

ANDRZEJ BŁASZCZYK, JAN POPCZYK, KURT ŻMUDA

Instytut Elektroenergetyki
i Sterowania Układów Politechniki Śląskiej

JULIAN WOSIK

Centrum Naukowo-Produkcyjne EMAG-Katowice

OCENA WARUNKÓW ZWARCIOWYCH W SIECIACH ROZDZIELCZYCH SN

Część I

CHARAKTERYSTYKI STATYSTYCZNE STOPNIA WYKORZYSTANIA WYTRZYMAŁOŚCI ZWARCIOWEJ URZĄDZEŃ

Streszczenie. Przedstawiono histogramy (i) wartości obliczeniowych prądu początkowego, (ii) czasów nastawień zabezpieczeń oraz (iii) wartości obliczeniowych względnego obciążenia zwarciovego urządzeń SN. Histogramy zostały opracowane na podstawie badań obejmujących wszystkie urządzenia SN w GPZ eksploatowanych przez ZE Gliwice (ponad 70 GPZ). W analizie stopnia wykorzystania wytrzymałości urządzeń uwzględniono obciążenie urządzeń prądem udarowym (dla wyłączników, odłączników, przekładników prądowych i szyn zbiorczych), obciążenie wyłączników prądem wyłączeniowym symetrycznym oraz obciążenie wszystkich urządzeń (w tym linii napowietrznych i kabli) prądem zwarciovym t_{z} - sekundowym. Stwierdzono występowanie licznych przekroczeń wytrzymałości zwarcioviej, głównie w liniach (zwłaszcza kablowych) oraz bardzo duży rozrzut stopnia wykorzystania wytrzymałości zwarcioviej urządzeń. W artykule przedstawiono także krytyczną analizę zasad określania wytrzymałości zwarcioviej powłok metalowych i żył powrotnych kabli SN oraz podano najważniejsze wyniki tej analizy.

1. Wstęp

Badania, których wyniki przedstawiono w niniejszym artykule (zarówno w części I jak i II), zostały przeprowadzone w ramach prac przygotowawczych stanowiących podstawę opracowania wytycznych rozwoju sieci rozdzielczych w Polsce. Zadadnicze cele badań były następujące:

- rozeznanie rzeczywistych warunków zwarciovych w istniejących sieciach, w szczególności ocena poprawności doboru urządzeń SN na warunki zwarcio-we z punktu widzenia wymagań zawartych w Normie PN-74/E-05002 [1],

- ocena możliwości i celowości odstępstw od wymagań zawartych w Normie PN-74/E-05002, w szczególności określenie dopuszczalnych procentowych przekroczeń wytrzymałości zwarciowej urządzeń istniejących i projektowanych.

Realizacja drugiego z wymienionych celów była w szczególności niezbędna dla sformułowania zasad modernizacji sieci istniejących, z uwagi na warunki swarciove oraz dla określenia zunifikowanych poziomów zwarciowych w sieciach SN w perspektywie do 2000 r.

Rozeznanie rzeczywistych warunków zwarciowych w istniejących sieciach SN przeprowadzono na przykładzie sieci eksploatowanej przez ZE Gliwice. Wybór ten był spowodowany głównie tym, że prądy zwarciove w sieciach SN na terenie ZE Gliwice (zwłaszcza zaś w sieciach 6 kV) są w Polsce największe. Decyduje o tym duża gęstość powierzchniowa obciążenia, z którą są związane duże moce transformatorów 110 kV/SN; istotne znaczenie mają także generatory w elektrowniach przemysłowych współpracujące bezpośrednio z sieciami SN (przede wszystkim 6 kV), eksploatowanymi przez ZE Gliwice.

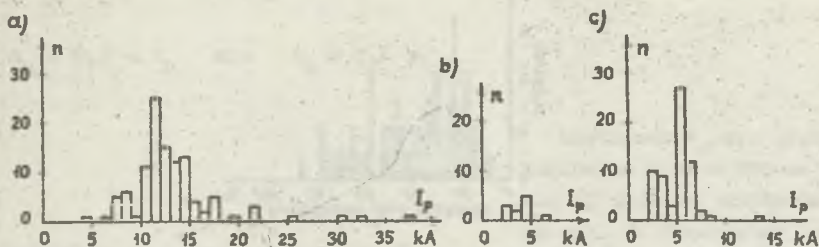
Ważnym czynnikiem, który zadecydował o wyborze sieci było również i to, że sieci 6 kV eksploatowane przez ZE Gliwice są sieciami starymi, co w połączeniu z dużymi prądami zwarciowymi stanowiło przesłankę występowania przekroczeń wytrzymałości zwarciowej. Stwierdzenie takich przekroczeń miało naturalnie podstawowe znaczenie z punktu widzenia celów przeprowadzonych badań.

