

## Seminarium online



### **Zasady ochrony przed porażeniem i przed przepięciami w sieciach nN, SN, WN i NN w zakresie projektowania, budowy i eksploatacji**

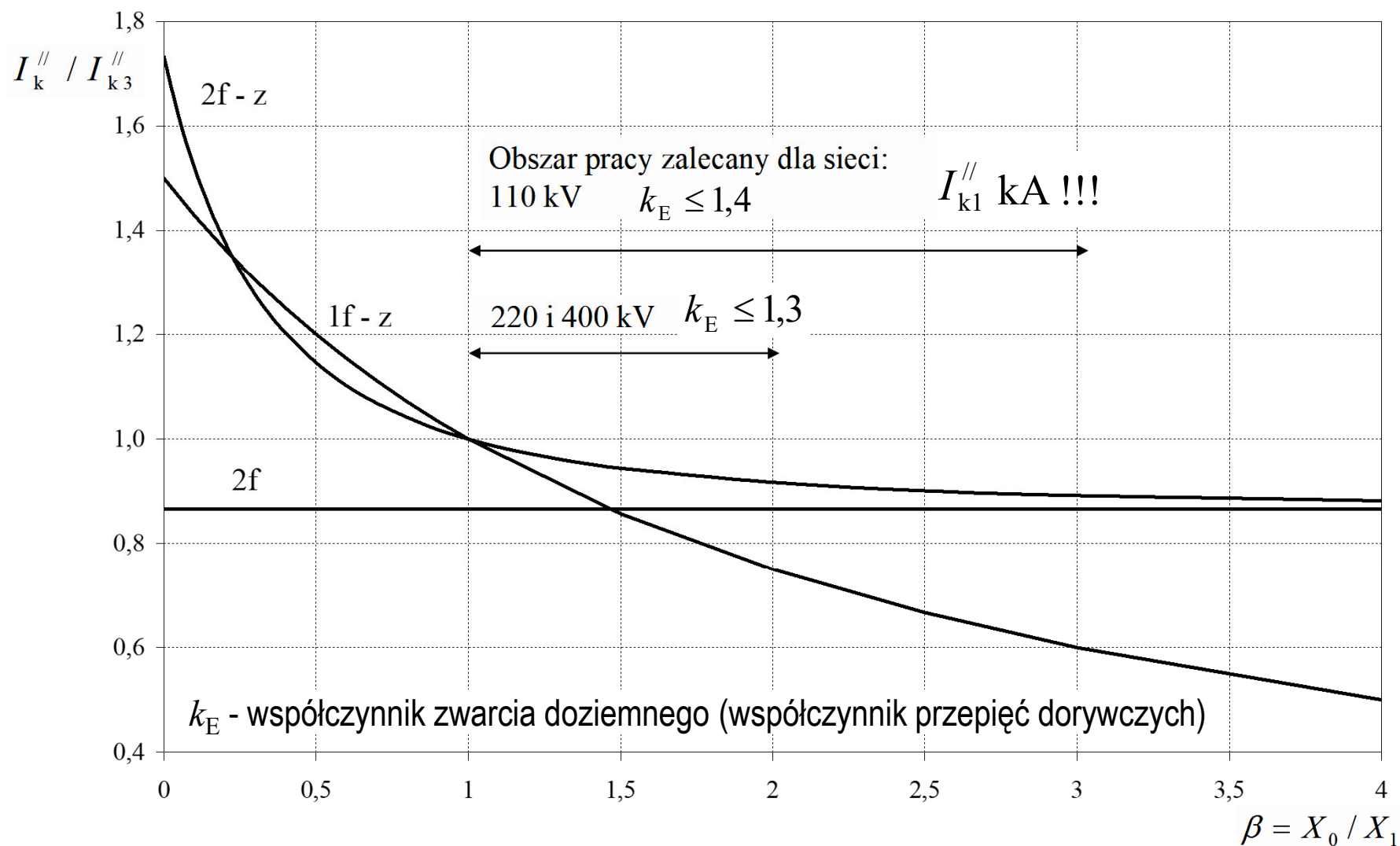
1-2, 8-9, 14 czerwca 2021 r.

#### **Dzień 4 - Blok 1**

### **Zagadnienia szczegółowe dotyczące ochrony przed porażeniem w obiektach WN i NN**

dr hab. inż. Kurt ŻMUDA, prof. Pol. Śl., dr inż. Edward SIWY

## Punkt neutralny skutecznie uziemiony



Przebiegi łączeniowe (szybkoczynne) – 1,6 ... 2,5.

## Wymagania dla każdej instalacji uziemiającej

Stacje transformatorowe, urządzenia rozdzielcze itp.

Slupy z materiału nieizolacyjnego, gdy otoczenie słupa jest często uczęszczane

$$U_T \leq U_{Tp}$$

lub

$$U_E \leq 2U_{Tp}$$

$$U_T \leq U_{Tp}$$

lub

$$U_E \leq 2U_D$$

albo:

$U_E \leq 4U_{Tp}$  +określone uznane środki M

$$U_T = U_{ST} \cdot \alpha_T = U_E \cdot \alpha_{ST} \cdot \alpha_T = I_E \cdot R_E \cdot \alpha_{ST} \cdot \alpha_T$$

gdzie:

$I_E$  – prąd uziomowy,

$U_E$  – napięcie uziomowe,

$R_E$  – rezystancja uziemienia, równa w przybliżeniu impedancji uziemienia  $Z_E$ ,

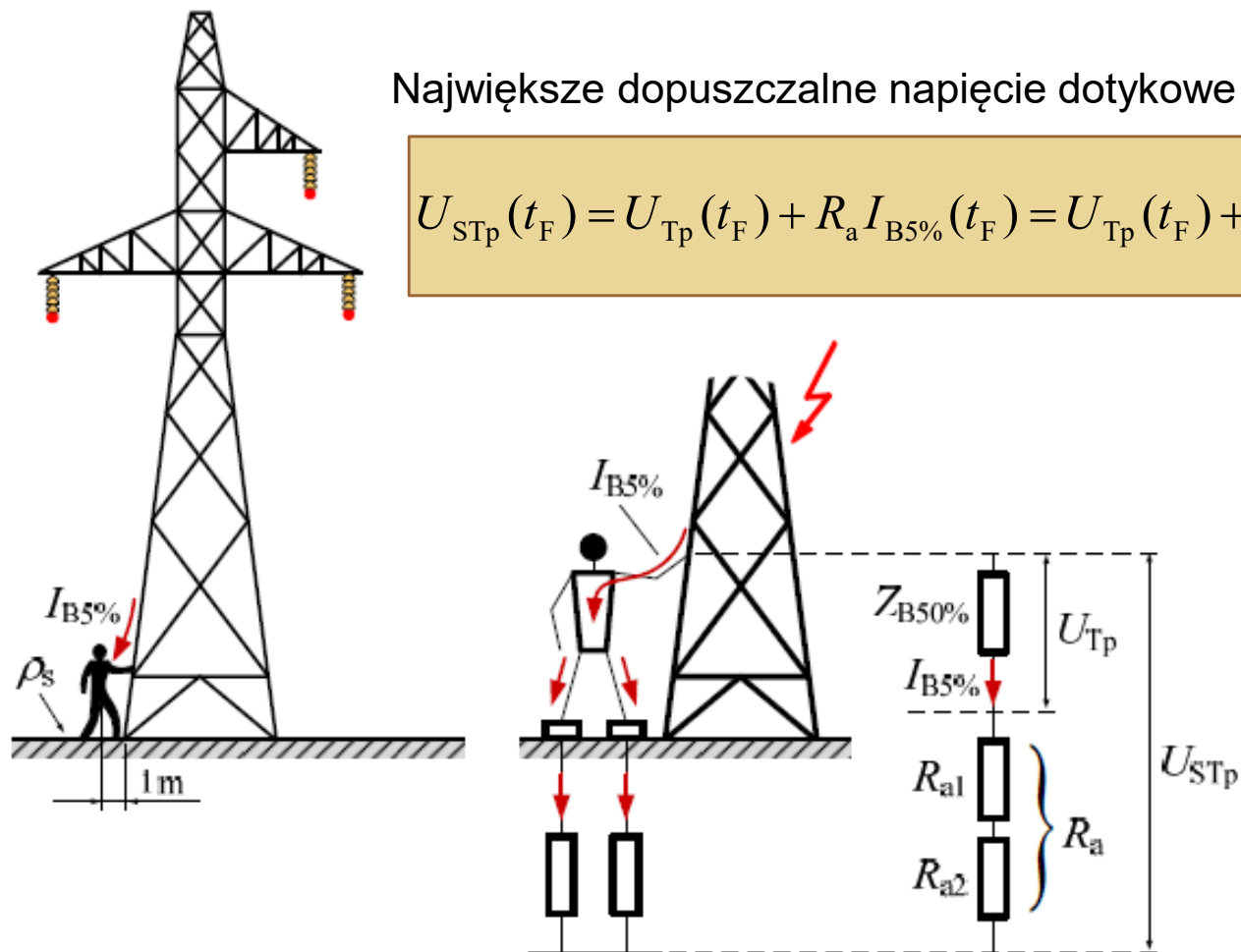
$\alpha_{ST}$  – współczynnik dotykowy ( $\alpha_{ST} = U_{ST}/U_E$ ),

$\alpha_T$  – współczynnik dotykowy rażeniowy ( $\alpha_T = U_T/U_{ST}$ ).

