

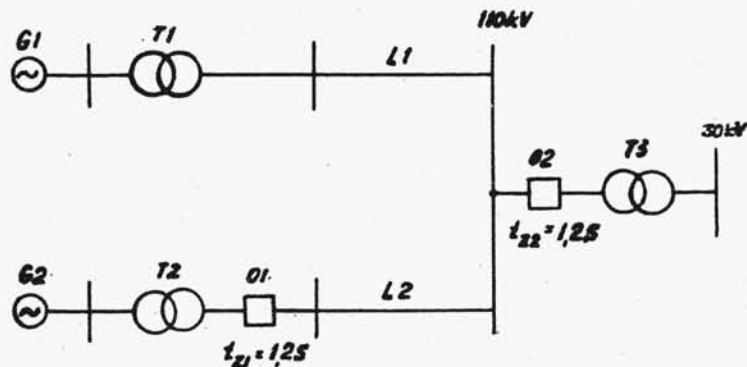
wyłączeniowego oraz współczynnika skojarzenia, charakteryzującej zdolność łączeniową w warunkach zwarciovych.

Ad 3. W ostatniej fazie doboru, na podstawie materiałów katalogowych wybiera się typ aparatu, którego znamionowe parametry zwarciove są większe lub co najmniej równe parametrom zwarciovym wyznaczonym dla miejsca przyszłego zainstalowania aparatu. Np. dla wyłącznika znamionowy prąd załączalny, znamionowa moc wyłączalna, znamionowy prąd n-sek muszą być większe od parametrów wyznaczonych dla miejsca zainstalowania - prądu załączeniowego, mocy wyłączeniowej, prądu n-sek.

3.4. Przykłady liczbowe

Przykład 3.1

Wyznaczyć dane charakterystyczne dla doboru do obciążeniowych zwykłych i zwarciovych warunków pracy dla odłączników O1 i O2 pracujących w układzie jak na rys.3.4.



Rys. 3.4. Schemat układu do przykładu 3.1:
G1 ($S_n = 50$ MVA, $U_n = 10,5$ kV, $X'_d = 12\%$);
G2 ($S_n = 30$ MVA, $U_n = 6,3$ kV, $X'_d = 12\%$);
T1 ($S_n = 50$ MVA, 10,5/110 kV/kV, $\Delta U_z = 11\%$);
T2 ($S_n = 30$ MVA, 6,3/110 kV/kV, $\Delta U_z = 10\%$);
T3 ($S_n = 60$ MVA, 110/30 kV/kV, $\Delta U_z = 11\%$);
L1 ($X'_L = 0,4 \Omega/\text{km}$, $l_1 = 20$ km);
L2 ($X'_L = 0,4 \Omega/\text{km}$, $l_2 = 25$ km);

Uwaga: Punkt zerowy układu 110 kV jest skutecznie uziemiony.

1. Warunki pracy obciążeniowej zwykłej

Napięcie znamionowe izolacji

dla odłącznika 01 $U_{ni} = 110 \text{ kV}$ ze skutecznie uziemio-
nym punktem zerowym,

dla odłącznika 02 $U_{ni} = 110 \text{ kV}$ ze skutecznie uziemio-
nym punktem zerowym.

Znamionowe prądy ciągłe

prąd obciążenia ciągłego dla odłącznika 01

$$I_{ob01} = \frac{S_{T1}}{\sqrt{3} U_n} = \frac{50000}{\sqrt{3} \cdot 110} \text{ A} = 262 \text{ A} .$$

Można przyjąć najbliższą w górę wartość znormalizowaną

$$I_{n01} = 400 \text{ A} > I_{ob01} = 262 \text{ A} .$$

Prąd obciążenia dla odłącznika 02

$$I_{ob02} = \frac{S_{T3}}{\sqrt{3} U_n} = \frac{60000}{\sqrt{3} \cdot 110} \text{ A} = 314 \text{ A} ,$$

$$I_{n02} = 400 \text{ A} > I_{ob02} = 314 \text{ A} .$$

2. Warunki pracy zwarciowej

A. Dla odłącznika 01

Wyznaczamy oporności zwarciowe poszczególnych elementów
układu na poziomie napięcia $U_n = 110 \text{ kV}$

$$x_{G1} = \frac{x''_{dG1} U_n^2}{100 S_{G1}} = \frac{12 \cdot 110^2}{100 \cdot 50} = 29,0 \Omega ,$$

$$x_{G2} = \frac{x''_{dG2} U_n^2}{100 S_{G2}} = \frac{12 \cdot 110^2}{100 \cdot 30} = 48,5 \Omega ,$$

