

Andrzej WIATEREK
Politechnika Śląska, Gliwice

WYBRANE KONSEKWENCJE OBLICZANIA PRĄDÓW ZWARCIOWYCH, WG PN-EN 60909-0:2002 (U), W SIECIACH SN ZAKŁADÓW GÓRNICZYCH

Streszczenie. W referacie przedstawiono niektóre zmiany w sposobie obliczania prądów zwarciovych, które wprowadza nowa norma zwarciova PN-EN 60909-0: 2002 (U). Przeprowadzono również analizę wpływu współczynników korygujących na wartość impedancji transformatorów i silników synchronicznych stosowanych w sieciach powierzchniowych. Przedstawiono wyniki obliczeń początkowego prądu zwarciowego, wg starej i nowej normy, jednej ze śląskich kopalń.

SELECTED CONSEQUENCES OF SHORT CIRCUIT CURRENTS CALCULATING, ACCORDING TO PN-EN 60909-0: 2002 (U), IN M.V. NETWORK MINES

Summary. The paper describes some of the changes in the method of short-circuit current calculating which are introduced in the new short circuit norm PN-EN 60909-0:2002 (U). Moreover, an analysis of the influence of the correction factors on the value of the transformer impedance and synchronous motors used in surface network was made. Furthermore the results of the calculations of the initial circuit current - made in one of the Silesian mines - according to both the old and the new norm were introduced.

1. Wstęp

We wrześniu 2002 r. została wprowadzona do katalogu polskich norm, norma dotycząca obliczeń prądów zwarciovych [11]. Norma została wprowadzona przez tzw. uznanie (U), czyli wydana jest w dwóch równoprawnych wersjach językowych, tj.: w języku angielskim i francuskim i nie przewiduje się, przynajmniej na razie, oficjalnego tłumaczenia na język polski.

Do chwili wprowadzenia nowej normy zwarciowej obliczanie prądów zwarciowych odbywało się w oparciu o normę [10], w której metoda wyznaczania wielkości zwarciowych podana była w załączniku 1. Szersze omówienie „starej normy zwarciowej” można znaleźć w literaturze [4]. Norma zwarciowa [11] wprowadza zmiany, rzutujące na obliczeniowe wartości charakterystycznych wielkości zwarciowych, których znajomość niezbędna jest, m. in. przy doborze i/lub sprawdzaniu wytrzymałości aparatury i kabli SN.

W referacie przedstawiono niektóre istotne zmiany wprowadzane przez normę i przykładowe wyniki obliczeń prądów zwarciowych, dotyczące rzeczywistych warunków sieci SN zakładu górniczego.

2. Najważniejsze zmiany w sposobie obliczania prądów zwarciowych

Zmiany są już widoczne w sposobie oznaczania. Wykaz najważniejszych symboli używanych do opisu wielkości zwarciowych i innych, przedstawiono w tablicy 1.

Tablica 1

Zestawienie najważniejszych wielkości i symboli używanych do ich opisu

Wielkość zwarciowa	Oznaczenie wg PN-EN 60909-0	Oznaczenie wg PN-74/E-05002
Prąd zwarciowy początkowy	I_k^n	I_p
Prąd zwarciowy udarowy	i_p	i_u
Współczynnik udaru	κ	k_u
Prąd wyłączeniowy symetryczny	I_b	I_{ws}
Współczynnik zanikania składowej okresowej	μ	k_{ws}
Prąd nieokresowy	$i_{d.c.}$	i_{nok}
Zastępczy prąd zwarciowy cieplny	I_{th}	I_{tz}
Czas trwania zwarcia	T_k	t_z
Współczynnik do obliczania prądu wyłączeniowego silników indukcyjnych	q	-
Prąd znamionowy urządzenia elektrycznego	I_r	I_n
Napięcie nominalne międzyprzewodowe sieci	U_n	U_n
Napięcie znamionowe międzyprzewodowe urządzenia	U_r	U_n

Zarówno w normie [11], jak i [10] ujawnia się konsekwentne pomijanie, w modelach elementów, gałęzi poprzecznych.

Przez elementy poprzeczne modeli należy rozumieć pojemności i upływności linii, impedancje magnesowania transformatorów oraz fikcyjne gałęzie poprzeczne wchodzące w skład ich modeli rezonansowych, modele kompensatorów statycznych i dławików

kompensacyjnych. Również jako elementy poprzeczne są rozumiane modele odbiorów niewirujących, takich jak: piece i oświetlenie.

2.1. Współczynniki korygujące

Istotną różnicą, która w zasadniczy sposób odróżnia normę [10] od [11], jest wprowadzenie współczynników korygujących impedancję transformatorów, generatorów oraz silników. Dotychczas impedancje maszyn synchronicznych i transformatorów obliczano przez podstawienie ich danych znamionowych, nie uwzględniając specyficznych zjawisk zachodzących podczas zwarć w pobliżu generatorów oraz rzeczywistych warunków panujących w sieci elektroenergetycznej.

