng và chi phí về tổn thất điện năng trong 1 năm của trạm biến áp theo 2 trường hợp. Các thông số kỹ thuật của máy biến áp cho bên dưới.
- ✓ Xác định tổn thất điện năng và chi phí về tổn thất điện năng trong một năm của trạm theo đồ thị phụ tải dưới. Biết rằng trạm thực hiện vận hành kinh tế.
 - ✓ Xác định tổn thất điện năng và chi phí về tổn thất điện trong một năm của trạm theo phụ tải cực đại và τ . Biết rằng phụ tải của trạm cho bằng $S_{max} = 3700 \text{ kVA}$ và $\tau = 2550 \text{ giờ/năm}$, (trạm luôn vận hành 2 máy).



$$\begin{aligned} S_{dmB} &= 2000 \text{ kVA}; & U_{dm} &= 35/10 \text{ kV} \\ \Delta P_0 &= 4,8 \text{ kW}; & I_0\% &= 1,5 \% \\ \Delta P_N &= 20 \text{ kW}; & u_N\% &= 6 \% \\ C &= 1200 \text{ đ/kWh} \end{aligned}$$

5. Tính toán các chỉ tiêu kinh tế kỹ thuật

□ Tổng thất công suất và tổn thất điện năng trong MBA

- Mốc thời gian $t_1 = 2500$ (giờ); $t_2 = 3000$ (giờ); $t_3 = 3260$ (giờ)
- Trạm vận hành kinh tế khi tính chuyển từ n máy sang $n+1$:

$$S_{gh} = S_{dm} \cdot \sqrt{\frac{\Delta P_0}{\Delta P_N} \cdot n \cdot (n + 1)} = 2000 \sqrt{\frac{4,8}{20} \cdot 1 \cdot (1 + 1)} = \mathbf{1385,6 \text{ (kVA)}}$$

- Điều này có nghĩa là nếu phụ tải vượt mức 1385,6 kVA thì nên vận hành 2 máy biến áp và ngược lại => Số máy vận hành tại các điểm $t_1; t_2; t_3$ là: $n_1 = 2; n_2 = 2; n_3 = 1$

$$\Delta A_{tram1} = 2\Delta P_0(t_1 + t_2) + \Delta P_N \left(\frac{S_1}{S_{dm}}\right)^2 \cdot t_1 + \frac{1}{2} \cdot \Delta P_N \cdot \left(\frac{S_2}{S_{dm}}\right)^2 \cdot t_2 + \Delta P_0 t_3 + \Delta P_N \cdot \left(\frac{S_3}{S_{dm}}\right)^2 \cdot t_3 =$$

252 945,50 (kWh/năm)

- Tiền tổn thất điện năng của trạm

$$C_{\Delta A_1} = \Delta A_{tram1} \times C = 252945,50 \times 1200 = \mathbf{303\,534\,600 \text{ (đồng/năm)}}$$

5. Tính toán các chỉ tiêu kinh tế kỹ thuật

❑ Tổng thất công suất và tổn thất điện năng trong MBA

❖ Trong trường hợp trạm chỉ vận hành với 2 máy cả năm:

Trạm chỉ vận hành 2 máy với $S_{max} = 3700$ (kVA) và $\tau = 2550$ (giờ)

$$\Delta A_{tram2} = 2 \cdot \Delta P_0 \cdot 8760 + \frac{1}{2} \Delta P_N \cdot \left(\frac{S_{max}}{S_{đm}} \right)^2 \cdot \tau = 2 \times 4,8 \times 8760 + 0,5 \times 20 \times \left(\frac{3700}{2000} \right)^2 \times 2550 =$$

171 369,75 (kWh/năm).

