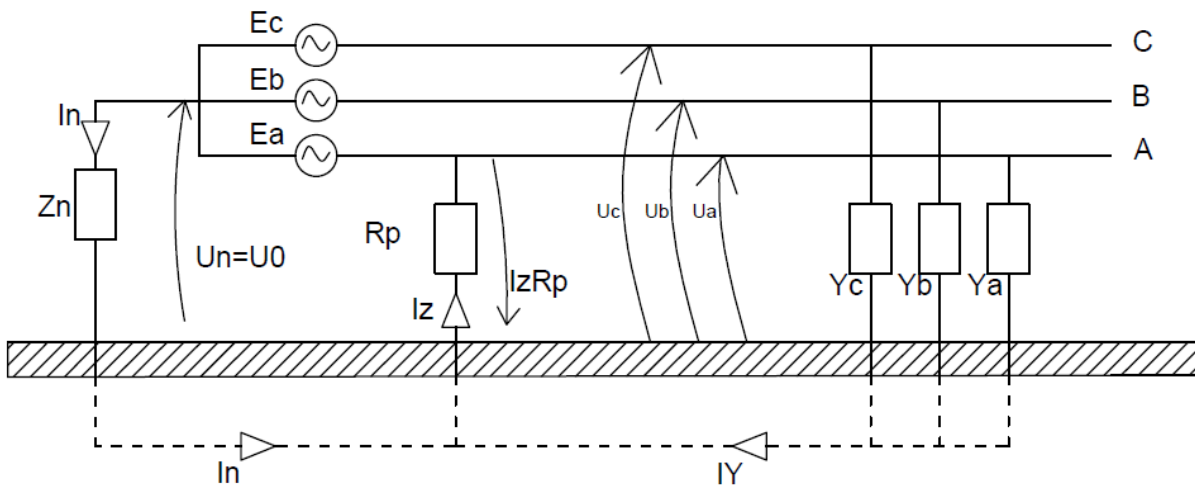




Wyznaczanie prądów zwarć doziemnych w sieciach SN. Zasady doboru nastaw CPZ.

1. PODSTAWY TEORETYCZNE DOTYCZĄCE WYZNACZANIA PRĄDÓW ZWARCIOWYCH W SIECIACH Z NIEUZIEMIONYM SKUTECZNIE PUNKTEM NEUTRALNYM

Ogólny schemat, przedstawiający zwarcia doziemne w sieciach z nieuziemionym skutecznie punktem neutralnym można przedstawić następująco:



Rysunek 1. Rozpływ prądów zwarciovych oraz rozkład napięć w sieci ŚN w przypadku zwarcia doziemnego fazy A.

Na podstawie rysunku 1, wyprowadza się zależność na wartość współczynnika ziemnozwarciowego β , napięcia składowej zerowej U_0 oraz prądu zwarciovego I_z . Zgodnie z tym schematem analizuje się wartości prądów w miejscu zwarcia dla sieci z uziemionym punktem neutralnym transformatora:

- przez impedancję o nieskończonej wartości – sieć izolowana,
- przez dławik kompensujący z automatyką AWSC,
- przez rezystor.

Zgodnie ze schematem powyżej można napisać następujące równania:

$$\underline{U}_N + \underline{E}_A - \underline{U}_A = 0$$

$$\underline{U}_N + \underline{E}_B - \underline{U}_B = 0$$

$$\underline{U}_N + \underline{E}_C - \underline{U}_C = 0$$

Po dodaniu równań stronami otrzymuje się:

$$3\underline{U}_N + \underline{E}_A + \underline{E}_B + \underline{E}_C - \underline{U}_A - \underline{U}_B - \underline{U}_C = 0$$

Można zapisać, że:

$$\underline{E}_A + \underline{E}_B + \underline{E}_C = 0$$

Stąd:

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

Zgodnie z powyższą zależnością, pomiędzy punktem neutralnym transformatora a ziemią, występuje napięcie U_0 , którego wartość jest zależna od współczynnika ziemnozwarciowego β .

Wartość prądu ziemnozwarciowego I_Z jest sumą prądów płynących z admitancji doziemnych całej sieci I_Y oraz prądu płynącego przez punkt neutralny transformatora I_N .

$$\underline{I}_Z = \underline{I}_Y + \underline{I}_N$$

Prąd płynący przez punkt neutralny transformatora wyznacza się z zależności:

$$\underline{I}_N = \frac{\underline{U}_N}{\underline{Z}_N} = \frac{\underline{U}_0}{\underline{Z}_N}$$

Natomiast prąd wynikający z admitancji doziemnych I_Y można opisać zależnością:

$$\underline{I}_Y = \underline{U}_A \underline{Y}_A + \underline{U}_B \underline{Y}_B + \underline{U}_C \underline{Y}_C$$