Wprowadzenie tak obliczonych impedancji do wzoru na wartość prądu zwarciego początkowego I_k'' :

$$I_k'' = \frac{cU_n}{\sqrt{3}\sqrt{R_z^2 + X_z^2}} \quad (1)$$

w którym przyjmuje się stałą wartość napięcia $cU_n/\sqrt{3}$ i pomija elementy poprzeczne, jest zbyt dużym uproszczeniem [3, 6, 7]. W wyniku prowadzonych w latach osiemdziesiątych prac [6, 7, 8] zaproponowano sposób ograniczenia zbyt dużych błędów w obliczeniach prądów zwarciovych, polegający na skorygowaniu impedancji maszyn synchronicznych i transformatorów przy zachowaniu stałej wartości napięcia źródła zastępczego. Wzór (1) przyjmuje wówczas postać:

$$I_k'' = \frac{cU_n}{\sqrt{3}\sqrt{R_{zk}^2 + X_{zk}^2}} \quad (2)$$

gdzie: R_{zk} , X_{zk} – rezystancja i reaktancja obwodu zwarciego uwzględniająca skorygowane impedancje maszyn synchronicznych i transformatorów.

Spełniony został w ten sposób postulat i zachowano prostotę wzoru (1) przyjętego w obliczeniach zwarciovych.

Modyfikacje impedancji są dokonywane na etapie budowy modelu zwarciego sieci. Współczynniki korygujące są oznaczone dużą literą K w połączeniu z dolnym indeksem, który jest przynależny do danego typu elementu. Dla poszczególnych przypadków postać współczynnika korygującego oraz impedancji skorygowanej jest następująca:

– transformatory sieciowe dwuuzwojeniowe

$$K_T = 0,95 \frac{c_{\max}}{1 + 0,6x_T} \quad (3)$$

$$\underline{Z}_{TK} = K_T \underline{Z}_T \quad (4)$$

gdzie:

K_T – współczynnik korygujący impedancję transformatora,

c_{\max} – współczynnik napięciowy odczytany z [11], odpowiadający napięciu nominalnemu sieci przyłączonej do strony dolnego napięcia transformatora sieciowego,

x_T – reaktancja względna transformatora.

– transformatory sieciowe dwuuzwojeniowe, jeśli są znane warunki obciążenia transformatorów w chwili poprzedzającej zwarcie

$$K_T = \frac{U_n}{U^b} \frac{c_{\max}}{1 + x_T (I_T^b / I_{rT}) \cdot \sin \varphi_T^b} \quad (5)$$

gdzie:

U^b – najwyższe napięcie robocze w chwili poprzedzającej zwarcie,

I_T^b – największy prąd obciążenia przed zwarcie,

φ_T^b – kąt współczynnika mocy przed zwarcie.

– transformatory sieciowe trójuzwojeniowe – korygowane są impedancje par uzwojeń, które są oznaczone w normie [11] A, B, C (licząc od uzwojenia o napięciu najwyższym do uzwojenia o napięciu najniższym)

$$K_{TAB} = 0,95 \frac{c_{\max}}{1 + 0,6x_{TAB}} \quad (6)$$

$$K_{TAC} = 0,95 \frac{c_{\max}}{1 + 0,6x_{TAC}} \quad (7)$$

$$K_{TBC} = 0,95 \frac{c_{\max}}{1 + 0,6x_{TBC}} \quad (8)$$

– generatory synchroniczne przyłączone bezpośrednio do sieci (bez pośrednictwa transformatorów)

$$K_G = \frac{U_n}{U_{rG}} \cdot \frac{c_{\max}}{1 + x_d'' \sin \varphi_{rG}} \quad (9)$$

$$\underline{Z}_{GK} = K_G \underline{Z}_G \quad (10)$$

gdzie:

U_{rG} – napięcie znamionowe generatora,

φ_{rG} – kąt fazowy między I_{rG} i $U_{rG}/\sqrt{3}$,

x_d'' – reaktancja podprześciowa względna generatora.

– silniki synchroniczne i kompensatory są w większości przypadków traktowane tak samo jak generatory.

