

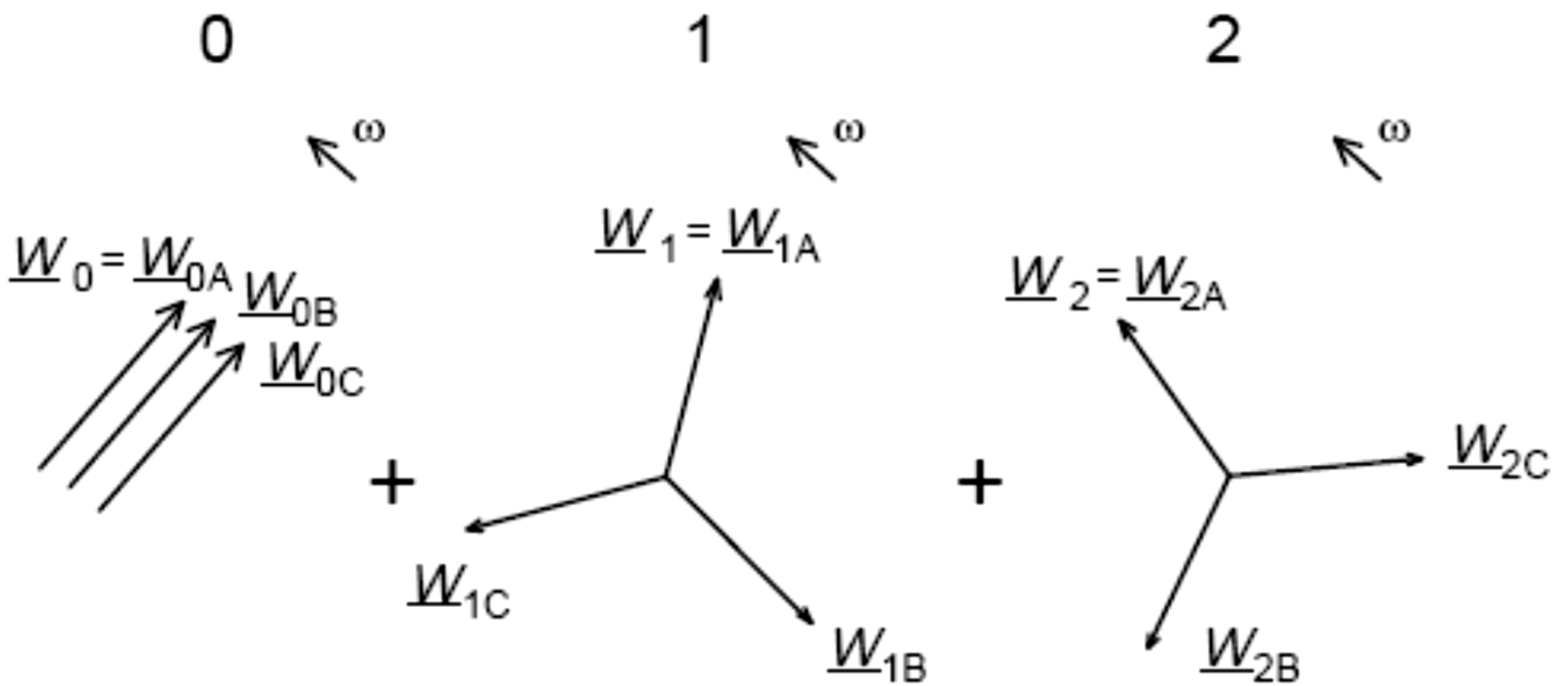
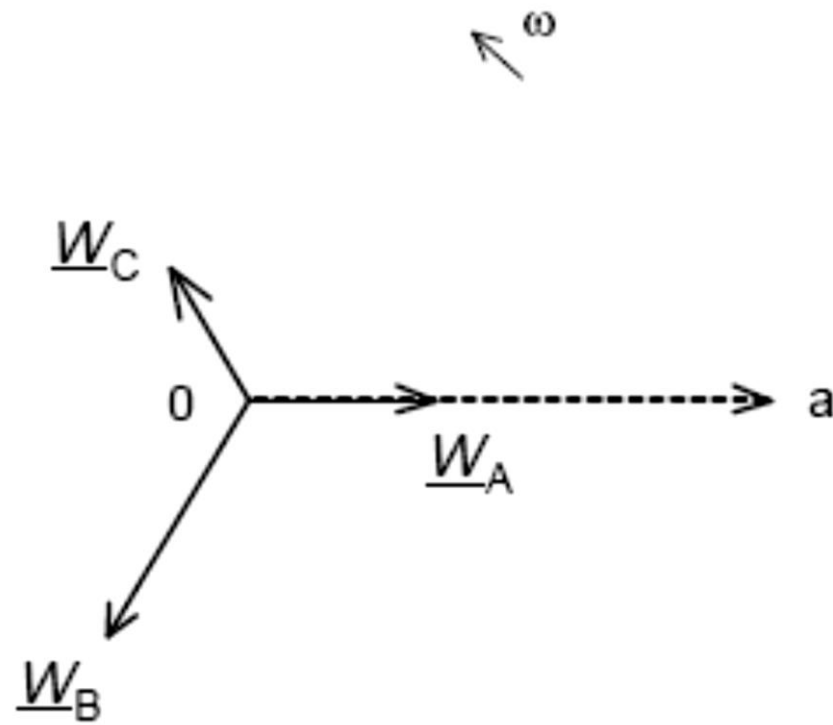
Metoda składowych symetrycznych (znana również jako przekształcenie Fortescoué) – metoda analizy elektroenergetycznych układów trójfazowych za pomocą wektorów o zgodnej, odwrotnej i zerowej kolejności faz.

Metoda składowych symetrycznych ułatwia, względem klasycznej metody, analizę układów w stanach awaryjnych (zwarcia międzyfazowe i doziemne, przerwy).

Idea metody składowych symetrycznych polega na tym, że stosując odpowiednie przekształcenie liniowe, zastępujemy układ trzech wektorów niesymetrycznych przez trzy równoważne układy symetryczne.

W rezultacie niesymetryczne źródło zasilania zastępujemy trzema symetrycznymi źródłami i stosując zasadę superpozycji, dokonujemy obliczenia rozptywu prądów dla każdego układu symetrycznego napięć.

Następnie nakładamy obliczone prądy wywołane działaniem każdego źródła niezależnie i otrzymujemy rozptyw wypadkowy. Rozkład układu niesymetrycznego może również dotyczyć prądów lub napięć na odbiorniku.



Macierze napięć i prądów w układzie osi fazowych (A,B,C) i osi składowych symetrycznych (0,1,2):

$$\mathbf{U}_{ABC} = \begin{bmatrix} \underline{U}_A \\ \underline{U}_B \\ \underline{U}_C \end{bmatrix}, \quad \mathbf{I}_{ABC} = \begin{bmatrix} \underline{I}_A \\ \underline{I}_B \\ \underline{I}_C \end{bmatrix}, \quad \mathbf{U}_{012} = \begin{bmatrix} \underline{U}_0 \\ \underline{U}_1 \\ \underline{U}_2 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{I}_{012} = \begin{bmatrix} \underline{I}_0 \\ \underline{I}_1 \\ \underline{I}_2 \end{bmatrix}$$

Macierz transformacji:

$$\mathbf{S} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix}, \quad a = e^{j\frac{2\pi}{3}} = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}$$

Macierz odwrotna:

$$\mathbf{S}^{-1} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} \mathbf{I}_{ABC} &= \mathbf{S}\mathbf{I}_{012} & \text{oraz} & & \mathbf{I}_{012} &= \mathbf{S}^{-1}\mathbf{I}_{ABC} \\ \mathbf{U}_{ABC} &= \mathbf{S}\mathbf{U}_{012} & & & \mathbf{U}_{012} &= \mathbf{S}^{-1}\mathbf{U}_{ABC} \end{aligned}$$

Prawo Ohma zapisane w postaci macierzowej przyjmuje postać:

$$\mathbf{U}_{ABC} = \mathbf{Z}_{ABC}\mathbf{I}_{ABC}$$

$$\begin{bmatrix} \underline{U}_A \\ \underline{U}_B \\ \underline{U}_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{Z}_{AA} & \underline{Z}_{AB} & \underline{Z}_{AC} \\ \underline{Z}_{BA} & \underline{Z}_{BB} & \underline{Z}_{BC} \\ \underline{Z}_{CA} & \underline{Z}_{CB} & \underline{Z}_{CC} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{I}_A \\ \underline{I}_B \\ \underline{I}_C \end{bmatrix}$$