W celu wyznaczenia wartości napięcia \underline{U}_0 przekształca się wartość prądu \underline{I}_Y wykorzystując zależności wyprowadzone wcześniej na napięcia fazowe \underline{U}_A , \underline{U}_B oraz \underline{U}_C

$$\underline{U}_A = \underline{E}_A + \underline{U}_0$$

$$\underline{U}_B = \underline{E}_B + \underline{U}_0$$

$$\underline{U}_C = \underline{E}_C + \underline{U}_0$$

Zgodnie z tymi równaniami, prąd \underline{I}_Y przyjmuje wartość:

$$\begin{aligned} \underline{I}_Y &= (\underline{E}_A + \underline{U}_0) \underline{Y}_A + (\underline{E}_B + \underline{U}_0) \underline{Y}_B + (\underline{E}_C + \underline{U}_0) \underline{Y}_C = \\ &= \underline{U}_0 (\underline{Y}_A + \underline{Y}_B + \underline{Y}_C) + \underline{E}_A \underline{Y}_A + \underline{E}_B \underline{Y}_B + \underline{E}_C \underline{Y}_C \end{aligned}$$

gdzie:

$$\underline{Y} = G + jB$$

$$B = \omega C$$

W celu uproszczenia końcowego równania na wartość napięcia \underline{U}_0 , przyjmuje się następujące oznaczenia:

$$\begin{aligned} \sum \underline{Y} &= \underline{Y}_A + \underline{Y}_B + \underline{Y}_C \\ \underline{U}_{0w} &= \frac{\underline{E}_A \underline{Y}_A + \underline{E}_B \underline{Y}_B + \underline{E}_C \underline{Y}_C}{\underline{Y}_A + \underline{Y}_B + \underline{Y}_C} \end{aligned}$$

Napięcie \underline{U}_{0w} określa się napięciem, jakie występuje pomiędzy punktem neutralnym transformatora a ziemią, w warunkach normalnej pracy sieci, przy odłączonej impedancji uziemiającej \underline{Z}_N . Zgodnie z tymi dwoma równaniami, prąd \underline{I}_Y przyjmuje wartość:

$$\underline{I}_Y = \underline{U}_0 \sum \underline{Y} + \underline{U}_{0w} \sum \underline{Y}$$

Uwzględniając fakt, że prąd zwarcia to suma prądów \underline{I}_N oraz \underline{I}_Y , można zapisać:

$$\begin{aligned} \underline{I}_Z &= \frac{\underline{U}_0}{\underline{Z}_N} + \underline{U}_0 \sum \underline{Y} + \underline{U}_{0w} \sum \underline{Y} = \\ &= \underline{U}_0 \left(\sum \underline{Y} + \frac{1}{\underline{Z}_N} \right) + \underline{U}_{0w} \sum \underline{Y} \end{aligned}$$

Korzystając ze schematu przedstawionego na rysunku 1 oraz z II prawa Kirchhoffa, które uwzględnia napięcia występujące w pętli zwarcia, można napisać równanie:

$$\underline{U}_0 + \underline{E}_A = -\underline{I}_Z R_p$$

Podstawiając w miejsce prądu \underline{I}_Z wcześniej wyznaczoną wartość, otrzymuje się:

$$\begin{aligned} \underline{U}_0 + \underline{U}_0 \left(\sum \underline{Y} + \frac{1}{\underline{Z}_N} \right) R_p &= -\underline{E}_A - \underline{U}_{0w} R_p \sum \underline{Y} \\ \underline{U}_0 \left(1 + \left(\sum \underline{Y} + \frac{1}{\underline{Z}_N} \right) R_p \right) &= -\underline{E}_A - \underline{U}_{0w} R_p \sum \underline{Y} \\ \underline{U}_0 &= -\frac{\underline{E}_A}{1 + \left(\sum \underline{Y} + \frac{1}{\underline{Z}_N} \right) R_p} - \frac{\underline{U}_{0w} R_p \sum \underline{Y}}{1 + \left(\sum \underline{Y} + \frac{1}{\underline{Z}_N} \right) R_p} \end{aligned}$$

W celu uproszczenia powyższej zależności, wprowadza się pojęcie współczynnika ziemnozwarciowego β , którego wartość przyjmuje:

$$\beta = \frac{1}{1 + \left(\sum \underline{Y} + \frac{1}{\underline{Z}_N} \right) R_p}$$

Wtedy wartość napięcia \underline{U}_0 przyjmuje postać:

$$\underline{U}_0 = -\left(\underline{E}_A \beta + \underline{U}_{0w} \beta R_p \sum \underline{Y} \right)$$

Jeżeli β wynosi 0, oznacza to, że rezystancja przejścia osiąga nieskończoną wartość, co jest równoznaczne z brakiem zwarcia. Natomiast w przypadku zwarcia bezpośredniego, gdzie rezystancja przejścia przyjmuje wartość bliską 0, wtedy współczynnik ten wynosi 1.

Impedancja \underline{Z}_N wynosi:

- Dla sieci izolowanej - $\underline{Z}_N = \infty$,
- Dla sieci uziemionej przez rezystor - $\underline{Z}_N = R_{\text{rezystora}}$,
- Dla sieci kompensowanej z automatyką AWSC - $\underline{Z}_N = Z_{\text{dławik+rezystor}}$

2. ROZPŁYW PRĄDÓW ZIEMNOZWARCIOWYCH W ZALEŻNOŚCI OD RODZAJU UZIEMIENIA PUNKTU NEUTRALNEGO TRANSFORMATORA

- **Sieć izolowana:**

Ze względu na to, że impedancja uziemiająca \underline{Z}_N dla tego rodzaju sieci przyjmuje nieskończoną wartość, oraz pomija się wpływ napięcia niezrównoważenia \underline{U}_{0w} , prąd w miejscu zwarcia można przedstawić następująco:

$$\underline{I}_Z = 3\underline{U}_0\underline{Y}_{0s}$$

$$\underline{Y}_{0s} = G_{0s} + jB_{0s}$$

gdzie:

Y_{0s} – całkowita admitancja analizowanej sieci SN,

G_{0s} – całkowita konduktancja analizowanej sieci SN,

B_{0s} – całkowita susceptancja analizowanej sieci SN.