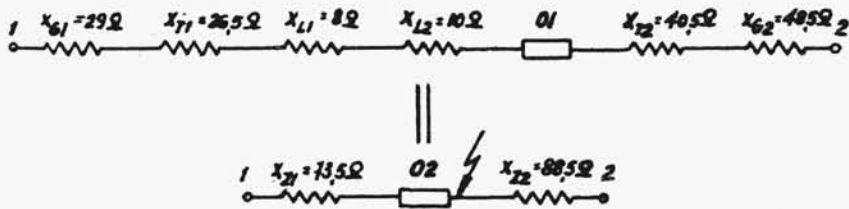
$$x_{T1} = \frac{\Delta u_{zT1} U_n^2}{100 S_{T1}} = \frac{11 \cdot 110^2}{100 \cdot 50} = 26,5 \Omega ,$$

$$x_{T2} = \frac{\Delta u_{zT2} U_n^2}{100 s_{T2}} = \frac{10 \cdot 110^2}{100 \cdot 30} = 40,5 \Omega,$$

$$x_{L1} = x'_L l_1 = 0,4 \cdot 20 = 8 \Omega,$$

$$x_{L2} = x'_L l_2 = 0,4 \cdot 25 = 10 \Omega.$$

Opierając się na wyznaczonych wartościach oporności wyznaczamy schemat zastępczy, który następnie upraszczamy (rys.3.5).



Rys.3.5. Przekształcenie schematu opornościowego dla wyznaczenia danych odłącznika 0_1 z przykładu 3.1.

Ponieważ $x_{z1} \leq x_{z2}$, cięższe warunki pracy zwarciowej dla odłącznika wystąpią przy zasilaniu ze źródła 1. Punkt zwarcia należy więc założyć w miejscu zaznaczonym na rys.3.5, a do obliczeń przyjąć $x_{z1} = 73,5 \Omega$.

Wartość początkowa składowej okresowej prądu zwarcia

$$I_p = \frac{1,1 U_n}{\sqrt{3} x_{z1}} = \frac{1,1 \cdot 110}{\sqrt{3} \cdot 73,5} = 0,95 \text{ kA},$$

prąd udarowy

$$i_u = k_u \sqrt{2} I_p.$$

Wobec braku danych dotyczących oporności przyjmuje się

$$k_u = 1,8$$

$$i_u = 1,8 \sqrt{2} \cdot 0,95 = 2,4 \text{ kA},$$

prąd zwarciowy 1 sek ($n = 1$).

Ponieważ układ sieciowy ma skutecznie uziemiony punkt zerowy, przyjmuje się do obliczeń prądu zwarciovego 1 sek - zwarcie jednofazowe. Wobec braku danych odnośnie $\frac{x_0}{x_1}$ przyjmuje się $x_0 = x_1$, a tym samym $I_p^I = I_p^{III}$, gdzie I_p^I - wartość początkowa składowej okresowej prądu zwarcia jednofazowego (patrz p.1.3)

$$I_{1s} = k_c^I I_p^I \sqrt{t_z} = k_c^I I_p \sqrt{t_z} .$$

Ponieważ punkt zwarcia zasilany jest jedynie z generatora G1

$$\frac{I_p}{\sum I_n} = \frac{I_p}{I_{nG1}} = \frac{0,95}{0,26} = 3,7 ,$$

$$\text{gdzy} \quad I_{nG1} = \frac{S_{nG1}}{\sqrt{3} U_n} = \frac{50000}{\sqrt{3} \cdot 110} = 0,262 \text{ kA} .$$

Dla $\frac{I_p}{\sum I_n} = 3,7$ oraz $t_z = 1,8$ s z wykresu na rys.3.2 dla zwarcia jednofazowego otrzymujemy $k_c^I = 1,0$

$$I_{1s} = 1,0 \cdot 0,95 \sqrt{1,8} = 1,25 \text{ kA} .$$

B. Dla odłącznika O2

Schemat zastępczy obwodu i jego uproszczenie przedstawiono na rys.3.6. Dla odłącznika O2 istnieje tylko jedna możliwość przyjęcia punktu zwarcia - w miejscu zaznaczonym na rys.3.6.

