

## 6. Obliczenia techniczne

### 6.1. Dane wyjściowe:

- prąd zwarcie wielofazowych na szynach rozdzielni 15 kV stacji 110/15 kV Brzozów  
 $I''_{k3} = 8,5 \text{ kA}$
- czas trwania zwarcia  $t = 1 \text{ s}$
- prąd ziemnozwarciowy  $I_F = 36 \text{ A}$
- czas trwania zwarcia  $T_K = 5 \text{ s}$
- moc znamionowa jednego transformatora  $S_T = 800 \text{ kVA}$
- straty obciążeniowe transformatora  $P_{obc} = 9200 \text{ W}$
- napięcie zwarcia  $u_k = 6 \%$
- prąd jałowy  $i_o = 1,1 \%$

### 6.2. Obliczenia zwarciove:

- impedancja zwarciova systemu elektroenergetycznego:

$$Z_{kQ} = \frac{c_{max} \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot I''_{K3}} = \frac{1,1 \cdot 15,75}{\sqrt{3} \cdot 8,5} = 1,176 \text{ k}\Omega$$

- reaktancja i rezystancja systemu:

$$X_{kQ} = 0,995 \cdot Z_{kQ} = 0,995 \cdot 1,176 = 1,170 \text{ }\Omega$$

$$R_{kQ} = 0,1 \cdot X_{kQ} = 0,1 \cdot 1,170 = 0,117 \text{ }\Omega$$

- rezystancja i reaktancja linii zasilajacych – zasilanie podstawowe

$$R_l = 2,525 \text{ }\Omega$$

- reaktancja linii napowietrznej  $X_{ln} = 0,4 \cdot l = 0,4 \cdot 2,135 = 0,854 \text{ }\Omega$

- reaktancja linii kablowej  $X_{lk} = 0,1 \cdot l = 0,1 \cdot 1,698 = 0,169 \text{ }\Omega$

- reaktancja calkowita  $X_l = X_{ln} + X_{lk} = 0,854 + 0,169 = 1,023 \text{ }\Omega$

- impedancja na szynach SN stacji „Brzozów 9 Szpital”:

$$R_l = R_{kQ} + R_l = 0,117 + 2,525 = 2,642 \text{ }\Omega$$

$$X_l = X_{kQ} + X_l = 1,170 + 1,023 = 2,193 \text{ }\Omega$$

$$Z_{kl} = \sqrt{R_l^2 + X_l^2} = \sqrt{2,642^2 + 2,193^2} = 3,433 \text{ }\Omega$$

- prąd poczatkovy

$$I''_{kl} = \frac{c_{max} \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{kl}} = \frac{1,1 \cdot 15,75}{\sqrt{3} \cdot 3,433} = 2,913 \text{ kA}$$

$$\kappa = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-3 \frac{R_l}{X_l}} = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-3 \frac{2,642}{2,193}} = 1,046$$

$$i_{pl} = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_{kl}'' = 1,046 \cdot \sqrt{2} \cdot 2,913 = 4,309 \text{ kA}$$

$$T_l = \frac{X_l}{\omega \cdot R_l} = \frac{2,193}{314 \cdot 2,642} = 2,43 \text{ ms}$$

- rezystancja i reaktancja linii zasilających – zasilanie rezerwowe

$$R_l = 2,024 \Omega$$

- reaktancja linii napowietrznej  $X_{ln} = 0,4 \cdot l = 0,4 \cdot 1,760 = 0,704 \Omega$

- reaktancja linii kablowej  $X_{lk} = 0,1 \cdot l = 0,1 \cdot 1,676 = 0,167 \Omega$