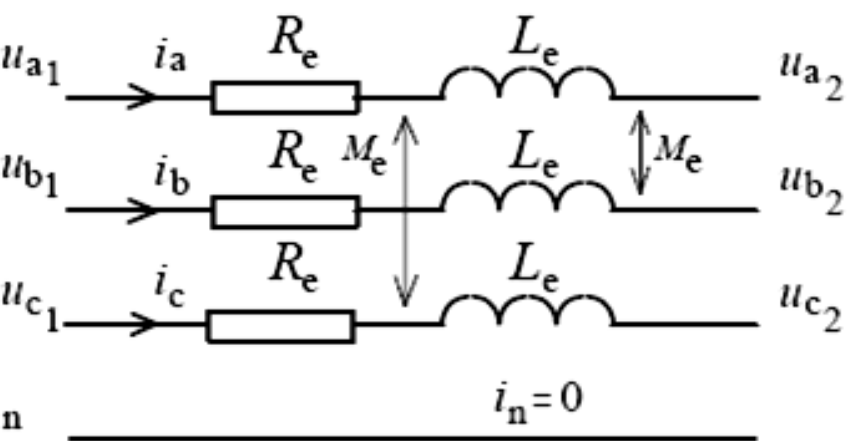
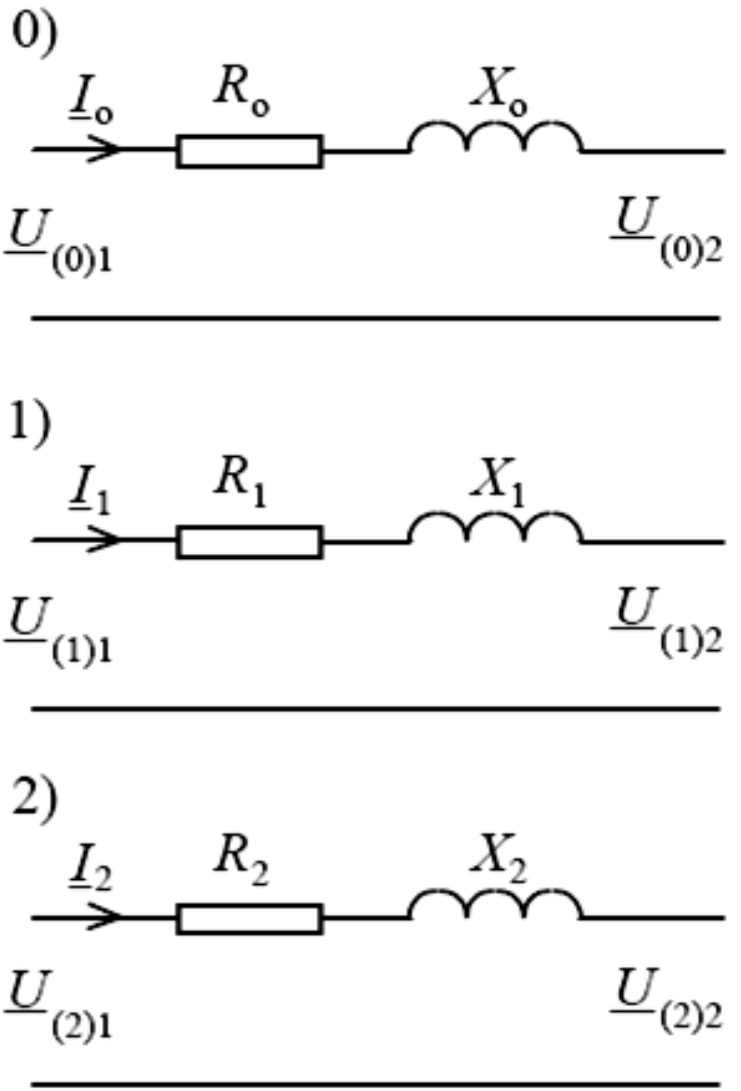
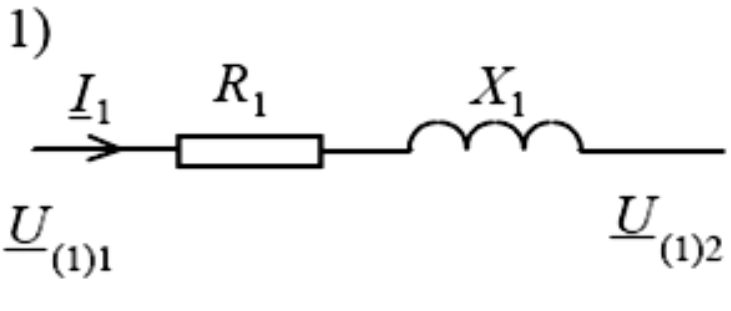
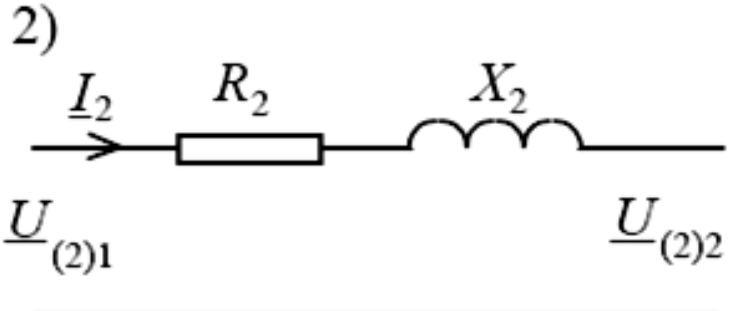
Diagonalizacja macierzy \mathbf{Z} :

$$\mathbf{S}\mathbf{U}_{012} = \mathbf{Z}_{ABC}\mathbf{S}\mathbf{I}_{012}$$

$$\mathbf{U}_{012} = \mathbf{S}^{-1}\mathbf{Z}_{ABC}\mathbf{S}\mathbf{I}_{012}$$

$$\mathbf{Z}_{012} = \mathbf{S}^{-1}\mathbf{Z}_{ABC}\mathbf{S} = \begin{bmatrix} \underline{Z}_0 & 0 & 0 \\ 0 & \underline{Z}_1 & 0 \\ 0 & 0 & \underline{Z}_2 \end{bmatrix}$$

Schematy zastępcze elementu dla składowych fazowych i symetrycznych.

Składowe fazowe A, B, C	Składowe symetryczne 0,1,2
	<p>0)</p>  <p>1)</p>  <p>2)</p> 

Zależności na napięcia i prądy po przekształceniu:

$$\underline{\mathbf{U}}_{012} = \mathbf{S}^{-1}\underline{\mathbf{U}}_{ABC}$$

lub

$$\underline{U}_0 = \frac{1}{3}(\underline{U}_A + \underline{U}_B + \underline{U}_C)$$

$$\underline{U}_1 = \frac{1}{3}(\underline{U}_A + a\underline{U}_B + a^2\underline{U}_C)$$

$$\underline{U}_2 = \frac{1}{3}(\underline{U}_A + a^2\underline{U}_B + a\underline{U}_C)$$

$$\underline{\mathbf{I}}_{012} = \mathbf{S}^{-1}\underline{\mathbf{I}}_{ABC}$$

lub

$$\underline{I}_0 = \frac{1}{3}(I_A + I_B + I_C)$$

$$\underline{I}_1 = \frac{1}{3}(I_A + aI_B + a^2I_C)$$

$$I_2 = \frac{1}{3}(I_A + a^2I_B + aI_C)$$

Wzory transformujące napięcia oraz prądy z układu 0, 1, 2 do układu A, B, C:

$$\mathbf{U}_{ABC} = \mathbf{S}\mathbf{U}_{012}$$

lub

$$\underline{U}_A = \underline{U}_0 + \underline{U}_1 + \underline{U}_2$$

$$\underline{U}_B = \underline{U}_0 + a^2 \underline{U}_1 + a \underline{U}_2$$

$$\underline{U}_C = \underline{U}_0 + a \underline{U}_1 + a^2 \underline{U}_2$$

$$\mathbf{I}_{ABC} = \mathbf{S}\mathbf{I}_{012}$$

lub

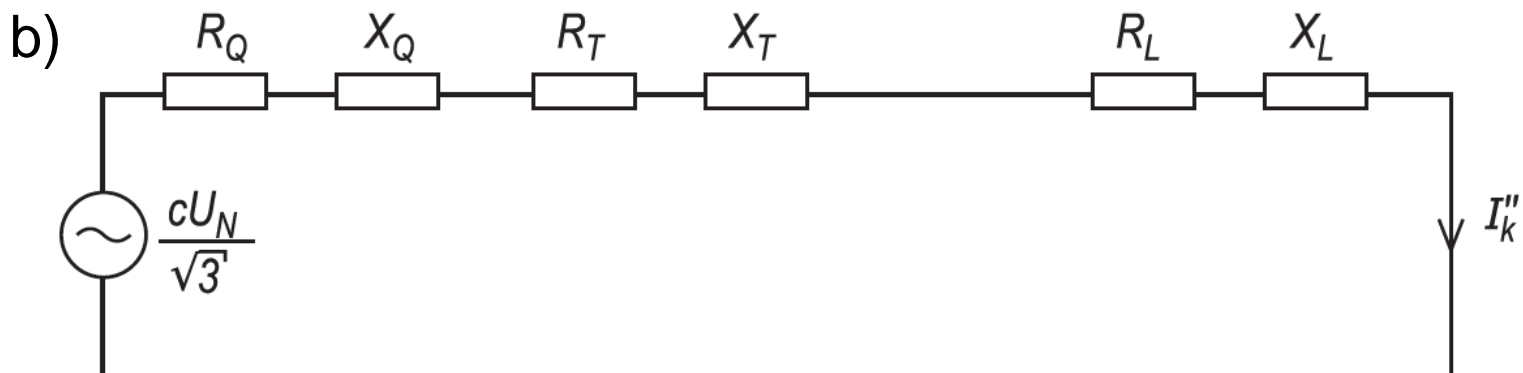
$$\underline{I}_A = \underline{I}_0 + \underline{I}_1 + \underline{I}_2$$

