

PARAMETRII ELECTRICI ȘI SCHEMELE ECHIVALENTE ALE ELEMENTELOR DE SISTEM

Curs 6

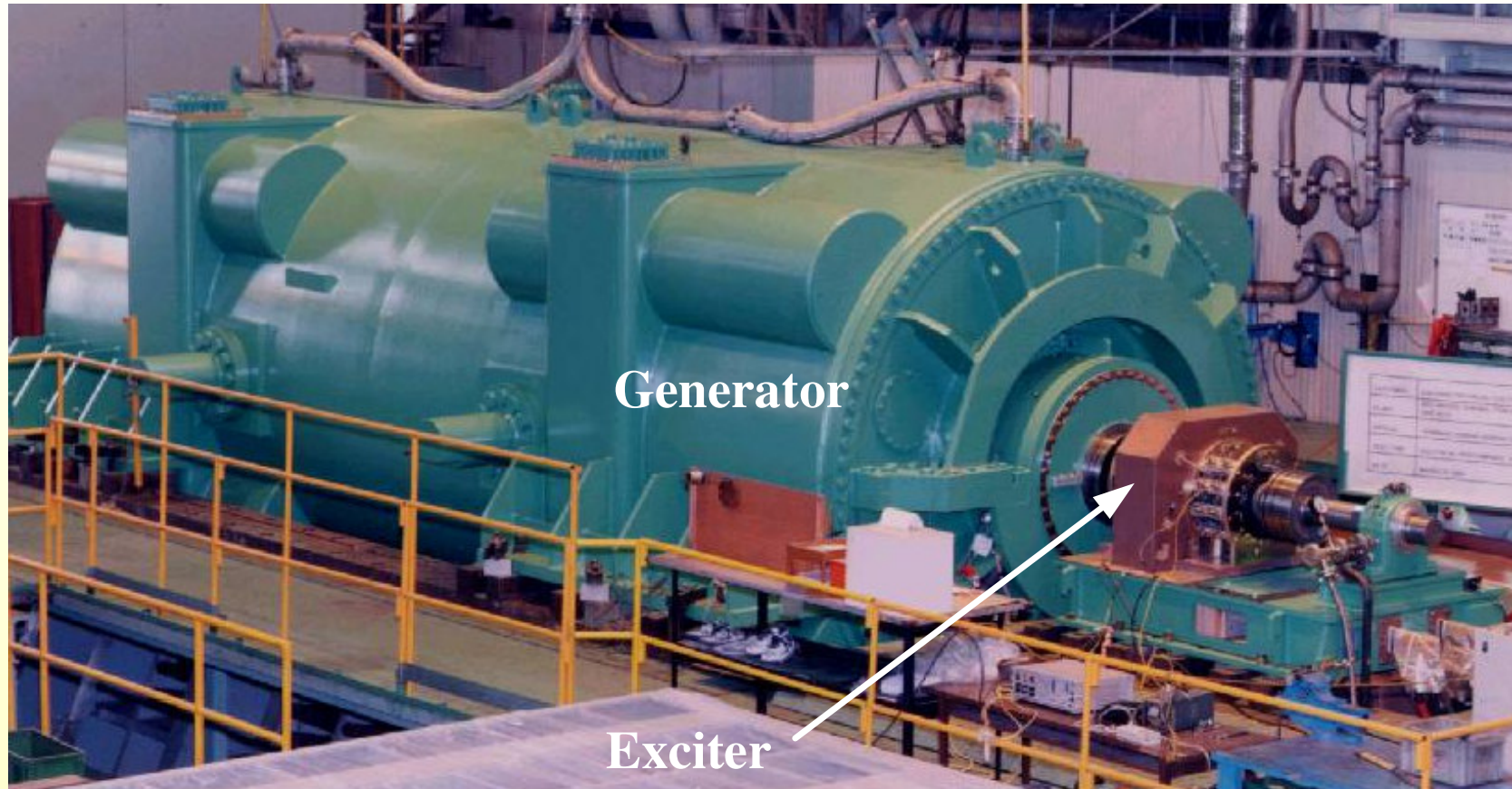
06.10.2007

PTDEE - Curs 6 - prof. R.
TIRNOVAN

Elementele de sistem avute in vedere se refera atat la producerea, transportul si distributia energiei electrice cat si la utilizarea acesteia.

Astfel acestea sunt reprezentate in principal de catre: generatoarele sincrone, transformatoarele de putere, liniile electrice, reactoarele, motoare electrice si convertizoare statice.

Generator sincron cu doua perechi de poli



6.1. Parametrii generatorului sincron

Generatorul sincron este un element activ al sistemului electric care posed tensiuni electromotoare proprii. Tensiunile electromotoare proprii sunt trifazate și simetrice, considerate de secvență directă. Tensiunile electromotoare active de succesiune inversă și homopolară lipsesc.

În calculul rețelelor electrice generatorul se ia în considerare prin schema echivalentă a statorului (indusului), care este conectat la rețea și alimentată de tensiunea sa electromotoare. Deoarece rezistența generatorului este cu mult mai mică decât reactanța sa, mai ales la generatoarele de putere mare, ea se poate practic neglija.

A. Parametrii de secvență directă

În cazul generatoarelor, parametrii - reactanțele precum și tensiunile electromotoare depind de regimul care se studiază: permanent sau tranzitoriu.