Wartość susceptancji oraz konduktancji wyznacza się jako:

$$B_{0s} = \omega C_{0s}$$

$$G_{0s} \approx 0,015B_{0s}$$

gdzie:

C_{0s} – suma pojemności wszystkich linii w analizowanej sieci SN.

$$C_{0s} = \sum c'_0 l$$

gdzie:

c'_0 – pojemność jednostkowa wybranej linii,

l – długość wybranej linii.

Przyjmuje się, że składowa czynna prądu jest na tyle mała, że można ją pominąć, wtedy całkowita wartość prądu ziemnozwarciowego przyjmuje postać:

$$\underline{I}_Z \cong j\underline{I}_b = 3\underline{U}_0\omega C_{0s}$$

Natomiast prąd ziemnozwarciowy w linii zwartej jest pomniejszony o wartość prądu własnego tej linii:

$$\underline{I}_{zn} = \underline{I}_Z - \underline{I}_{zwn}$$

$$\underline{I}_{zwn} = 3\underline{U}_0\omega C_{0n}$$

- **Sieć kompensowana z automatyką AWSC:**

Impedancja uziemiająca \underline{Z}_N jest zależna od reaktancji dławika oraz od rezystancji włączanej przez automatykę AWSC. Wartość prądu ziemnozwarciowego płynącego z całej sieci jest kompensowana przez prąd płynący przez dławik kompensujący. Po załączeniu rezystora, następuje wzrost składowej czynnej prądu ziemnozwarciowego. Prąd zwarcia można opisać równaniem:

$$I_Z = I_Y + I_D = I_{CZ} + jI_B$$

gdzie:

I_D – prąd ziemnozwarciowy płynący przez dławik uziemiający.

Składowa czynna prądu ziemnozwarciowego zależy od konduktancji sieci oraz od konduktancji rezystora uziemiającego:

$$I_{CZ} = \underline{U}_0 (G_{0S} + G_{LD})$$

$$I_{CZ} \approx 3\% I_Y$$

$$I_{CS} = 3 \underline{U}_0 \omega C_{0S}$$

$$I_D = - \frac{\underline{U}_0}{\underline{X}_{LD}}$$

Wartość prądu w miejscu zwarcia jest różnicą, pomiędzy prądem pojemnościowym sieci I_{CS} a prądem płynącym przez dławik I_D

$$\Delta I_B = (I_{CS} - I_D)$$

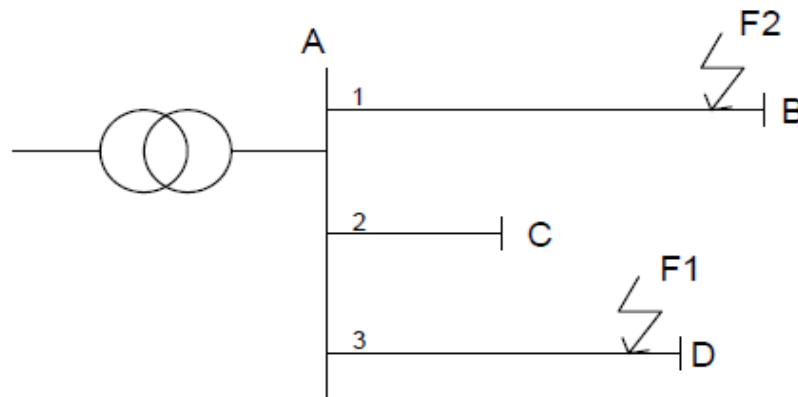
- **Sieć uziemiona przez rezystor:**

Wartość prądu ziemnozwarciowego jest sumą prądu pojemnościowego płynącego z całej sieci oraz prądu płynącego przez punkt neutralny transformatora, który jest zależny od rezystancji uziemienia R_N .

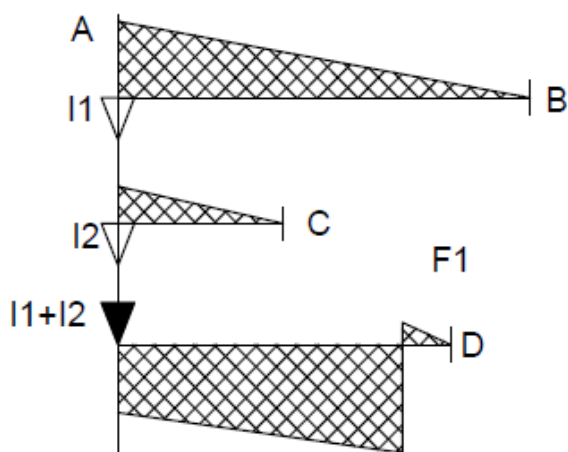
$$I_Z = I_N + I_{CS}$$

Podobnie jak we wcześniejszych przypadkach, wartość prądu ziemnozwarciowego w linii zwartej jest pomniejszona o prąd własny danej linii. Wyznaczenie prądu I_N jest analogiczne jak w rozdziale 1.