$$\underline{I}_B = \underline{I}_0 + a^2 \underline{I}_1 + a \underline{I}_2$$

$$\underline{I}_C = \underline{I}_0 + a \underline{I}_1 + a^2 \underline{I}_2$$

Zwarcia odległe od generatorów

W obliczeniach praktycznych za zwarcie odległe od generatorów uznaje się zwarcie zasilane przez transformator, którego reaktancja (impedancja) jest co najmniej dwukrotnie większa od impedancji źródła zasilania.



- a) uproszczony schemat systemu elektroenergetycznego,
 b) schemat zastępczy dla jednej fazy przy zwarciu trójfazowym symetrycznym,

Q – zastępcze źródło zasilania o mocy zwarciowej S_k'' ,
 T – transformator, L – linia elektroenergetyczna

Prąd zwarciovoy początkowy I_k'' przy zwarciu trójfazowym zasilanym z pojedynczego źródła oblicza się według wzoru:

$$I_k'' = \frac{cU_N}{\sqrt{3}Z_k} = \frac{cU_N}{\sqrt{3}\sqrt{R_k^2 + X_k^2}}$$

w którym:

c – współczynnik napięciowy równy stosunkowi napięcia, jakie może występować w miejscu zwarcia przed pojawieniem się zwarcia, do napięcia znamionowego U_N ;

Z_k – impedancja zwarciovoy zgodna w miejscu zwarcia;

R_k – suma rezystancji zgodnych elementów obwodu zwarciovoy połączonych szeregowo;

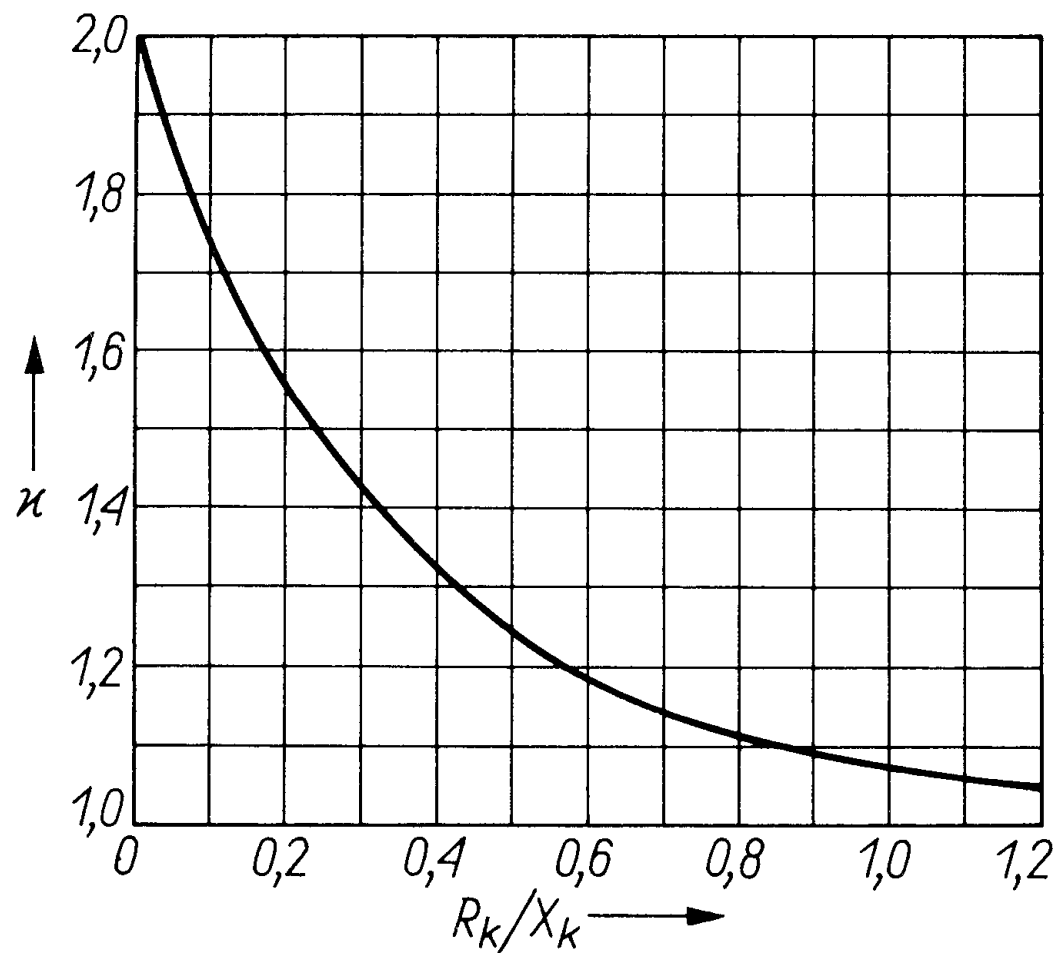
X_k – suma reaktancji zgodnych elementów obwodu zwarciovoy połączonych szeregowo.

Rezystancje mogą być pominięte, jeżeli jest spełniony warunek $R_k < 0,3X_k$.

Największą chwilową wartość prądu zwarciovego nazywa się prądem udarowym i_p . Oblicza się go według wzoru:

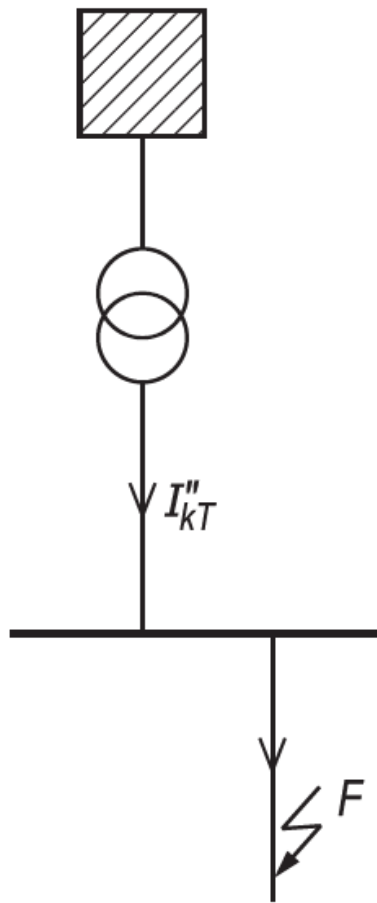
$$i_p = \sqrt{2\kappa} I_k''$$

przy czym κ – współczynnik udaru, którego wartość zależy od ilorazu R_k i X_k obwodu zwarciovego