Tiền tổn thất điện năng của trạm

$$C_{\Delta A_2} = \Delta A_{tram2} \cdot C = 171\,369,5 \times 1200 = \mathbf{205\,643\,700 \text{ (đồng/năm)}}$$

6. Tính toán chế độ xác lập trong lưới điện hở

□ Thiết lập bài toán

❖ Đặc điểm lưới điện hở

- Lưới điện có một nguồn cấp
- Sơ đồ hình tia, liên thông (phân nhánh) hoặc hỗn hợp

❖ Số liệu ban đầu

- Sơ đồ lưới điện
- Các thông số của đường dây và máy biến áp
- Điện áp nguồn U_0
- Công suất các nút phụ tải

❖ Nhiệm vụ tính toán

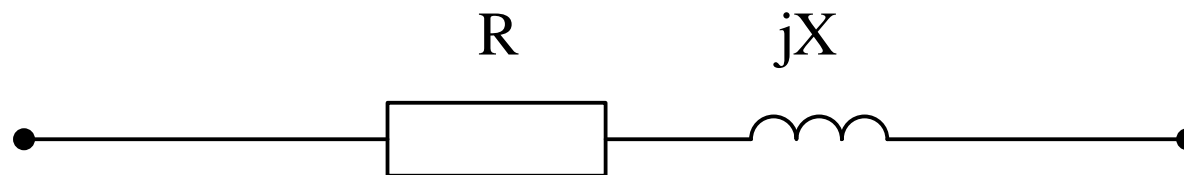
- Xác định dòng điện và công suất chạy trên các nhánh của lưới điện
- Xác định tổn thất công suất trên các nhánh của lưới điện
- Xác định tổn thất điện áp các nhánh và điện áp các nút lưới điện

6. Tính toán chế độ xác lập trong lưới điện hờ

□ Tính toán lưới điện không xét đến tổng dẫn đường dây (lưới phân phối điện)

❖ Các giả thiết tính toán:

✓ Sơ đồ thay thế chỉ xét thành phần điện trở R và điện kháng X đường dây



✓ **Áp dụng:** Các loại lưới điện áp dụng sơ đồ này là đường dây trên không, trung và hạ áp, cáp điện hạ áp.

✓ Khi xác định phân bố dòng công suất tác dụng và phản kháng: **không tính tổn thất công suất** trên phân tử lưới điện.

✓ Khi xác định tổn thất công suất và tổn thất điện áp, coi điện áp các nút bằng điện áp định mức của lưới điện

6. Tính toán chế độ xác lập trong lưới điện hở

❑ Tính toán lưới điện không xét đến tổng dẫn (Dung dẫn+Điện dẫn) đường dây (lưới phân phối điện)

❖ Trình tự tiến hành:

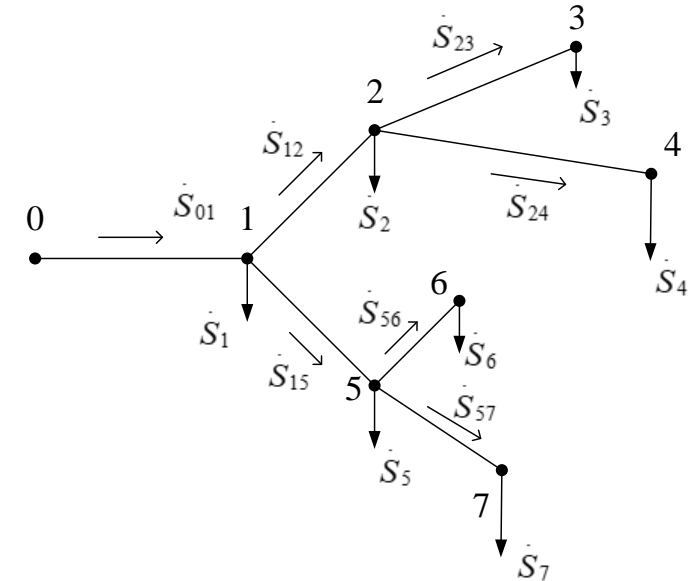
✓ Lập sơ đồ thay thế

✓ Tính phân bố dòng công suất: (Bỏ qua tổn thất)

- $\dot{S}_{23} = \dot{S}_3; \dot{S}_{24} = \dot{S}_4; \dot{S}_{12} = \dot{S}_2 + \dot{S}_{23} + \dot{S}_{24} = \dot{S}_2 + \dot{S}_3 + \dot{S}_4$
- $\dot{S}_{56} = \dot{S}_6; \dot{S}_{57} = \dot{S}_7; \dot{S}_{15} = \dot{S}_5 + \dot{S}_{56} + \dot{S}_{57} = \dot{S}_5 + \dot{S}_6 + \dot{S}_7$
- $\dot{S}_{01} = \dot{S}_1 + \dot{S}_{12} + \dot{S}_{15} = \dot{S}_1 + \dot{S}_2 + \dot{S}_3 + \dot{S}_4 + \dot{S}_5 + \dot{S}_6 + \dot{S}_7$