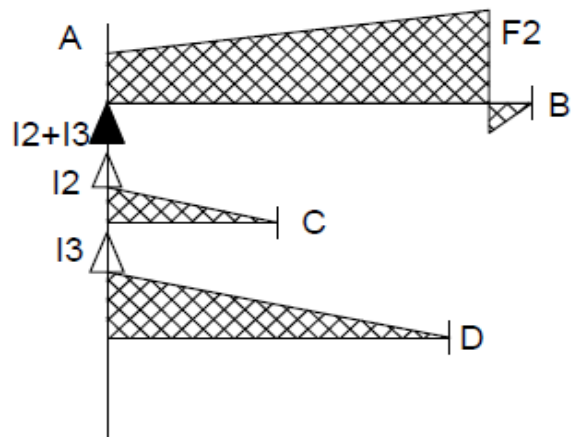
3. DOBÓR NASTAW SYGNALIZATORÓW MIEJSCA ZWARCIA W SIECIACH ŚN



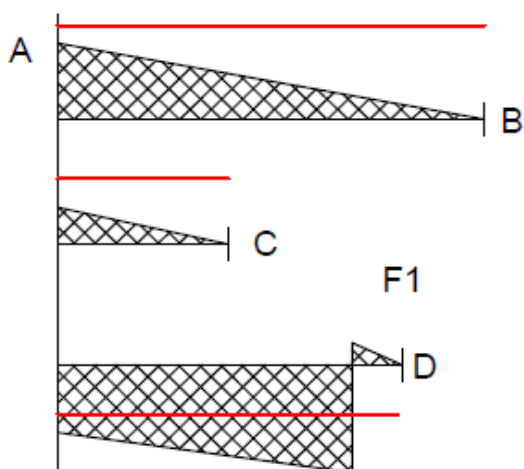
Rysunek 2. Przykładowa sieć ŚN z zaznaczonymi miejscami zwarcia F1 oraz F2.



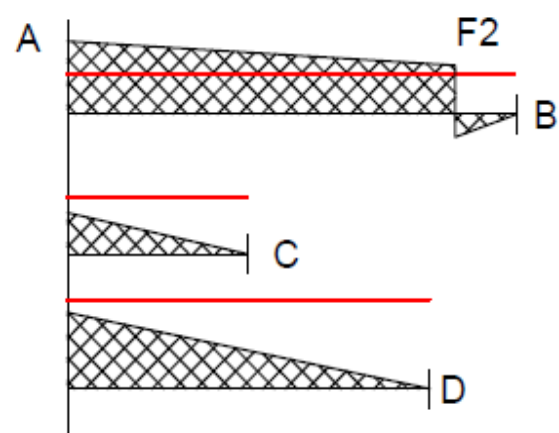
Rysunek 3. Wartości prądów w przypadku zwarcia w punkcie F1.



Rysunek 4. Wartość prądów w przypadku zwarcia w punkcie F2.



Rysunek 5. Progi działania CPZ - linia czerwona. Rozptyły prądów w przypadku zwarcia w punkcie F1.



Rysunek 6. Progi działania CPZ - linia czerwona. Rozptyły prądów w przypadku zwarcia w punkcie F2.

- **Sieć izolowana:**

W przypadku zwarcia w punkcie F1, w liniach B i C płynie tylko prąd wynikający z pojemności własnej danej linii (rysunek 3). Wartość tego prądu zależy od rezystancji przejścia w miejscu zwarcia, oraz od parametrów konkretnej linii. Nastawiając wartość progową I_r działania CPZ powyżej prądu pojemnościowego danej linii (rysunki 5 i 6), zapewnia się selektywność działania tych urządzeń. Tylko w przypadku, gdy zwarcie występuje w linii z zainstalowanym CPZ-em, prąd ziemnozwarciowy jest powyżej prądu pojemnościowego danej linii, ponieważ jest sumą prądów spływających z linii pozostałych. Analogiczne rozumowanie przeprowadza się dla zwarcia w punkcie F2. Trzeba również sprawdzić, czy prąd płynący z całej sieci, pomniejszony o prąd własny danej linii, jest większy, niż nastawa urządzenia.

Jako prąd własny danej linii rozumie się całkowity prąd pojemnościowy od miejsca zainstalowania CPZ aż do końca linii, patrząc od strony źródła w kierunku odbiorów.

Prądy ziemnozwarciowe dla zwarcia bezpośredniego wyznacza się zgodnie z regułami opisanymi w rozdziale 2.

Wielkości wymagane do obliczeń:

- wartość napięcia znamionowego sieci [kV],
- schemat sieci z zaznaczonymi miejscami instalowania sygnalizatorów,
- typ kabla oraz jego długość, w celu wyznaczenia pojemności danej linii,
- zaznaczenie wszelkiego rodzaju zmian w strukturze sieci (linie napowietrzne), w celu dokładnego wyznaczenia pojemności analizowanego fragmentu sieci,
- dodatkowo, jeżeli jest znany, całkowity prąd pojemnościowy, w celu sprawdzenia poprawności wykonanych obliczeń.