2. Prądy początkowe zwarc w sieciach SN

W otwartych sieciach SN największe wartości prądów zwarciowych występują w GPZ i są związane ze zwarciami trójfazowymi. Wartości te, nazywane często obliczeniowymi, stanowią w świetle obowiązujących przepisów podstawę do doboru urządzeń SN na warunki zwarciove. W Zakładach Energetycznych prądy te są obliczane w ramach planowania układów normalnych pracy sieci na szczyt jesienno-zimowy.

Na rys. 1 przedstawiono histogramy wartości obliczeniowych prądu początkowego dla 75 GPZ po stronie SN (145 transformatorów WN/SN, 185 systemów szyn zbiorczych SN). Dane te dotyczą GPZ eksploatowanych przez ZE Gliwice i zostały określone w ramach pracy [2].

Decydujący wpływ na poziom powyższych prądów mają oczywiście transformatory WN/SN. Do dodatkowych czynników należą poziomy transformatorów WN/SN. Bardzo szacunkowo [2] można przyjąć, że całkowita losowa zmienność prądu początkowego w poszczególnych GPZ po stronie SN, wiążąca się z powyższymi dwoma czynnikami, nie przekracza w praktyce 10% i może być pominięta.



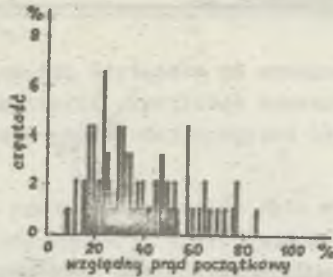
Rys. 1. Histogramy prądów początkowych zwarcí trójfazowych dla GPZ na terenie ZE Gliwice (n - liczba systemów szyn zbiorczych SN); a - $U_n = 6$ kV, $n_c = 109$, $\bar{I}_p = 13,2$ kA; b - $U_n = 15$ kV, $n_c = 11$, $\bar{I}_p = 4,1$ kA; c - $U_n = 20$ kV, $n_c = 65$, $\bar{I}_p = 5,1$ kA

Fig. 1. Frequency distributions of initial symmetrical short-circuit current for 110 kV/medium voltage substations on territory of Power Board Gliwice (n -number of bus-bar systems in these substations)

Wystąpienie w praktyce wartości obliczeniowych prądu początkowego jest bardzo mało prawdopodobne. Wynika to głównie z tego, że ogromna większość zwarcí występuje w liniach. Znaczną ich część (zwykle przeważającą) stanowią na dodatek zwarcia doziemne, zaś w grupie zwarcí międzyfazowych przeważają zwarcia dwufazowe. W artykule [3] zawarto wyniki prowadzonych w USA przez okres 4 lat pomiarów prądów zwarciovych w wybranych sieciach o napięciach 4,8 kV do 34,5 kV, głównie napowietrznych. Na rys. 2 przedstawiono histogram zmierzonych wartości prądów początkowych 91 zwarcí jednofazowych¹⁾. Wartości tych prądów podano w % wartości maksymalnych, występujących przy zwarciach w GPZ. Przeciętny prąd zwarciovowy wynosi tylko 36% wartości maksymalnej, natomiast w ogóle nie wystąpiły prądy większe od 85% wartości maksymalnej. Jest rzeczą oczywistą, że w sieciach kablowych histogram zmierzonych prądów początkowych byłby znacznie bardziej przesunięty w kierunku wartości maksymalnej (100 %).

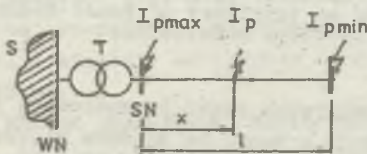
Rozkład prawdopodobieństwa prądu początkowego można także wyznaczyć analitycznie. Na rys. 3 przedstawiono rozwiązanie analityczne dla pojedynczej nierozgałęzionej linii, przy założeniu równomiernej gęstości prawdopodobieństwa wystąpienia zwarcia wzdłuż linii. Należy jednak podkreślić, że w koncepcji oceny dopuszczalności przekroczeń znamionowej wytrzymałości zwarciovowej urządzeń SN nie wykorzystuje się wprost rozkładu prawdopodobieństwa prądu początkowego. W miejsce tego wyznacza się natomiast strefę linii, w której przekroczenie ma miejsce oraz określa się prawdopodobieństwo wystąpienia przekroczenia (por. część II).

¹⁾ Sieci SN pracują w USA z usiemnionym punktem gwiazdowym.