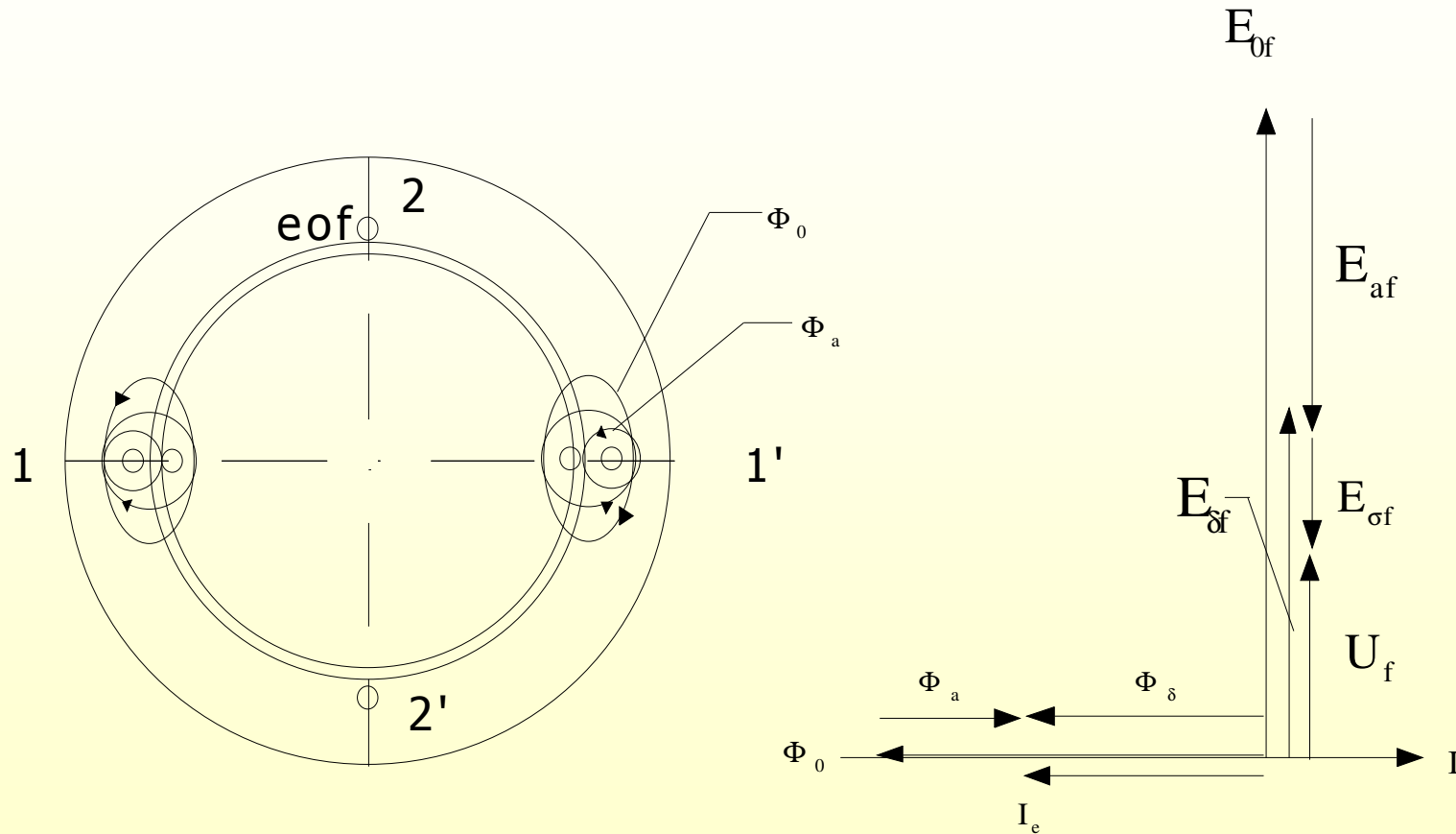


Fig.6.1. Fluxurile magnetice principale în mașina sincronă.

- ϕ_o fluxul magnetic produs de curentul de excitație i_e (I_e) ;
- e_{of} (E_{of}), t.e.m. indusa de câmpul magnetic învârtitor determinat de acest curent induce în înfășurarea statorului ;
- ϕ_a fluxul de reacție longitudinală produs de curentul statoric i (I);
- tensiunea pe fază la bornele generatorului este:

$$\underline{U}_f = \underline{E}_{\delta f} - \underline{E}_{\sigma f} = \underline{E}_{0f} - jx_a \underline{I} - jx_\sigma \underline{I} = \underline{E}_{0f} - j(x_a + x_\sigma) \underline{I} \quad (6.1)$$

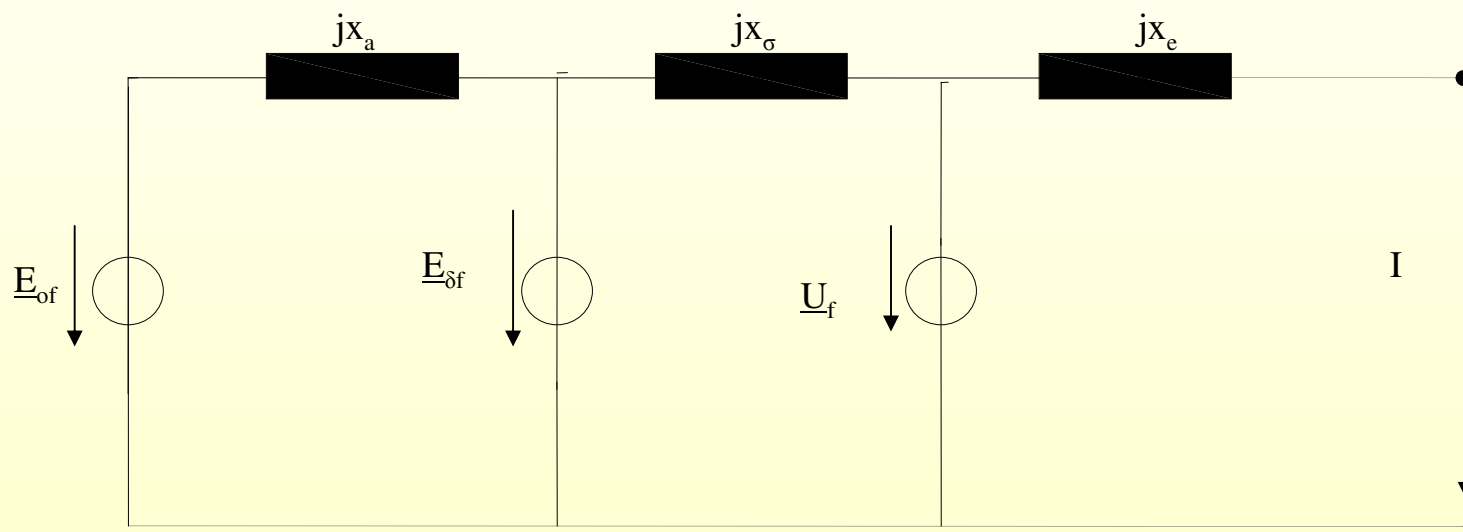


Fig.6.2. Schema echivalentă a generatorului sincron.

A1. Reactanța sincronă

Corespunde funcționării sincrone a generatorului și reprezintă suma reactanței de dispersie și de reacție a statorului:

$$x = x_{\sigma} + x_a \quad (6.2)$$

Reactanța sincronă după axa longitudinală a mașinii se notează cu x_d iar cea după axa transversală cu x_q . Deoarece reluctanța magnetică în direcția axei longitudinale este mai mică decât cea din direcția axei transversale, rezultă că:

$$x_d > x_q \quad (6.3)$$

A2. Reactanțe tranzitorii

La variații bruște ale curentului, în statorul mașinii apare un flux de reacție, căruia i se opune curentul de amortizare, care apare în înfășurarea de excitație. Datorită fluxului de reacție, fluxul rezultat este mai mic decât în regim staționar și ca urmare reactanța generatorului devine mai mică. Aceasta reactanță se numește reactanța tranzitorie și se notează cu x' .

La turbogeneratoare $x'_d = x'_q$ deoarece înfășurarea de excitație are o acțiune puternică de opoziție față de fluxul produs de reacția indusului atât în direcția axei longitudinale cât și în direcția axei transversale.

A3. Reactanțe supratranzitorii:

La generatoarele sincrone cu înfășurare de amortizare, fluxul creat de curentul de șoc nu poate pătrunde în rotor din cauza reacției puternice a acestei înfășurări. Din aceasta cauză reactanța generatorului devine mai mică decât în cazul regimului tranzitoriu și se numește reactanța supratranzitorie x'' (subtranzitorie, în literatura Engleză). La turbogeneratoare înfășurarea de amortizare este distribuită uniform pe circumferința rotorului și din această cauză:

$$x''_d = x''_q \quad (6.4)$$

La generatoarele cu poli aparenti $x''_d < x''_q$. Reactanța inițială se calculează cu:

$$x''_d = \frac{x'_{dx\%} U_{nG}^2}{100 \cdot S_{nG}} \quad (6.5)$$

- S_{NG} este puterea nominală aparentă a generatorului, în VA;
- U_{NG} tensiunea nominală a generatorului, în V;
- $X''\%$ reactanța subtranzitorie, în %.

Rezistența generatorului se poate calcula cu suficientă aproximație cu:

$$R_G = 0,05 X''_d \text{ pentru puteri } \leq 100 \text{ MVA} \quad (6.6)$$

și $R_G = 0,07 X''_d$ pentru puteri < 100 MVA;

iar pentru generatoarele de joasă tensiune:

$$R_G = 0,15 X''_d. \quad (6.7)$$

B. Parametrii de secvență inversă/negativă

În timpul funcționării nesimetrice a generatorului sincron componenta de secvență inversă a curentului provoacă un câmp invers care se rotește fața de rotor cu o viteză dublă. Acest câmp induce în înfășurările rotorice curenți cu o frecvență dublă - 100 Hz, din care cauză acțiunea înfășurării rotorice devine mult mai puternică și micșorează pătrunderea în rotor a fluxului invers; deci apare o situație identică cu aceea din primul moment al șocului de sarcină. De aici rezultă că reactanța de secvență inversă este aproximativ de același ordin de mărime ca și reactanța supratranzitorie/subtranzitorie.