- **Jak obliczać?**

- oblicza się całkowity prąd zwarcia, który jest wynikiem pojemności całej sieci z zależności:

$$I_Z \cong jI_b = 3U_0\omega C_{0s}$$

Pojemność całkowitą oblicza się jako sumę pojemności wszystkich linii w analizowanej sieci. Pojemność linii natomiast to iloczyn pojemności jednostkowej i długości obliczanej linii.

$$C_{0s} = \sum c'_0 l$$

Za wartość napięcia U_0 przyjmuje się wartość napięcia znamionowego sieci (np. 20kV) zakładając, że zwarcie będzie bezpośrednie o bardzo małej rezystancji przejścia.

- kolejnym krokiem jest obliczenie prądu pojemnościowego linii, w której zainstalowany jest CPZ. Jako pojemność przyjmuje się sumę pojemności widzianą od miejsca zainstalowania CPZ aż do końca danej linii, patrząc od strony zasilania w kierunku odbiorów.

Oblicza się go identycznie jak prąd zwarcia, z tą różnicą, że jako pojemność przyjmuje się tylko iloczyn pojemności jednostkowej danej linii i jej długości.

- nastawa CPZ musi być powyżej obliczonego prądu własnego linii i jednocześnie poniżej prądu zwarciovego całej sieci pomniejszonego o prąd własny linii. Przyjmuje się współczynnik bezpieczeństwa k_b , który jest równy 2 dla działania zwłocznego i 3 dla bezzwłocznego:

$$k_b \cdot I_{Zwn} \leq I_r \leq I_Z - I_{Zwn}$$

- **Sieć kompensowana:**

W tym rodzaju sieci wykorzystywany jest człon kierunkowy do określenia, w jakim miejscu doszło do uszkodzenia. Człon kierunkowy wykorzystuje wzrost prądu zwarciovego po czasie opóźnienia, na skutek załączenia automatyki AWSC. Urządzenia mogą się pobudzić, natomiast sygnalizować będą tylko te, które wykryją gwałtowny wzrost prądu. Jako próg pobudzenia można przyjąć wartość prądu resztkowego I_{ER} , który jest wynikiem niedokładnego skompensowania prądu płynącego z sieci, składową czynną prądu ziemnozwarciowego oraz wystąpieniem wyższych harmonicznych. Próg pobudzenia centralki powinien być nieco poniżej wartości I_{ER} , żeby doszło do wstępnego pobudzenia układu. W chwili zadziałania AWSC, pobudzą się tylko właściwe centralki ze względu na wzrost prądu pomiędzy miejscem zwarcia a źródłem. Wartość prądu resztkowego określona jest zależnością:

$$I_{ER} = \sqrt{(I_D - I_{CS})^2 + I_{wc}^2 + I_{wh}^2}$$

gdzie:

I_{wh} - wartość skuteczna wyższych harmonicznych prądu ziemnozwarciowego.

Z reguły wartość prądu I_{ER} jest na poziomie 5 – 8 % prądu ziemnozwarciowego.

Jednocześnie próg działania centralki z góry powinien być ograniczony wzrostem prądu w wyniku działania automatyki AWSC.

Wielkości wymagane do obliczeń:

- wartość napięcia znamionowego sieci [kV],
- prąd płynący przez dławik kompensujący,
- typ kabla oraz jego długość, w celu wyznaczenia pojemności danej linii,
- zaznaczenie wszelkiego rodzaju zmian w strukturze sieci (linie napowietrzne), w celu dokładnego wyznaczenia pojemności analizowanego fragmentu sieci,
- dodatkowo, jeżeli jest znany, całkowity prąd pojemnościowy, w celu sprawdzenia poprawności wykonanych obliczeń.

- **Jak obliczać?**

- oblicza się całkowity prąd zwarciovym, który jest wynikiem pojemności całej sieci z zależności:

- $I_Z \cong jI_b = 3\underline{U}_0 \omega C_{0s}$

Pojemność całkowitą oblicza się jako sumę pojemności wszystkich linii zasilanych w analizowanej sieci. Pojemność linii natomiast to iloczyn pojemności jednostkowej i długości obliczanej linii.

$$C_{0s} = \sum c'_{0l}$$

Za wartość napięcia U_0 przyjmuje się wartość napięcia znamionowego sieci (np. 20kV) zakładając, że zwarcie będzie bezpośrednie o bardzo małej rezystancji przejścia.