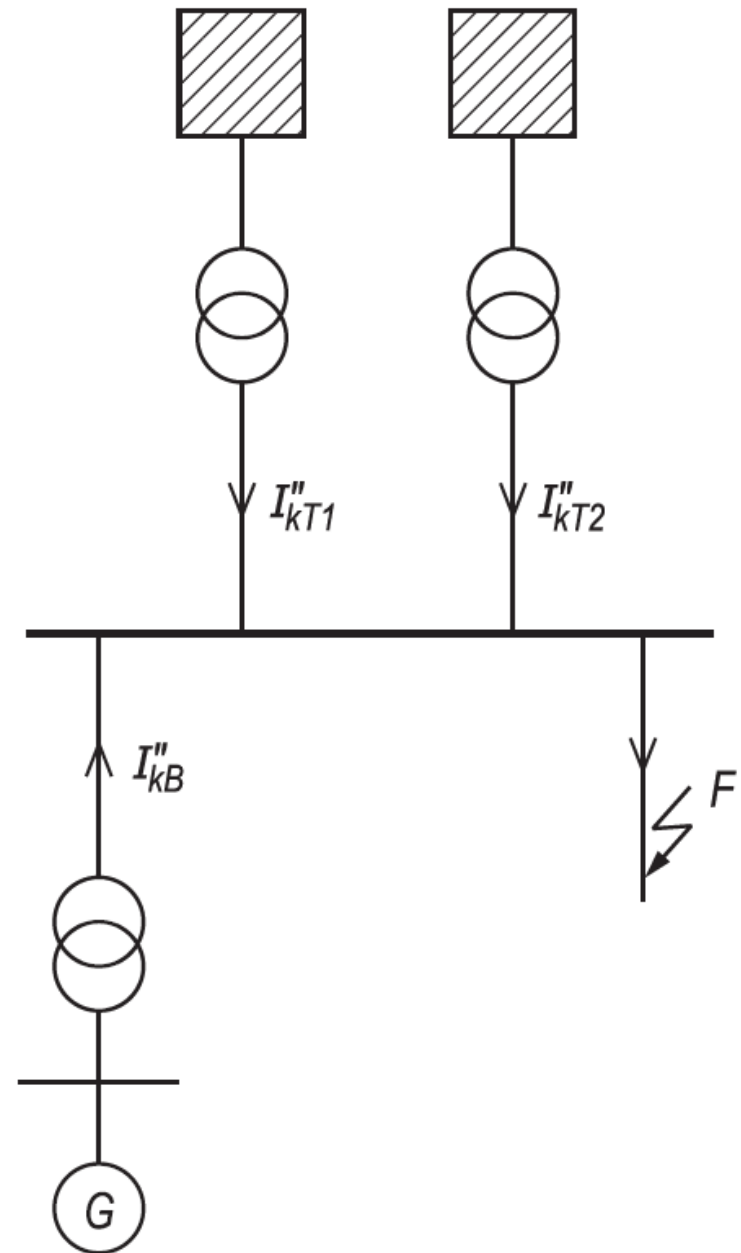


Zależność współczynnika udaru κ od ilorazu R_k/X_k

a)

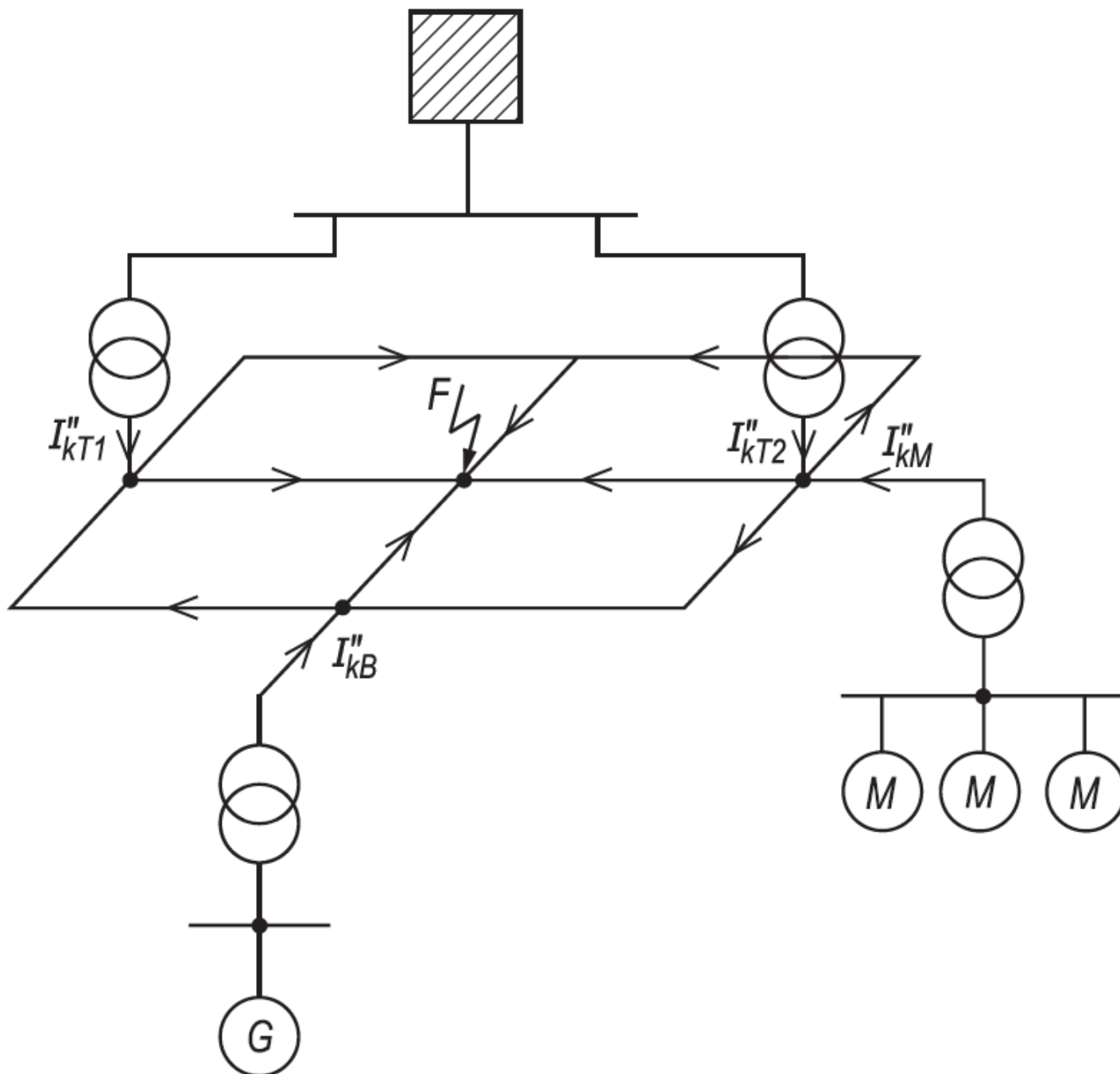


b)



Różne układy sieci warunkujące sposób obliczania prądów zwarciovych:

- a) zasilana jednostronnie;
- b) zasilana z wielu źródeł.



Sieć zamknięta (kratowa)

Współczynnik κ może być obliczony z zależności:

$$\kappa \approx 1,02 + 0,98e^{-3R_k/X_{\partial k}}$$

W sieciach zasilanych z kilku (N) niezależnych źródeł prąd zwarcia początkowy w miejscu zwarcia jest sumą geometryczną prądów zwarcia poszczególnych gałęzi, obliczonych jak dla przypadku zasilania z pojedynczego źródła.

W większości przypadków prądy I''_{ki} mają zbliżone kąty fazowe, tak że prąd zwarcia I''_k może być obliczony jako suma algebraiczna prądów poszczególnych gałęzi:

$$I''_k = \sum_{i=1}^N I''_{ki}$$

Podobnie, udarowy prąd zwarcia w miejscu zwarcia jest sumą prądów i_{pi} w poszczególnych gałęziach:

$$i_p = \sum_{i=1}^N i_{pi}$$

W sieciach zamkniętych prąd zwarcia początkowy I_k'' oblicza się również według wzoru:

$$I_k'' = \frac{cU_N}{\sqrt{3}Z_k} = \frac{cU_N}{\sqrt{3}\sqrt{R_k^2 + X_k^2}}$$

Rzeczywisty układ impedancji, zawierający elementy połączone szeregowo, równoległe, w gwiazdę i trójkąt należy przekształcić zgodnie z prawami elektrotechniki w jeden element Z_k stanowiący rezystancję R_k i reaktancję X_k , a w układach wysokonapięciowych, w których $X_k \gg R_k$, jedynie reaktancję X_k .

Udarowy prąd zwarcia i_p w sieciach zamkniętych oblicza się według wzoru:

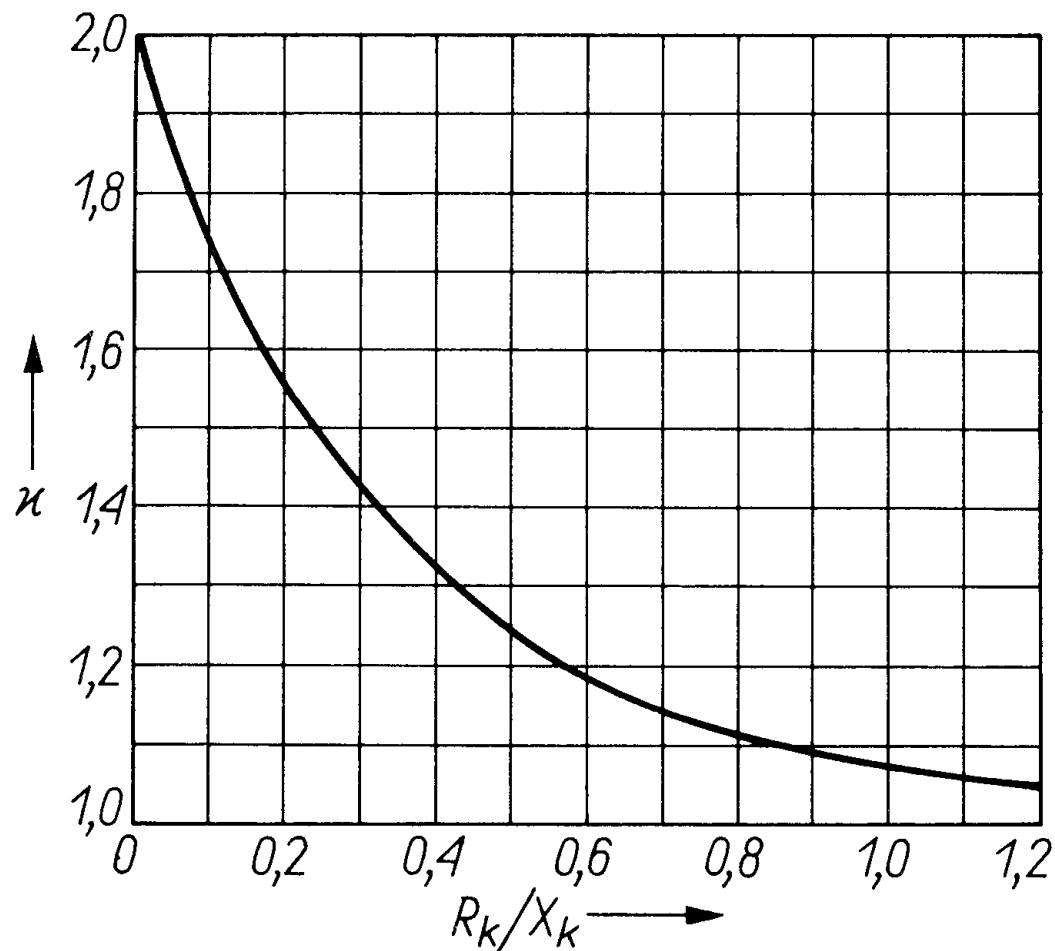
$$i_p = \sum_{i=1}^N i_{pi}$$

Prąd do miejsca zwarcia płynie różnymi gałęziami, o różnej wartości ilorazu R_{ki} i X_{ki} , od którego zależą wartości współczynników udaru K_j .

W zależności od pożądanej dokładności obliczeń współczynnik κ można wyznaczyć trzema metodami: A, B i C.

W metodzie A współczynnik udaru wyznacza się z wykresu

$$\kappa = f(R_k/X_k) :$$



lub według zależności:

$$\kappa \approx 1,02 + 0,98e^{-3R_k/X_{ok}}$$

Do obliczeń κ należy przyjąć tę gałąź, dla której stosunek R do X jest najmniejszy spośród wszystkich gałęzi.

W obliczeniach uwzględnia się te gałęzie, przez które przepływa łącznie co najmniej 80% prądu zwarciovego.

Metoda A wyznaczania współczynnika κ może być stosowana w przypadkach, w których nie wymaga się dużej dokładności obliczeń.

W metodzie B współczynnik udaru κ oblicza się według wzoru:

$$\kappa = 1,15 \kappa_b$$

w którym 1,15 jest współczynnikiem bezpieczeństwa uwzględniającym założenie upraszczające wprowadzone przy przekształcaniu sieci zamkniętych i w obliczeniach impedancji zespolonej $Z_k = R_k + jX_k$ w miejscu zwarcia F.

Współczynnik κ_b wyznacza się z wykresu $\kappa = f(R_k/X_k)$ dla obliczonej wartości R_k/X_k , przy czym reaktancja X_k ma być wyliczona przy częstotliwości sieci 50 Hz.

Niezależnie od wyników obliczeń wartości współczynnika udaru κ , wykonanych według zależności:

$$\kappa = 1,15 \kappa_b$$

nie należy przyjmować wartości większych niż 1,8 w sieciach niskiego napięcia oraz 2,0 w sieciach wysokiego napięcia.

W metodzie C obliczania współczynnika udaru κ wyznacza się impedancję zastępczą:

$$Z_c = R_c + jX_c$$

widzianą z miejsca zwarcia F, gdy zastępcze źródło napięcia o częstotliwości $f_c = 20$ Hz umieszczone w miejscu zwarcia jest jedynym w sieci.

Przy tej częstotliwości otrzymuje się wartości rezystancji i reaktancji zastępczej sieci inne niż przy częstotliwości sieciowej $f = 50$ Hz. Współczynnik κ_c wyznacza się z wykresu $\kappa = f(R_k/X_k)$ dla:

$$\frac{R}{X} = \frac{R_c \cdot f_c}{X_c \cdot f} = 0,4 \frac{R_c}{X_c}$$

Zwarcia niesymetryczne dwufazowe i jednofazowe

Wzory do obliczania prądu początkowego w przypadkach zwarć różnego rodzaju zestawiono w tabeli na następnej stronie.

Występujące we wzorach wielkości Z_1 , Z_2 , Z_0 to impedancje odpowiednio składowej zgodnej, przeciwnej i zerowej obwodu zwarciovego.

Prądy udarowe wyznacza się z zależności:

$$i_p = \sqrt{2\kappa} I_k''$$

przy czym do wzoru należy wstawić wartość prądu początkowego I_k'' właściwą dla danego rodzaju zwarcia.

Wartość współczynnika udaru κ można przyjąć taką samą jak dla zwarcia trójfazowego.

Wzory do obliczania prądu początkowego I_k'' przy zwarcii symetrycznym i przy zwarciach niesymetrycznych

Rodzaj zwarcia	Szkic miejsca zwarcia	Prąd początkowy
Trójfazowe bez udziału ziemi lub z udziałem ziemi		$I_{k3}'' = \frac{cU_N}{\sqrt{3} Z_1 }$
Dwufazowe		$I_{k2}'' = \frac{cU_N}{ Z_1 + Z_2 }$
Dwufazowe doziemne		$I_{k2E}'' = \frac{\sqrt{3}cU_N}{\left Z_1 + Z_0 + Z_0 \frac{Z_1}{Z_2} \right }$
Jednofazowe doziemne lub do przewodu ochronnego (PE, PEN) w sieciach niskiego napięcia		$I_{k1}'' = \frac{\sqrt{3}cU_N}{ Z_1 + Z_2 + Z_0 }$

Z_1, Z_2, Z_0 – impedancje zwarciove: zgodna (Z_1), przeciwna (Z_2) i zerowa (Z_0).

Jeżeli dysponujemy dokładnymi danymi dotyczącymi rezystancji i reaktancji poszczególnych składowych, to współczynnik udaru κ dla zwarcia jednofazowego może być wyznaczony z wykresu $\kappa = f(R_k/X_k)$ dla R/X wyrażonego zależnością:

$$\frac{R}{X} = \frac{R_1 + R_2 + R_0}{X_1 + X_2 + X_0}$$

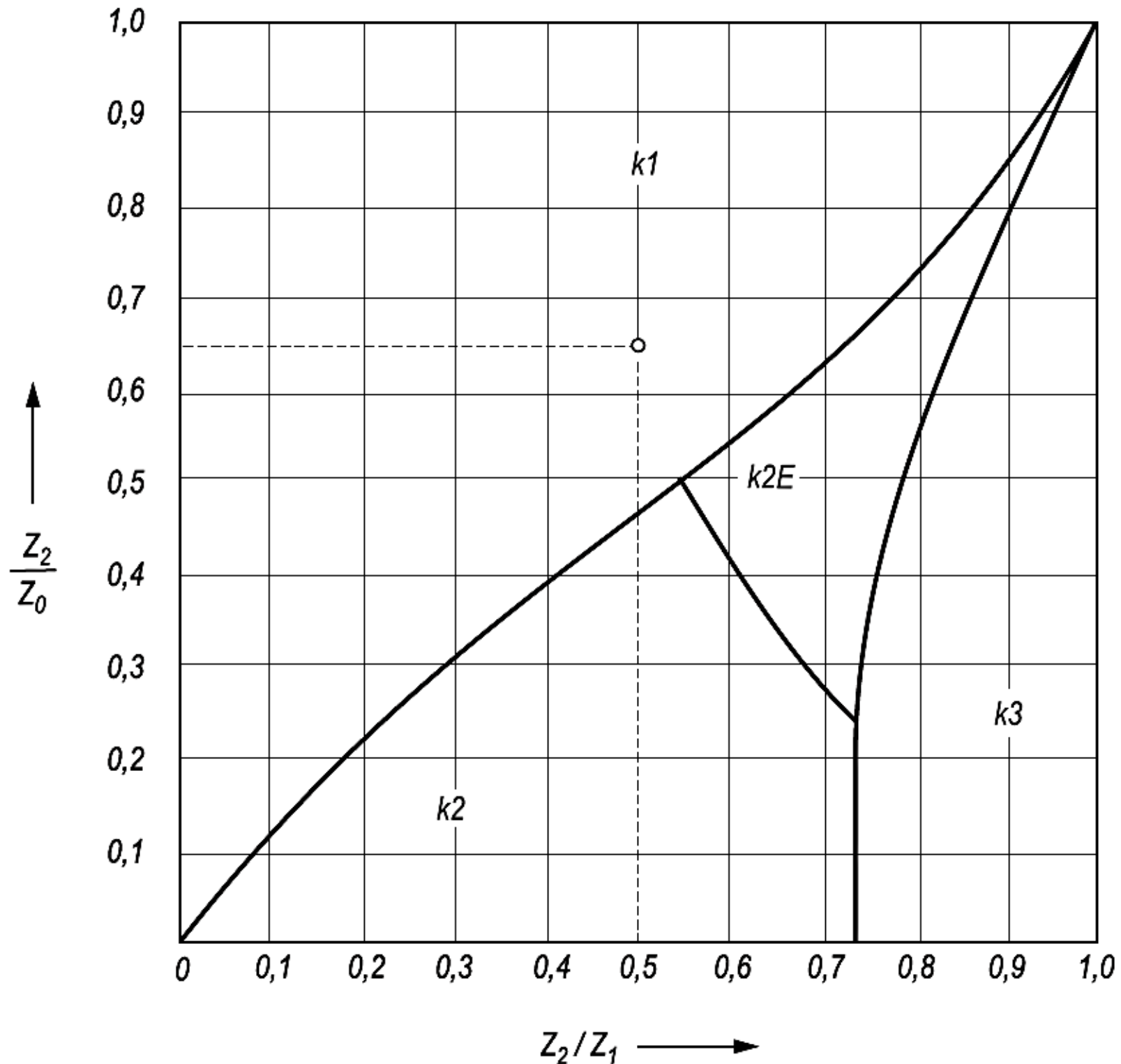
Impedancje składowej zgodnej Z_1 i przeciwnej Z_2 poszczególnych elementów systemu elektroenergetycznego są przeważnie jednakowe, natomiast impedancje Z_0 są najczęściej większe od Z_1 .