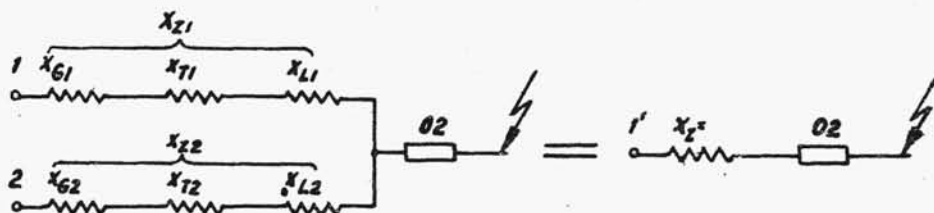
$$x_{z1} = x_{G1} + x_{T2} + x_{L1} = 29,0 + 26,5 + 8 = 64,5 \Omega ,$$

$$x_{z2} = x_{G2} + x_{T2} + x_{L2} = 48,5 + 40,5 + 10 = 98,5 \Omega ,$$

$$x_z = \frac{x_{z1} x_{z2}}{x_{z1} + x_{z2}} = \frac{64,5 \cdot 98,5}{64,5 + 98,5} = 39,5 \Omega .$$

Wartość prądu I_p

$$I_p = \frac{1,1 \cdot 110}{\sqrt{3} \cdot 39,5} = 1,8 \text{ kA} ,$$



Rys.3.6. Przekształcenie schematu opornościowego dla wyznaczenia danych zwarciovych odłącznika 02 z przykładu 3.1.

prąd udarowy

$$i_u = k_u \sqrt{2} I_p = 1,8 \cdot 2 \cdot 1,8 = 4,5 \text{ kA} ,$$

prąd zwarciovych jednosekundowy

$$I_{1s} = k_c^I I_p^I \sqrt{t_z} .$$

Ponieważ

$$\begin{aligned} I_n = I_{G1} + I_{G2} &= \frac{S_{G1}}{\sqrt{3} U_n} + \frac{S_{G2}}{\sqrt{3} U_n} + \frac{50}{\sqrt{3} \cdot 110} + \frac{30}{\sqrt{3} \cdot 110} = \\ &= 0,26 + 0,15 = 0,41 \text{ kA} , \end{aligned}$$

$$\frac{I_p}{\sum I_n} = \frac{1,8}{0,41} = 4,4 .$$

Dla $\frac{I_p}{\sum I_n} = 4,4$ i $t_z = 1,2 \text{ s}$ z rys.3.2 otrzymujemy dla zwarcia jednofazowego $k_c = 0,87$

a $I_{1s} = 1,0 \cdot 1,8 \sqrt{1,2} = 1,95 \text{ kA} .$

Otrzymane wyniki zestawiono w tablicy 11.

Do przykładu 3.1

| Parametry | | Odłącznik O1 | Odłącznik O2 |
|-----------|----|--------------|--------------|
| U_{ni} | kV | 110 Z | 110 Z |
| U_n | kV | 110 | 110 |
| I_n | A | 400 | 400 |
| i_u | kA | > 2,4 | > 4,5 |
| I_{1s} | kA | > 1,25 | > 1,95 |

Przykład 3.2

Określić parametry (dane charakterystyczne) dla warunków pracy normalnej i zwarciowej dla wyłączników W1 i W2 umieszczonych w układzie elektroenergetycznym jak na rys.3.7.

1. Warunki pracy obciążeniowe zwykłe

Napięcie znamionowe izolacji:

dla wyłącznika W1 $U_{ni} = 110$ kV ,

dla wyłącznika W2 $U_{ni} = 20$ kV .