## Uwzględnienie rezystancji dodatkowych w obwodzie rażeniowym

Największe dopuszczalne napięcie dotykowe spodziewane oblicza się ze wzoru:

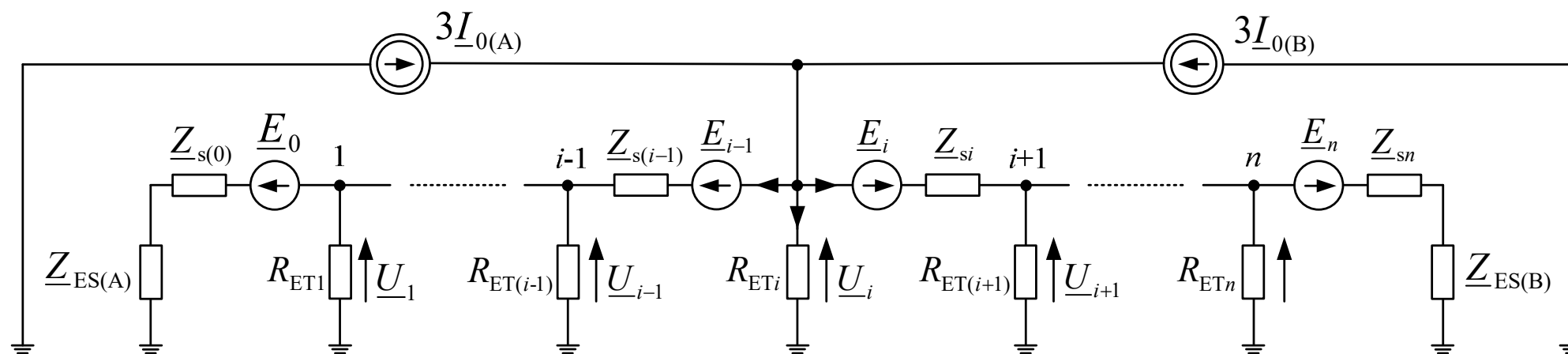
$$U_{STp}(t_F) = U_{Tp}(t_F) + R_a I_{B5\%}(t_F) = U_{Tp}(t_F) + \frac{R_a U_{Tp}(t_F)}{Z_{B50\%}} = U_{Tp}(t_F) \left( 1 + \frac{R_a}{Z_{B50\%}} \right)$$



W Wytycznych są podane wartości dopuszczalne dla czterech istotnych przypadków:

- $R_a = 0$  – wszędzie tam, gdzie spodziewana jest obecność ludzi bez obuwia,
- $R_a = 1750 \Omega$  – wszędzie tam, gdzie występuje naturalna warstwa powierzchniowa gruntu,
- $R_a = 4000 \Omega$  – wszędzie tam, gdzie na powierzchni gruntu ułożona jest warstwa z betonu, kamienia, żwiru itp. (np. kostka brukowa, płyty chodnikowe),
- $R_a = 7000 \Omega$  – wszędzie tam, gdzie powierzchnia gruntu jest asfaltowana.

## Układy uziemiające słupów linii napowietrznych z przewodami odgromowymi



### Schemat zastępczy linii napowietrznej z przewodami odgromowymi

- służący do określania napięcia uziomowego na słupach oraz prądu w przewodach odgromowych

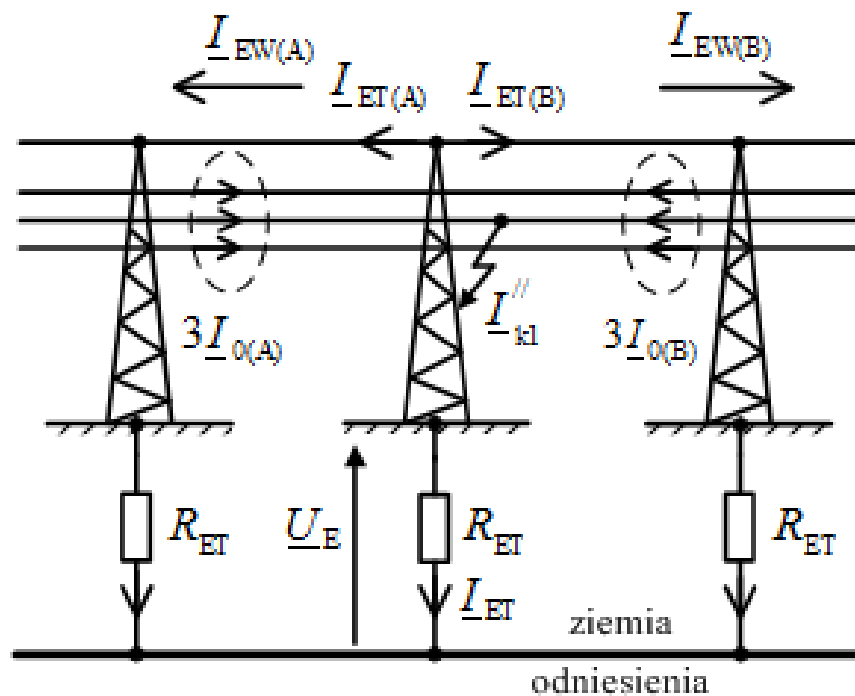
**źródła prądowe** – odpowiadają prądom zwarcia 1-fazowego płynącym w przewodach roboczych przy zwarcu na słupie  $i$ .

**źródła napięciowe (SEM)** – odpowiadają SEM indukowanemu w przewodach odgromowych przez prądy w przewodach roboczych,

$1 \dots i \dots n$  – kolejne słupy w linii.

# Układy uziemiające słupów linii napowietrznych z przewodami odgromowymi

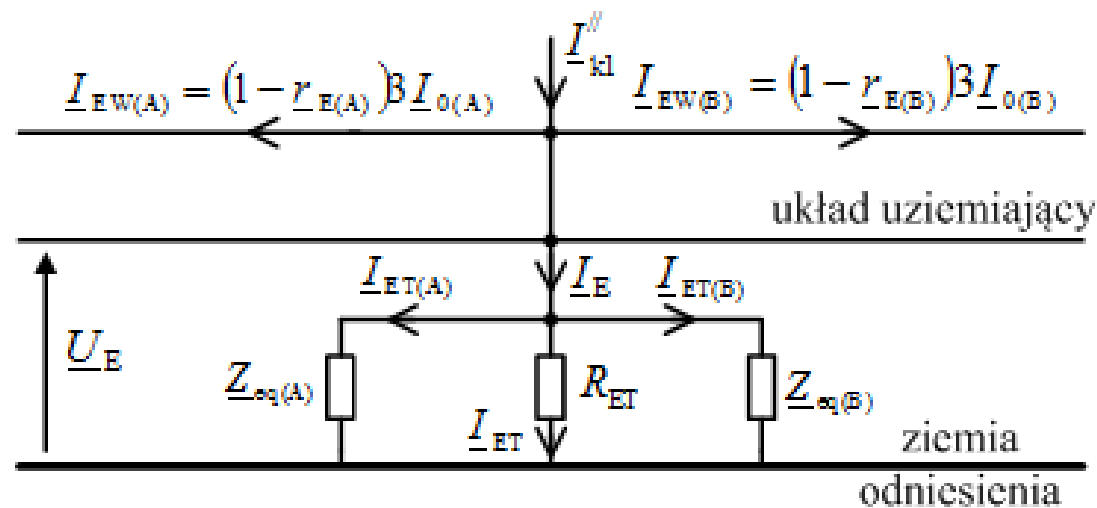
a)



Rozpływ prądu zwarcia doziemnego przy zwarciu części czynnej ze słupem linii napowietrznej:

- a) szkic sytuacyjny,
- b) schemat zastępczy

b)



# Układy uziemiające słupów linii napowietrznych z przewodami odgromowymi

## Obliczanie napięcia uziomowego na słupie linii WN lub NN

$$\underline{U}_E = Z_E I_E$$

$$Z_E = \frac{1}{\frac{1}{R_{ET}} + \frac{1}{Z_{eq(A)}} + \frac{1}{Z_{eq(B)}}}$$

$Z_{eq}$  - impedancja wejściowa układu przewodów odgromowych

– uziomy słupów linii (dla odcinka linii liczącego ponad 10 słupów),

$R_{ET}$  - rezystancja uziemienia słupa linii napowietrznej.

Prąd uziomowy można wyrazić następująco:

$$I_E = I_{k1}'' - I_{EW(A)} - I_{EW(B)} = (3I_{0(A)} + 3I_{0(B)}) - (1 - r_E)(3I_{0(A)} + 3I_{0(B)}),$$

skąd otrzymuje się ostatecznie:

$$I_E = r_E (3I_{0(A)} + 3I_{0(B)}) = r_E (3I_0).$$

# Układy uziemiające słupów linii napowietrznych z przewodami odgromowymi

## Współczynnik redukcyjny przewodów odgromowych

Współczynnik redukcyjny linii napowietrznej określa, jaka część prądu zwarciovego przedostaje się do ziemi przez układ uziemiający linii. Korzystne są małe wartości współczynnika redukcyjnego, ponieważ napięcie uziomowe osiąga wtedy mniejsze wartości. Taką sytuację zapewniają np. dwa przewody odgromowe w linii, o dużym przekroju.

$$r_E = \frac{I_E}{3I_0} = \frac{3I_0 - I_{EW}}{3I_0}$$

gdzie:

$I_{EW}$  - prąd powracający przewodem odgromowym do źródła, bez udziału ziemi,

$I_E$  - prąd uziomowy,

$3I_0$  - suma prądów kolejności zerowej.

$$I_{EW} = 3I_0 \frac{Z_{LE}}{Z_{EE}}$$

wobec tego

$$r_E = 1 - \mu = \frac{Z_{EE} - Z_{LE}}{Z_{EE}}$$

W praktyce przy wyznaczaniu prądu uziomowego korzysta się z tablic, zawierających wartości współczynnika  $r$  dla typowych linii 110 kV. W przypadku polskich linii 110 kV zawierają się one w granicach  $0,75 \div 0,55$ .