❖ Tính tổn thất công suất và tổn thất điện áp (dùng $U_{đm}$):

$$\begin{cases} \Delta \dot{S}_{ij} = \Delta P_{ij} + j \cdot \Delta Q_{ij} = \frac{S_{ij}^2}{U_{đm}^2} \cdot (R_{ij} + j \cdot X_{ij}) = \frac{P_{ij}^2 + Q_{ij}^2}{U_{đm}^2} \cdot (R_{ij} + j \cdot X_{ij}) \\ \Delta U_{ij} = \frac{P_{ij} \cdot R_{ij} + Q_{ij} \cdot X_{ij}}{U_{đm}} \end{cases}$$



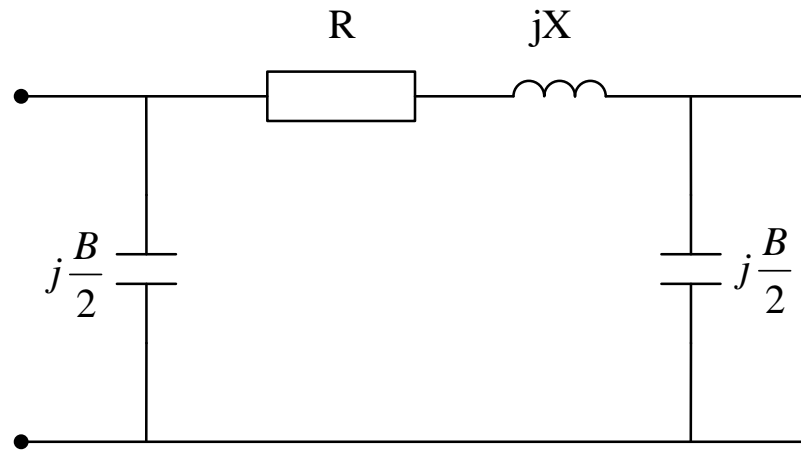
❖ Từ U_0 của nguồn \rightarrow Tính điện áp các nút: $U_j = U_i - \Delta U_{ij}$

6. Tính toán chế độ xác lập trong lưới điện hở

□ Tính toán lưới điện hở có xét đến **dung dẫn** đường dây

❖ Giả thiết tính toán

- ✓ Sơ đồ thay thế có xét thành phần điện trở, điện kháng và **dung dẫn** đường dây



- ✓ **Áp dụng:** Các loại lưới điện áp dụng sơ đồ này là đường dây trên không 110kV và 220kV, cáp điện trung áp.
- ✓ Khi xác định phân bố dòng công suất tác dụng và phản kháng:
 - Có tính đến tổn thất công suất trên các phần tử lưới điện
 - Vẫn coi điện áp các nút bằng điện áp định mức lưới điện

6. Tính toán chế độ xác lập trong lưới điện hồ

□ Tính toán lưới điện hồ có xét đến dung dẫn đường dây

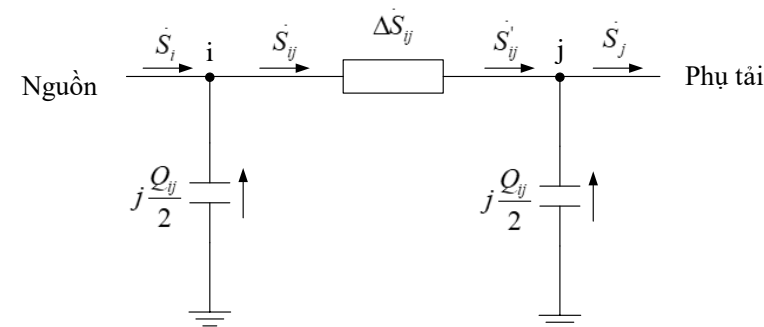
❖ Trình tự tiến hành:

1. Tính phân bố công suất trên các nhánh:

$$\begin{cases} \dot{S}'_{ij} = \dot{S}_j - j \frac{Q_{ij}}{2} \text{ với } Q_{ij} = B_{ij} \cdot U_{\text{đm}}^2 \\ \dot{S}_{ij} = \dot{S}'_{ij} + \Delta \dot{S}_{ij} \text{ với } \Delta \dot{S}_{ij} = \frac{\dot{S}'_{ij}{}^2}{U_{\text{đm}}^2} \cdot (R_{ij} + j \cdot X_{ij}) = \frac{P_{ij}'^2 + Q_{ij}'^2}{U_{\text{đm}}^2} \cdot (R_{ij} + j \cdot X_{ij}) \\ \dot{S}_i = \dot{S}_{ij} - j \frac{Q_{ij}}{2} \end{cases}$$

2. Xác định tổn thất điện áp và điện áp các nút:

$$\begin{cases} \Delta \dot{U}_{01} = \frac{P_{01} \cdot R_{01} + Q_{01} \cdot X_{01}}{U_0} + j \frac{P_{01} \cdot X_{01} - Q_{01} \cdot R_{01}}{U_0}; \dot{U}_1 = \dot{U}_0 - \Delta \dot{U}_{01} \\ \Delta \dot{U}_{ij} = \frac{P_{ij} \cdot R_{ij} + Q_{ij} \cdot X_{ij}}{U_i} + j \frac{P_{ij} \cdot X_{ij} - Q_{ij} \cdot R_{ij}}{U_i}; \dot{U}_j = \dot{U}_i - \Delta \dot{U}_{ij} \end{cases} \quad (\text{Nút } i \text{ gần nguồn hơn nút } j)$$

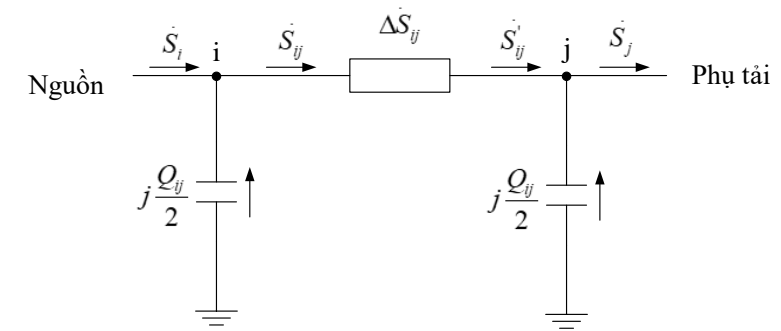


6. Tính toán chế độ xác lập trong lưới điện hờ

□ Tính toán lưới điện hờ có xét đến dung dẫn đường dây

3. Nếu biết điện áp nút phụ tải \rightarrow Tính chính xác (thay $U_{đm}$ bằng U_j)

$$\begin{cases} \Delta \dot{S}_{ij} = \frac{S_{ij}^2}{U_j^2} \cdot (R_{ij} + j \cdot X_{ij}) = \frac{P_{ij}^2 + Q_{ij}^2}{U_j^2} \cdot (R_{ij} + j \cdot X_{ij}) \\ \Delta \dot{U}_{ij} = \frac{P_{ij} \cdot R_{ij} + Q_{ij} \cdot X_{ij}}{U_j} + j \frac{P_{ij} \cdot X_{ij} - Q_{ij} \cdot R_{ij}}{U_j}; \dot{U}_j = \dot{U}_i - \Delta \dot{U}_{ij} \end{cases}$$



7. Tính toán trong lưới có nhiều cấp điện áp

□ Quy đổi các thông số về cùng cấp điện áp rồi tính toán

❖ Chọn cấp điện áp cơ sở (c/s)

