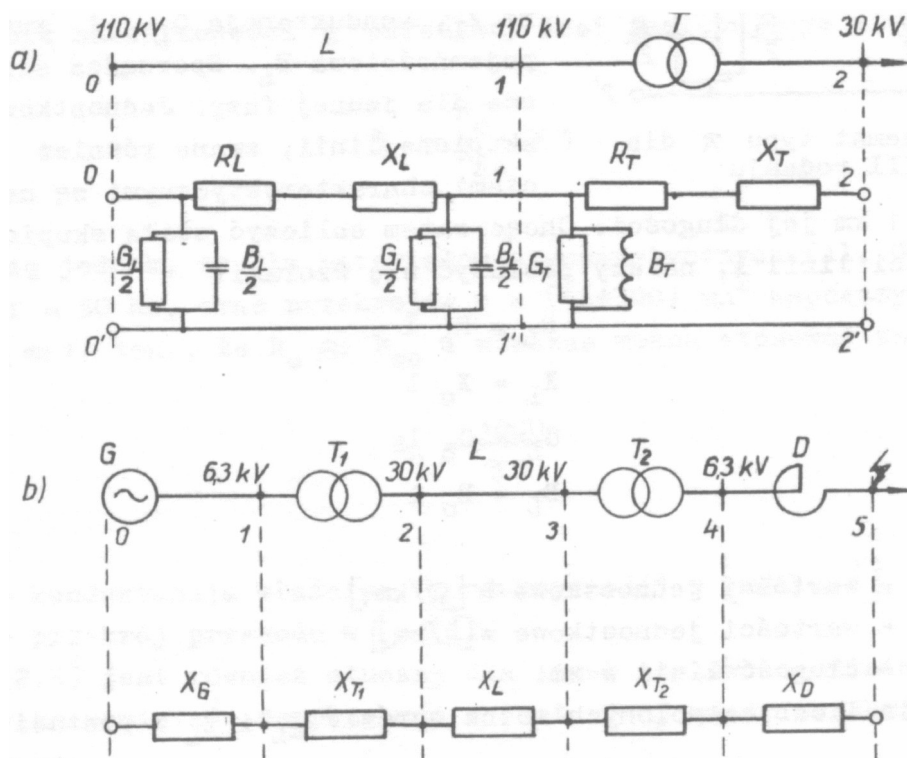
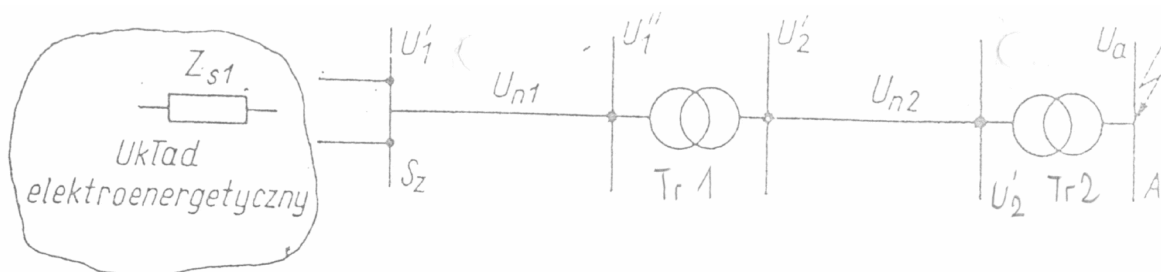


Schematy zastępcze podstawowych elementów układu elektroenergetycznego



Rys. 2.1. Proste układy elektroenergetyczne i ich schematy zastępcze:

- a) do analizy stanów ustalonych,
- b) do rozpatrywania stanów awaryjnych (np. zwarć)