Z tego względu prądy zwarciovowe przy zwarciach trójfazowych są z reguły największe.

Są jednak przypadki, gdy $Z_1 \neq Z_2$ oraz $Z_0 < Z_1$, co powoduje, że prądy przy zwarciach niesymetrycznych mogą być większe niż przy zwarciu trójfazowym.

Relacje między poszczególnymi impedancjami obwodu zwarciovowego (Z_2/Z_1 oraz Z_2/Z_0), przy których występują największe wartości prądów zwarciovowych przy różnych rodzajach zwarć przedstawiono na wykresie.

Diagram określający rodzaj zwarcia, przy którym wartość prądu zwarciovego jest największa, w zależności od ilorazu impedancji składowej przeciwnej Z_2 i zgodnej Z_1 oraz przeciwnej Z_2 i zerowej Z_0



Impedancje zwarciove urządzeń elektrycznych

sieć zasilająca

$$Z_Q = \frac{cU_{nQ}^2}{S_{kQ}''} = \frac{cU_{nQ}}{\sqrt{3}I_{kQ}''} \quad Z_Q = \frac{cU_{nQ}^2}{S_{kQ}''} \frac{1}{g^2} = \frac{cU_{nQ}}{\sqrt{3}I_{kQ}''} \frac{1}{g^2}$$

gdzie:

U_{nQ} - napięcie sieci elektroenergetycznej w miejscu Q,

S_{kQ}'' - moc zwarciova obliczeniowa początkowa sieci w miejscu Q,

I_{kQ}'' - prąd zwarciovy obliczeniowy początkowy w miejscu Q,

c - współczynnik napięciowy,

g - przekładnia znamionowa transformatora.

$$\text{dla } U_n > 35 \text{ kV : } \underline{Z}_Q = 0 + jX_Q$$

$$\text{dla } U_n \leq 35 \text{ kV : } R_Q = 0,1X_Q \quad X_Q = 0,995Z_Q$$

transformatory

Parametry podłużne w schemacie zastępczym transformatora

Dane znamionowe:

napięcia znamionowe U_{n1} i U_{n2} ,

przekładnia znamionowa \mathcal{G} ,

moc znamionowa S_{nT} ,

znamionowe napięcie zwarcia $\Delta U_{Z(\%)}$,

straty mocy w uzwojeniach ΔP_{Cu} .

$$R_T = R_1 + R_2 \mathcal{G}^2 \quad R_1 \cong R_2 \mathcal{G}^2$$

$$X_T = X_1 + X_2 \mathcal{G}^2 \quad X_1 \cong X_2 \mathcal{G}^2$$

R_1, R_2 i X_1, X_2 – rezystancje i reaktancje uzwojeń górnego i dolnego napięcia transformatora

$$R_T = \frac{\Delta P_{Cu} U_{nT}^2}{10^3 S_{nT}^2} \quad R_T = \frac{\Delta P_{Cu(\%)} U_{nT}^2}{100 S_{nT}} \quad Z_T = \frac{\Delta U_{Z(\%)} U_{nT}^2}{100 S_{nT}}$$

$$\Delta P_{cu} [\text{kW}], \quad U_{nT} [\text{kV}], \quad S_{nT} [\text{MVA}]$$

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2}$$

Współczynniki korygujące wartości impedancji transformatorów
Transformatory dwuuzwojeniowe z wyjątkiem transf. blokowych

Impedancja zwarciova transformatora skorygowana:

$$Z_{TK} = K_T Z_T \quad R_{TK} = K_T R_T \quad X_{TK} = K_T X_T$$

Współczynnik korygujący impedancję transformatora:

$$K_T = 0,95 \frac{C_{\max}}{1 + 0,6 x_T} \quad x_T = \frac{X_T}{Z_{nT}} \quad x_T = \frac{X_T}{\frac{U_{nT}^2}{S_{nT}}}$$

gdzie:

x_T – względna reaktancja zwarciova transformatora

Z_{nT} – impedancja znamionowa transformatora

Współczynnik korygujący impedancję transformatora w przypadku znanych warunków jego pracy przed zwarcie:

$$K_T = \frac{U_n}{U_m} \frac{C_{\max}}{1 + x_T \frac{I_{Tm}}{I_{nT}} \sin \varphi_{Tm}}$$

gdzie:

U_n – napięcie znamionowe sieci,

U_m – najwyższe napięcie sieci przed zwarcie,

I_{Tm} – maksymalny prąd obciążenia przed zwarcie,

I_{nT} – prąd znamionowy transformatora,

φ_{Tm} – kąt obciążenia transformatora przed zwarcie.

linie napowietrzne i kablowe

Impedancje wzdłużne linii napowietrznych i kablowych dla składowych symetrycznych zgodnych i przeciwnych są jednakowe.

Rezystancję linii (wyrażoną w omach) oblicza się według zależności:

$$R_L = \frac{l}{\gamma S}$$

w której:

S – rzeczywisty przekrój przewodów, mm^2 ;

γ – konduktywność materiału, z którego są wykonane przewody, $\text{m}/(\Omega\text{mm}^2)$, (MS/m) ;

l – długość linii, m.

W obliczeniach można przyjmować γ równe $54 \text{ m}/(\Omega\text{mm}^2)$ dla miedzi oraz $34 \text{ m}/(\Omega\text{mm}^2)$ dla aluminium i $31 \text{ m}/(\Omega\text{mm}^2)$ dla stopów aluminiowych.

Reaktancje linii napowietrznych dla składowej symetrycznej zgodnej zależą od materiału i przekroju przewodów, układu przewodów na słupie oraz odstępu między nimi, zależnych od napięcia znamionowego linii.