Rys. 2. Histogram zmierzonych (w USA) w wybranych sieciach SN prądów początkowych zwarć jednofazowych [3]

Fig. 2. Frequency distribution of line-to-ground initial short-circuit current measured in selected medium voltage networks (in USA) [3].



Prąd początkowy zwarcia trójfazowego

$$I_p = \frac{1,1 U_n}{\sqrt{3} (X + x X')} \quad (X = X_S + X_T, X' - \text{reaktanca jednostkowa lin'})$$

Funkcja gęstości prawdopodobieństwa prądu początkowego:

$$f(I_p) = \frac{1,1 U_n}{\sqrt{3} X' l I_p^2}$$

Wartość oczekiwana prądu początkowego:

$$E[I_p] = \frac{1,1 U_n}{\sqrt{3} X' l} \ln \frac{I_{pmax}}{I_{pmin}}$$

Rys. 3. Schemat pomocniczy do analizy zmienności prądu początkowego przy zwarciach w liniach SN

Fig. 3. Auxiliary scheme for analysing the variability of initial symmetrical short-circuit current flowing through a medium voltage line.

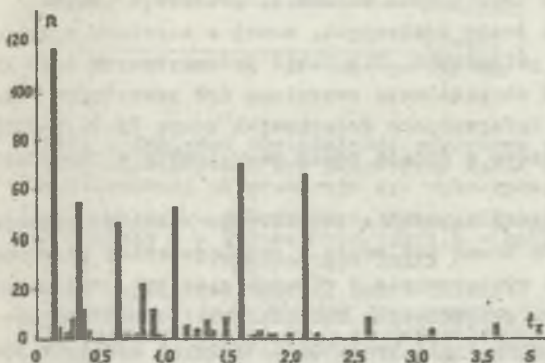
3. Czasy nastawień zabezpieczeń

Określenie oddziaływania cieplnego prądu zwarciovego wymaga znajomości czasu trwania zwarcia. Norma [1] zaleca, aby czas trwania zwarcia t_z określać przy założeniu, że zwarcie będzie wyłączone przez wyłącznik zainstalowany najbliżej miejsca zwarcia. Zezwala też w uzasadnionych przypadkach, np. gdy uszkodzenie urządzenia może spowodować duże straty ekonomiczne, przyjmować dłuższy czas trwania zwarcia, odpowiadający działaniu zabezpieczeń następnego stopnia czasowego.

Czas t_z jest sumą zwłoki czasowej przekątnikowego układu zabezpieczeniowego oraz czasu własnego wyłącznika (łącznie z czasem łukowym). W oparciu o dane katalogowe przekątników i wyłączników SN można przyjąć:

$$t_z = 0,2 \text{ s} \quad \text{dla} \quad t_n = 0, \quad t_n - \text{czas nastawienia przekątnika,}$$

$$t_n = 0,2 + t_{n_1} \quad \text{dla} \quad t_{n_1} \geq 0,1 \text{ s.}$$



Rys. 4. Histogram czasów trwania zwarć likwidowanych przez zabezpieczenia podstawowe linii kablowych 6 kV na terenie ZE Gliwice (n - liczba linii); $n_c = 487$, $\bar{t}_z = 0,97$ s.

Fig. 4. Frequency distributions of short-circuit duration in 6 kV cable lines on territory of Power Board Gliwice (n - number of lines)

Histogram t_z dla odplywów kablowych 6 kV w GPZ na terenie ZE Gliwice przedstawiono na rys. 4. Przeciętny czas trwania zwarcia wynosi 0,97 s (maksymalny 3,7 s). W przypadku wyłączenia zwarć przez zabezpieczenia rezerwowe $\bar{t}_z = 2,61$ s. Dla linii kablowych i napowietrznych 15 kV i 20 kV na terenie ZE Gliwice \bar{t}_z wynosi:

- dla zwarć wyłączanych przez zabezpieczenia podstawowe:

linie kablowe 15 kV - 0,66 s (czas maksymalny 1,9 s),

linie kablowe 20 kV - 0,74 s (czas maksymalny 3,3 s),

linie napowietrzne 15 kV i 20 kV przy zwarciach, trwałych - 0,88 s (czas maksymalny 2,0 s),

- dla zwarć wyłączanych przez zabezpieczenia rezerwowe:

linie kablowe 15 kV - 2,65 s,

linie kablowe 20 kV - 1,94 s.