La turbogeneratoare:

$$X_2 \approx (1 - 1,2) X_d'', (6.8)$$

iar la generatoarele cu poli aparenti, cu înfășurare de amortizare:

$$X_2 = (X_d'' + X_q'')/2, (6.9)$$

La generatoarele cu poli aparenti, fără înfășurare de amortizare:

$$X_2 = (X_d' + X_q')/2, (6.10)$$

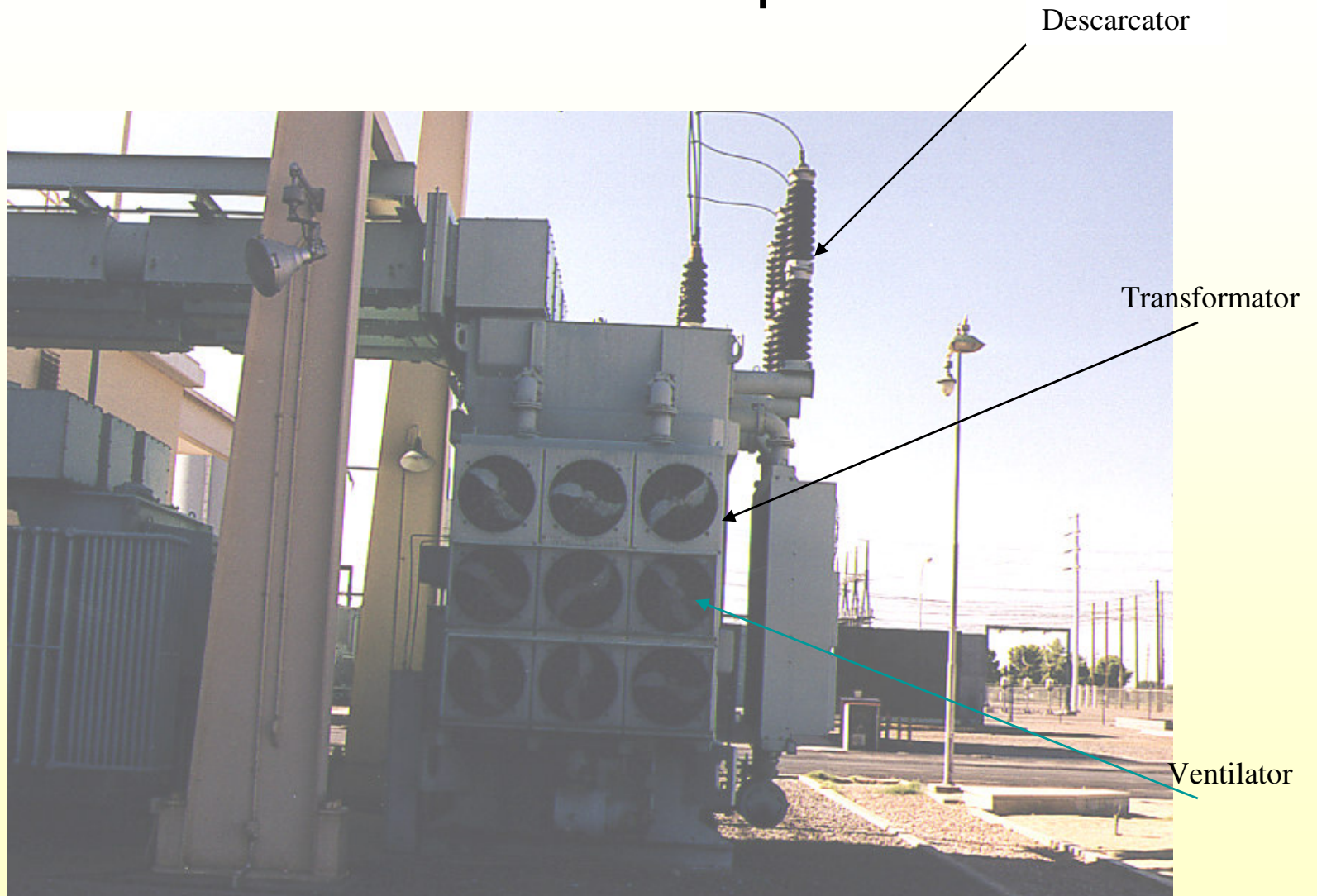
C. Parametrii de secvență homopolară/secvență zero

Pentru ca generatorul sincron să poată prezenta o reactanță homopolară/zero finită este necesar ca el să aibă neutrul legat la pământ. Această situație există numai la generatoarele de joasă tensiune. În plus trebuie să se țină seama de următoarele:

- generatoarele sincrone sunt cuplate la rețea de obicei prin intermediul transformatoarelor cu o înfășurare în triunghi, ceea ce împiedică să se transmită din rețea un sistem de secvență homopolară;
- în cazul în care apare în generator secvența homopolară, în generator nu circula curenți de secvență homopolară deoarece nulul generatorului este legat la pământ printr-o rezistență ohmică mare;
- curenții de secvență homopolară produc fluxuri de secvență homopolară care se închid în aer. Deci reactanța homopolară este o reactanță de dispersie de valoare mică:

$$x_0 = (0,15 - 0,6)x'', \quad (6.11)$$

Transformator de putere



06.10.2007

PTDEE - Curs 6 - prof. R.
TIRNOVAN

12

6.2.Transformatorul trifazat

Prin intermediul transformatoarelor electrice se transformă o putere electrică alternativă cu anumiți parametri într-o altă putere electrică alternativă de aceeași frecvență dar cu parametri electrici modificați.

Elementele caracteristice sau datele de catalog ale unui transformator:

- Puterea nominală aparentă, S_N ;
- Tensiunile nominale primare și secundare, U_{N1} , U_{N2} ;
- Tensiunile relative de scurtcircuit, $u_{sc\%}$;
- Curentul de mers în gol, I_0 ;
- Pierderile în scurtcircuit, Δp_{sc} ;
- Pierderile la mersul în gol, Δp_0 ;
- Grupa de conexiuni;
- Configurația miezului circuitului magnetic;
- Numerele caracteristice.

Înfășurarea *primară* primește energie; înfășurarea *secundară* cedează energie.

6.2.1. Clasificarea transformatoarelor

- Transformatoare de putere;
- Transformatoare auxiliare;
- Transformatoare de separare;
- Autotransformatoare.

6.2.2. Conexiunile transformatoarelor (Yy, Dy, Yy0 etc.)

6.2.3. Schemele echivalente ale transformatoarelor

Un transformator trifazat, în regim de încărcare simetrică și echilibrată poate fi reprezentat printr-o schemă electrică echivalentă monofazată raportată la tensiunea nominală a înfășurării primare sau secundare. Această reprezentare, pentru schema de secvență directă și inversă poate fi în T, Π or Γ .