- reaktancja całkowita  $X_l = X_{ln} + X_{lk} = 0,704 + 0,167 = 0,871 \Omega$

- impedancja na szynach SN stacji „Brzozów 9 Szpital”:

$$R_l = R_{kQ} + R_l = 0,117 + 2,024 = 2,141 \Omega$$

$$X_l = X_{kQ} + X_l = 1,170 + 0,871 = 2,041 \Omega$$

$$Z_{kl} = \sqrt{R_l^2 + X_l^2} = \sqrt{2,141^2 + 2,041^2} = 2,957 \Omega$$

- prąd początkowy

$$I_{kl}'' = \frac{c_{max} \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{kl}} = \frac{1,1 \cdot 15,75}{\sqrt{3} \cdot 2,957} = 3,382 \text{ kA}$$

$$\kappa = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-3 \frac{R_l}{X_l}} = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-3 \frac{2,141}{2,041}} = 1,062$$

$$i_{pl} = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_{kl}'' = 1,062 \cdot \sqrt{2} \cdot 3,382 = 5,079 \text{ kA}$$

$$T_l = \frac{X_l}{\omega \cdot R_l} = \frac{2,141}{314 \cdot 2,041} = 3,34 \text{ ms}$$

Do dalszych obliczeń wykorzystywane będzie zasilanie rezerwowe ze względu na wyższe wartości prądów zwarciovych

- moc zwarciova

$$S_{kQII}'' = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_{kl}'' = \sqrt{3} \cdot 15,75 \cdot 3,382 = 92,260 \text{ MVA}$$

Warunki zwarciove na szynach rozdzielni nN

- impedancja sytemu

$$Z_{kQnN} = \frac{c_{max} \cdot U_n^2}{S_{kQII}''} \cdot \left( \frac{U_{rT2}}{U_{rT1}} \right)^2 = \frac{1,1 \cdot 15,75^2}{92,260} \cdot \left( \frac{420}{15750} \right)^2 = 0,0021 \Omega$$

- reaktancja i rezystancja sytemu:

$$X_{kQII} = 0,995 \cdot Z_{kQ} = 0,995 \cdot 0,0021 = 0,00208 \Omega$$

$$R_{kQ} = 0,1 \cdot X_{kQ} = 0,1 \cdot 0,00208 = 0,000208 \Omega$$

- impedancja transformatora

$$u_R = \frac{\Delta P_{obc}}{S_T} = \frac{9,2}{800} = 0,0115$$

$$u_X = \sqrt{u_k^2 - u_R^2} = \sqrt{0,06^2 - 0,0115^2} = 0,058$$

$$X_T = u_X \cdot \frac{U_T^2}{S_T} = 0,058 \cdot \frac{420^2}{800 \cdot 10^3} = 0,0127 \Omega$$

$$R_T = u_R \cdot \frac{U_T^2}{S_T} = 0,0115 \cdot \frac{420^2}{800 \cdot 10^3} = 0,0025 \Omega$$

$$Z_T = u_k \cdot \frac{U_T^2}{S_T} = 0,06 \cdot \frac{420^2}{800 \cdot 10^3} = 0,0132 \Omega$$

- impedancja linii zasilających

linia 3x(4xYKY 1x240): transformator – wyłącznik

$$R_{l1} = \frac{l}{\gamma \cdot S} = \frac{15}{56 \cdot 3 \cdot 240} = 0,00037 \Omega$$

$$X_{l1} = 0,08 \cdot l = 0,08 \cdot 0,015 = 0,0012 \Omega$$

- całkowita impedancja obwodu zwarciego wynosi

$$X_k = X_{kQII} + X_T + X_{l1} = 0,00208 + 0,0127 + 0,0012 = 0,0159 \Omega$$

$$R_k = R_{kQII} + R_T + R_{l1} = 0,000208 + 0,0025 + 0,00037 = 0,00307 \Omega$$

$$Z_k = \sqrt{R_k^2 + X_k^2} = \sqrt{0,00307^2 + 0,0159^2} = 0,016 \Omega$$

- prąd zwarciovyy początkowy

$$I_k'' = \frac{c_{max} \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_k} = \frac{1,0 \cdot 400}{\sqrt{3} \cdot 0,016} = 14,43 \approx 15 \text{ kA}$$

$$\kappa = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-3 \frac{R_k}{X_k}} = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-3 \frac{0,00307}{0,0159}} = 1,52$$

$$i_p = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_k'' = 1,52 \cdot \sqrt{2} \cdot 14,43 = 31,02 \approx 32 \text{ kA}$$