Reaktancja linii X_L wyrażona w omach może być obliczona według wzoru:

$$X_L = 0,0628 \left(\frac{0,25}{n} + \ln \frac{d}{r} \right) l$$

w którym:

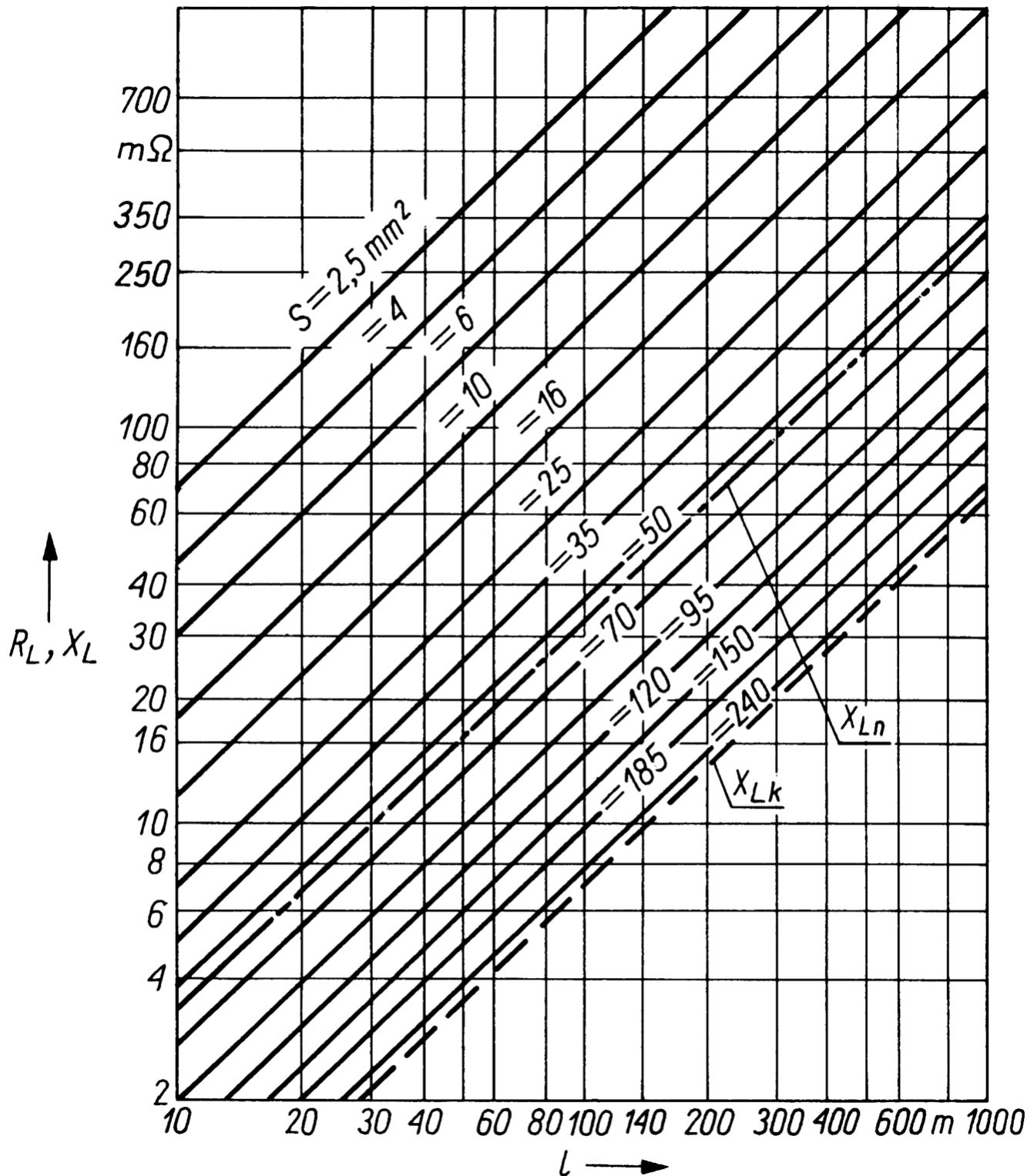
$$d = \sqrt[3]{d_{12}d_{23}d_{31}}$$

gdzie: d – średnia geometryczna odległość między przewodami lub osiami wiązek przewodów, l – długość linii, r – promień pojedynczego przewodu, a w wiązce – zastępczy promień wiązki przewodów równy:

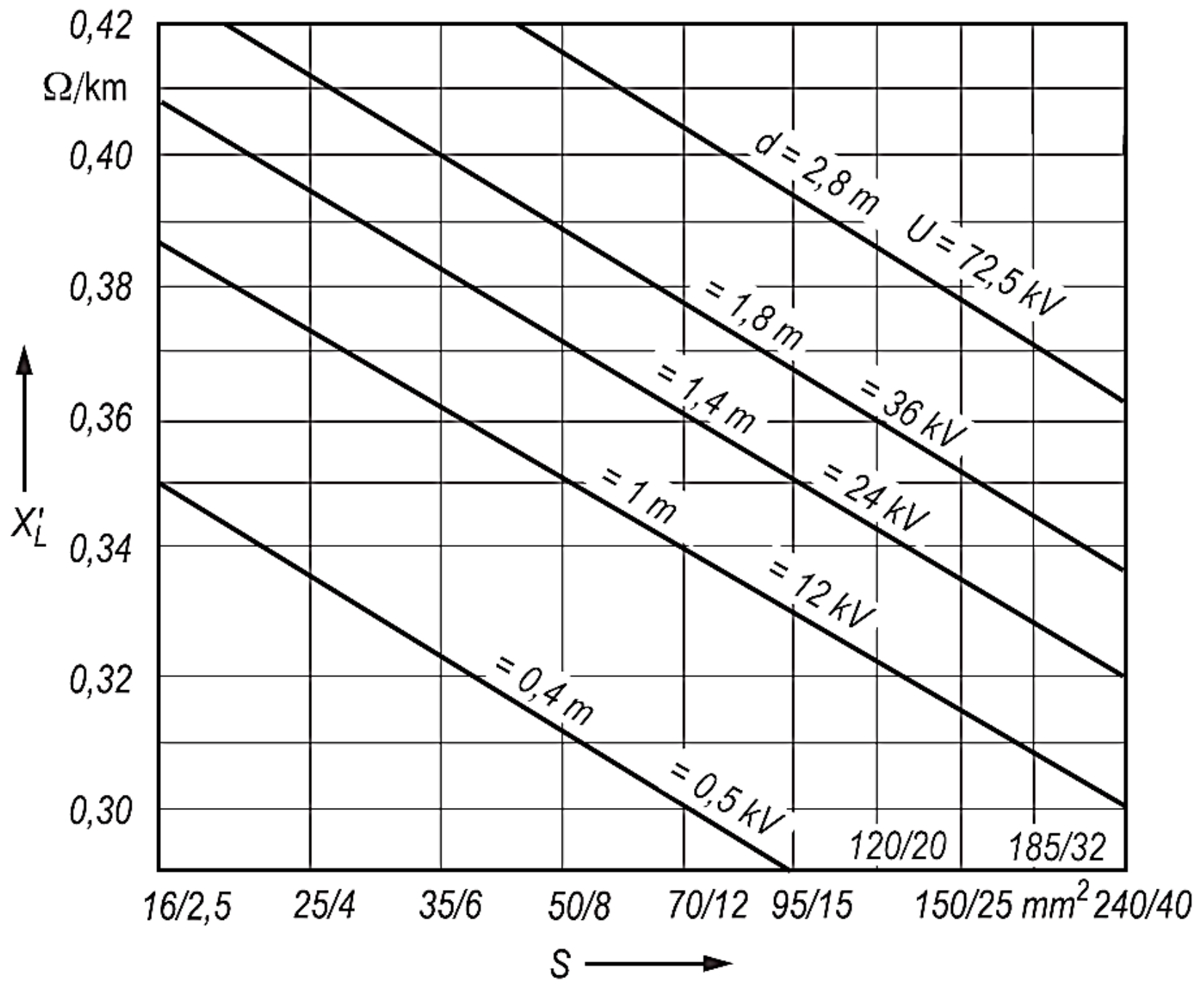
$$r_z = \sqrt[n]{nrR^{n-1}}$$

przy czym: R – promieniem wiązki, n – liczba przewodów w wiązce (dla pojedynczego przewodu $n = 1$).