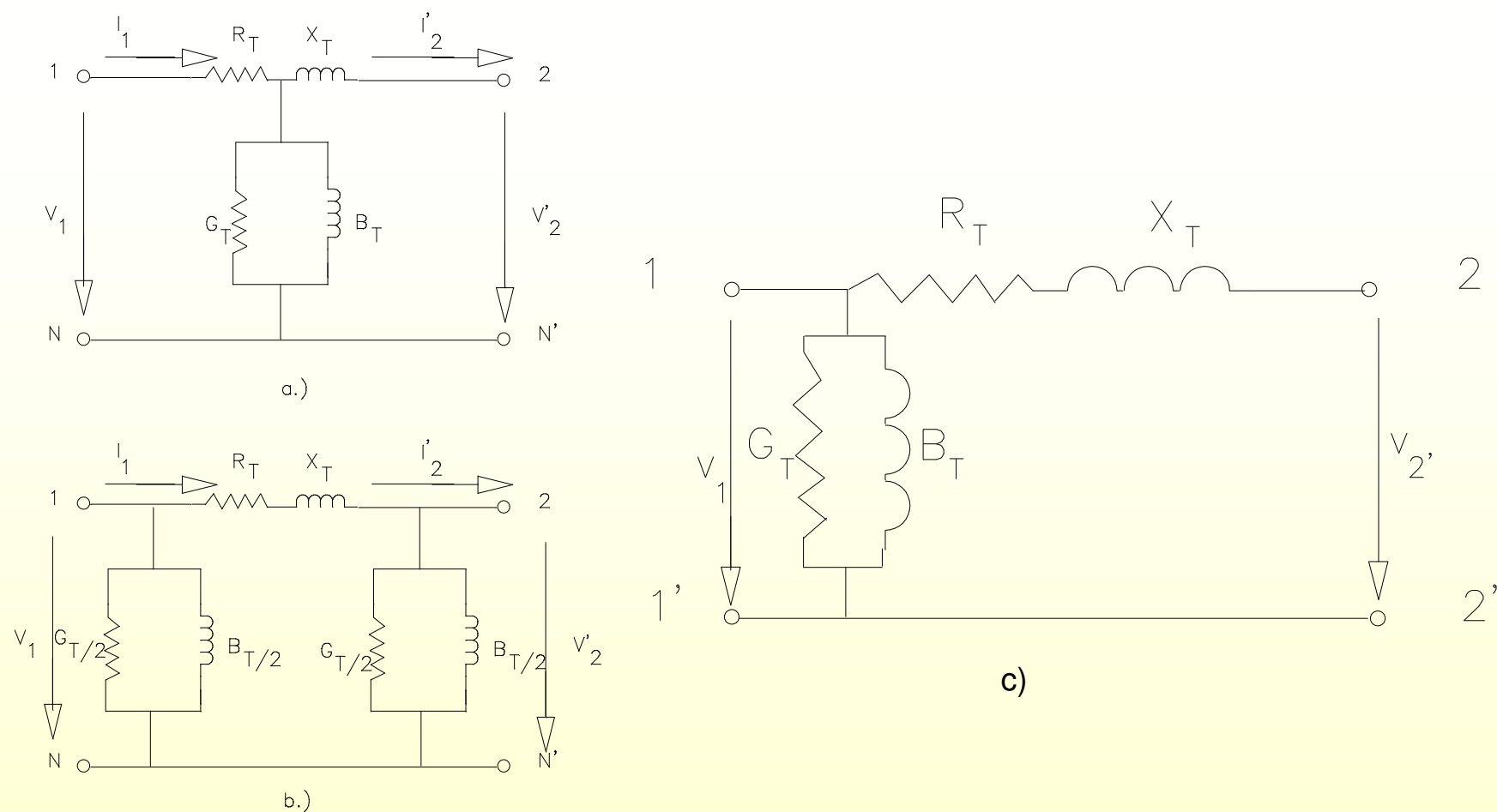


Fig.6.3. Schema monofazătă a transformatoarelor trifazate:
a) schema echivalentă în T; b) schema echivalentă în II; c) schema echivalentă în Γ .

6.2.4. Parametrii/constantele transformatoarelor cu două înfășurări

A. Parametrii de secvență directă și inversă

Parametrii de secvență directă sunt egali cu cei de secvență inversă.

A1. Rezistența R_T

Rezistența celor două înfășurări pe fază ale transformatorului se poate determina din pierderile în regim de scurtcircuit:

$$\Delta p_{scN} = 3I_N^2 R_T = \frac{S_N^2}{U_N^2} R_T \Rightarrow R_T = \frac{\Delta p_{scN} U_N^2}{S_N^2} \quad (\Omega) \quad (6.12)$$

A2. Reactanța X_T

Reactanța pe fază a transformatorului se poate determina din căderea de tensiune reactivă în regim nominal:

$$X_T = \frac{\Delta U_{X\%}}{100} \frac{U_{Nf}}{I_N} = \frac{\Delta U_{X\%}}{100} \frac{U_N^2}{S_N} \quad (\Omega) \quad (6.13)$$

În cazul în care se cunoaște $U_{sc}\%$ și raportul X_T/R_T atunci se calculează impedanța transformatorului cu relația:

$$Z_T = \frac{U_{sc\%}}{100} \frac{U_N^2}{S_N} \quad (6.14)$$

$$R_T = \frac{Z_T}{\sqrt{1 + \left(\frac{X_T}{R_T}\right)^2}} \quad (6.15)$$

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2} \quad (6.16)$$

$$\Delta U_{X\%} = \sqrt{U_{sc}^2 - \Delta U_{R\%}^2} \quad (6.17)$$

A3. Conductanța G_T

Conductanța se determină din relația care exprimă puterea activă absorbită de transformator la mersul în gol:

$$G_T = \frac{\Delta P_{FeN}}{U_N^2} \quad (S) \quad (6.18)$$

A4. Susceptanța inductivă, B_T

Susceptanța inductivă se determină din relația care exprimă puterea reactivă absorbită de transformator în regim de mers în gol:

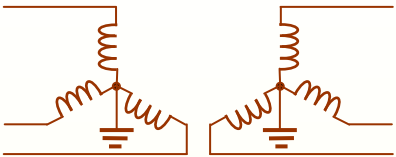
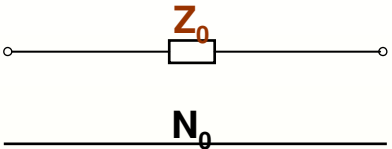
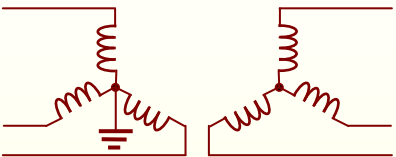
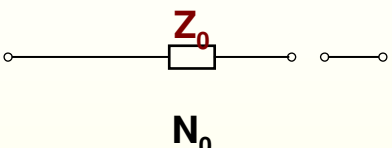
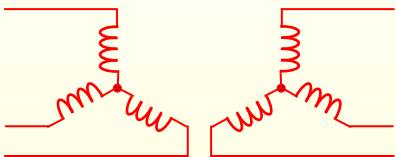
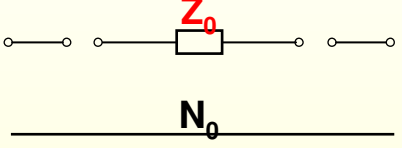
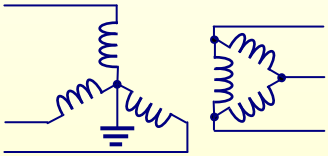
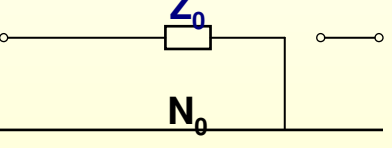
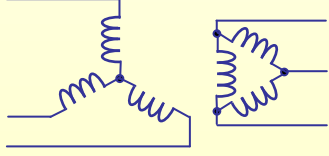
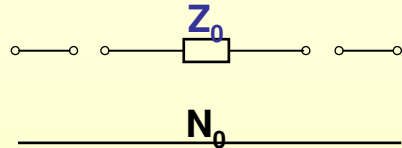
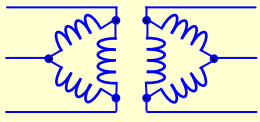
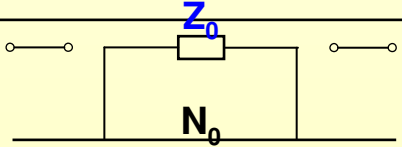
$$B_T = \frac{\Delta Q_{Fe}}{U_N^2} \quad (S) \quad (6.19)$$

B. Parametrii de secvență homopolară:

Impedanța de secvență homopolară a transformatoarelor electrice este funcție de tipul constructiv al transformatorului și de schema de conexiune a înfășurărilor transformatorului.