### 6.3. Dobór transformatora

Moc przyłączeniowa wynosi  $P_{nl} = 900 \text{ kVA}$

Dla  $\cos \varphi = 0,93$  moc pozorna wynosi:

$$S_n = \frac{P_{nl}}{\cos \varphi} = \frac{900}{0,93} = 967,74 \text{ kVA}$$

Dobrano dwa transformatory o mocy znamionowej  $S_n = 800 \text{ kVA}$

Zabezpieczenie transformatora:

$$I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{800}{\sqrt{3} \cdot 15,75} = 29,32 \text{ A}$$

Wg producenta wkładek topikowych SN (ABB) dla napięcia 15kV i mocy transformatora 800kVA należy zastosować wkładki o wartości 50 A.

#### 6.4. Dobór aparatury

Prąd obliczeniowy dla mocy znamionowej przyłączeniowej  $P_n = 900 \text{ kVA}$

$$I_{obl.} = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos\varphi} = \frac{900}{\sqrt{3} \cdot 15,75 \cdot 0,93} = 35,47 \text{ A}$$

Dobór przekładników prądowych:

Dla prądu obliczeniowego  $I_{obl.} = 35,47 \text{ A}$  i własności metrologicznych przyrządów pomiarowych dobrano przekładniki prądowe o znamionowym prądzie pierwotnym  $I_{1n} = 50 \text{ A}$ , mocy znamionowej  $S_n = 5 \text{ VA}$ , klasie kl. 0,2; współczynnika bezpieczeństwa FS=5 i prądzie cieplnym  $I_{th} = 4 \text{ kA}$

Znamionowy prąd pierwotny:

$$\begin{aligned} 0,2I_{1n} &\leq I_{obl.} \leq 1,2I_{1n} \\ 0,2 \cdot 50 &\leq 35,47 \leq 1,2 \cdot 50 \\ 10 \text{ A} &\leq 35,47 \text{ A} \leq 60 \text{ A} \end{aligned}$$

warunek spełniony

Moc znamionowa:

$$\begin{aligned} 0,25S_n &\leq S_{obc.} \leq S_n \\ 0,25 \cdot 5 &\leq 2,51 \leq 5 \\ 1,25 &\leq 2,51 \leq 5 \end{aligned}$$

warunek spełniony

gdzie:

$$S_{obc.} = S_l + S_p + S_s = 0,01 + 1,25 + 1,25 = 2,51 \text{ VA}$$

$$S_l = 0,01 \text{ VA}$$

$$S_p = \frac{I_{sn}^2 \cdot l_p}{\gamma \cdot S} = \frac{5^2 \cdot 7}{56 \cdot 2,5} = 1,25 \text{ VA}$$

$$S_s = 1,25 \text{ VA}$$

$S_l$  - pobór mocy przez obwód prądowy licznika wg ELSTER

$S_p$  - strata mocy w przewodach łączących licznik z przekładnikami

$S_s$  – strata mocy w miejscach połączeń

Znamionowy krótkotrwały prąd cieplny:

$$I_{th} > I_{th2}$$

ponieważ  $T_k = 5,0s > 10T_2 = 0,055s$  można przyjąć następujące uproszczenie:

$$I_{th2} \approx I_{k2}'' = 3,38 \text{ kA}$$

$$4 \text{ kA} > 3,38 \text{ kA}$$

warunek spełniony

Dobór przekładników napięciowych

Moc znamionowa:

$$0,25S_n \leq S_2 \leq S_n$$

$$0,25 \cdot 2,5 \leq 1,2 \leq 2,5$$

$$0,625 \leq 1,2 \leq 2,5$$

warunek spełniony

$S_2 = 1,2 \text{ VA}$  - moc pobierana przez obwód napięciowy licznika wg ELSTER