## Układy uziemiające słupów linii napowietrznych z przewodami odgromowymi

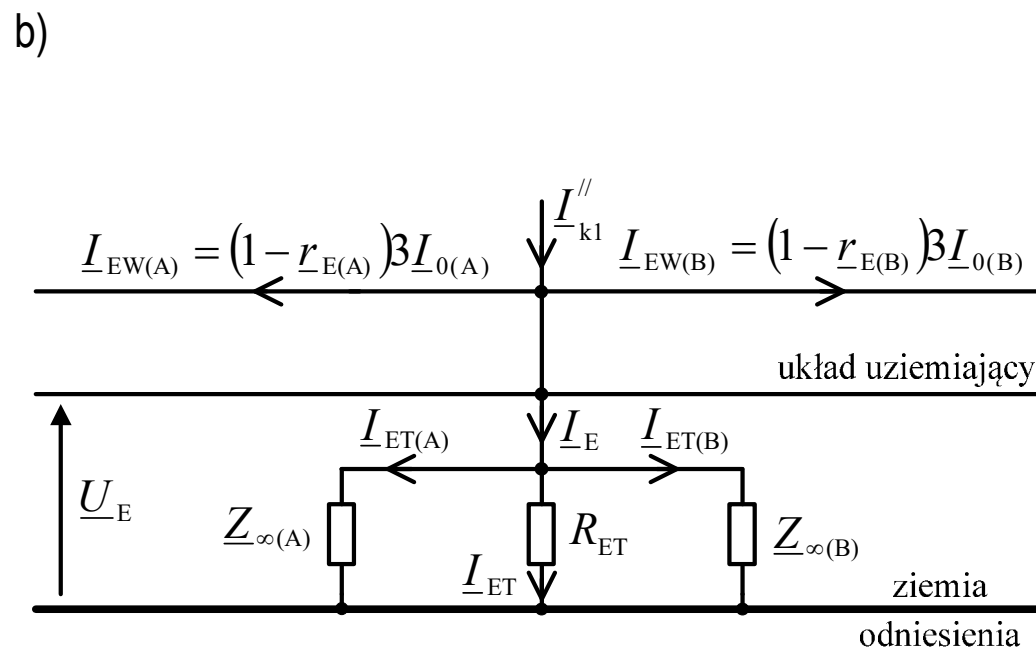
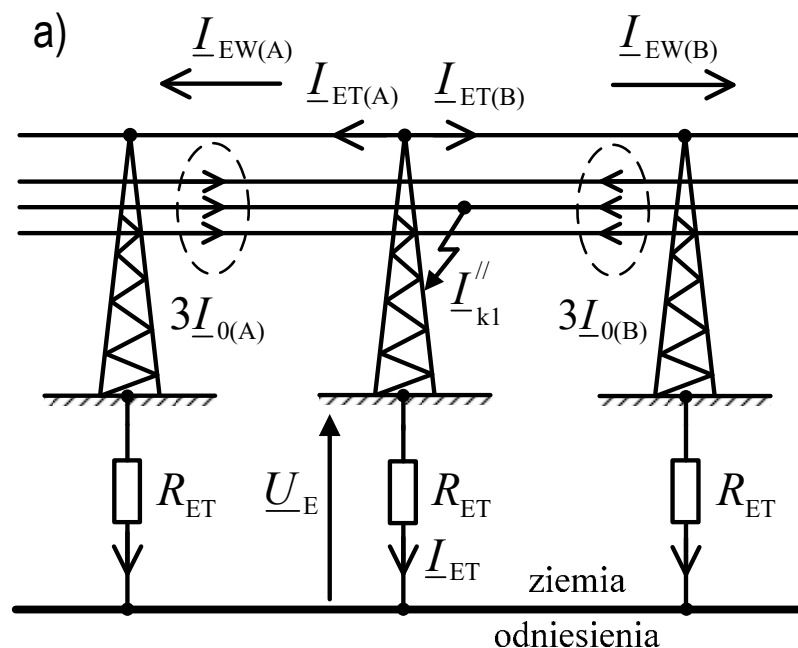
W obliczeniach wypadkowej impedancji uziemienia wykorzystuje się impedancję wejściową układu przewód odgromowy – uziomy słupów linii, dla odcinka linii zawierającego co najmniej 10 słupów. Takiemu odcinkowi odpowiada drabinkowy schemat zastępczy, o wielu powtarzających się “ogniwach”. Impedancję takiego długiego odcinka określa wzór:

$$\underline{Z}_{eq} \cong \frac{1}{2} \left[ \underline{Z}_s + \sqrt{\underline{Z}_s (\underline{Z}_s + 4R_{ET})} \right] \cong \frac{\underline{Z}_s}{2} + \sqrt{R_{ET} \underline{Z}_s}$$

w którym  $\underline{Z}_s = a \cdot \underline{Z}_{EE}$  jest impedancją przewodu odgromowego w przęśle o rozpiętości  $a$ .

Typ słupa	$U_n$	Liczba przew. odgr.	$D_{LE}$	$\underline{z}_E$	$ \underline{z}_E $	$\underline{Z}_{eq}$	$ \underline{Z}_{eq} $
	kV		m	-	-	$\Omega$	$\Omega$
B2	110	1	7,55	0,71-j0,14	0,72	1,56+j0,91	1,81
O24	110	2	8,05	0,55-j0,15	0,57	1,22+j1,57	1,99
H52	220	2	10,16	0,55-j0,15	0,57	1,80+j1,15	2,14
M52	220	2	14,70	0,58-j0,13	0,60	1,81+j1,16	2,15
Y52	400	2	11,60	0,55-j0,15	0,57	1,79+j1,13	2,12
Z52	400	2	20,70	0,61-j0,12	0,62	1,79+j1,14	2,13

# Układy uziemiające słupów linii napowietrznych z przewodami odgromowymi



Rozpływ prądu początkowego zwarcia jednofazowego przy zwarciu na słupie linii napowietrznej:

a) szkic sytuacyjny, b) schemat zastępczy

- linia 110 kV na słupach S12 z przew. odgr. 1xAFL-1,7 50 mm<sup>2</sup> -  $r_E = 0,73$
- linia 110 kV na słupach B2 z przew. odgr. 1xAFL-1,7 70 mm<sup>2</sup> -  $r_E = 0,72$
- linia 110 kV na słupach S52 z przew. odgr. 1xAFL-6 240 mm<sup>2</sup> -  $r_E = 0,61$
- linia 110 kV na słupach OS24 z przew. odgr. 2xAFL-1,7 70 mm<sup>2</sup> -  $r_E = 0,62$
- linia 110 kV na słupach O24 z przew. odgr. 2xAFL-1,7 95 mm<sup>2</sup> -  $r_E = 0,53$
- linia 400 kV na słupach Z33 z przew. odgr. 1xAFL-1,7 70 mm<sup>2</sup> -  $r_E = 0,62$

Źródła:

(1) *Elektroenergetyczne układy przesyłowe i rozdzielcze. Wybrane zagadnienia z przykładami*, 2014 r..

(2) *Podręcznik INPE dla elektryków. Zeszyt 12. Uziemienia w sieciach, instalacjach i urządzeniach elektroenergetycznych*, 2006 r.

## Układy uziemiające słupów linii napowietrznych z przewodami odgromowymi

**[Przykład]** W linii dwutorowej 400 kV, na słupach serii Z33 należy dobrać uziom ochronny ze sterowanym rozkładem potencjałów na jednym ze słupów położonych w środkowej części linii. Prądy zwarcia jednofazowego dopływające z obu kierunków do tego słupa wynoszą  $3I_{0(A)} = 10 \text{ kA}$ ,  $3I_{0(B)} = 5 \text{ kA}$ , a łączny czas obustronnego wyłączenia zwarcia (z uwzględnieniem działania automatyki SPZ) wynosi  $t_F = 0,3 \text{ s}$ . Średnia rozpiętość pręseł w linii wynosi  $a_{sr} = 0,4 \text{ km}$ , a średnia rezystancja uziemień odgromowych słupów linii  $R_{ET} = 15 \Omega$ . Słup z wymaganym uziemieniem ochronnym zlokalizowany jest w miejscu, gdzie mogą przebywać ludzie mający na stopach buty, a rezystywność przypowierzchniowa stanowiska wynosi  $\rho_s = 200 \Omega \cdot \text{m}$ . Rezystancja projektowanego uziomu ochronnego wynosi  $R_{ETochr} = 4 \Omega$ , natomiast określenia wymaga maksymalna, dopuszczalna wartość współczynnika dotykowego  $\alpha_d$  dla tego uziomu (wpływa to na rozmieszczenie elementów uziomu).

**[Rozwiązanie]** Wykorzystując obliczone impedancje jednostkowe  $\underline{Z}'_{LE}$  i  $\underline{Z}'_{EE}$  współczynnik redukcyjny przewodów odgromowych wynosi:

$$\underline{r}_E = \frac{(0,289 + j0,527) - (0,049 + j0,239)}{0,289 + j0,527} = 0,612 - j0,120.$$

## Układy uziemiające słupów linii napowietrznych z przewodami odgromowymi

Impedancja własna przewodów odgromowych w przęśle o przeciętnej rozpiętości wynosi  $\underline{Z}_s = 0,4 \cdot (0,289 + j0,527) = (0,116 + j0,211) \Omega$ . Na tej podstawie oblicza się impedancję  $\underline{Z}_{eq}$ :

$$\underline{Z}_{eq} = \frac{1}{2} \left[ 0,116 + j0,211 + \sqrt{(0,116 + j0,211)(0,116 + j0,211 + 4 \cdot 15)} \right] = (1,691 + j1,076) \Omega.$$

Następnie jest obliczana wypadkowa impedancja układu uziemiającego:

$$\underline{Z}_E = \frac{1}{\frac{1}{4} + \frac{2}{1,691 + j1,076}} = (0,740 + j0,362) \Omega.$$

Prąd uziomowy oraz napięcie uziomowe wynoszą:

$$\underline{I}_E = (0,612 - j0,120)(10 + 5) = (9,18 - j1,80) \text{ kA}, \text{ czyli } I_E = 9,36 \text{ kA},$$

$$\underline{U}_E = (0,740 + j0,362)(9,18 - j1,80) = (7,43 + j2,00) \text{ kV}, \text{ czyli } U_E = 7,69 \text{ kV}.$$

Dla czasu rażenia  $t_F = 0,3$  s i dla dodatkowej rezystancji  $R_s = 1000 + 1,5 \cdot 200 = 1300 \Omega$  największe, dopuszczalne napięcie dotykowe spodziewane wynosi  $U_{STp} = 1036$  V. Stąd można ustalić warunek na dopuszczalny współczynnik dotykowy uziomu ochronnego:

$$\alpha_d \leq \frac{U_{STp}}{U_E} = \frac{1036}{7690} = 0,134.$$

## Układy uziemiające słupów linii napowietrznych z przewodami odgromowymi

Poniżej określono także prądy płynące przez rozważany uziom i przez przewody odgromowe linii. Zgodnie ze schematem zastępczym zachodzi:

$$\underline{I}_{ET} = \frac{\underline{U}_E}{R_{ET}} = \frac{7,43 + j2,00}{4,0} = (1,86 + j0,50) \text{ kA},$$

$$\underline{I}_{ET(A)} = \underline{I}_{ET(B)} = \frac{\underline{U}_E}{Z_{eq}} = \frac{7,43 + j2,00}{1,691 + j1,076} = (3,66 - j1,15) \text{ kA},$$

$$\underline{I}_{EW(A)} = (1 - 0,612 + j0,12) \cdot 10 = (3,88 + j1,20) \text{ kA},$$

$$\underline{I}_{EW(B)} = (1 - 0,612 + j0,12) \cdot 5 = (1,94 + j0,60) \text{ kA}.$$