Reactanța de succesiune homopolară a transformatorului văzută dinspre înfășurarea conectată în triunghi sau stea cu neutrul izolat este infinit de mare.

Pentru ca într-un transformator să poată circula curenți de secvență homopolară este necesar ca cel puțin una din înfășurări să fie conectată în stea cu neutrul legat la pământ sau zig-zag cu neutrul legat la pământ.

Simbol	Schema de conexiuni	Rețeaua de secvență zero (homopolară)
Y_0y_0		
Y_0y		
Yy		
Y_0d		
Yd		
Dd		

6.2.5. Schemele echivalente și parametrii transformatoarelor cu trei înfășurări

Tipul transformatorului	Puterea nominală a fiecărei înfășurări în procente din puterea nominala a transformatorului		
	I.T.	M.T.	J.T.
I	100	100	100
II	100	100	66,7
	100	66,7	100
III	100	66,7	66,7

A1. Rezistența transformatorului de tipul I:

$$\Delta p_{scN} = 3I_{1N}^2 R_{T1} + 3I_{2N}'^2 R_{T2}' \quad (6.20)$$

➤ R_{T1} , R_{T2}' , I_{1N} și I_{2N}' sunt rezistențele respectiv curenții nominali din înfășurările 1 și 2 raportate la același nivel de tensiune;

$$R_{T1} = R'_{T2} = R_T \qquad R_T = \frac{\Delta p_{scN}}{6I_N^2} = \frac{\Delta p_{scN} U_N^2}{2S_N^2} \quad (6.21)$$

A2. Rezistența transformatorului de tipul II

La acest tip de transformatoare sunt date pentru regimul în care acestea sunt maxime: aceasta corespunde cazului în care transformatorul este încărcat complet la înfășurările de 100%, iar cea de 66,7% este în gol:

$$R_{T1} = R'_{T2} = R_T = \frac{\Delta p_{scN} U_N^2}{2S_N^2} \quad (6.22)$$

$$\frac{R_{T1}}{R'_{T3}} = \frac{66,7}{100} \Rightarrow R'_{T3} = 1,5R_{T1} = 1,5R_T \quad (6.23)$$

A3. Rezistența transformatoarelor de tipul III:

Și la aceste transformatoare, sunt date pentru cazul când ele sunt maxime, ceea ce corespunde următoarei încărcări:

$$I_2' = 0,667 I_N$$

$$I_3' = 0,333 I_N$$

$$R_{T2}' = R_{T3}' = 1,5 R_{T1}$$

$$R_{T1} = \frac{\Delta p_{CuN}}{5,51 I_N^2} = \frac{\Delta p_{CuN} U_N^2}{1,83 S_N^2} \quad (6.24)$$

B. Reactanțele inductive:

La determinarea reactanțelor inductive ale transformatoarelor cu trei înfășurări se consideră că valorile căderilor de tensiune inductive sunt egale cu tensiunile de scurtcircuit:

$$X_{T1-2} = \frac{U_{X1-2\%} U_N^2}{100 S_N}$$

$$X_{T2-3} = \frac{U_{X2-3\%} U_N^2}{100 S_N}$$

$$X_{T1-3} = \frac{U_{X1-3\%} U_N^2}{100 S_N}$$

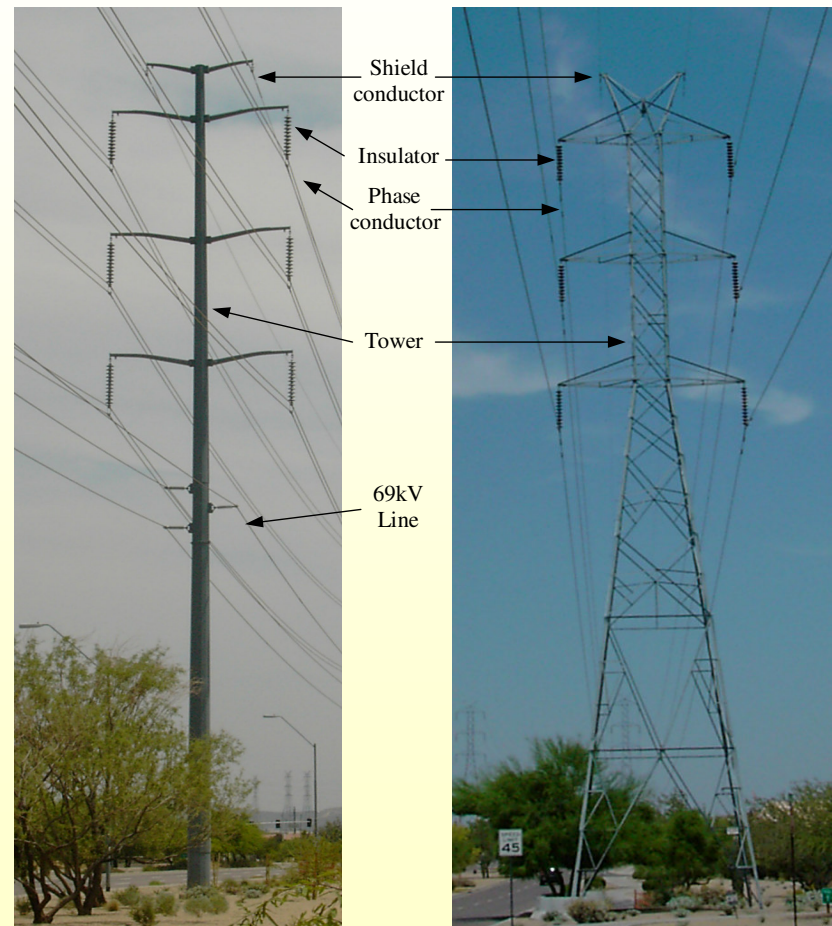
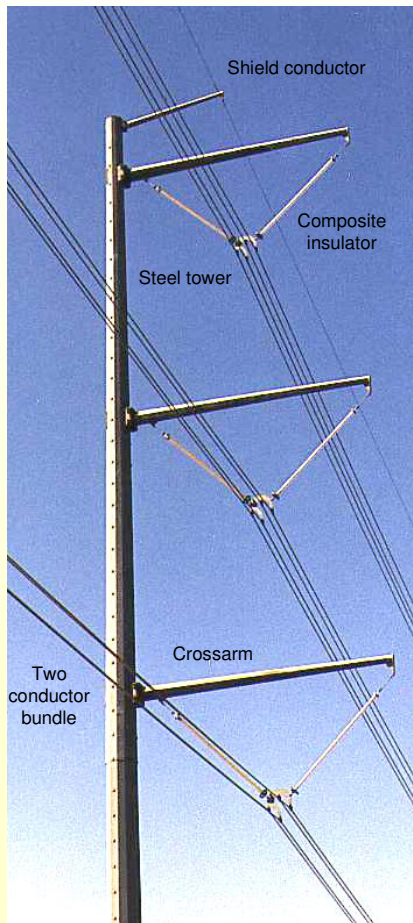
$$\begin{cases} X_{T1-2} = X_{T1} + X_{T2} \\ X_{T2-3} = X_{T2} + X_{T3} \\ X_{T1-3} = X_{T1} + X_{T3} \end{cases}$$

$$\begin{cases} X_{T1} = \frac{X_{T1-2} + X_{T1-3} - X_{T2-3}}{2} \\ X_{T2} = \frac{X_{T2-3} + X_{T1-2} - X_{T1-3}}{2} \\ X_{T3} = \frac{X_{T1-3} + X_{T2-3} - X_{T1-2}}{2} \end{cases} \quad (6.25)$$

Tabelul 6.1. Alegerea tensiunilor nominale pentru instalațiile SEE în funcție de valoarea tensiunilor normalizate.