Prąd wkładki bezpiecznikowej:

$$\frac{S_g}{k \cdot U_{2n}} \geq I_{bn} > \frac{S_2}{U_{2n}}$$

$$\frac{400}{1,6 \cdot 58} \geq 0,4 > \frac{1,2}{58}$$

$$4,31 \geq 0,4 > 0,02$$

warunek spełniony

$S_g$  - moc graniczna przekładnika wg karty katalogowej producenta

$k$  - współczynnik 1,5-1,6

## 6.5. Dobór urządzeń do kompensacji mocy biernej biegu jałowego transformatora

$$Q_K \leq Q_0$$

$$Q_0 = S_N \cdot i_o$$

$$S_N = 800 \text{ kVA}; \quad i_o = 0,011$$

$$Q_K \leq 800 \cdot 0,011 = 8,8 \text{ kVAr}$$

Dobrano baterię 8,3 kVAr

## 6.6. Obliczenia skuteczności od porażen

Rezystancja uziemienia dla urządzeń SN:

dla  $T_K = 5,0$  s, napięcie  $U_F = 67$  V

$$R_B = \frac{U_F}{I_{nk}} = \frac{67}{36} = 1,86 \Omega$$

## 6.7. Sprawdzenie dobranych kabli zasilania rezerwowego na warunek obciążalności zwarciowej:

$$X''_{kG} = X''_d \cdot \frac{U_n^2}{S_{nG}} = 0,049 \cdot \frac{400^2}{650000} = 0,012 \Omega$$

$$\sin \varphi_{nG} = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_{nG}} = \sqrt{1 - 0,8^2} = 0,6$$

$$R_{kG} = 0,03 \cdot \frac{U_n^2}{S_{nG}} = 0,03 \cdot \frac{400^2}{650000} = 0,0073 \Omega$$

$$Z_{kG} = \sqrt{R_{kG}^2 + (X''_{kG})^2} = \sqrt{0,0073^2 + 0,012^2} = 0,014 \Omega$$

$$I''_{kG} = \frac{U_n \cdot (1 + X''_d \cdot \sin \varphi_{nG})}{\sqrt{3} \cdot Z_{kG}} = \frac{400 \cdot (1 + 0,049 \cdot 0,6)}{\sqrt{3} \cdot 0,014} = 16,98 \text{ kA}$$

$$\frac{T_k}{T_d} = \frac{0,4}{0,005} = 80 \gg 10$$

$$S \geq \frac{1}{k} \cdot \sqrt{\frac{I_{th}^2 \cdot T_k}{1}} = \frac{1}{115} \cdot \sqrt{\frac{16980^2 \cdot 0,4}{1}} = 93,38 \text{ mm}^2 \ll 2 \times 240 \text{ mm}^2$$

## 6.8. Sprawdzenie skuteczności samoczynnego wyłączenia podczas zwarć przy zasilaniu z agregatu prądotwórczego:

$$X_{k1G} = 0,33 \cdot \frac{U_n^2}{S_{nG}} = 0,33 \cdot \frac{400^2}{650000} = 0,081 \Omega$$

$$R_L = \frac{2 \cdot l}{\gamma \cdot S_L} = \frac{2 \cdot 10}{56 \cdot 2 \cdot 240} = 0,00074 \Omega$$

$$Z_{k1} = \sqrt{R_L^2 + X_{k1G}^2} = \sqrt{0,00074^2 + 0,081^2} = 0,08 \Omega$$

$$I''_{k1G} = \frac{0,8 \cdot U_{nf}}{Z_{k1}} = \frac{0,8 \cdot 230}{0,08} = 2300 \text{ A} < I_a = 6400 \text{ A}$$