2.2. Przekształtniki statyczne

Kolejna zmiana, wprowadzona przez normę [11], dotyczy uwzględniania prądów płynących od silników prądu stałego, zasilanych poprzez przekształtniki statyczne. W przypadku zwarć trójfazowych należy uwzględnić napędy z nawrotnymi przekształtnikami statycznymi, gdy w założeniu istnieje możliwość oddawania energii do sieci (prześciowa praca falownikowa). Napędy takie mają wpływ tylko na prąd zwarciaowy początkowy I_k'' oraz na prąd zwarciaowy udarowy i_p . Nie uwzględnia się natomiast ich wpływu na prąd zwarciaowy wyłączeniowy symetryczny I_b oraz na prąd zwarciaowy ustalony I_k . Silniki z układami nawrotnymi traktowane są przy obliczaniu prądów zwarciaowych jak silnik indukcyjny. Norma [11] zaleca przyjęcie jako:

$$Z_M = \frac{1}{I_{LR}/I_{rM}} \cdot \frac{U_{rM}}{\sqrt{3}I_{rM}} = \frac{1}{I_{LR}/I_{rM}} \cdot \frac{U_{rM}^2}{S_{rM}} \quad (11)$$

gdzie:

U_{rM} – napięcie znamionowe transformatora przekształtnikowego po stronie sieci lub napięcie znamionowe przekształtnika statycznego bez transformatora,

I_{rM} – prąd znamionowy transformatora przekształtnikowego po stronie sieci lub prąd znamionowy przekształtnika statycznego bez transformatora,

$$I_{LR}/I_{rM} = 3,$$

$$R_M/X_M = 0,10, X_M = 0,995 Z_M.$$

3. Porównanie obliczonych wartości impedancji skorygowanych i nieskorygowanych, transformatorów i silników synchronicznych

3.1. Transformatory

Ze wzoru (3) nie widać wprost, który z parametrów znamionowych transformatora ma największy wpływ na wartość współczynnika korygującego impedancję transformatorów K_T . Rozwijając wzór (3), otrzymujemy:

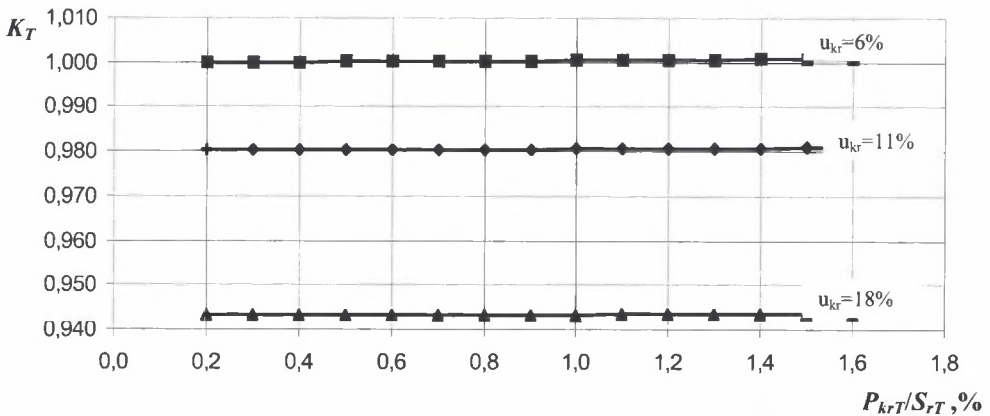
$$K_T = 0,95 \frac{c_{\max}}{1 + 0,6 \sqrt{\left(\frac{u_{krT}}{100}\right)^2 - \left(\frac{P_{krT}}{S_{rT}}\right)^2}} \quad (12)$$

gdzie:

u_{krT} – napięcie zwarcia w procentach,

P_{krT} – straty całkowite w uzwojeniach transformatora przy prądzie znamionowym.

Na rys. 1 przedstawiono zależność wartości współczynnika poprawkowego K_T od względnych strat w uzwojeniach. Z rysunku wynika, iż decydujący wpływ na wartość K_T ma napięcie zwarcia.



Rys. 1. Zależność współczynnika K_T w funkcji stosunku względnych strat całkowitych w uzwojeniach do mocy znamionowej transformatora

Fig. 1. Dependence of K_T factor as a function of the relative reactance of the transformer in and from the rated power of the transformer

Przeprowadzając obliczenia współczynnika K_T dla transformatorów stosowanych w układach zasilania zakładów górniczych (tablica 2), można zaobserwować, iż dla grupy transformatorów o napięciach zwarcia $u_{kr} > 7,5\%$, współczynnik K_T jest mniejszy od jedności,

czyli korekta impedancji zwiększa obliczeniowe prądy zwarciove. Tylko dla transformatorów 1 i 2 z tablicy 2 wprowadzenie współczynnika korygującego spowoduje nieznaczny wzrost obliczonej impedancji (poniżej 1%), uwzględniając dodatkowo, iż ze względu na swoją moc oraz napięcia po stronie górnej bardzo rzadko można się spotkać, by ww. jednostki były stosowane do zasilania podstawowego kopalń. Z grupy transformatorów energetycznych średnia zmiana procentowa impedancji wskutek wprowadzenia korekty wynosi około 2%, a największą zmianę, ponad 5,5%, możemy zaobserwować dla transformatora o napięciu zwarcia 18% (tablica 2).