Elementul SEE	Funcția	k_u	Observații
Generator	sursă	1,05	5% pt. pierderi în rețea
Primarul trafo	receptor	1	
Secundarul trafo	sursă	1,1	5% pt a avea caracter de sursă și 5 % pentru a acoperi pierderile de tensiune în trafo
Linie	receptor sursă	1	Se presupune a fi atinsă la mijlocul liniei
Consumator	receptor	1	

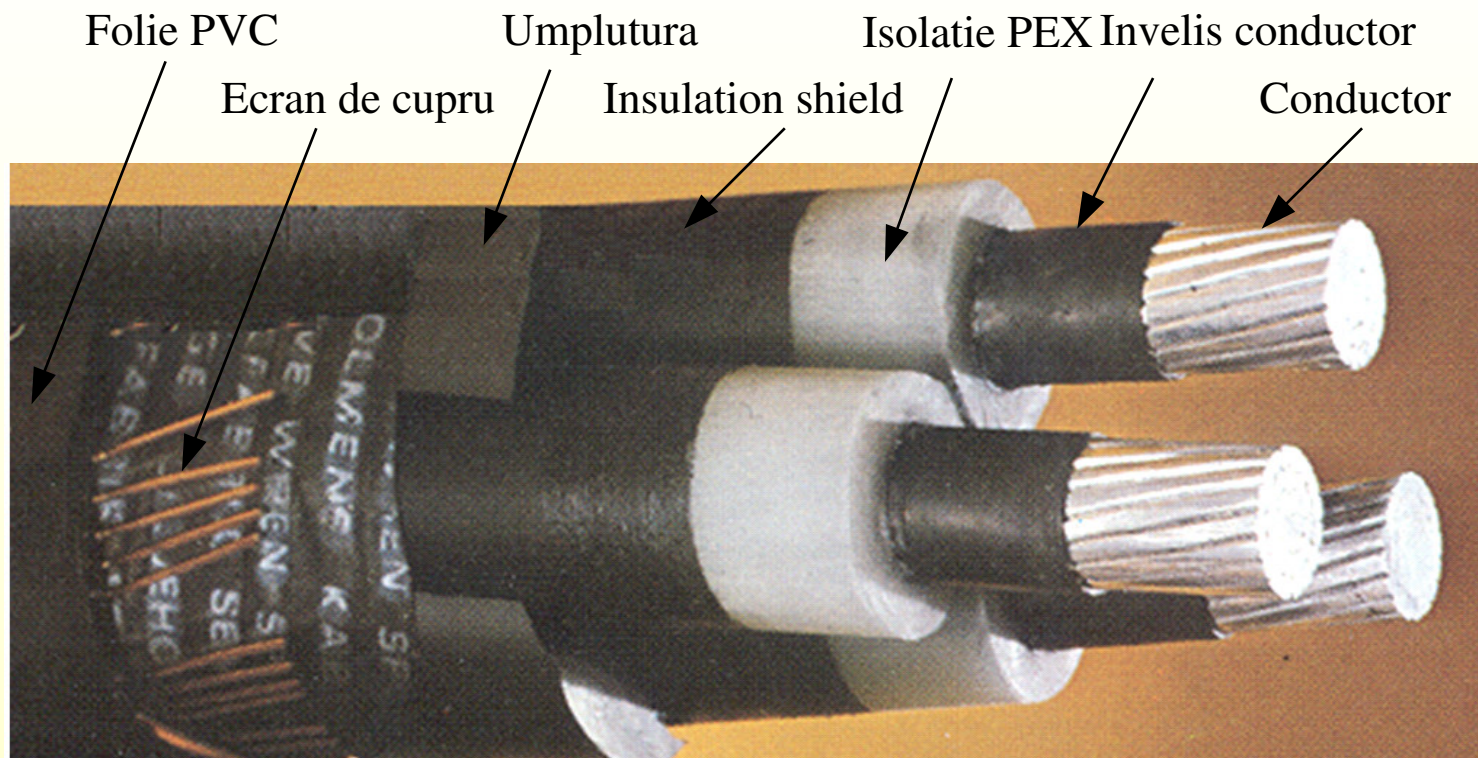
Linii electrice



06.10.2007

PTDEE - Curs 6 - prof. R.
TIRNOVAN

25



6.3. Linii electrice

6.3.1. Linii electrice aeriene - LEA

Liniile electrice aeriene sunt destinate transportului energiei electrice de la centralele electrice la consumatori și/sau de la stațiile de conexiune la utilizatori. Schema electrică echivalentă este cea a unui cuadripol.

Parametrii longitudinali ai cuadripolului constau în rezistența și reactanța inductivă a liniei iar cei transversali sunt reprezentanți prin conductanța și susceptanța capacitivă a liniei.

Astăzi, în construcția liniilor aeriene cel mai răspândit material este aluminiul. Cele mai răspândite tipuri de conductoare sunt: conductoarele oțel-aluminiu (Aluminium Conductor Steel Reinforced - ASCR), conductoarele de aluminiu (all-aluminium conductor - AAC)), conductoarele din oțel.

Liniile electrice aeriene de înaltă tensiune, peste 110 kV, se construiesc cu mai mult de un conductor pe fază și se numesc linii cu conductoare fasciculare/jumelate (bundle conductor) - *reducerea efectului Corona*.

6.3.1.1. Schemele electrice echivalente ale L.E.A.

- a. **Linii scurte (pina la 80 km).** La aceste linii, parametrii transversali se neglijează;
- b. **Linie electrică de lungime medie, până la 240 Km.** La aceste linii, parametrii transversali nu se neglijează. Se pot construi scheme echivalente în Π sau T.
- c. **Linii de lungime mare, peste 240 Km.** La aceste linii, schema electrică nu se mai poate reprezenta cu parametrii concentrați la capete. Schema devine cu parametrii uniform distribuiți, și se folosesc constantele A,B,C și D cu care se poate construi o schemă echivalentă în Π sau T.

6.3.1.2. Constantele liniilor electrice aeriene

Constantele liniilor electrice aeriene sunt reprezentate prin parametrii din schema electrică echivalentă a LEA, parametrii ce se clasifică în:

- ☐ Parametrii longitudinali, R și X;
- ☐ Parametrii transversali, G și B.