4. Obciążalność zwarciova powłok metalowych i żył powrotnych kabli SN

W modelu półprobabilistycznym przyjętym w niniejszej pracy obciążenie zwarciove traktuje się jako wielkość losową, zaś wytrzymałość jako wielkość deterministyczną. W przypadku takich urządzeń jak wyłączniki, odłączniki, przekładniki prądowe itd., deterministyczną wytrzymałość utożsamia się z odpowiednimi parametrami znamionowymi określonymi przez wytwórcę. Dla szyn zbiorczych deterministyczną wytrzymałość zwarciova mechaniczną określa się za pomocą przyjętych metod obliczeniowych na podstawie ich wymiarów geometrycznych oraz materiału. Wreszcie w przypadku przewodów linii

napowietrznych oraz żył roboczych kabli deterministyczną wytrzymałość swarciową cieplną określa się obliczeniowo, przyjmując na podstawie odpowiednich przepisów temperatury początkowe i końcowe w stanie zwarcia.

Polskie przepisy i normy, podobnie jak zagraniczne, nie określają obciążalności swarciowej powłok metalowych i pancerzy kabli SN. Brak ustaleń w tym zakresie można tłumaczyć ignorowaniem zwarć podwójnych (lub przekonaniem o dostatecznym, z tego punktu widzenia, przekroju powłok) oraz stosunkowo małymi prądami zwarć doziemnych, nawet w sieciach z uzziemionym przez rezystor punktem gwiazdowym. Dla kabli jednożyłowych 6-20 kV z izolacją polietylenową YHAKX obciążalność swarciową żył powrotnych (miedzianych) określa co prawda w informacjach dodatkowych norma PN-76/E-90300, lecz wartości te zostały podważone w czasie badań swarciowych w Instytucie Energetyki.

W analizie półprobabilistycznej narażenia swarciowego kabli SN zwarcia podwójne powinny być oczywiście brane pod uwagę z uwzględnieniem prawdopodobieństwa (intensywności) ich występowania w różnych sieciach, zależnego głównie od sposobu pracy punktu gwiazdowego. Obciążalności swarciowe jednosekundowe J_{1d} powłok metalowych i żył powrotnych typowych kabli SN podane w tablicy 1, określono przyjmując temperatury dopuszczalne przy zwarcu wg monografii [4] oraz na podstawie badań Instytutu Energetyki (dla kabli YHAKX). W obliczeniach uwzględniono odprowadzanie części ciepła przez warstwy kabla stykające się z powłoką lub żyłą powrotną.

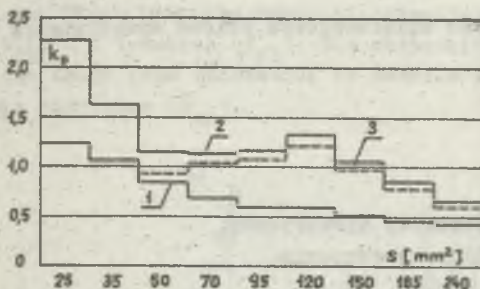
Tablica 1

Temperatura (obliczeniowa) t_0 w chwili wystąpienia zwarcia, temperatura graniczna t_{gr} dopuszczalna przy zwarcu oraz obciążalność swarciowa jednosekundowa J_{1d} powłok metalowych i żył powrotnych kabli

Rodzaj kabla	t_0 [°C]	t_{gr} [°C]	Materiał	J_{1d} [A/mm ²]
Kable o izolacji papierowej i napięciu znamionowym 6 kV	50	200	Pb	28
			Al	97
j.w. lecz o napięciu znamionowym 15 kV	40	200	Pb	29
j.w. lecz o napięciu znamionowym 20 kV	35	200	Pb	30
Kable o izolacji polwinitowej i napięciu znamionowym 6 kV	50	350	Cu	197
		200	Al	97
		270	Fe	64
Kable o izolacji polietylenowej i napięciu znamionowym 6-20 kV	50	285	Cu	181

1) Wartość przybliżona wyznaczona przy założeniu temperatury granicznej dopuszczalnej długotrwale żył roboczych.

2) Dla kabli o izolacji polietylenowej oparta na badaniach Instytutu Energetyki, dla pozostałych kabli wg [4].



Rys. 5. Względna obciążalność zwarciova powłok ołowianych i żył powrotnych kabli 6 kV w zależności od przekroju żył roboczych;

1 - kable 3 - żyłowe typu AKPtA, AKFpA itp.;
2 - kable 3 - żyłowe typu YAKY; 3 - kable
1 - żyłowe typu YHAKY

Fig. 5. Relative thermal short-circuit strength of lead sheaths and copper wires (or copper tapes) of 6 kV cables in dependence on nominal cross section of conductors;

1- three-core AKPtA-, AKFpA etc - cables;
2- three-core YAKY - cables; 3-single-core YHAKY - cables

na rys. 5 odpowiadają największym przekrojom żył powrotnych przewidzianym przez producenta kabli w Katalogu SWW 1126-1127 "Kable elektroenergetyczne i sygnalizacyjne" (wydanie z 1980 r.).