Tablica 2

Dane znamionowe wybranych transformatorów zasilających wraz z wynikami obliczeń

Lp.	Transformator WN/SN	S_{rT}	U_{rHL}	U_{rLV}	P_{krT}	u_{kr}	Z_T	R_T	X_T	x_T	K_T	Z_{TK}	$\Delta Z_{\%}$
		MVA	kV	kV	kW	%	Ω	Ω	Ω	-	-	Ω	%
1.	TONa 2000/20	2	20	6.3	17.0	6.0	1.191	0.169	1.179	0.059	1.009	1.201	-0.904
2.	TAOb 8000/30	8	31.5	6.3	52.0	7.0	0.347	0.032	0.346	0.070	1.003	0.348	-0.305
3.	TONRb 10000/30	10	31.5	6.3	63.0	7.7	0.306	0.025	0.305	0.077	0.999	0.305	0.100
4.	TONRb 20000/30	20	31.5	6.3	118.0	8.8	0.175	0.012	0.174	0.088	0.993	0.173	0.730
5.	TONRb 6300/115	6.3	115	6.6	42.0	11.0	0.761	0.046	0.759	0.110	0.980	0.746	1.959
6.	TONRb 1000/115	10	115	6.3	64.0	11.0	0.437	0.025	0.436	0.110	0.980	0.428	1.960
7.	TONRc 10000/115	10	115	6.3	64.0	11.0	0.437	0.025	0.436	0.110	0.980	0.428	1.960
8.	TONRa 20000/115	20	115	6.6	115.0	11.0	0.240	0.013	0.239	0.110	0.980	0.235	1.962
9.	FORb 10000/110	10	115	6.3	65.0	11.0	0.437	0.026	0.436	0.110	0.980	0.428	1.959
10.	FORb 16000/110	16	115	6.3	91.5	11.0	0.273	0.014	0.272	0.110	0.980	0.268	1.962
11.	TORb 250000/110	25	115	6.3	128.0	11.0	0.175	0.008	0.174	0.110	0.980	0.171	1.963
12.	TORb 250000/110	25	115	6.3	160.0	18.0	0.286	0.010	0.286	0.180	0.943	0.270	5.680
13.	TORb 40000/110	40	115	6.3	176.0	11.0	0.109	0.004	0.109	0.110	0.980	0.107	1.965

Uwagi:

Z_{TK} - skorygowana wartość impedancji transformatora,

$\Delta Z_{\%}$ - procentowa zmian impedancji.

Podobne obliczenia wykonano dla transformatorów SN/nn stosowanych na powierzchni (tablica 3). Współczynnik korygujący jest w tym przypadku zawsze większy od 1, czyli zastosowanie współczynnika korygującego nie wpływa na zwiększenie obliczeniowych prądów zwarciowych.

Tablica 3

Dane znamionowe wybranych transformatorów SN/nn wraz z wynikami obliczeń

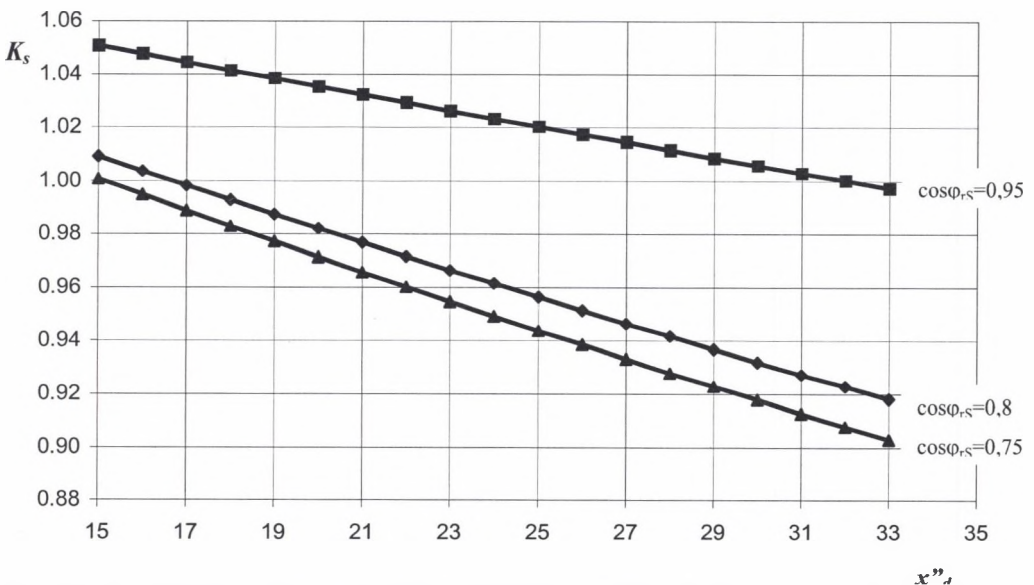
Lp.	Transformator SN/nn	Lp.	S_{rT}	U_{rHL}	U_{rLV}	P_{krT}	u_{kr}	Z_T	R_T	X_T	x_T	K_T	Z_{TK}	$\Delta Z_{\%}$
			kVA	kV	kV	kW	%	Ω	Ω	Ω	-	-	Ω	%
1.	VT-630/6/0,4	1.	630	6	0.4	5.7	4.4	0.011	0.002	0.011	0.043	1.019	0.011	-1.868
2.	TAOb 630/6/0,4	2.	630	6	0.4	7.078	6	0.015	0.003	0.015	0.059	1.009	0.015	-0.931
3.	TAOb 630/6/0,4	3.	630	6	0.525	6.7	5.5	0.024	0.005	0.024	0.054	1.012	0.024	-1.222
4.	TONb 630/6	4.	630	6	0.525	9.5	4.6	0.020	0.007	0.019	0.043	1.018	0.020	-1.845
5.	TAOb 630/6	5.	630	6	0.525	8.0	6.1	0.027	0.006	0.026	0.060	1.009	0.027	-0.889
6.	TAOb 800/6/0,4	6.	800	6	0.4	9.9	6.0	0.012	0.002	0.012	0.059	1.009	0.012	-0.944