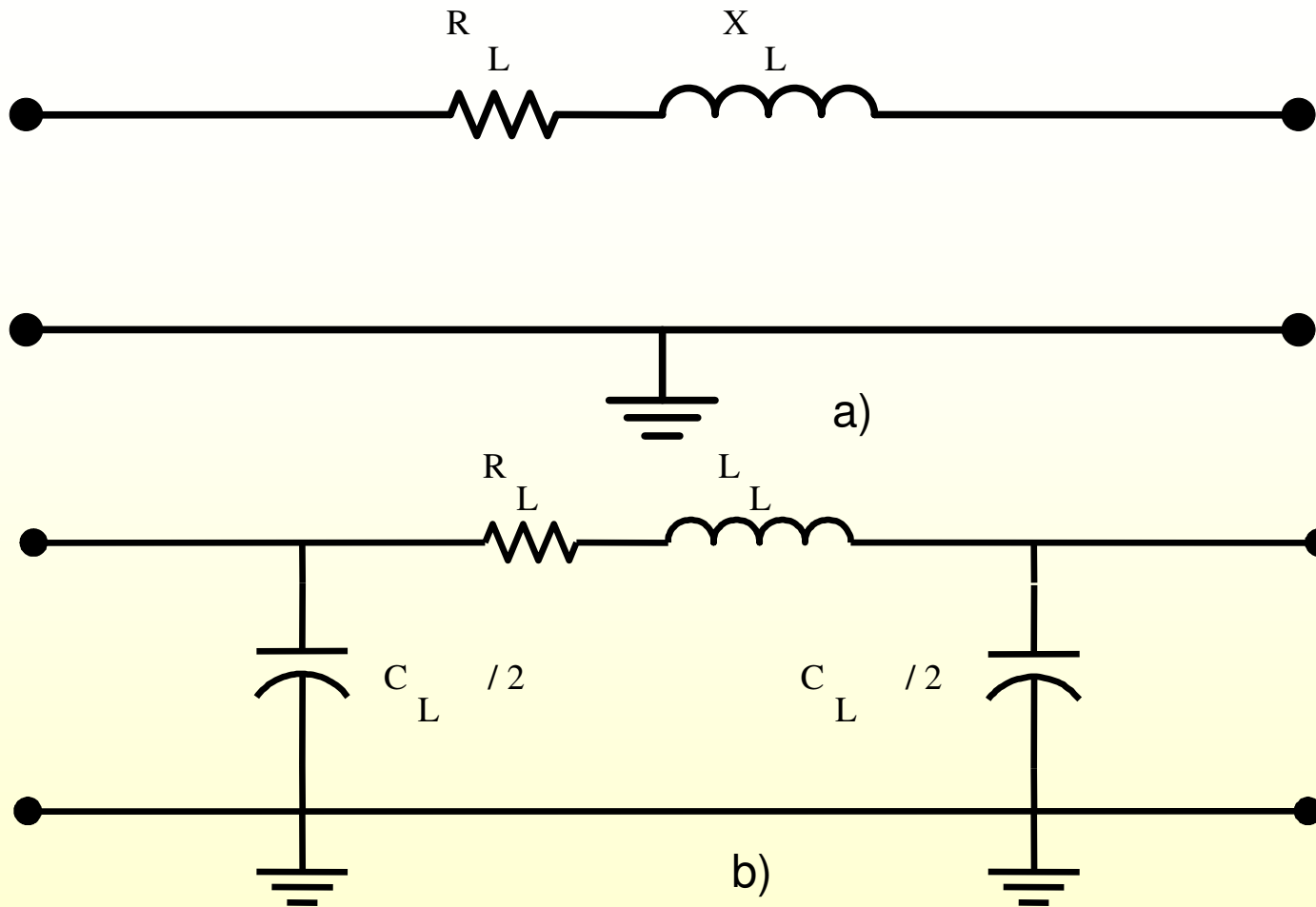


Fig.6.4. Linie electrică – scheme echivalete:

a) linie electrică scurtă; b) linie electrică de lungime medie.

A. Rezistența

Rezistența conductorului liniei în curent continuu este data de relația:

$$R_{DC} = \frac{\rho \cdot l}{s} \quad (6.26)$$

- ρ este rezistivitatea materialului conductorului, în ohm·mm²/m;
- l –lungimea conductorului, în metri;
- s –secțiunea transversala a conductorului, în mm². Rezistența conductorului în curent alternativ este data de:

$$R_{AC} = K_{skin} \cdot R_{DC} \quad (6.27)$$

unde K_{skin} este coeficientul pelicular al conductorului care se indică în tabele sau cărți.

Valoarea rezistenței conductorului depinde de:

- la LEA cu conductoarele răsucite și torsadate, efectul de spirală, mărește lungimea conductorului cu 1 sau 2 % ceea ce conduce la mărirea valorii rezistenței conductorului:

$$R_{DC} = (1.01 \dots 1.02) \frac{\rho \cdot l}{s} \quad (6.28)$$

- creșterea rezistenței în curent alternativ față de rezistența în curent continuu, fenomen cunoscut sub numele de “efectul skin”. Fabricile constructoare dau valori pentru acest coeficient;
- valoarea intensității curentului în cazul conductoarelor din materiale magnetice (oțel). Fabricile constructoare indică valoarea rezistenței la diferite valori ale intensității curentului;
- temperatura de lucru a conductorului:

$$R_2 = R_1[1 + \alpha(T_2 - T_1)] \quad (6.29)$$

valoarea rezistenței este mărită de asemenea și de neuniformitatea distribuției curentului în conductor datorită efectului de proximitate. În cazul liniilor electrice aeriene funcționând la frecvențe de 50 sau 60 Hz, și configurații actuale ale stâlpilor, acest fenomen se neglijează.

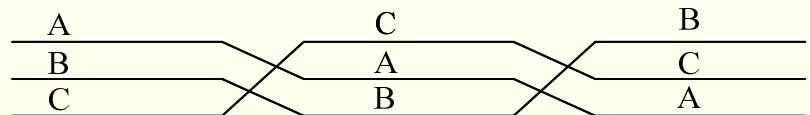
B. Reactanța inductivă pe unitatea de lungime a liniei

Este necesar să precizăm faptul că reactanța unei LEA este diferită de reactanța conductorului liniei. Reactanța conductorului liniei este indicată de către fabrica constructoare a materialului conductorului liniei. În cazul liniilor electrice aeriene, reactanța liniei depinde de raza conductorului, tipul

constructiv al conductorului, materialul conductorului și de poziția relativă a conductoarelor pe stâlp.

B1. Linie electrică aeriană simplu circuit, cu un conductor pe fază

Distanța medie geometrică (GMD - Geometric Mean Distance) dintre conductoare pentru sistemul echivalent este dată de următoarea relație:



$$GMD = \sqrt[3]{d_{12}d_{13}d_{23}} \quad (6.30)$$

Fig.6.5. Transpunerea fazelor

În urma transpunerii conductoarelor, valoarea medie a reactanței inductive de secvență directă și inversă este dată de relația:

$$\begin{aligned} X_{01} = X_{02} &= k \log \left(\frac{GMD}{GMR} \right) = k \log(GMD) + k \log \left(\frac{1}{GMR} \right) \\ &= X_{01d} + X_{01a} \quad (\Omega / km) \quad (6.31) \end{aligned}$$

unde $k = 2.894 \cdot f \cdot 10^{-3}$, iar f frecvența tensiunii, în Hz.

GMD este distanța medie geometrică între faze, în metri, iar GMR raza geometrică medie a conductorului pe fază, în metri. În cazul LEA cu un singur conductor pe fază, $GMR = r$, unde r este raza conductorului în metri. GMR se mai numește și distanța geometrică proprie a conductorului. GMR ia în considerare inductivitatea proprie a conductorului. Pentru cazul unui singur conductor pe fază, construcție solidă și o distribuție uniformă a curentului în conductor, GMR este dat de relația:

$$GMR = re^{-\frac{\mu_r}{4}} \quad (6.32)$$

cu μ_r - permeabilitatea relativă a materialului conductor.