- następnie oblicza się prąd resztkowy zgodnie z zależnością:

$$I_{ER} = \sqrt{(I_D - I_{CS})^2 + I_{wc}^2 + I_{wh}^2}$$

Nastawa CPZ powinna być poniżej tego prądu, żeby centralka wstępnie została pobudzona. Jednocześnie powinna uwzględniać przyrost prądu spowodowany działaniem automatyki AWSC. Każde z zainstalowanych urządzeń powinno pracować w trybie kierunkowym.

$$I_{ER} \approx I_r$$

- **Sieć uziemiona przez rezystor:**

W tym rodzaju sieci, sposób nastawy urządzeń jest niemal identyczny jak w sieci izolowanej. Wartość rozruchowa CPZ-ów musi być powyżej prądu własnego linii, natomiast mniejsza, niż prąd wynikający z pojemności całej sieci powiększony o prąd płynący przez punkt neutralny transformatora.

$$k_b \cdot I_{Zwn} \leq I_r \leq I_Z - I_{Zwn}$$

W tym przypadku:

$$I_Z = I_{CS} + I_N$$

Wielkości wymagane do obliczeń:

- wartość napięcia znamionowego sieci [kV],
- prąd płynący przez rezystor uziemiający,
- typ kabla oraz jego długość, w celu wyznaczenia pojemności danej linii,
- zaznaczenie wszelkiego rodzaju zmian w strukturze sieci (linie napowietrzne), w celu dokładnego wyznaczenia pojemności analizowanego fragmentu sieci,
- dodatkowo, jeżeli jest znany, całkowity prąd pojemnościowy, w celu sprawdzenia poprawności wykonanych obliczeń.

- **Jak obliczać?**

- oblicza się całkowity prąd zwarcia, który jest wynikiem pojemności całej sieci z zależności:

$$I_Z \cong jI_b = 3U_0\omega C_{0s}$$

Pojemność całkowitą oblicza się jako sumę pojemności wszystkich linii zasilanych w analizowanej sieci. Pojemność linii natomiast to iloczyn pojemności jednostkowej i długości obliczanej linii.

$$C_{0s} = \sum c'_{0l}$$

Za wartość napięcia U_0 przyjmuje się wartość napięcia znamionowego sieci (np. 20kV) zakładając, że zwarcie będzie bezpośrednie o bardzo małej rezystancji przejścia.

- następnie oblicza się prąd wynikający z sumy prądu pojemnościowego i prądu płynącego przez punkt neutralny transformatora:

$$I_Z = I_N + I_{Cs}$$

- próg działania centralki z dołu musi być powyżej prądu własnego linii, ale poniżej całkowitego prądu zwarcowego pomniejszonego o prąd własny linii:

$$k_b \cdot I_{Zwn} \leq I_r \leq I_Z - I_{Zwn}$$

4. DOBÓR CZASU DZIAŁANIA

Czas działania urządzeń sygnalizacyjnych serii CPZ powinien być skorelowany z czasem działania urządzeń zabezpieczających zainstalowanych w danej sieci. Czas nastawiony w urządzeniu musi być na tyle długi, żeby możliwe było wykrycie uszkodzenia, ale jednocześnie musi być krótszy od czasu działania zabezpieczeń i wyłączenia danej linii. Z tego względu czas działania powinien być dobrany zgodnie z zależnością:

$$t_{min} \leq t_r \leq t_{zab}$$

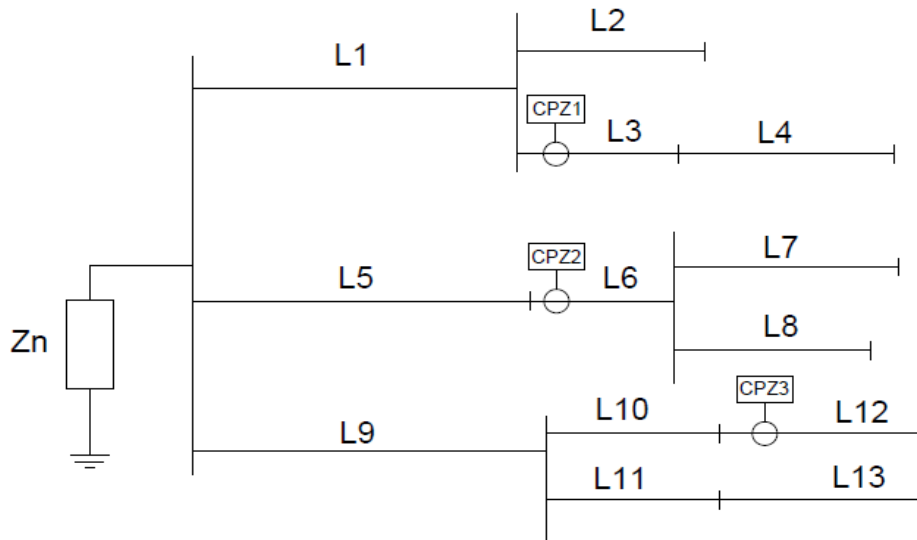
gdzie:

t_{min} - minimalny czas potrzebny na pobudzenie urządzenia,

t_r – czas ustawiany,

t_{zab} – czas działania zabezpieczeń.

5. PRZYKŁAD OBLICZENIOWY



Rysunek 7. Schemat sieci wykorzystanej w przykładzie obliczeniowym.

Napięcie znamionowe sieci wynosi 15kV. Obliczenia zostaną przedstawione dla 3 sposobów uziemienia punktu neutralnego transformatora. W tabeli poniżej zestawione zostały parametry poszczególnych elementów wykorzystanych podczas obliczeń (dostarczanych przez klienta).

Tabela 1. Parametry linii wykorzystanych w przykładzie.