Dla układów sieciowych o napięciu znamionowym 15 kV przyjmuje się zwykle napięcie znamionowe izolacji 20 kV.

Znamionowy prąd ciągły

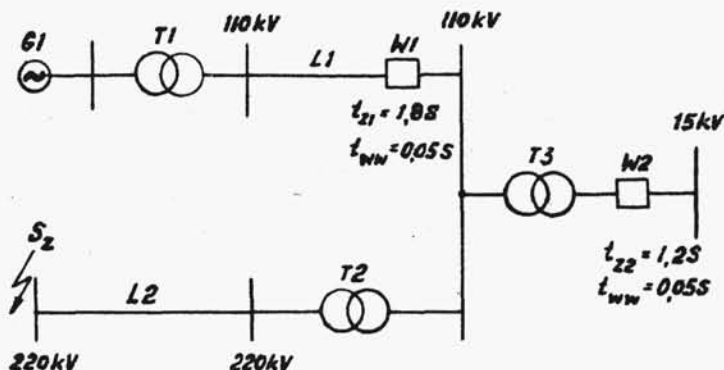
prąd obciążenia ciągłego dla wyłącznika W1

$$I_{obW1} = \frac{S_{T1}}{\sqrt{3} U_n} = \frac{150000}{\sqrt{3} \cdot 110} = 262 \text{ A}; \quad I_n = 400 \text{ A},$$

prąd obciążenia dla wyłącznika W2

$$I_{obW2} = \frac{S_{T3}}{\sqrt{3} U_n} = \frac{30000}{\sqrt{3} \cdot 15} = 1160 \text{ A},$$

dla W2 można przyjąć $I_n = 1250$ A.



Rys. 3.7. Schemat układu do przykładu 3.2.
 G1 ($S_n = 50$ MVA, $U_n = 10,5$ kV, $X_d'' = 12\%$);
 T1 ($S_n = 50$ MVA, $10,5/110$ kV/kV, $\Delta U_z = 11\%$);
 T2 ($S_n = 100$ MVA, $220/110$ kV/kV, $\Delta U_z = 12\%$);
 T3 ($S_n = 30$ MVA, $110/15$ kV/kV, $\Delta U_z = 10\%$);
 L1 ($X_L' = 0,4 \Omega/\text{km}$, $l = 20$ km);
 L2 $X_L 220\text{kV} = 40 \Omega$,

t_z - czas trwania zwarcia, t_{ww} - czas własny wyłącznika. Moc zwarciova dostarczana z układu przyłączonego do szyn zbiorczych 220 kV wynosi 2500 MVA przy $S_n = 500$ MVA.

Uwaga: Punkt zerowy sieci 110 kV jest skutecznie uziemiony

2. Warunki pracy zwarciovej

A. Dla wyłącznika W1

Wyznaczenie oporności zwarciowych elementów na poziomie napięcia $U_n = 110$ kV

$$x_{G1} = \frac{x_d''\% U_n^2}{100 S_{nG1}} = \frac{12 \cdot 110^2}{100 \cdot 50} = 29 \Omega,$$

$$x_{T1} = \frac{\Delta u_{zT1}\% U_n^2}{100 \cdot S_{nT1}} = \frac{11 \cdot 110^2}{100 \cdot 50} = 26,5 \Omega,$$

$$x_{T2} = \frac{\Delta u_{zT2}\% U_n^2}{100 \cdot S_{nT2}} = \frac{12 \cdot 110^2}{100 \cdot 100} = 14,5 \Omega,$$