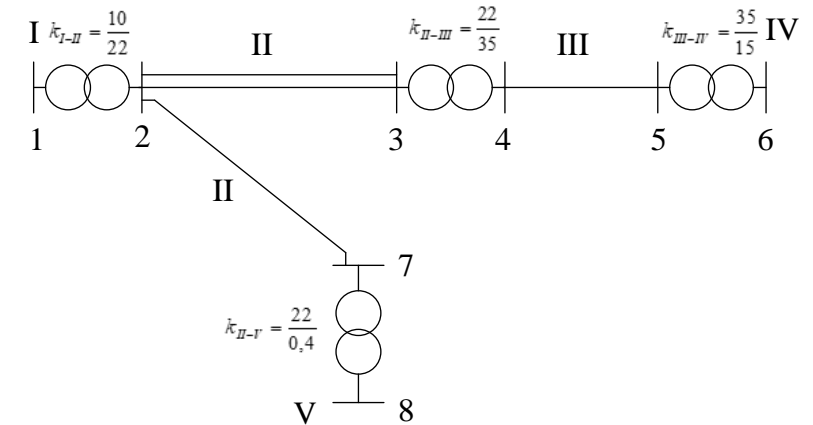
✓ Quy đổi điện áp các nút về nút c/s

$$U_i^o = U_i \cdot \prod k_B$$

- U_i^o : Điện áp nút i quy về điện áp c/s
- U_i : Điện áp nút i
- $\prod k_B$: Tích các tỉ số biến áp của các máy biến áp nối giữa cấp c/s và cấp của nút i

✓ Tổng trở các phần tử mạng điện quy về cấp cơ sở:

$$Z_{ij}^o = Z_{ij} \cdot \prod k_B^2$$



7. Tính toán trong lưới có nhiều cấp điện áp

□ Ví dụ

Mạng điện có 3 cấp điện áp.

MBA T1 38,5/11: $S_{dm} = 6300$ kVA, $U_N\% = 7,5\%$, $\Delta P_N = 46,5$ kW

MBA T2 10/0.4: $S_{dm} = 1000$ kVA, $U_N\% = 5,5\%$, $\Delta P_N = 8,6$ kW

Điện áp thanh cái A là **38 kV**

Xác định điện áp tại thanh cái 2, 4, 5?