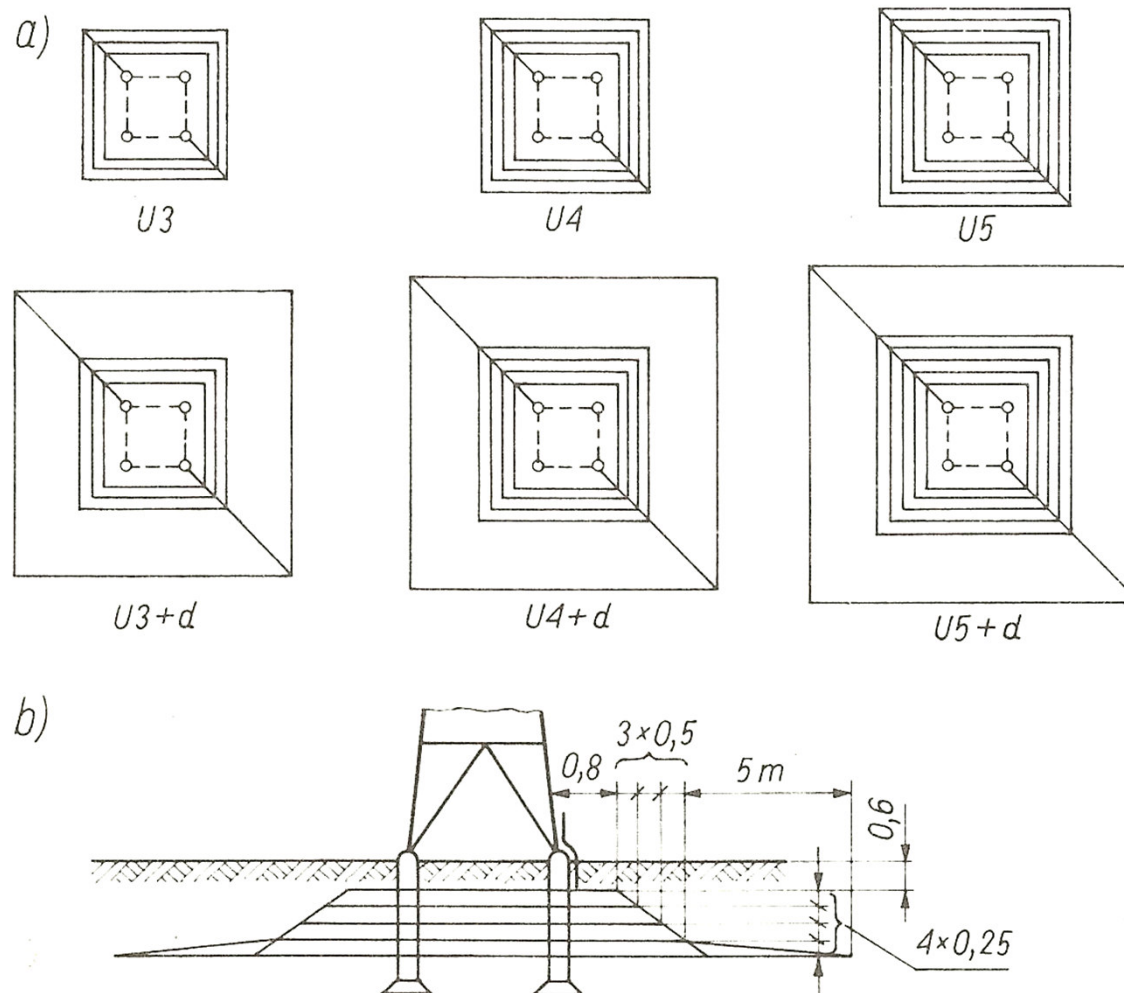
Całkowite prądy płynące w przewodach odgromowych, w przęsłach przylegających do słupa ze zwarcie wynoszą:

$$\underline{I}_{odgr(A)} = \underline{I}_{EW(A)} + \underline{I}_{ET(A)} = (7,54 + j0,05) \text{ kA}, \quad \underline{I}_{odgr(B)} = \underline{I}_{EW(B)} + \underline{I}_{ET(B)} = (5,60 - j0,55) \text{ kA}.$$

W powyższym przykładzie współczynniki redukcyjne przewodów odgromowych redukują prąd całkowity z 15 kA na prąd uziomowy 9,36 kA. Nie zawsze jest to prawidłowo uwzględniane przez projektantów uziemień ochronnych w liniach WN i NN. W dodatku zdarza się, że do doboru uziemienia ochronnego w linii jest przyjmowany prąd zwarcia w stacji.

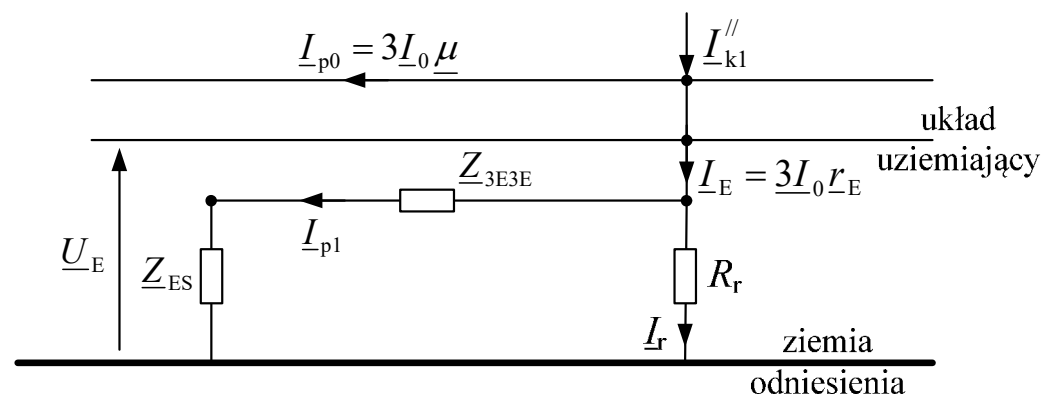
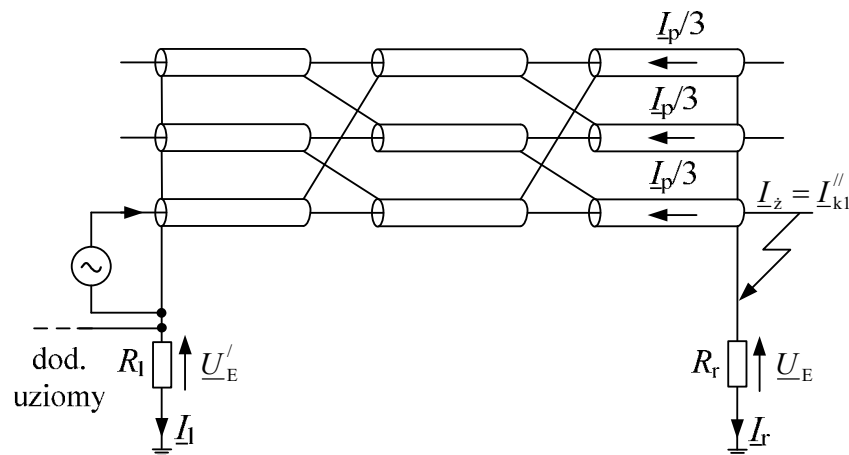
W przykładowej sytuacji wystarczające będzie zastosowanie uziomu wyrównawczego typu U3 wg poniższego rysunku, posiadającego współczynnik dotykowy ok. 0,125.

# Układy uziomów wyrównawczych dla słupów linii 110 – 400 kV



Współczynnik dotykowy w rozbudowanych układach wynosi poniżej 0,1.