Rys. 2.2. Obliczanie impedancji Z_{s1} systemu z poziomu napięcia U'_1 na U_a

Impedancja Z_{s1} układu zasilania przeliczona na poziom napięcia U_a (oznaczona symbolem Z_{sa}) opisana jest wzorem

$$Z_{sa} = Z_{s1} \times (\vartheta_1 \times \vartheta_2)^2 \quad (2.1)$$

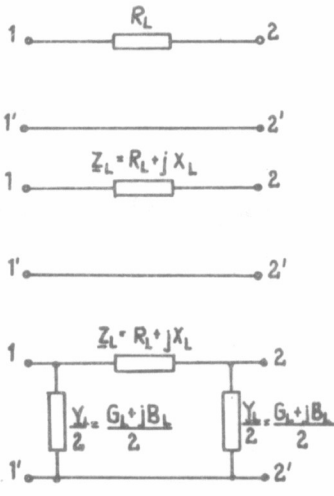
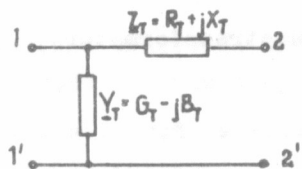
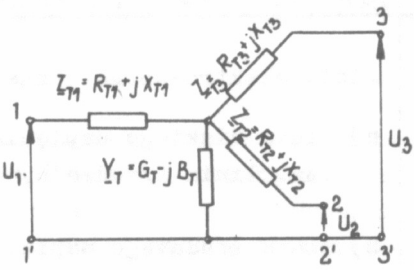
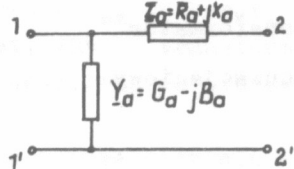
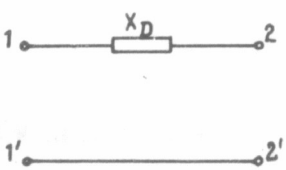
gdzie:

$$Z_{s1} = \frac{1,1 \times (U'_1)^2}{S_K''} \text{ - impedancja układu zasilania}$$

$$\vartheta_1 = \frac{U'_2}{U''_1} \text{ - przekładnia Tr1}$$

$$\vartheta_2 = \frac{U_a}{U'_2} \text{ - przekładnia Tr2}$$

Tablica 2.1. Schematy zastępcze elementów sieciowych

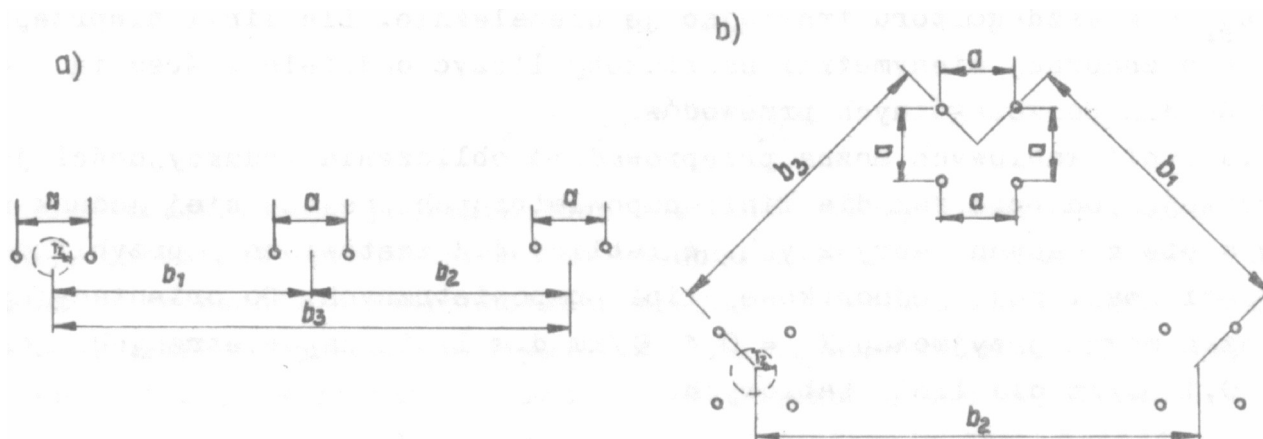
Lp.	Nazwa elementu sieciowego	Schemat zastępczy
1	Linia elektroenergetyczna: a) linia niskiego napięcia, tzw. linia I.rodzaju, b) linia średniego napięcia: - napowietrzna do 30 kV, - kablowa do 20 kV, tzw. linia II.rodzaju; c) linia o napięciu wyższym niż wyżej wymienione, krótsza od 400 km ^{##} , tzw. linia III.rodzaju	
2	Transformator ^{##} dwuuzwojeniowy	
3	Transformator trójuzwojeniowy	
4	Autotransformator	
5	Dławik	