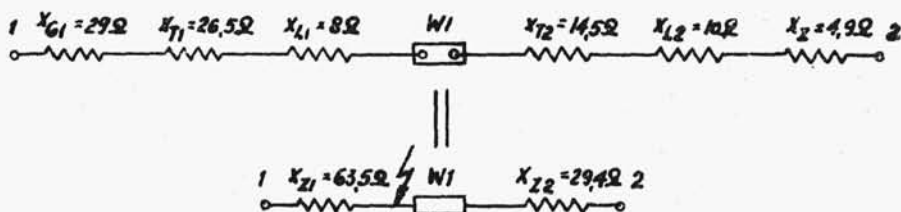
$$x_{T3} = \frac{\Delta u_{zT3} \% U_n^2}{100 \cdot S_{nT3}} = \frac{10 \cdot 110^2}{100 \cdot 30} = 40,5 \Omega,$$

$$x_{L1} = x_L 1 = 0,4 \cdot 20 = 8 \Omega,$$

$$x_{L2} = (x_L)_{220kV} \left(\frac{110}{220} \right)^2 = 40 \frac{1}{4} = 10 \Omega,$$

$$x_z = \frac{U_n^2}{S_z} = \frac{110^2}{2500} = 4,84 \Omega.$$

Opornościowy schemat zastępczy obwodu przedstawiono na rys.3.8. Do obliczeń przyjmuje się oporność zwarciovą $x_{z2} = 29,4 \Omega$.



Rys.3.8. Przekształcenie schematu opornościowego dla wyznaczenia danych zwarciovych wyłącznika W1 z przykładu 3.2

Wartość początkowa składowej okresowej prądu zwarcia

$$I_p = \frac{1,1 U_n}{\sqrt{3} x_{z2}} = \frac{1,1 \cdot 110}{\sqrt{3} \cdot 29,4} = 2,15 \text{ kA}.$$

Prąd udarowy

$$i_u = k_u \sqrt{2} I_p.$$

Przyjmuje się $k_u = 1,8$ a więc

$$i_u = 1,8 \sqrt{2} \cdot 2,15 = 5,5 \text{ kA}.$$

Prąd zwarciový 1s ($n = 1$) (patrz uwaga w przykładzie 3.1)

$$I_{1s} = k_c^I I_p^I \sqrt{t_z},$$

$$\frac{I_p}{\Sigma I_n} = \frac{2,15}{2,5} = 0,86,$$

ponieważ

$$I_n = \frac{S_{nz}}{\sqrt{3} \cdot 110} = \frac{500}{\sqrt{3} \cdot 110} = 2,5 \text{ kA}.$$

Dla $\frac{I_p}{\Sigma I_n} = 0,86$ i $t_z = 1,8 \text{ s}$ z rys. 3.2 dla zwarcia jednofazowego odczytujemy $k_c^I = 1,03$

a
$$I_{1s} = 1,03 \cdot 2,15 \sqrt{1,8} = 3,0 \text{ kA}.$$

Symetryczny prąd wyłączeniowy

$$I_{ws} = k_{ws} I_p.$$

Dla $\frac{I_p}{I_n} = 205$ oraz $t_{ww} = 0,05 \text{ s}$, $k_{ws} = 0,98$,

$$I_{ws} = 0,98 \cdot 2,15 = 2,15 \text{ kA, przy } 110 \text{ kV}.$$

Symetryczna moc wyłączeniowa przy 110 kV

$$S_{ws} = \sqrt{3} U_n I_{ws} = \sqrt{3} \cdot 110 \cdot 2,15 = 410 \text{ MVA}.$$

B. Dla wyłącznika W2

Opornościowy schemat zastępczy przedstawiono na rys. 3.9.

Dla wyłącznika W2 istnieje tylko jedna możliwość przyjęcia miejsca zwarcia, tak jak zaznaczono na rysunku. Oporność zastępcza obwodu wyniesie

$$x_z = \frac{x_{z1} \cdot x_{z2}}{x_{z1} + x_{z2}} + x_{T2} = \frac{63,5 \cdot 29,4}{63,5 + 29,4} + 40,5 = 20,2 + 60,5 = 80,7 \Omega.$$

Oporność tę odniesioną do napięcia 110 kV należy prze-transformować na napięcie pracy wyłącznika W2, tj. $U_n = 15$ kV

$$x_{z15kV} = x_z \left(\frac{15}{110} \right)^2 = 80,7 \left(\frac{15}{110} \right)^2 = 1,5 \Omega.$$