• Giải

B1: Chọn cấp điện áp cơ sở là 35kV

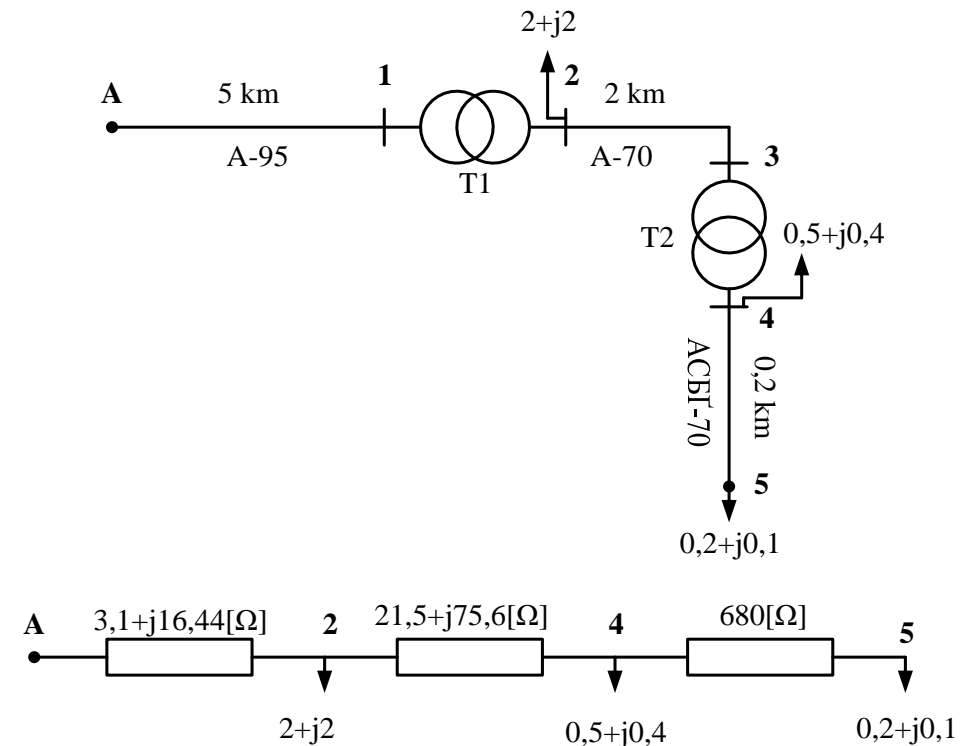
B2: Xác định thông số MBA

B3: Xác định thông số đường dây

B4: Quy đổi

B5: Xác định điện áp đã quy đổi

B6: Xác định điện áp thực: $U_i = \overset{0}{U}_i / \prod k_B$



7. Tính toán trong lưới có nhiều cấp điện áp

B2: Xác định thông số MBA

$$Z_{T1} = \frac{\Delta P_N \cdot U_{đm}^2}{S_{đm}^2} \cdot 10^3 + j \frac{U_{N\%} \cdot U_{đm}^2}{S_{đm}} \cdot 10 = \frac{46,5(35)^2}{6300^2} \cdot 10^3 + j \frac{7,5(35)^2}{6300} \cdot 10 = 1,45 + j14,5[\Omega]$$
$$Z_{T2} = \frac{8,6(10)^2}{1000^2} \cdot 10^3 + j \frac{5,5(10)^2}{1000} \cdot 10 = 0,86 + j5,5[\Omega]$$

B3: Xác định thông số đường dây

- Tra sổ tay:

A-95 có $z_0 = 0,33 + j 0,357 [\Omega/\text{km}]$

A-70 có $z_0 = 0,45 + j 0,341 [\Omega/\text{km}]$

Cáp nhôm ACБГ-70 có $z_0 \approx 0,45 + j 0 [\Omega/\text{km}]$

- Tính toán

$$z_{A1} = (0,33 + j 0,357) \cdot 5 = 1,65 + j1,94 [\Omega]$$

$$z_{23} = (0,45 + j 0,341) \cdot 2 = 0,90 + j0,68 [\Omega]$$

$$z_{45} = (0,45 + j 0) \cdot 0,2 = 0,09 [\Omega]$$

7. Tính toán trong lưới có nhiều cấp điện áp

B4: Quy đổi:

- $\overset{o}{Z}_{T2} = (0,86 + j5,5) \cdot \left(\frac{38,5}{11}\right)^2 = 10,5 + j67,5[\Omega]$
- $\overset{o}{Z}_{23} = (0,9 + j0,68) \cdot \left(\frac{38,5}{11}\right)^2 = 11 + j8,3[\Omega]$
- $\overset{o}{Z}_{45} = (0,09) \cdot \left(\frac{10}{0,4} \cdot \frac{38,5}{11}\right)^2 = 680[\Omega]$

Biến đổi sơ đồ:

- $\overset{o}{Z}_{A2} = \overset{o}{Z}_{A1} + \overset{o}{Z}_{T1} = (1,65 + j1,94) + (1,45 + j14,5) = 3,1 + j16,44 [\Omega]$
- $\overset{o}{Z}_{24} = \overset{o}{Z}_{23} + \overset{o}{Z}_{T2} = (11 + j8,3) + (10,5 + j67,5) = 21,5 + j75,6[\Omega]$

7. Tính toán trong lưới có nhiều cấp điện áp

B5: Điện áp tại các điểm 2, 4, 5 đã qui đổi về phía 35 kV :

- $\overset{o}{U}_2 = U_A - \Delta U_{A2} = 38 - \frac{(0,2+0,5+2).3,1+(0,1+0,4+2)16,44}{35} = 36,6[kV]$
- $\overset{o}{U}_4 = U_2 - \Delta U_{24} = 36,6 - \frac{(0,2+0,5).21,5+(0,1+0,4)75,6}{35} = 35,1[kV]$
- $\overset{o}{U}_5 = U_4 - \Delta U_{45} = 35,1 - \frac{0,2.680}{35} = 31,2[kV]$

B6: Điện áp thực tại các điểm 2,4,5:

- $U_2 = \frac{U_2^*}{k_{T1}} = \frac{36,6}{38,5/11} = 10,3 [kV]$
- $U_4 = \frac{U_4^*}{k_{T1}.k_{T2}} = \frac{35,1}{38,5/11.10/0,4} = 0,36 [kV]$
- $U_5 = \frac{U_5^*}{k_{T1}.k_{T2}} = \frac{31,2}{38,5/11.10/0,4} = 0,356 [kV]$

THE END!

Q&A