Tablica 2.2. Rezystancja jednostkowa przewodów z miedzi,

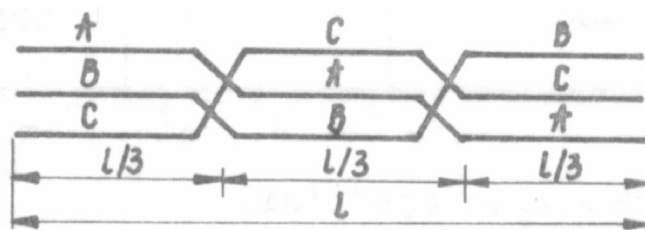
aluminium, stopu aluminium, stalowo-aluminiowych i z brązu

Przekrój znamionowy mm ²	Liczba dru- tów ^{x)}	Średnia rezystancja na 1 km w temp. 20°C, Ω/km				
		Miedź twarda	Alumi- nium twarde	Stalo- alumi- nium 1:6	Stop alumi- nium	Brąz
6	1	3,198	-	-	-	4,71
10	1	1,838	-	-	-	2,81
10	7	-	-	-	-	2,78
16	1	-	-	-	-	1,749
16	7	1,186	1,805	1,875	2,095	1,749
25	7	0,779	1,185	1,205	1,378	1,148
35	7	0,554	0,845	0,837	0,982	0,818
50	7	0,384	0,587	-	0,682	0,567
50	19	-	0,598	0,594	0,695	0,579
70	19	0,286	0,435	0,434	0,505	0,421
95	19	0,203	0,309	0,319	0,359	0,299
120	19	0,161	0,245	0,234	0,285	0,238
150	37	0,128	0,196	0,193	0,227	0,189
185	37	0,104	0,158	0,156	0,183	0,153
210	-	-	-	0,137	-	-
240	37	0,083	0,126	-	0,146	0,122
240	61	-	0,118	0,121	0,137	0,114
300	61	0,063	0,096	0,097	0,111	0,093

^{x)} Nie odnosi się do przewodów stalowoaluminiowych.