# Odcinki kablowe w układach uziemiających linii napowietrznych i stacji



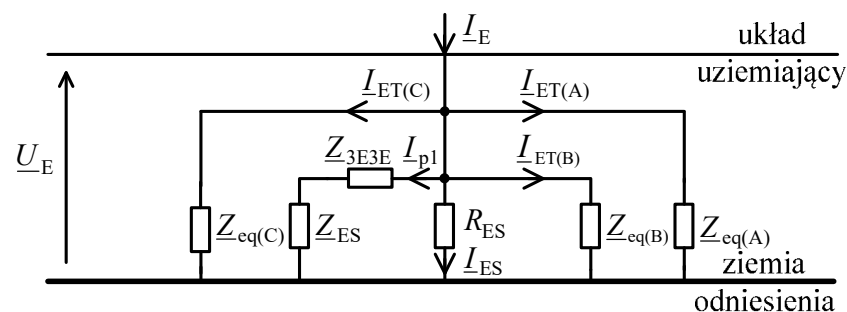
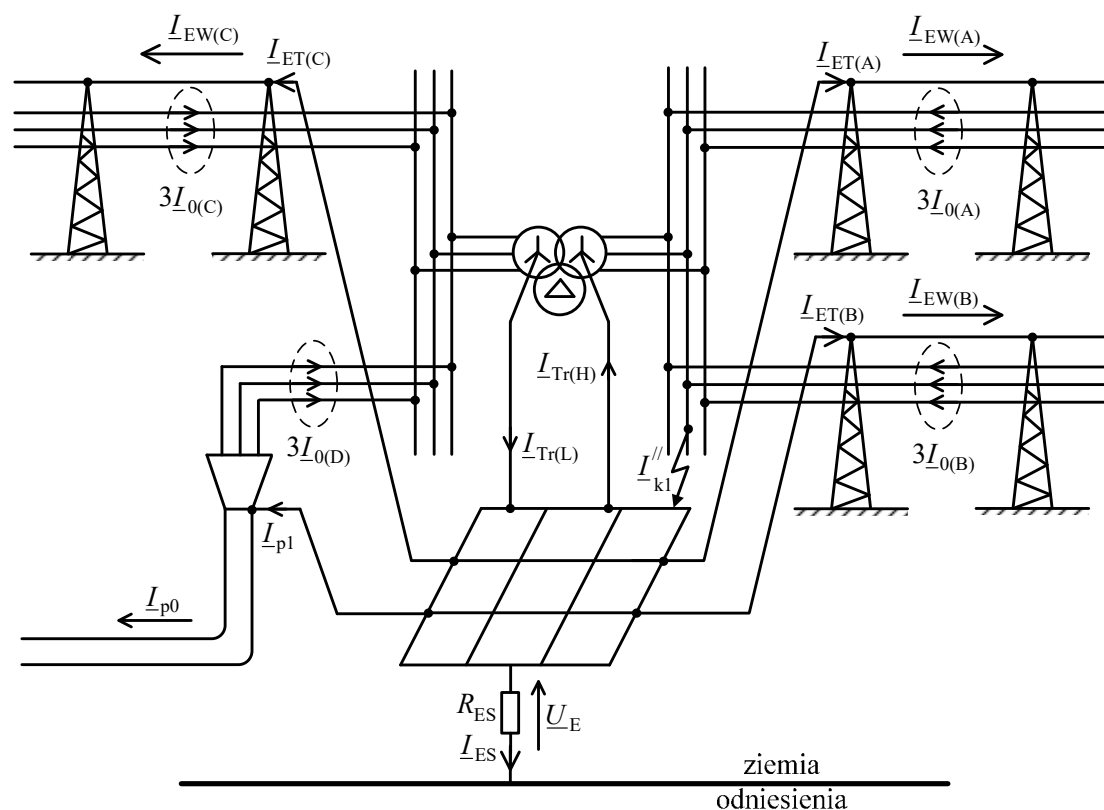
Typ kabla	$U_0/U/(U_m)$	Układ kabli	$Z_1^{1)}$	$Z_0^{1)}$	$r_E^{1)}$
	kV		$\Omega/\text{km}$	$\Omega/\text{km}$	-
XRUHKXS 1x630/95 mm <sup>2</sup>	64/110(123)	Both-ends trójkątny	0,043+ j0,120	0,241+ j0,095	0,023- j0,114
		SPB <sup>2)</sup> trójkątny	0,031+ j0,123	0,330+ j0,525	0,251- j0,147
		SPB <sup>2)</sup> płaski	0,031+ j0,181	0,303+ j0,643	0,289- j0,136
		CB trójkątny	0,031+ j0,123	0,241+ j0,095	0,023- j0,114
XRUHKXS 1x800/95 mm <sup>2</sup>	64/110(123)	Both-ends trójkątny	0,038+ j0,115	0,235+ j0,089	0,023- j0,115
		SPB <sup>2)</sup> trójkątny	0,025+ j0,118	0,322+ j0,520	0,254- j0,146
		SPB <sup>2)</sup> płaski	0,025+ j0,176	0,294+ j0,636	0,294- j0,134
		CB trójkątny	0,025+ j0,118	0,235+ j0,089	0,023- j0,115

<sup>1)</sup> Impedancje i współczynnik redukcji zostały określone przy temperaturze żył kabla 20°C oraz rezystywności gruntu 100  $\Omega \cdot \text{m}$ .

<sup>2)</sup> Układ SPB z jednym kablem ECC o przekroju żyły 185 mm<sup>2</sup> Al.

## Odcinki kablowe w układach uziemiających linii napowietrznych i stacji

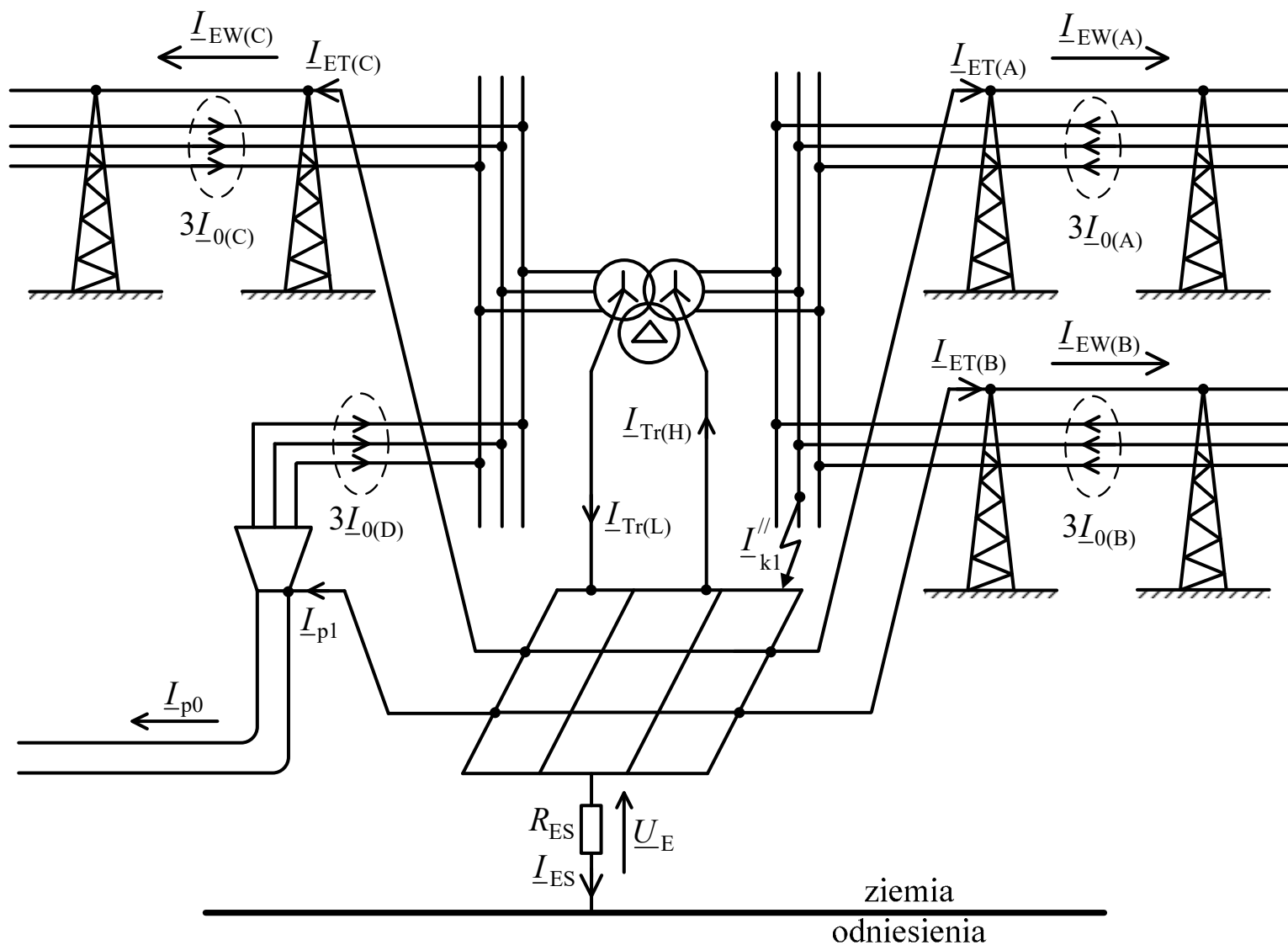
Odcinki kablowe są stosowane jako wyprowadzenia z dużych stacji oraz jako tzw. wstawki kablowe. W praktyce istnieje potrzeba wyznaczania **napięcia uziomowego na słupach kablowych** (słupy specjalne, położone często w miejscach gdzie przewiduje się obecność ludzi) oraz **napięcia uziomowego na układzie uziemiającym stacji WN lub NN**. Metody obliczeń w obu przypadkach są analogiczne jak w liniach napowietrznych.



W stacjach WN i NN dzięki redukcyjnemu działaniu przewodów odgromowych linii oraz żył powrotnych kabli WN i NN prąd uziomowy oraz napięcie uziomowe ulegają często obniżeniu aż o ok. 50% ! Nie zawsze zostaje to prawidłowo ocenione przez projektantów.

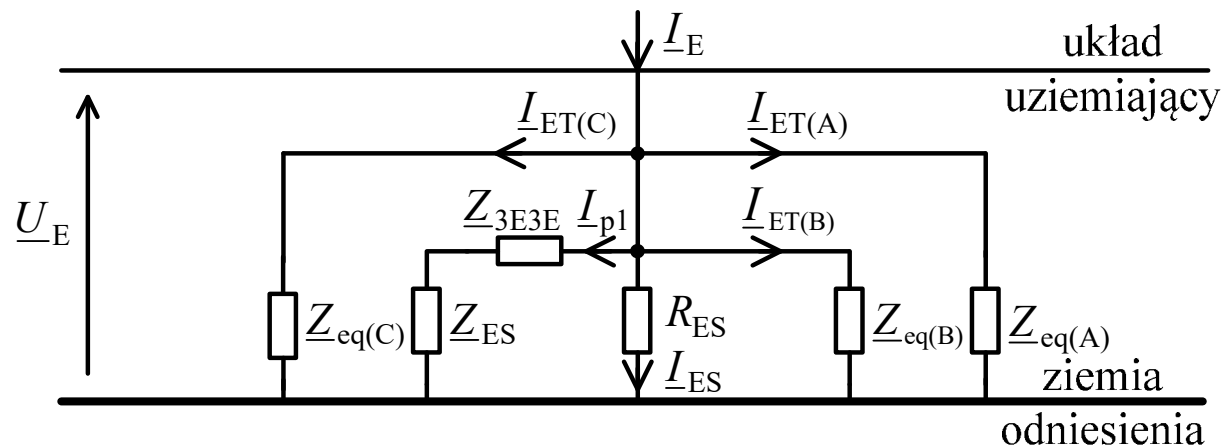


# Układy uziemiające kratowe stacji wysokiego i najwyższego napięcia



Instalacje uziemiające w stacjach NN/WN

## Układy uziemiające kratowe stacji wysokiego i najwyższego napięcia



Prąd zwarcia jednofazowego, jakie wystąpiło w rozdzielni po stronie H transformatora, zawiera prądy dopływające z trzech pól rozdzielni, które uzyskuje się na podstawie standardowych obliczeń zwarciovych w systemie elektroenergetycznym:

$$\underline{I}_{k1}'' = 3\underline{I}_{0(A)} + 3\underline{I}_{0(B)} + \underline{I}_{Tr(H)} .$$