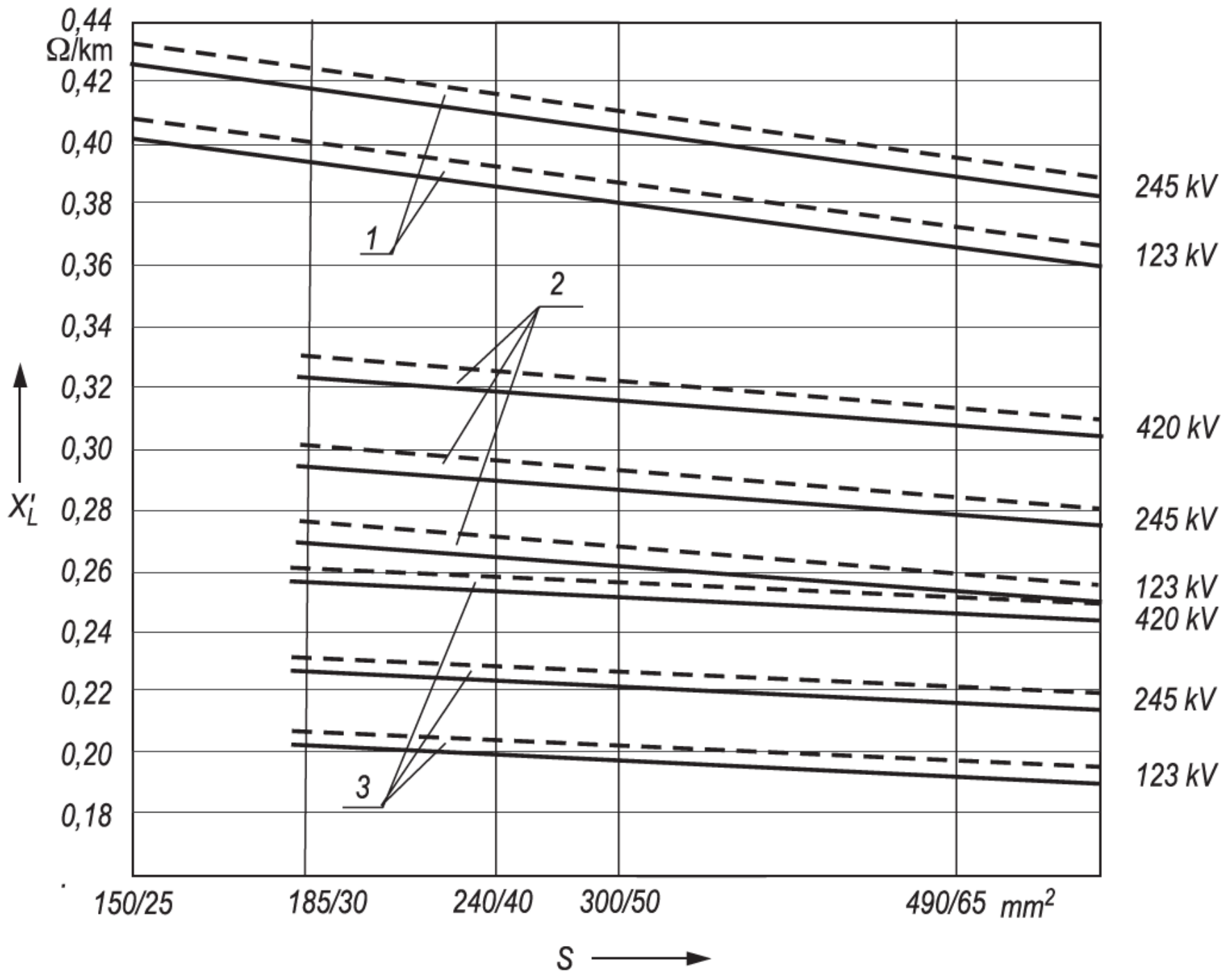
W obliczeniach praktycznych reaktancje linii napowietrznych mogą być wyznaczone według podanych zależności oraz na podstawie danych zawartych na poniższych wykresach.



Rezystancje i reaktancje linii napowietrznych i kablowych niskiego napięcia o długości l i przekroju S żył miedzianych (dla przewodów aluminiowych rezystancję R_L należy pomnożyć przez 1,7)
 X_{Lk} – reaktancja linii kablowej,
 X_{Ln} – reaktancja linii napowietrznej



Zależności reaktancji jednostkowych X'_L linii napowietrznych o przewodach aluminiowo-stalowych (AFL) od przekroju przewodów S i odległości między przewodami d



Reaktancje jednostkowe X'_L linii napowietrznych WN, — linia 1-torowa, - - - - linia 2-torowa; odstępy między przewodami fazowymi: 4 m (123 kV), 6 m (245 kV), 9,4 m (420 kV), krzywe: 1 - pojedyncze przewody fazowe, 2 - dwa przewody w wiązce, 3 - cztery przewody w wiązce; odstęp między przewodami w wiązce 0,4 m; przewody AFL o przekroju S

Rezystancja linii napowietrznych jednotorowych dla składowej symetrycznej zerowej (wyrażona w Ω/km), w skład której wchodzi również rezystancja ziemi, jest w przybliżeniu określona wzorem:

$$R'_0 = R' + 0,15$$

gdzie R' – rezystancja 1 km linii w $[\Omega]$.

Reaktancje linii napowietrznych dla składowej symetrycznej zerowej zależą od materiału i przekroju przewodów, odstępów między przewodami, układu przewodów na słupie oraz liczby przewodów odgromowych.

Dokładne wartości tej reaktancji mogą być ustalone na podstawie analizy warunków pracy linii i zależności określających związek między reaktancją a parametrami linii.

Reaktancje dla składowej symetrycznej zerowej linii dwutorowej są w przybliżeniu 1,5-rza większe niż linii jednotorowych.

Wartości średnie reaktancji dla składowej symetrycznej zerowej jednej fazy linii napowietrznej jednotorowej podano niżej.

Wartości względne reaktancji indukcyjnych dla składowej symetrycznej zerowej jednej fazy linii napowietrznych jednotorowych

Rodzaj linii	Napięcie linii, kV	$\frac{X_0}{X_1}$
Bez przewodów odgromowych	60	3,6
	110	3,4
Z jednym przewodem odgromowym	60	3,4
	110	3,2
Z dwoma przewodami odgromowymi	60	3,2
	110	3,0
	220	2,7

X_0, X_1 – reaktancje dla składowej symetrycznej zerowej i zgodnej.

Reaktancje indukcyjne kabli dla składowej symetrycznej zgodnej zależą od rodzaju kabla, zastosowanego opancerzenia, przekroju żył oraz odstępu między żyłami (napięcia znamionowego kabla).

Niżej podano wartości reaktancji jednostkowej kabli dla składowej zgodnej.

Reaktancje jednostkowe X_L (Ω/km) kabli elektroenergetycznych trójżyłowych o izolacji rdzeniowej średniego napięcia*

Liczba kabli i przekrój żyły mm^2	Napięcie znamionowe, kV				
	3,6	7,2	12	17,5	36
3 × 6	0,120	0,144	—	—	—
3 × 10	0,112	0,133	0,142	—	—
3 × 16	0,105	0,123	0,132	0,152	—
3 × 25	0,096	0,111	0,122	0,141	0,151
3 × 35	0,092	0,106	0,112	0,135	0,142
3 × 50	0,089	0,10	0,106	0,122	0,129
3 × 70	0,085	0,096	0,101	0,115	0,122
3 × 95	0,084	0,093	0,098	0,110	0,117
3 × 120	0,082	0,091	0,095	0,107	0,112
3 × 150	0,081	0,088	0,092	0,104	0,109
3 × 185	0,080	0,087	0,09	0,10	0,105
3 × 240	0,079	0,085	0,089	0,097	0,102
3 × 300	0,077	0,083	0,086	—	—
3 × 400	0,076	0,082	—	—	—

* Reaktancje kabli nieopancerzonych są o 15% mniejsze, a kabli czterożyłowych opancerzonych o 10% większe od podanych wartości.

Reaktancje jednostkowe X_L (Ω/km) kabli elektroenergetycznych jednożyłowych o izolacji polietylenowej (PE) ułożonych w trójkąt

Liczba kabli i przekrój żyły mm^2	Napięcie znamionowe, kV				
	12	24	36	72,5	123
$3 \times 1 \times 35$	0,135	–	–	–	–
$3 \times 1 \times 50$	0,129	0,138	0,148	–	–
$3 \times 1 \times 70$	0,123	0,129	0,138	–	–
$3 \times 1 \times 95$	0,116	0,123	0,132	–	–
$3 \times 1 \times 120$	0,110	0,119	0,126	0,151	0,163
$3 \times 1 \times 150$	0,107	0,116	0,123	0,148	0,160
$3 \times 1 \times 185$	0,104	0,110	0,119	0,141	0,154
$3 \times 1 \times 240$	0,101	0,107	0,113	0,138	0,148
$3 \times 1 \times 300$	0,098	0,104	0,110	0,132	0,145
$3 \times 1 \times 400$	0,094	0,101	0,107	0,129	0,138
$3 \times 1 \times 500$	0,091	0,097	0,104	0,126	0,132
$3 \times 1 \times 630$	–	–	–	0,119	0,129

Impedancje kabli dla składowej zerowej zależą od materiału, przekroju i liczby żył kabla oraz drogi powrotnej prądu przy zwarciu jednofazowym.

Przeciętnie dla kabli czterożyłowych można korzystać z zależności:

$$R_{0L} = R + 3R_N$$

$$X_{0L} = (3,5 \div 4,0)X_L$$

w których R_N – rezystancja przewodu neutralnego N.

Dławiki zwarciove

Impedancje dławików zgodne, przeciwne i zerowe są jednakowe. Reaktancję dławików wyznacza się według zależności:

$$X_d = \frac{X_{d\%} \cdot U_{Nd}}{100 \cdot \sqrt{3} \cdot I_{Nd}} = \frac{X_{d\%} \cdot U_{Nd}^2}{100 \cdot S_{Nd}}$$

gdzie: $X_{d\%}$ – reaktancja dławika, %;

I_{Nd} , U_{Nd} – prąd znamionowy i napięcie znamionowe dławika;

S_{Nd} – moc znamionowa (przepustowa) dławika.

Rezystancje pomija się. Są 15...20 razy mniejsze od reaktancji.