Numer linii	l	c'_0	C_{0i}
	[km]	$\frac{\mu F}{km}$	μF
L1	0,7	0,472	0,3304
L2	0,4	0,396	0,1584
L3	0,3	0,396	0,1188
L4	0,5	0,284	0,1420
L5	0,8	0,524	0,4192
L6	0,2	0,396	0,0792
L7	0,5	0,472	0,2360
L8	0,6	0,396	0,2376
L9	0,9	0,450	0,4050
L10	0,6	0,390	0,2340
L11	0,6	0,450	0,2700
L12	0,4	0,390	0,1560
L13	0,4	0,450	0,1800
$\sum C_{0i} = 2,96 \cdot 10^{-6} F$			

$$U_0 = \frac{15 \cdot 10^3}{\sqrt{3}} = 8660V$$

➤ **Sieć izolowana:**

- **Prąd pojemnościowy całej sieci:**

$$I_{CS} = -j\underline{U}_0 3\omega C_{0S} = -j8660 \cdot 3 \cdot 314 \cdot 2,96 \cdot 10^{-6} = -j24,1468A$$

- **Prąd własny linii L3 + L4:**

$$\begin{aligned} I_{Zw(3+4)} &= -j\underline{U}_0 3\omega(C_{03} + C_{04}) = -j8660 \cdot 3 \cdot 314 \cdot (0,1188 + 0,1420)10^{-6} = \\ &= -j2,1270A \end{aligned}$$

- **Prąd własny linii L6, L7 i L8:**

$$\begin{aligned} I_{Zw(6+7+8)} &= -j\underline{U}_0 3\omega(C_{06} + C_{07} + C_{08}) \\ &= -j8660 \cdot 3 \cdot 314 \cdot (0,0792 + 0,2360 + 0,2376)10^{-6} = -j4,5096A \end{aligned}$$

- **Prąd własny linii L12:**

$$I_{Zw12} = -j\underline{U}_0 3 \cdot \omega \cdot C_{012} = -j8660 \cdot 3 \cdot 314 \cdot 0,1560 \cdot 10^{-6} = -j1,2730A$$

- **Dobór nastawy CPZ1:**

$$I_{Zw(3+4)} = 2,1270A$$

$$I_{CS} = 24,1468A$$

$$I_{CS} - I_{Zw(3+4)} = 22,0198A$$

$$I_{Zw(3+4)} \cdot k_b \leq I_r \leq I_{CS} - I_{Zw(3+4)}$$

$$2 \cdot 2,1270A \leq I_r \leq 22,0198A$$

$$4,2540A \leq I_r \leq 22,0198A$$

Nastawa CPZ powinna być możliwie najbliżej prądu własnego linii, czyli na poziomie 5 lub 10A.

- **Dobór nastawy CPZ2:**

$$I_{Zw(6+7+8)} = 4,5096A$$

$$I_{CS} - I_{Zw(6+7+8)} = 19,6372A$$

$$k_b \cdot I_{Zw(6+7+8)} = 9,0192A$$

$$9,0192A \leq I_r \leq 19,6372A$$

Nastawa CPZ powinna być możliwie najbliżej prądu własnego linii, czyli na poziomie 10A.

- **Dobór nastawy CPZ3:**

$$I_{Zw12} = 1,273A$$

$$I_{CS} - I_{Zw12} = 22,8768A$$

$$k_b \cdot I_{Zw12} = 2,5460A$$

$$2,5460A \leq I_r \leq 22,8768A$$

Nastawa CPZ powinna być możliwie najbliższej prądu własnego linii, czyli na poziomie 5A lub 10A.

➤ **Sieć uziemiona przez rezystor:**

Założyłem, że prąd płynący przez rezystor w chwili zwarcia I_{RN} jest na poziomie 50A. Zwykle jest on kilkakrotnie większy. Im wartość ta jest wyższa, tym lepiej z punktu widzenia poprawności działania urządzeń, stąd to założenie można dowolnie zmieniać wwyż.

$$I_Z = I_{RN} + I_{CS} = 50 - j24,1468 = 55,5254A$$

Prądy własne płynące w liniach za CPZ pozostają bez zmian i przyjmują takie same wartości, jak w przypadku sieci izolowanej.

$$I_{Zw(3+4)} = 2,1270A$$

$$I_{Zw(6+7+8)} = 4,5096A$$

$$I_{Zw12} = 1,2730A$$

○ **Dobór nastawy CPZ1:**

$$I_{Zw(3+4)} = 2,1270A$$

$$I_Z = 55,5254A$$

$$I_Z - I_{Zw(3+4)} = 53,3984A$$

$$I_{Zw(3+4)} \cdot k_b \leq I_r \leq I_{CS} - I_{Zw(3+4)}$$

$$2 \cdot 2,1270A \leq I_r \leq 53,3984A$$

$$4,2540A \leq I_r \leq 53,3984A$$

Nastawa CPZ powinna być możliwie najbliższej prądu własnego linii, czyli na poziomie 5 lub 10A.

○ **Dobór nastawy CPZ2:**

$$I_{Zw(6+7+8)} = 4,5096A$$

$$I_Z - I_{Zw(6+7+8)} = 51,0158A$$

$$k_b \cdot I_{Zw(6+7+8)} = 9,0192A$$

$$9,0192A \leq I_r \leq 51,0158A$$

Nastawa CPZ powinna być możliwie najbliższej prądu własnego linii, czyli na poziomie 10A.