cd. tablicy 3

7.	TAOb 800/6	7.	800	6	0.525	9.9	6.0	0.021	0.004	0.020	0.059	1.009	0.021	-0.944
8.	TONO 800/6	8.	800	6	0.525	1.6	4.3	0.015	0.001	0.015	0.043	1.019	0.015	-1.874
9.	TF 1000/6	9.	1000	6	0.525	10.8	5.2	0.014	0.003	0.014	0.051	1.014	0.015	-1.405
10.	Tku 1000/6	10.	1000	6.3	0.525	10.8	4.8	0.013	0.003	0.013	0.047	1.016	0.013	-1.648
11.	TAOa 1000/6/0,4	11.	1000	6	0.4	10.5	6.0	0.010	0.002	0.009	0.059	1.009	0.010	-0.923
12.	TAOa 1000/6	12.	1000	6	0.525	10.9	6.1	0.017	0.003	0.017	0.060	1.009	0.017	-0.867
13.	TAOd 1000/6	13.	1000	6	0.525	10.8	5.9	0.016	0.003	0.016	0.058	1.010	0.016	-0.986
14.	TON 1250/6	14.	1250	6.3	0.525	17.5	4.4	0.010	0.003	0.009	0.042	1.019	0.010	-1.948
15.	TON 1250/6	15.	1250	6.3	0.525	16.8	4.9	0.011	0.003	0.010	0.047	1.016	0.011	-1.627
16.	TAOa 1600/6/0,4	16.	1600	6	0.4	17.1	6.0	0.006	0.001	0.006	0.059	1.009	0.006	-0.925
17.	TAOa 1600/6	17.	1600	6	0.525	17.1	6.1	0.011	0.002	0.010	0.060	1.009	0.011	-0.865
18.	TUA 2000/10/0,4	18.	2000	6	0.4	20.8	5.9	0.005	0.001	0.005	0.058	1.010	0.005	-0.981

3.2. Silniki synchroniczne

Wartość współczynnika K_S obliczono ze wzoru (9), przyjmując założenia: $c_{max} = 1,1$; $U_n = U_{rS} = 6$ kV. Zależność współczynnika korygującego wartość impedancji maszyn synchronicznych od reaktancji względnej x''_d przedstawiono na rys.2, z którego wynika, że im większa reaktancja podprzejsiowa i mniejszy współczynnik mocy, tym współczynnik korygujący K_S ma mniejszą wartość.



Rys. 2. Zależność współczynnika K_S od reaktancji względnej podprzejsiowej x''_d maszyny synchronicznej
 Fig. 2. Dependence of K_S factor as a function the relative subtransient reactance of the synchronous machine