Napięcie uziomowe na urządzeniach w stacji jest pochodną prądu uziomowego, który na podstawie rys. 6.9a oraz pkt 6.4 można wyrazić równaniem:

$$\underline{I}_E = \underline{I}_{k1}'' + \underline{I}_{Tr(L)} - \underline{I}_{Tr(H)} - (\underline{I}_{EW(A)} + \underline{I}_{EW(B)} + \underline{I}_{EW(C)}) - \underline{I}_{p0} .$$

## Układy uziemiające kratowe stacji wysokiego i najwyższego napięcia

Zgodnie z tym równaniem, duża część prądu zwarciovego odpływa ze stacji bez kontaktu z ziemią: są to prądy „indukowane”  $\underline{I}_{EW(A)}$ ,  $\underline{I}_{EW(B)}$ ,  $\underline{I}_{EW(C)}$  oraz  $\underline{I}_{p0}$ . Taki sposób rozplywu prądu zwarciovego przedstawia szkic sytuacyjny na rys. 6.9a. Pozostała część prądu zwarcia jest rozpraszana przez układ uziemiający (rys. 6.9b). Uwzględniając dodatkowe równanie  $\underline{I}_{Tr(L)} = 3\underline{I}_{0(C)} + 3\underline{I}_{0(D)}$  otrzymuje się wyrażenie na prąd uziomowy:

$$\underline{I}_E = 3\underline{I}_{0(A)} + 3\underline{I}_{0(B)} + 3\underline{I}_{0(C)} + 3\underline{I}_{0(D)} - (\underline{I}_{EW(A)} + \underline{I}_{EW(B)} + \underline{I}_{EW(C)}) - \underline{I}_{p0}.$$

Po wykorzystaniu odpowiednich wyrażeń na prądy „indukowane”, prowadzi to do końcowej zależności:

$$\underline{I}_E = 3\underline{I}_{0(A)}\underline{r}_{E(A)} + 3\underline{I}_{0(B)}\underline{r}_{E(B)} + 3\underline{I}_{0(C)}\underline{r}_{E(C)} + 3\underline{I}_{0(D)}\underline{r}_{E(D)}.$$

Podany sposób analizy można rozszerzyć na dowolną liczbę rozdzielni w stacji, dowolną liczbę linii odchodzących ze stacji oraz na dowolny sposób połączenia uzwojeń transformatora lub transformatorów na stacji.

Należy zwrócić uwagę, że wszystkie prądy występujące w równaniu są oryginalnymi prądami występującymi w sieciach o różnych napięciach znamionowych. Wynika to z konstrukcji układu uziemiającego stacji, w którym następuje galwaniczne połączenie elementów uziemiających różnych linii napowietrznych i kablowych zbiegających się w stacji.

## Układy uziemiające kratowe stacji wysokiego i najwyższego napięcia

**[Przykład]** W stacji dwunapięciowej 220/110 kV wg rys. 6.9 zbiegają się dwie linie napowietrzne jednotorowe 220 kV na słupach serii H52 (A i B), linia napowietrzna dwutorowa 110 kV na słupach serii O24 (C) oraz linia kablowa 110 kV z kablami XRUEKXS 1x800/95 mm<sup>2</sup> (D) o długości 3 km, łącząca dwie stacje, przy czym w drugiej stacji impedancja  $\underline{Z}_{ES} = 0,5 \Omega$ . Uziom kratowy rozważanej stacji posiada rezystancję uziemienia  $R_{ES} = 0,2 \Omega$ . Należy obliczyć napięcie uziomowe w tej stacji przy zwarcii jednofazowym w rozdzielni 220 kV oraz w rozdzielni 110 kV, przy czym prądy zwarcia wynoszą:

– zwarcie w rozdzielni 220 kV

$$3I_{0(A)} = 24,0 \text{ kA}, 3I_{0(B)} = 16,0 \text{ kA}, 3I_{0(C)} = (1,5 + 2,0) \text{ kA}, 3I_{0(D)} = 2,5 \text{ kA},$$

– zwarcie w rozdzielni 110 kV

$$3I_{0(A)} = 2,3 \text{ kA}, 3I_{0(B)} = 1,5 \text{ kA}, 3I_{0(C)} = (6,6 + 8,8) \text{ kA}, 3I_{0(D)} = 11,0 \text{ kA}.$$

**[Rozwiązanie]** W obliczeniach wykorzystano dane z tabel 2.11 i 6.2 oraz z przykładu 2.8. Są to następujące impedancje:

$$\underline{Z}_{eq(A)} = \underline{Z}_{eq(B)} = (1,80 + j1,15) \Omega, \underline{Z}_{eq(C)} = (1,22 + j1,57) \Omega, \underline{Z}'_{3E3E} = (0,121 + j0,601) \Omega/\text{km}.$$

Na tej podstawie można obliczyć wypadkową impedancję uziemienia stacji:

$$\frac{1}{\underline{Z}_E} = \frac{1}{R_{ES}} + \frac{1}{\underline{Z}_{eq(A)}} + \frac{1}{\underline{Z}_{eq(B)}} + \frac{1}{\underline{Z}_{eq(C)}} + \frac{1}{\underline{Z}_{3E3E} + \underline{Z}_{ES}}.$$

## Układy uziemiające kratowe stacji wysokiego i najwyższego napięcia

czyli  $\underline{Z}_E = (0,151 + j0,032) \Omega$ ,  $|\underline{Z}_E| = 0,154 \Omega$ . Współczynniki redukcyjne w podanym przykładzie wynoszą:

$$\underline{Z}_{E(A)} = \underline{Z}_{E(B)} = 0,55 - j0,15, \quad \underline{Z}_{E(C)} = 0,55 - j0,15, \quad \underline{Z}_{E(D)} = 0,023 - j0,115.$$

Na tej podstawie do wzoru (6.27) na prąd uziomowy przy zwarcu w rozdzielni 220 kV można podstawić:

$$\underline{I}_E = (24,0 + 16,0) \cdot (0,55 - j0,15) + (1,5 + 2,0) \cdot (0,55 - j0,15) + 2,5 \cdot (0,023 - j0,115),$$

skąd otrzymuje się  $\underline{I}_E = (24,0 - j6,8) \text{ kA}$ ,  $|\underline{I}_E| = 24,9 \text{ kA}$ . Wynik ten oznacza, że z całkowitego prądu zwarcia wynoszącego 46,0 kA blisko połowa (ok. 46%) odpływa ze stacji przewodami odgromowymi i żyłami powrotnymi bez kontaktu z ziemią. Napięcie uziomowe wynosi:

$$U_E = I_E Z_E = 24,9 \cdot 0,154 = 3,84 \text{ kV}.$$

Przy zwarcu jednofazowym w rozdzielni 110 kV w analogiczny sposób otrzymuje się  $\underline{I}_E = (10,8 - j4,2) \text{ kA}$ ,  $|\underline{I}_E| = 11,6 \text{ kA}$ . Napięcie uziomowe przyjmuje w tym przypadku mniejszą wartość:

$$U_E = I_E Z_E = 11,6 \cdot 0,154 = 1,79 \text{ kV}.$$

Do obliczenia napięć dotykowych i krokowych na terenie stacji należy więc przyjąć napięcie uziomowe  $U_E = 3,84 \text{ kV}$ .

# Realizacja ochrony przed porażeniem w stacji WN

## – uziemienie żył powrotnych kabli SN

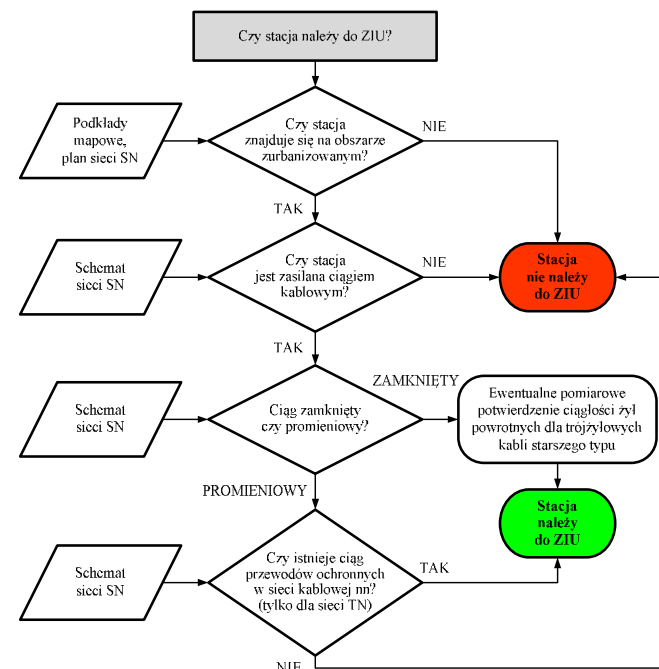
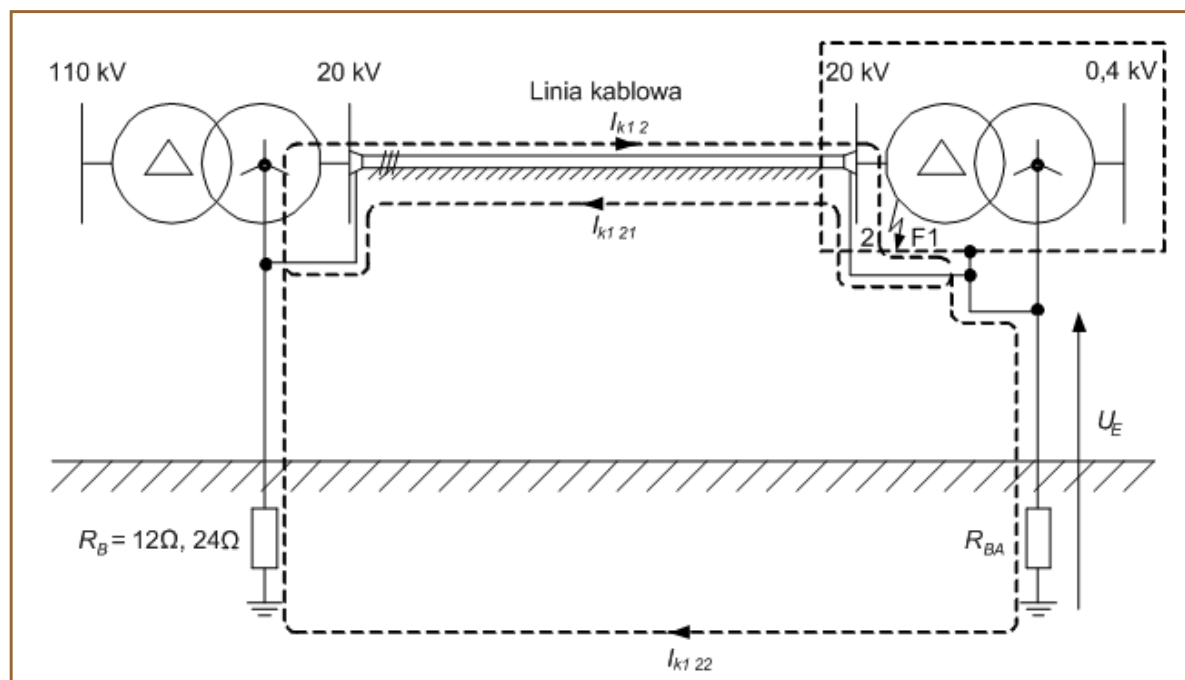
W liniach i stacjach WN i NN ochronę przed porażeniem realizuje się poprzez ograniczenie napięć dotykowych i krokowych metodami związanymi z wysterowaniem potencjału, za pomocą kraty uziomowej w stacjach oraz uziomów wyrównawczych (otokowych) przy konstrukcjach wsporczych linii.