Standardul IEC 909-2 recomandă calcularea reactanței inductive de secvență directă și inversă cu formula:

$$X_{01} = X_{02} = \frac{\omega \mu_0}{2\pi} \left(0.25 + \ln \frac{d_m}{r} \right) \quad (6.33)$$

unde: este distanța medie geometrică între conductoarele unui sistem trifazat, în metri.

B2. LEA cu dublu circuit simetric cu un singur conductor pe fază

Valoarea medie a reactanței inductive pe fază și unitatea de lungime este dată de relația:

$$X_{01} = 0,1445 \log \left(\frac{D_m \cdot D'_m}{r \cdot D''_m} \right), \quad (\Omega \cdot km) \quad (6.34)$$

$$D'_m = \sqrt[3]{d'_{12} d'_{23} d'_{31}} \quad (6.35)$$

$$D''_m = \sqrt[3]{d''_{12} d''_{23} d''_{31}} \quad (6.36)$$

B3. LEA cu conductoare jumelate

La tensiuni înalte, peste 220 kV, fenomenul Corona este important datorită gradientului mare a intensității câmpului electric la suprafața conductorului. În scopul reducerii acestui gradient, la construcția LEA se folosesc conductoare jumelate, adică mai multe conductoare pe fază, dispuse spațial

în diferite geometrii. Sistemul se mai numește și sistem multi-conductor pe fază.

Raza conductorului se înlocuiește cu raza echivalentă a sistemului multi-conductor, figura 7.6.

Raza echivalentă a unui sistem multi-conductor este dată de relația:

$$r_e = \sqrt[n]{n r r_T^{n-1}} \quad (6.37)$$

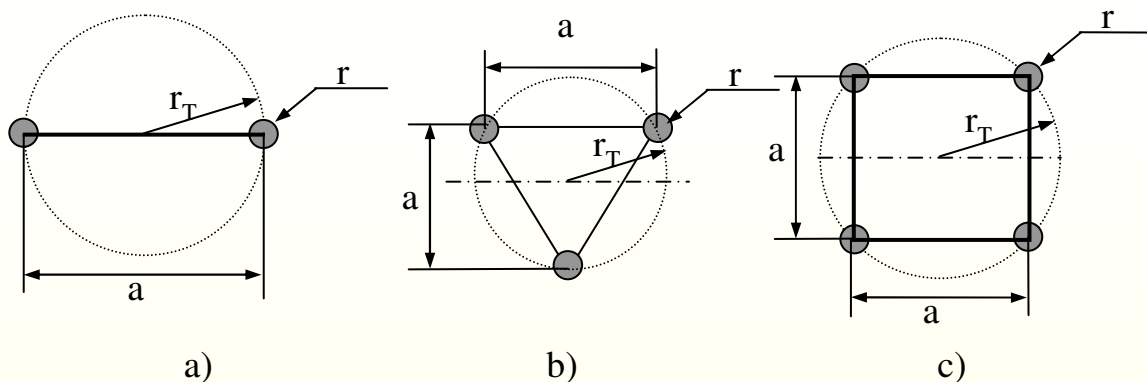
Dacă conductoarele sunt dispuse la unghiuri egale, atunci este dat de relația:

$$r_T = \frac{a_T}{2 \sin \frac{\pi}{n}} \quad (6.38)$$

unde n este numărul de conductoare pe fază.

Reactanța inductivă pe fază și unitatea de lungime la LEA multi-conductor pe fază este data de relația:

$$X_{01} = \frac{\omega \mu_0}{2\pi} \left(\frac{0.25}{n} + \ln \frac{d_m}{r_e} \right) = 0,1445 \log \frac{d_m}{r_e} + \frac{0,0157}{n} \quad (\Omega / km) \quad (6.39)$$



unde $d_m = GDM$.

Fig.6.21. Structuri multi conductor pe fază/conductoare jumelate:

a) 2 conductoare pe fază; b) 3 conductoare pe fază; c) 4 conductoare pe fază.

C. Reactanța specifică de secvență homopolară (secvență zero)

Valoarea medie a reactanței de secvență homopolară pe fază și unitatea de lungime este dată de relația:

$$X_{oh} = 0,435 \log \frac{D_p}{\rho_e} \quad (\Omega / km) \quad (6.40)$$

unde:

$$D_p = \frac{0,2085}{\sqrt{f\gamma^{-9}}} \quad (6.41)$$

f – frecvența curentului, în Hz;

γ - conductivitatea pământului, în S/Km; γ este egal cu 10^{-5} pentru pământ uscat și 10^{-4} pentru pământ umed.

$$\rho_e = \sqrt[3]{r_e D_m^2} \quad (6.42)$$

r_e este raza echivalentă a conductorului;

$r_e = r$ pentru cazul LEA cu un singur conductor pe fază.

Pentru sistemele cu multi-conductor pe fază, r_e este dat de relația (6.37):

Parametrii de secvență directă sunt egali cu cei de secvență inversă. Reactanțele LEA depind de construcția liniei, diametrul conductoarelor, numărul de conductoare pe linie și sunt date în cataloage sau de către constructor sub forma reactanțelor inductive pe unitatea de lungime X_{L1} (Ω/km).

Acest lucru este valabil și pentru ceilalți parametri astfel încât dacă linia are lungimea L parametrii aceștea vor fi:

$$R_L = R_{L1} \cdot L, X_L = X_{L1} \cdot L, G_L = G_{L1} \cdot L, B_L = B_{L1} \cdot L \text{ sau } C_L = C_{L1} \cdot L$$

În cazul componentelor homopolare raportul X_h/X_L depinde de tipul constructiv.

Pentru LEA de 35, 110 și 220 kV, simplu circuit:

$$X_{h1} = (3 \dots 4) \cdot X_{L1}$$

Pentru LEA 35, 110 și 220 kV, dublu circuit:

$$X_{h1} = (6 \dots 7) \cdot X_{L1}$$

7.3.2 Linii electrice în cablu - LEC

Schemele electrice echivalente și constantele electrice ale liniilor în cablu se determină în același fel ca și pentru LEA. La liniile electrice în cablu (LEC), se impune luarea în considerare a următoarelor particularități:

- ❑ rezistența este mai mare decât la LEA (se adaugă componentele determinate de efectul pelicular și de proximitate);
- ❑ la cablurile cu manta metalică, se impune luarea în considerare și a pierderilor în manta/armură;
- ❑ la cabluri cu secțiunea sub 50 mm^2 creșterea rezistenței datorită efectului pelicular și de proximitate se poate neglija;
- ❑ reactanța cablurilor este mai mică decât a LEA din cauza distanțelor cu mult mai mici între conductoare;
- ❑ susceptanța capacitivă a cablurilor este mai mare decât a LEA.
- ❑ reactanța de secvență homopolară se poate determina prin măsurători în cazul cablurilor instalate sau de la fabricile constructoare;

- pentru cablurile electrice de înaltă tensiune ($U_n > 50$ kV), reactanța de secvență directă depinde de tipul constructiv, modul de montare, secțiunea transversală și tensiune. Datele se pot obține în general de la fabrica constructoare de cabluri. Practic, reactanța de secvență directă pentru cabluri variază între $0,1 - 0,19 \Omega/\text{km}$;
- raportul depinde de tipul constructiv al cablului și de natura căii de întoarcere a curentului. În general acest raport pentru cablurile electrice fără înveliș metalic de protecție este între $0,3 - 0,8$ iar pentru cele cu protecție metalică și întoarcerea curentului prin pământ $0,25 - 3,7$.

Reactor



06.10.2007

PTDEE - Curs 6 - prof. R.
TIRNOVAN

41

7.4. Bobine de reactanță

$$X_R = \frac{\Delta U_{Rn\%} U_{Rn}}{100\sqrt{3}I_{Rn}} \quad (6.43)$$