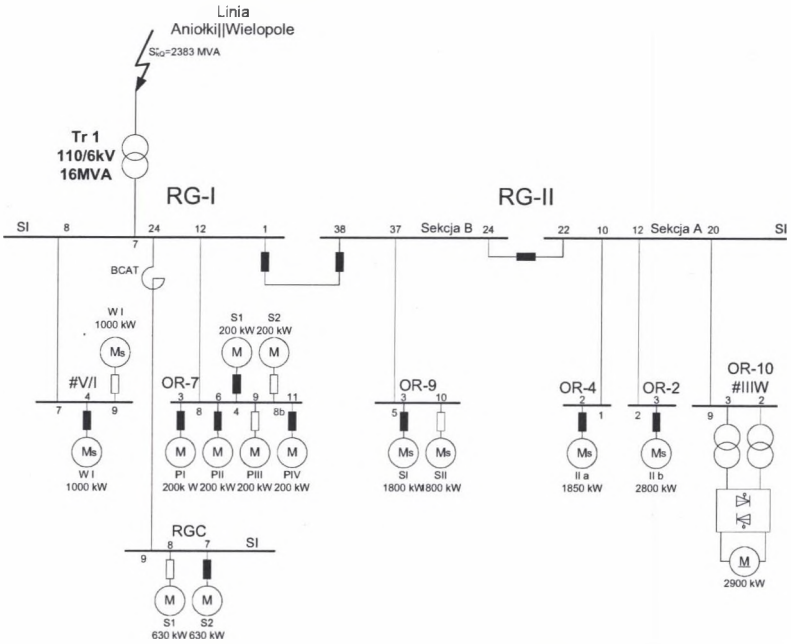
Tablica 4

Dane znamionowe wybranych silników synchronicznych o napięciu znamionowym 6 kV
wraz z wynikami obliczeń współczynnika K_S

Lp.	Silnik synchroniczny	U_{rS}	P_{rS}	$\cos\varphi_{rS}$	$X_{d\%}$	X_s	x_d''	K_S	X_{SK}	$\Delta X_{S\%}$
		kV	kW	-	%	Ω	-	-	Ω	%
1.	Gad 412s	6.0	255	1	33	43.3	0.33	1.10	47.7	-10.0
2.	GAd1616s/02	6.0	290	0.8	20	17.9	0.20	0.98	17.6	1.8
3.	Ingersoll	6.0	471	0.8	18	10.5	0.18	0.99	10.4	0.7
4.	Gad 1720t	6.0	550	0.8	28	13.5	0.28	0.94	12.7	5.8
5.	Gad-1512	6.0	595	0.8	20	8.9	0.20	0.98	8.7	1.8
6.	Gad-1716e	6.0	600	0.8	20	8.9	0.20	0.98	8.8	1.8
7.	Gad 148t	6.0	600	0.8	20	8.6	0.20	0.98	8.5	1.8
8.	KL-214/850	6.0	625	0.8	25	10.9	0.25	0.96	10.5	4.3
9.	GAd 1816r	6.0	930	0.8	19	5.5	0.19	0.99	5.4	1.3
10.	Gae-1410s/02	6.0	1000	0.9	20	6.0	0.20	1.01	6.1	-1.2
11.	TK 175	6.0	1300	0.9	18	4.3	0.18	1.02	4.4	-2.0
12.	GAe-1512s/02	6.0	1600	0.9	18	3.5	0.18	1.02	3.6	-2.0
13.	Gad-144r	6.0	1600	0.75	17.8	2.7	0.18	0.98	2.7	1.6
14.	CTD1600r23	6.0	1600	0.9	20	3.9	0.20	1.01	3.9	-1.2
15.	GAd 168s	6.0	1900	0.8	17.8	2.6	0.18	0.99	2.5	0.6
16.	GAD 1	6.0	2100	0.8	18	2.4	0.18	0.99	2.4	0.7
17.	GYd-1712s/03	6.0	2400	0.95	16.5	2.1	0.17	1.05	2.2	-4.6
18.	GAd	6.0	2500	0.9	17	1.9	0.17	1.02	1.9	-2.4
19.	GAd-178r/02	6.0	2800	0.8	15	1.5	0.15	1.01	1.5	-0.9
20.	GYd-178tsp	6.0	4000	0.8	15.2	1.0	0.15	1.01	1.0	-0.8