Następnie wyznaczamy

$$I_p = \frac{1,1 U_n}{\sqrt{3} x_{z15kV}} = \frac{1,1 \cdot 15}{\sqrt{3} \cdot 1,5} = 6,35 \text{ kA}.$$

Prąd udarowy

$$i_u = 1,8 \sqrt{2} \cdot 6,35 = 16,2 \text{ kA} - \text{przyjmujemy } k_u = 1,8.$$

Prąd zwarciaowy 1-o sekundowy

$$\frac{I_p}{\Sigma I_n} = \frac{6,15}{9,7} = 0,635$$

ponieważ

$$\Sigma I_n = \frac{50}{\sqrt{3} \cdot 15} + \frac{200}{\sqrt{3} \cdot 15} = 1,90 + 7,6 = 9,7 \text{ kA}.$$

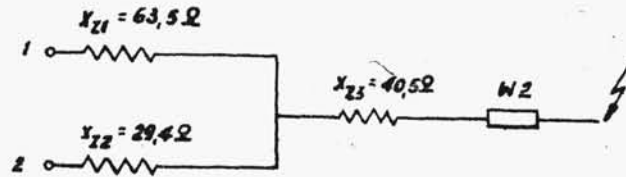
Dla $\frac{I_p}{I_n} = 0,635$ i $t_z = 1,2$ s otrzymujemy dla zwarcia trójfazowego $k_c = 1,04$

$$a \quad I_p = k_c I_p \sqrt{t_z} = 1,04 \cdot 6,15 \sqrt{1,2} = 7,05 \text{ kA}.$$

Symetryczny prąd wyłączeniowy

Dla $\frac{I_p}{\Sigma I_n} = 0,63$ i $t_{ww} = 0,05$ s otrzymujemy z rys.3.3

$$k_{ws} = 1,0,$$



Rys.3.9. Schemat opornościowy do wyznaczenia danych zwarciovych wyłącznika W2 z przykładu 3.2.

$$I_{ws} = k_{ws} I_p = 1,0 \cdot 6,15 = 6,15 \text{ kA przy } 15 \text{ kV} .$$

Symetryczna moc wyłączeniowa

$$S_{ws} = \sqrt{3} I_{ws} U_n = \sqrt{3} 6,15 \cdot 15 = 160 \text{ MVA} .$$

Otrzymane wyniki zestawiono w tabelicy 12.

Tablica 12

Do przykładu 3.2.

| Nazwa wyłącznika | | Wyłącznik W1 | Wyłącznik W2 |
|------------------|-----|--------------|--------------|
| U_{ni} | kV | 110 Z | 20 |
| U_n | kV | 110 | 15 |
| I_n | A | 400 | 1250 |
| $i_{zał}$ | kA | 5,5 | 16,2 |
| I_{1s} | kA | 3,0 | 7,05 |
| I_{ws} | kA | 2,15 | 6,15 |
| S_{ws} | MVA | 410 | 160 |

Przykład 3.3.

Wyznaczyć parametry zwarciove dla przekładników prądowych PP1 i PP2 pracujących w układzie jak na rys.3.10.

Przykład 3.4

Wyznaczyć dane charakterystyczne dla doboru wyłączników W1, W2 i W3 umieszczonych w układzie przedstawionym na rys.3.11.

-BIBLIOGRAFIA

1. Dzierzbicki S.: Wysokonapięciowe aparaty łączeniowe. Zasady działania. WNT, Warszawa 1962.
2. Kryński J.: Elektryczne aparaty rozdzielcze. Kurs ogólny Cz.I. PWN, Warszawa, wyd.I-1963, wyd.II-1964.
3. Kończykowski S., Bursztyński J.: Zwarcia w układach elektroenergetycznych. WNT, Warszawa, 1965.
4. Kurdziel R.: Działania cieplne i dynamiczne prądów zwarciowych. PWT, Warszawa 1957.
5. Афанасьев В.В.: Разъединители переменного тока высокого напряжения. ГЭИ. Москва, Ленинград, 1963.
6. Холявский Г.Б. - Расчет электродинамических усилий в электрических аппаратах. ГЭИ, Москва Ленинград 1962.