○ **Dobór nastawy CPZ3:**

$$I_{Zw12} = 1,273A$$

$$I_Z - I_{Zw12} = 54,2524A$$

$$k_b \cdot I_{Zw12} = 2,5460A$$

$$2,5460A \leq I_r \leq 54,2524A$$

Nastawa CPZ powinna być możliwie najbliższej prądu własnego linii, czyli na poziomie 5A lub 10A.

➤ **Sieć kompensowana z automatyką AWSC:**

Założyłem, że sieć pracuje przy 20% przekompensowaniu. Dodatkowo pominąłem w obliczeniach składową czynną sieci oraz prąd wynikający z wyższych harmonicznym w prądzie zwarciovym. Rzeczywisty prąd niezrównoważenia będzie nieco większy.

$$I_D = 1,2 \cdot I_{Cs} = 28,9762A$$

$$I_{ER} = 28,9762 - 24,1498 = 4,8294A$$

Dolna wartość pobudzenia centralki powinna być na poziomie prądu niezrównoważenia. Dodatkowo wszystkie powinny pracować w trybie kierunkowym.

$$I_r \approx I_{ER}$$

Po zadziałaniu automatyki AWSC centralki objęte zwarcie pobudzą się ze względu na przepływ dość znacznej składowej czynnej.

6. PODSUMOWANIE

Podczas wyznaczania nastaw CPZ-ów należy zwrócić uwagę na kilka szczególnych przypadków:

- wartość prądu pobudzającego daną centralkę powinna być powyżej prądu pojemnościowego własnego danej linii, ale powinna być również powyżej roboczego prądu $3I_0$. Jest to warunek konieczny z tego względu, że centralka nie może pobudzać się podczas normalnej pracy sieci,
- zawsze powinno się sprawdzić, czy prąd pojemnościowy całej sieci jest większy, niż prąd pojemnościowy własny danej linii powiększony o współczynnik bezpieczeństwa. Sytuacja taka może mieć miejsce, gdy pojemność ciągu od miejsca zainstalowania CPZ aż do końca w kierunku odbiorów, będzie stosunkowo duża w porównaniu z pojemnością całej sieci. Jeżeli ten warunek nie będzie spełniony, to centralka nigdy się nie pobudzi, ponieważ nie dojdzie do przekroczenia prądu $3I_0$ będącego nastawą danego CPZ,
- należy zweryfikować, czy miejsca zainstalowania centralek zaproponowane przez Klienta są odpowiednie. W momencie, gdy istnieje możliwość bardziej optymalnego rozmieszczenia urządzeń, powinno się zaproponować korzystniejszą ofertę,
- podczas obliczeń szczególną uwagę należy zwrócić na wszelkie zmiany struktury sieci. Linie napowietrzne charakteryzują się inną pojemnością jednostkową niż kable, z tego względu na schemacie konieczne jest umieszczenie przez Klienta informacji o każdej linii/kablu,
- czas ustawiony w każdej centralce powinien być krótszy, niż czas działania urządzeń zabezpieczających. Jednocześnie czas ten musi być dłuższy, niż minimalny czas potrzebny na pobudzenie się centralki.

7. SPIS OZNACZEŃ:

- B_{0S} – całkowita susceptancja analizowanej sieci SN,
 c'_0 – pojemność jednostkowa linii,
 E_A, E_B, E_C – siły elektromotoryczne każdej z faz,
 G_{LD} – konduktancja dławika uziemiającego,
 G_{0S} – całkowita konduktancja analizowanej sieci SN,
 I_b – składowa bierna prądu zwarcowego,
 I_{CS} – prąd pojemnościowy całej sieci,
 I_{CZ} – składowa czynna prądu ziemnozwarciowego,
 I_D – prąd płynący przez dławik uziemiający,
 I_{ER} – prąd resztkowy występujący w sieci kompensowanej,
 I_N – prąd płynący przez uziemienie punktu neutralnego transformatora,
 I_r – próg działania sygnalizatora,
 I_{wh} - wartość skuteczna wyższych harmonicznnych prądu ziemnozwarciowego,
 I_Y – prąd ziemnozwarciowy wynikający z admitancji doziemnych,
 I_Z – całkowity prąd ziemnozwarciowy płynący w miejscu zwarcia,
 I_{Zn} – prąd płynący w linii zwartej,
 I_{Zwn} – prąd własny wybranej linii,
 l – długość wybranej linii,
 R_N – rezystancja uziemienia w punkcie neutralnym transformatora,
 R_p – rezystancja przejścia w miejscu zwarcia,
 U_A, U_B, U_C – napięcia fazowe,
 U_N – napięcie pomiędzy punktem neutralnym transformatora a ziemią,
 U_0 – napięcie składowej zerowej,
 U_{0w} – napięcie niezrównoważenia,
 Y_A, Y_B, Y_C - admitancje doziemne poszczególnych faz,
 Y_{0S} – całkowita admitancja analizowanej sieci,
 Z_N – impedancja uziemienia punktu neutralnego transformatora,
 β – współczynnik ziemnozwarciowy,
 ω – pulsacja.