### 6.9. Zestawienie doboru nastaw zabezpieczeń przetężeniowych wyłączników do obciążalności kabli

Lp.	Nr obw.	Nazwa obwodu	P <sub>B</sub> [kW]	I <sub>B</sub> [A]	Kabel			Zab. przetężeniowe				
					Typ	S	I <sub>Z</sub>	Oznac.	Nastawa	I <sub>2</sub>	I <sub>B</sub> <I <sub>N</sub> <I <sub>Z</sub>	I <sub>2</sub> <I <sub>45I<sub>Z</sub></sub>
1.	1/W1 9/W1	Bateria kond. nr 1 Bateria kond. nr 2	155	224	YKY 4x150	150	299	1/1Q1 9/1Q1	0,72xI <sub>N</sub> 288A	374	224<288<299	374<434
2.	1/W2 9/W2	M-wolt.	75	119	YKY 4x150	150	246	1/2Q1 9/2Q1	0,52xI <sub>N</sub> 208A	270	119<208<246	270<357
3.	1/W3 9/W3	Laboratorium, pralnia	70	111	YKY 4x120	120	220	1/3Q1 9/3Q1	0,48xI <sub>N</sub> 192A	250	111<192<220	250<319
4.	1/W5 9/W5	Przychodnia	20	32	YAKY 4x70	70	122	1/5Q1 9/5Q1	0,4xI <sub>N</sub> 100A	130	32<100<122	130<177
5.	1/W6	Administracja	15	24	YAKY 4x120	120	169	1/6Q1	0,56xI <sub>N</sub> 140A	182	24<140<169	182<245
6.	1/W7	Kotłownia	15	24	YKY 4x70	70	162	1/7Q1	0,56xI <sub>N</sub> 140A	182	24<140<162	182<235
7.	2/W1 8/W1	Blok A	30	48	YAKY 4x240	240	250	2/1Q1 8/1Q1	0,52xI <sub>N</sub> 208A	270	48<208<250	270<363
8.	2/W2 8/W2	Blok B	55	87	YKY 4x150	150	246	2/2Q1 8/2Q1	0,52xI <sub>N</sub> 208A	270	87<208<246	270<383
9.	2/W3 8/W3	Blok C	150	233	YKY 4x150	150	246	2/3Q1 8/3Q1	0,6xI <sub>N</sub> 240A	312	233<240<246	312<357
10.	2/W4 8/W4	Hotelowiec 1	150	234	YAKY 4x240	240	250	2/4Q1 8/4Q1	0,6xI <sub>N</sub> 240A	312	234<240<250	312<363
11.	2/W5 8/W5	Hotelowiec 2	150	234	YAKY 4x240	240	250	2/5Q1 8/5Q1	0,6xI <sub>N</sub> 240A	312	234<240<250	312<363
12.	3/W1	Agregat nr 1	660	953	2x4xYKY 1x240	480	972	3/1Q1	0,775xI <sub>N</sub> 969	1200	953<969<972	1200<1409
13.	4/W1	Transformator nr 1	800	1154	3x4xYKY 1x240	720	1239	4/1Q1	0,75xI <sub>N</sub> 1200	1440	1154<1200<1239	1440<1796

Lp.	Nr obw.	Nazwa obwodu	P <sub>B</sub> [kW]	I <sub>B</sub> [A]	Kabel			Zab. przetężeniowe				
					Typ	S	I <sub>Z</sub>	Oznac.	Nastawa	I <sub>2</sub>	I <sub>B</sub> <I <sub>N</sub> <I <sub>Z</sub>	I <sub>2</sub> <1,45I <sub>Z</sub>
14.	4/W2 6/W1	Tablica potrzeb własnych	-	-	YKY 5x10	10	57	4/2Q1 6/1Q1	0,4xI <sub>N</sub> 64	-	-	-
15.	6/W2	Transformator nr 2	800	1154	3x4xYKY 1x240	720	1239	6/2Q1	0,75xI <sub>N</sub> 1200	1440	1154<1200<1239	1440<1796
16.	7/W1	Agregat nr 2	450	650	2x4xYKY 1x240	370	694	7/1Q1	0,85xI <sub>N</sub> 680	816	650<680<694	816<1006
17.	9/W6	Bunkier 1, 2	20	33	YKY 4x70	70	162	9/6Q1	0,48xI <sub>N</sub> 120A	156	33<120<162	256<235
18.	9/W7	Bunkier RD	-	18	YKY 5x50	50	130	9/7Q1	0,44xI <sub>N</sub> 110A	143	19<110<130	143<190