Rys. 2.3. Układy przewodów wiązkowych o wiązce dwu- i czteroprzewodowej

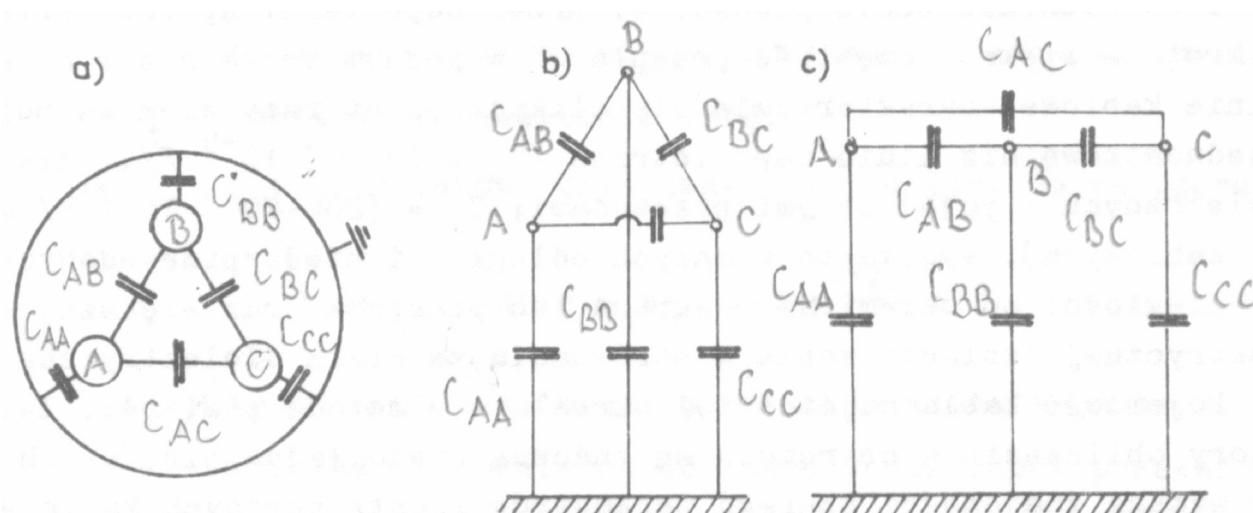


Rys. 2.4. Przeplatanie przewodów linii

Tablica 2.3. Przybliżone wartości podstawowych parametrów

jednostkowych napowietrznych linii elektroenergetycznych

Napięcie znamionowe [kV]	Liczba przewodów na fazę	Przekrój przewodu [mm ²]	R_o [Ω/km]	X_o [Ω/km]	B_o μS/km
15	1	35	0,86	0,40	3,0
20	1	70	0,44	0,37	3,2
110	1	120	0,24	0,42	2,8
	1	240	0,125	0,41	2,9
220	1	525	0,056	0,40	3,0
400	2	525	0,028	0,33	3,6



Rys. 2.5. Przykłady układów przewodów symetrycznych (a) i niesymetrycznych (b, c) pod względem pojemnościowym

Uwaga - wszystkie obliczane parametry należy odnieść dla wybranego do obliczeń poziomu napięcia znamionowego.

Transformator dwuuzwojeniowy

Rezystancję R_T uzwojeń Tr oblicza się ze wzoru

$$R_T = \frac{\Delta P_{Cu\%} U_N^2}{100 S_N} = \frac{\Delta P_{Cu} U_N^2}{S_N^2} 10^3 \quad [\Omega] \quad (2.21)$$

gdzie:

- $\Delta P_{Cu\%}, \Delta P_{Cu}$ - straty mocy w uzwojeniach [% , kW],
 U_N - napięcie znamionowe uzwojenia dla którego przeprowadza się obliczenia [kV],
 S_N - moc znamionowa transformatora [MV · A].

Reaktancję X_T Tr w zależności od mocy oblicza się z jednego z dwóch poniżej podanych wzorów:

a) gdy $S_N \leq 2,5 \text{ MV} \cdot \text{A}$

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2} \quad [\Omega] \quad (2.22)$$

gdzie:

- $Z_T = \frac{\Delta U_{Z\%} U_N^2}{100 S_N}$ - impedancja uzwojeń Tr,
 $\Delta U_{Z\%}$ - procentowe napięcie zwarcia [%].

b) jeżeli $S_N > 2,5 \text{ MV} \cdot \text{A}$

$$X_T \approx Z_T = \frac{\Delta U_{Z\%} U_N^2}{100 S_N} \quad [\Omega] \quad (2.23)$$

Konduktancję G_T Tr wyznaczamy ze wzoru

$$G_T = \frac{\Delta P_{Fe\%} S_N}{100 U_N^2} = \frac{\Delta P_{Fe}}{U_N^2} 10^3 \quad [\text{S}] \quad (2.24)$$

gdzie:

- $\Delta P_{Fe\%}, \Delta P_{Fe}$ - straty w żelazie [% , kW].

Suscceptancję B_T wyznaczamy z zależności

$$B_T = \frac{I_{\mu\%} S_N}{100 U_N^2} \quad [\text{S}] \quad (2.24)$$

gdzie: $I_{\mu\%}$ - prąd magnesowania Tr [%]

lub

$$B_T = \sqrt{Y_T^2 - G_T^2} \quad (2.25)$$

gdzie:

Y_T - admitancja uzwojeń Tr obliczona ze wzoru $Y_T = \frac{I_{o\%} S_N}{100 U_N^2}$

$I_{o\%}$ - prąd biegu jałowego [%].

(dla dużych Tr można przyjąć, że $B_T \approx Y_T$)

Transformator trójuzwojeniowy

Impedancje podłużne oblicza się dla poszczególnych par uzwojeń, tj. 1-2, 2-3, 1-3.