Instalacje uziemiające, dedykowane chronionym obiektom i zapewniające na ich obszarze bezpieczeństwo, **traktuje się jako autonomiczne wobec otoczenia** i oddziela, w miarę możliwości, od instalacji uziemiających obiektów niższych napięć i innych urządzeń w ziemi (np. sieci wodociągowej, gazowej itp.) – **dotyczy także ZIU**.

Przyczyny:

- przepływ prądów zwarciovych o znacznym natężeniu poprzez elementy instalacji uziemiającej,
- znaczny gradient potencjału w miejscu wnikania prądu zwarciovego do ziemi – konieczne specjalnie projektowane instalacje uziemiające wysterowujące potencjał.

**Żyły powrotne kabli SN – należy stosować obustronne uziemienie.**



## Realizacja ochrony przed porażeniem w stacji WN – uziemienie żył powrotnych kabli SN

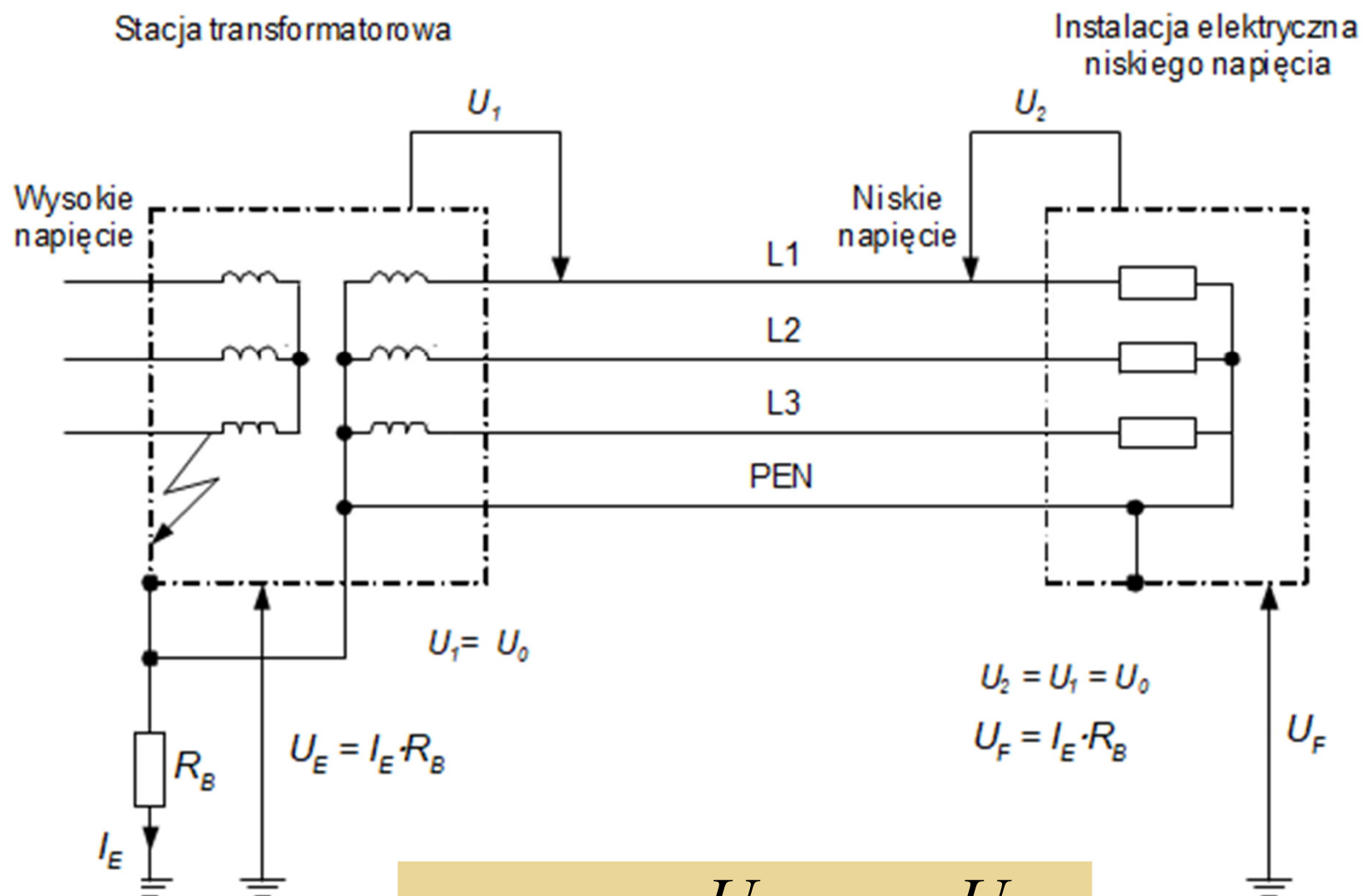
Żyły powrotne kabli SN są z reguły uziemiane na obu końcach, od stacji WN/SN aż do najdalszych stacji odbiorczych SN/nn, m.in. w celu poprawienia skuteczności ochrony przed porażeniem przy zwarciach doziemnych w sieciach SN. Przy zwarcu na stacji, następuje wyniesienie – przez żyły powrotne kabli SN – wysokiego potencjału stacji WN do sieci niższych napięć. **Potencjały wynoszone nie stanowią zagrożenia na obszarach objętych ZIU.**

Potencjały wynoszone są ograniczane poprzez spadki napięcia na impedancji wzdłużnej ciągu kablowego.

Największe zagrożenie występuje dla pierwszej stacji SN/nn w ciągach napowietrznych zasilanych pojedynczym ciągiem kablowym od stacji WN do pierwszej stacji SN/nn. Można ewentualnie zastosować w tym przypadku jednostronne uziemienie żyły powrotnej (w stacji WN). Na nieuziemionym końcu żyły powrotnej (w stacji SN/nn) należy zapewnić ochronę przed przepięciami i traktować żyłę powrotną jako część czynną urządzenia.

Każdy ciąg kablowy SN wyprowadza ze stacji tylko odpowiednio niewielką część prądu uziomowego i **sprowadza ją bezpiecznie** do ziemi przez liczne uziomy związane ze stacjami SN/nn i sieciami nn. Zagrożenie termiczne elementów instalacji uziemiających jest znikome.

# Funkcje ochronne uziemień w stacjach SN/nn – ochrona ze względu na napięcia wynoszone do sieci nn



$$R_B \leq \frac{U_F}{r \cdot I_F} = \frac{U_F}{I_E}$$



# Realizacja ochrony przed porażeniem w stacji WN – uziemienie żył powrotnych kabli SN



Rys. 7.64: Mikser - brak uziemienia żył powrotnych kabli SN



Rys. 7.65: Mikser - brak uziemienia żył powrotnych kabli SN



Rys. 7.66: Mikser - brak uziemienia żył powrotnych kabli SN



Rys. 7.67: Mikser - brak uziemienia żył powrotnych kabli SN

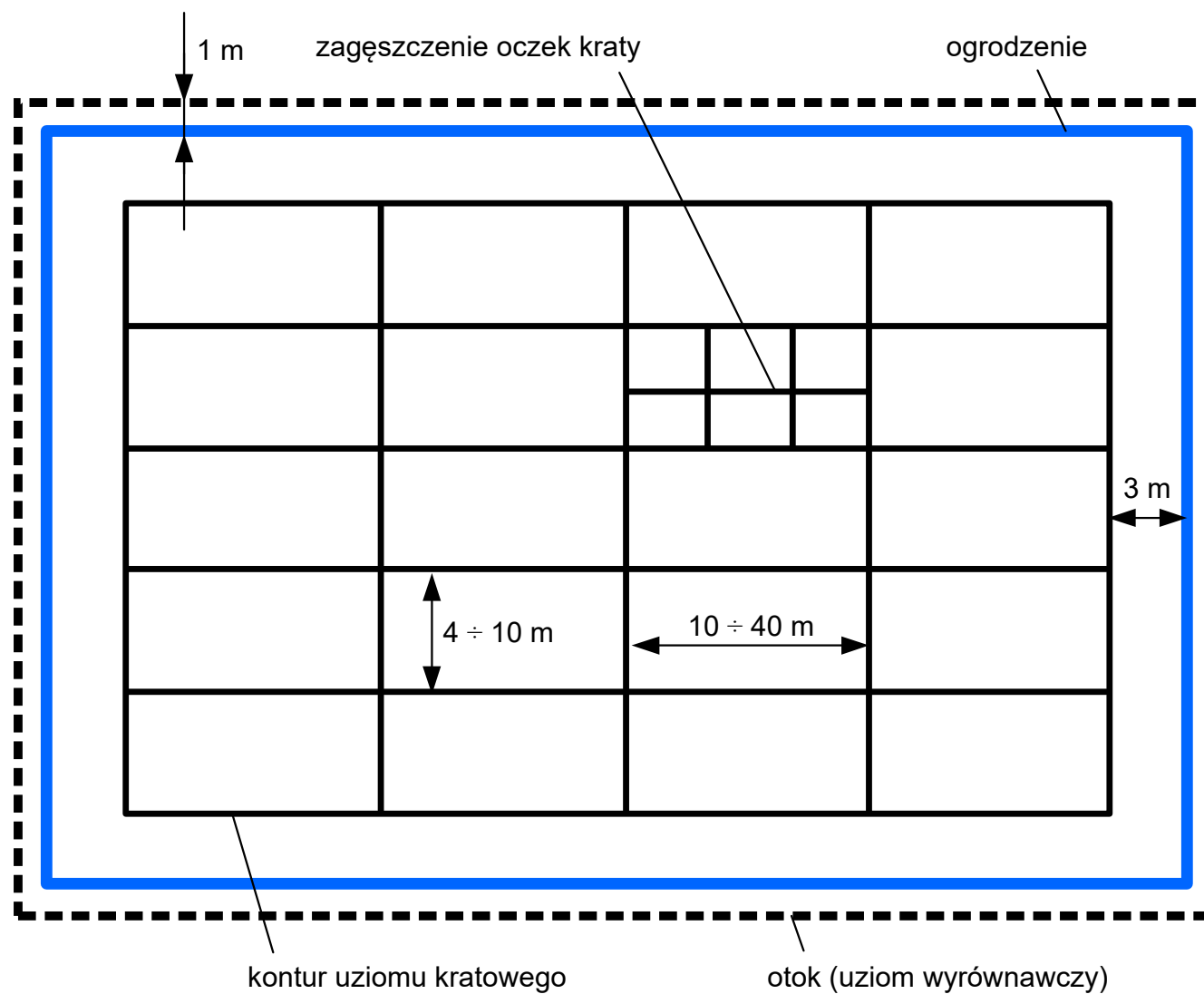
Przykłady nieprawidłowego połączenia żył powrotnych w stacji SN/nn