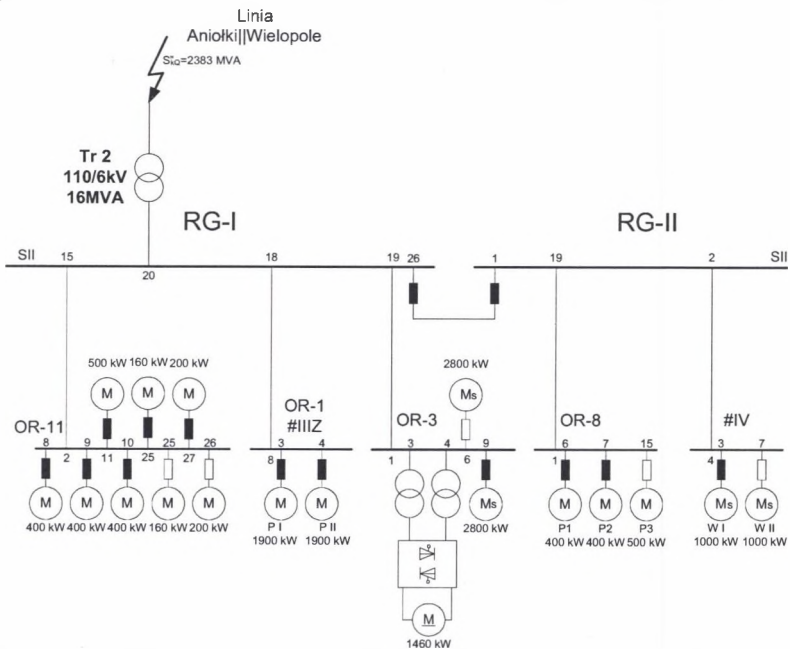
4. Wpływ korekty impedancji transformatorów i silników na obliczeniowe wartości prądów zwarciovych

Obliczenia prądów zwarciovych były wykonywane w celu sprawdzenia wytrzymałości zwarciowej aparatury i kabli, zastosowanych w jednym z zakładów górniczych [12]. Możliwe jest zasilanie kopalni z trzech transformatorów o mocy 16 MVA każdy. Moc zwarciowa na przyłączach, podawana przez zakład elektroenergetyczny wynosi: $S_{kQ1}'' = 2383 \text{ MVA}$ oraz $S_{kQ2}'' = 1928 \text{ MVA}$.



Rys. 3. Układ zasilania kopalni z dwoma transformatorami: główne odbiorniki generujące prądy zwarciowe zasilane z Tr 1

Fig. 3. Power system of a mine with transformers: primary receivers generating short circuit currents (feed from Tr 1)



Rys. 4. Układ zasilania kopalni z dwoma transformatorami: główne odbiorniki generujące prądy zwarciowe zasilane z Tr 2

Fig. 4. Power system of a mine with two transformers: primary receivers generating short circuit currents (feed from Tr 2)

Maksymalne wartości prądów występują dla zasilania z dwóch transformatorów. Wyniki obliczeń wg normy [10] i [11] przedstawiono w tabelicy 5. Na podstawie przedstawionych obliczeń zauważyć można, że wpływ korekty impedancji maszyn synchronicznych na prąd zwarcioowy początkowy jest pomijalnie mały. Nieco większy wpływ na wyniki obliczeń ma współczynnik korygujący wartość impedancji transformatorów, gdyż jego uwzględnienie powoduje zwiększenie prądów o 0,2 i 0,3 kA.

Jak wynika z obliczeń, najistotniejszym czynnikiem zwiększającym charakterystyczne prądy zwarcioowe jest nowo przyjęte do obliczeń źródło prądu zwarcioowego, jakim jest silnik prądu stałego zasilany z przekształtnika statycznego. Silnik maszyny wyciągowej S1, zasilany z rozdzielnic OR-10 zwiększył wartość prądu zwarcioowego o 0,9 kA, a silnik S2, zasilany z OR-3, o 3,0 kA. Źródła te należy wziąć również pod uwagę, gdy sprawdzamy wytrzymałość dynamiczną urządzeń, czyli gdy obliczamy prąd zwarcioowy udarowy i_p .

Tabela 5

Porównanie obliczeń prądów (i mocy) zwarcioowych wg [12] i [13] dla układu zasilania kopalni z dwoma transformatorami

Odbiorniki zasilane z Tr 1				Odbiorniki zasilane z Tr 2			
Zródło prądu zwarcioowego	$I''_{k(1)}$ kA	$K_T; K_S$	$I''_{k(2)}$ kA	Zródło prądu zwarcioowego	$I''_{k(3)}$ kA	$K_T; K_S$	$I''_{k(4)}$ kA
Linia zasilająca i Tr1	11,4	0,977	11,6	Linia zasilająca i Tr2	11,6	0,978	11,9
RGC: Σ As	0	-	0,9	#IV: MS	0,6	1,011	0,6
OR-7: 2xAs	0	-	0,5	OR-1: MS	3,0	0,994	3,0
OR-9: MS	1,2	1,021	1,2	OR-3: S2	0	-	3,0
OR-4: MS	1,4	0,994	1,4	OR-8: Σ As	0	-	0,5
OR-2: MS	2,6	1,009	2,5	OR-11: Σ As	0	-	1,4
OR-10: S1	0	-	0,9				
#V/I: MS	0,6	1,011	0,6				
$\Sigma I''_{k(Tr1)}$, kA	17,1		19,6	$\Sigma I''_{k(Tr2)}$, kA	15,2		20,4
$S''_{k(Tr1)}$, MVA	178		204	$S''_{k(Tr2)}$, MVA	158		212