Rezystancję par uzwojeń oblicza się ze wzorów (podobnych jak dla TR dwuuzwojeniowego)

$$R_{12} = \frac{\Delta P_{Cu12\%} U_N^2}{100 S_N}; R_{23} = \frac{\Delta P_{Cu23\%} U_N^2}{100 S_N}; R_{13} = \frac{\Delta P_{Cu13\%} U_N^2}{100 S_N} \quad [\Omega] \quad (2.27)$$

natomiast reaktancję poszczególnych par uzwojeń (ponieważ zwykle $S_N > 2,5 \text{ MV} \cdot \text{A}$) z zależności

$$X_{12} = \frac{\Delta U_{Z12\%} U_N^2}{100 S_N}; X_{23} = \frac{\Delta U_{Z23\%} U_N^2}{100 S_N}; X_{13} = \frac{\Delta U_{Z13\%} U_N^2}{100 S_N} \quad [\Omega] \quad (2.28)$$

Podane we wzorach (2.27), (2.28) wartości U_N i S_N odnosi się do największego zasilającego uzwojenia.

Znając impedancję par uzwojeń

$$\underline{Z}_{12} = \underline{Z}_{T1} + \underline{Z}_{T2}; \underline{Z}_{23} = \underline{Z}_{T2} + \underline{Z}_{T3}; \underline{Z}_{13} = \underline{Z}_{T1} + \underline{Z}_{T3} \quad (2.29)$$

wyznacza się impedancje poszczególnych uzwojeń Tr ze wzorów

$$\begin{aligned} \underline{Z}_{T1} &= 0,5 [\underline{Z}_{12} + \underline{Z}_{13} - \underline{Z}_{23}] \\ \underline{Z}_{T2} &= 0,5 [\underline{Z}_{12} + \underline{Z}_{23} - \underline{Z}_{13}] \\ \underline{Z}_{T3} &= 0,5 [\underline{Z}_{13} + \underline{Z}_{23} - \underline{Z}_{12}] \end{aligned} \quad (2.30)$$

Uwaga: ww. impedancje mogą przyjmować wartości ujemne.

Admitancję $\underline{Y}_T = G_T + jB_T$ oblicza się podobnie jak dla Tr dwuuzwojeniowego (tj. ze wzorów (2.24 - 2.26)).

Autotransformator

Dla autotransformatorów dwuuzwojeniowych stosuje się podobne wzory jak dla Tr dwuuzwojeniowego z tą różnicą, że zamiast mocy S_N wstawia się moc przechodnią S_P autotransformatora wyznaczoną z zależności

$$S_P = S_W \left(1 - \frac{1}{v_{12}} \right) \quad (2.31)$$

gdzie: S_W - moc własna autotransformatora,
 v_{12} - przekładnia autotransformatora.

W przypadku braku danych katalogowych autotransformatora, jego parametry autotransformatora wyznacza się w sposób przybliżony korzystając z danych Tr dwuuzwojeniowego o takiej samej mocy znamionowej S_N , równej mocy przechodniej S_P , o tym samym napięciu górnym.

Korzysta się wówczas z następujących zależności

$$\frac{\Delta P_{Cu(a)}}{\Delta P_{Cu}} \approx \frac{\Delta P_{Fe(a)}}{\Delta P_{Fe}} \approx \frac{I_{o(a)}}{I_o} \approx \left(1 - \frac{1}{g_{12}}\right)^{0,75}$$

$$\frac{\Delta U_{Z(a)}}{\Delta U_Z} \approx \left(1 - \frac{1}{g_{12}}\right)$$
(2.32)

We wzorze (2.32) oznaczenie (a) dotyczy danych autotransformatora.

Dławik przeciwzwarciovv

W dławikach uwzględnia się tylko reaktancję indukcyjną X_D obliczoną ze wzoru

$$X_D = \frac{\Delta U_{Z\%} U_N^2}{100 S_N} = \frac{\Delta U_{Z\%} U_N}{100 \sqrt{3} I_N} 10^{-3} \quad [\Omega] \quad (2.33)$$

gdzie:

$\Delta U_{Z\%}$ - procentowe napięcie zwarcia dławika [%],

U_N - napięcie znamionowe [kV],

S_N - moc znamionowa [MV · A],

I_N - prąd znamionowy [A].