Każda stacja WN i NN musi posiadać własną instalację uziemiającą, spełniającą odpowiednie wymagania dla ochrony tej stacji i jej najbliższego otoczenia.

W stacjach napowietrznych i wewnętrznych zalecanym typem uziomu jest uziom kratowy, realizujący funkcję wysterowania potencjału, z ewentualnymi elementami pionowymi, dla uzyskania wymaganej wartości rezystancji uziemienia.

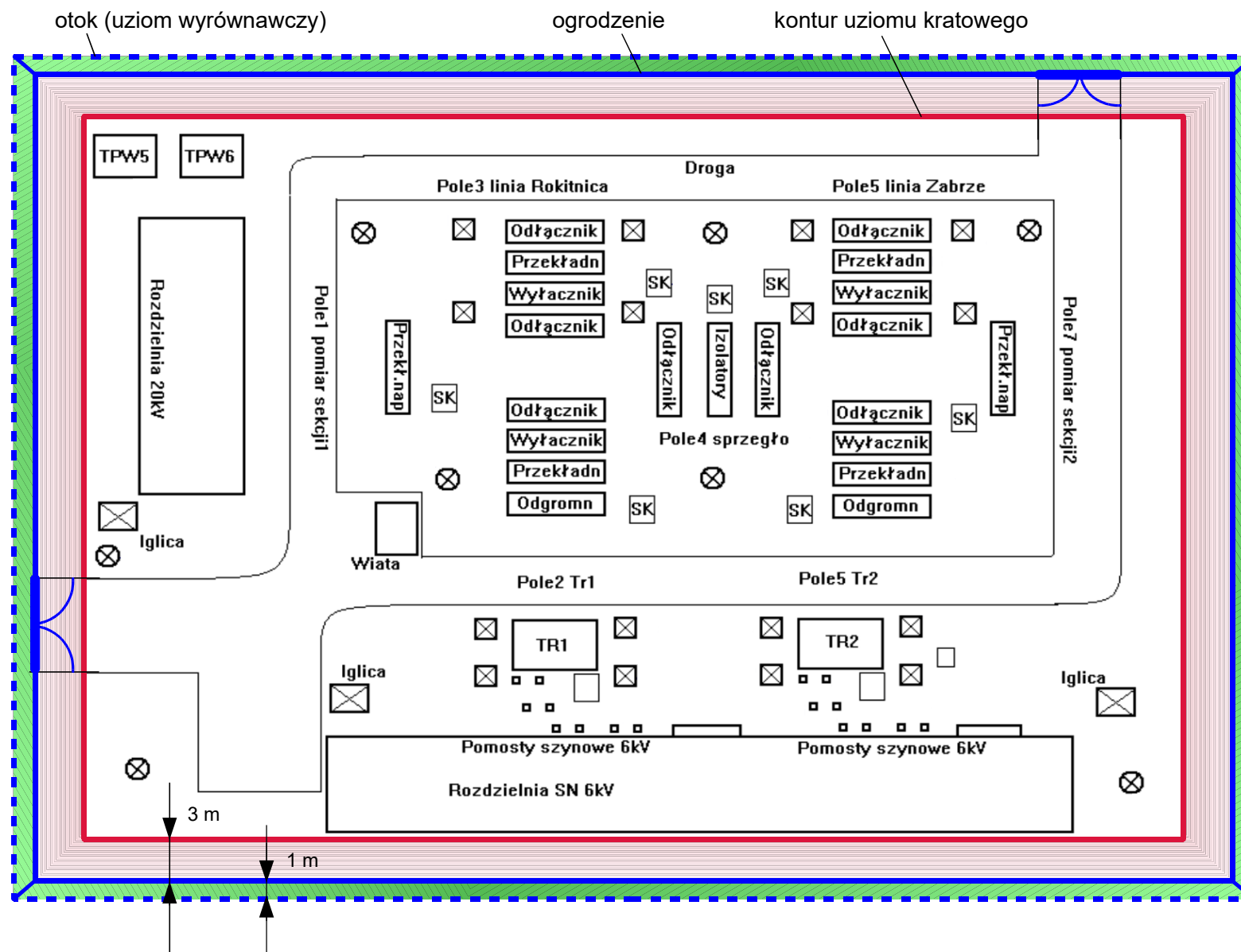
W stacjach wewnętrznych uziom kratowy jest zwykle realizowany w postaci siatki uziemiającej, wbudowanej w fundament budynku.

Uziom kratowy stacji napowietrznej powinien obejmować teren, na którym są usytuowane wszystkie urządzenia elektryczne oraz konstrukcje, podlegające uziemieniu.



Poglądowy układ uziomu kratowego stacji napowietrznej

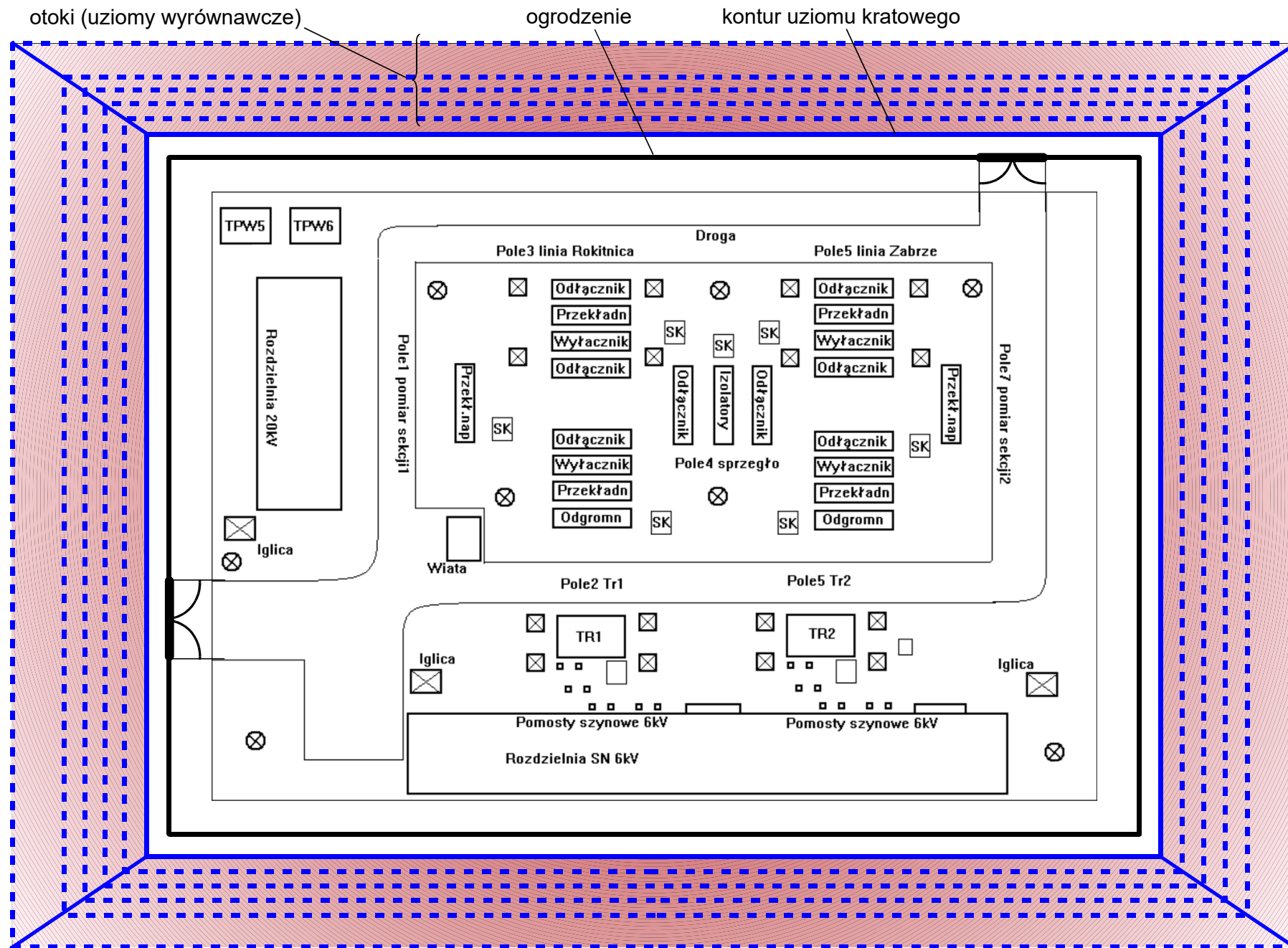
# Ochrona stacji WN i NN





# Ochrona stacji WN i NN w terenie zurbanizowanym (na ZIU)

## – ograniczenie obszaru zajmowanego przez stację



**Dziękuję za uwagę!**