Uwagi:
 $I''_{k(1)}$ – prąd zwarcioowy początkowy dla odbiorników zasilanych z Tr 1, obliczony wg [10],
 $I''_{k(2)}$ – prąd zwarcioowy początkowy dla odbiorników zasilanych z Tr 1, obliczony wg [11]
 $I''_{k(3)}$ – prąd zwarcioowy początkowy dla odbiorników zasilanych z Tr 2, obliczony wg [10]
 $I''_{k(4)}$ – prąd zwarcioowy początkowy dla odbiorników zasilanych z Tr 1, obliczony wg [11]

5. Wnioski

1. Decydujący wpływ na wartość współczynnika korygującego impedancję transformatorów K_T ma napięcie zwarcia u_{kr} transformatorów.
2. Dla transformatorów o napięciu zwarcia $u_{kr} > 7,5\%$, zasilających zakład górniczy, korekta impedancji spowoduje zwiększenie obliczeniowych wartości prądów zwarcioowych.

3. Dla znacznej większości transformatorów górniczych SN/nn (zasilających odbiorniki nn) korekta impedancji spowoduje zmniejszenie obliczeniowych wartości prądów zwarciovych.
4. Wpływ współczynnika korygującego wartość impedancji silników synchronicznych SN stosowanych w zakładach górniczych jest pomijalnie mały, co w rezultacie w znikomym sposób wpłynie na obliczeniowe wartości prądów zwarciovych.
5. Silniki prądu stałego maszyn wyciągowych, zasilane z przekształtników statycznych, mogą istotnie zwiększyć obliczeniowe wartości prądów zwarciovych początkowego i udarowego.
6. Wykonanie obliczeń wg nowej normy spowoduje wzrost obliczeniowych wartości mocy zwarciovej na szynach GRK. Przykładowo, w sieci zasilanej parą transformatorów o mocy 16 MVA spodziewać się należy wzrostu mocy zwarciovej o 16% do 21%.

LITERATURA

1. IEC 60909-0. Short-circuit currents in three-phase a.c. systems - Part 0: Calculation of currents.
2. Kacejko P., Machowski J.: Zwarcia w sieciach elektroenergetycznych. Podstawy obliczeń. WNT, Warszawa 1993.
3. Kacejko P., Machowski J.: Zwarcia w systemach elektroenergetycznych. WNT, Warszawa 2002.
4. Kobosko S.: Obliczanie zwarć w systemach elektroenergetycznych. WPW, Warszawa 1984.
5. Oeding D., Happoldt H.: Elektrische Kraftwerke und Netze. Springer-Verlag, Berlin 1978.
6. Oeding D., Scheifele J., Waider G.: Maximum Short-Circuit Current at Pessimial Load Flow. PSCC Conference, Helsinki 1984.
7. Oeding D., Scheifele J., Komurka J.: Calculation of short circuit currents in highvoltage systems. 7-th Power System Computational Conf. (PSCC), Lozanna 1981.
8. Oeding D., Waider G.: Maximale Teilkurzschlsströme von Kraftwerksbloken ohne Schtufenschalter. ETZ Archiv Bd. 10 (1988), H.6.
9. Paszek W.: Stany nieustalone maszyn elektrycznych prądu przemiennego. WNT, Warszawa 1986.
10. PN-74/E-05002: Urządzenia elektroenergetyczne. Dobór aparatów wysokonapięciowych w zależności od warunków zwarciovych.
11. PN-EN 60909:2002 (U) Prądy zwarciove w sieciach trójfazowych prądu przemiennego. Część 0: Obliczanie prądów.
12. Wiaterek A.: Analiza prądów zwarciovych w sieci średniego napięcia KWK Szczygłowice. Praca dyplomowa magisterska wykonana w KE i AG (niepublikowana).
13. www.pkn.pl -strona WWW polskiego komitetu normalizacyjnego.

Recenzent: Doc. dr inż. Franciszek Szczucki

Abstract

The paper describes selected changes in the method of short-circuit currents calculating which are introduced in the new short circuit norm PN-EN 60909-0:2002 (U). Special attention has been paid to the changes in the method of calculating the peak short-circuit currents which are essential to testing the short-circuit strength cables and devices. Moreover, an analysis of the influence of the correction factors on the value of the transformer impedance and synchronous motors used in surface network has been made. Further, the calculations of currents made in accordance to either the old norm (PN-74/E-05002) and the new norm (PN-EN 60909-0) have been compared. In addition the influence of the correction factors on the short-circuit currents has been estimated. Furthermore the results of the calculations of the initial circuit current - made in one of the Silesian mine - according to both the old and the new norm were introduced. Additionally the most crucial factors for increasing the short-circuit currents have been presented.