5. Obliczeniowe względne obciążenia zwarciove urządzeń w GPZ

Ze względu na narażenie prądami zwarciovymi interesujący jest stopień obciążenia urządzeń elektrycznych charakterystycznymi wielkościami prądu zwarciovego. W tym celu określono następujące współczynniki wykorzystania parametrów znamionowych urządzeń elektrycznych:

- współczynniki obciążenia aparatów elektrycznych prądami udarowymi

$$W_d = \frac{i_u}{i_{ns}} \quad \text{lub} \quad W_d = \frac{i_u}{i_{nsz}} \quad (2)$$

gdzie:

- i_u - obliczeniowy prąd udarowy w danym punkcie sieci (GPZ),
- i_{ns} - znamionowy prąd załączalny wyłącznika,
- i_{nsz} - znamionowy prąd szczytowy aparatu (wyłącznika, odłącznika lub przekładnika prądowego),

Rys. 5. przedstawia względną obciążalność zwarciova powłok i żył powrotnych niektórych kabli 6 kV, wyznaczoną ze względu na największy prąd zwarciovego podwójnego, tj. prąd zwarciovego dwufazowego. Współczynnik k_p określa wzór:

$$k_p = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \frac{J_{1d}(p)^S(p)}{J_{1d}(z)^S(z)} \quad (1)$$

w którym s oznacza przekrój, indeks (p) powłokę lub żyłę powrotną, zaś indeks (z) żyłę roboczą. Wartość $k_p=1$ oznacza równoważną obciążalność zwarciova powłoki lub żyły powrotnej i żył roboczych kabla. Dla kabli YAKY oraz YHAKY wartości k_p

- współczynnik obciążenia wyłącznika wyłączeniowym prądem symetrycznym

$$W_{ws} = \frac{I_{ws}}{I_{nws}}, \quad (3)$$

gdzie:

I_{ws} - obliczeniowy prąd wyłączeniowy symetryczny,

I_{nws} - znamionowy prąd wyłączalny symetryczny,

- współczynnik obciążenia urządzeń elektrycznych prądem zwarciowym t_z - sekundowym, określony wzorem dla wyłączników

$$W_o = \frac{I_{tz} \sqrt{\frac{t_z}{n}}}{I_{nn}} \quad \text{dla } t_z > n, \quad (4a)$$

$$W_o = \frac{I_{tz}}{I_{nn}} \quad \text{dla } t_z < n, \quad (4b)$$

dla odłączników i przekładników prądowych

$$W_o = \frac{I_{tz} \sqrt{\frac{t_z}{n}}}{I_{nn}}, \quad (5)$$

dla przewodów i kabli

$$W_o = \frac{I_{tz} \sqrt{t_z}}{J_{10} s}, \quad (6)$$

gdzie:

I_{tz} - obliczeniowy prąd zwarciowy t_z - sekundowy,

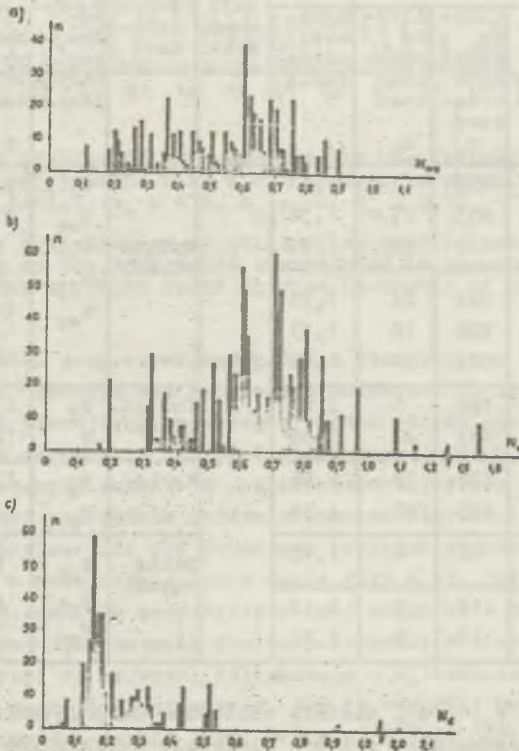
I_{nn} - znamionowy prąd n-sekundowy aparatu,

J_{10} - obciążalność zwarciowa jednosekundowa żyły roboczej kabla lub przewodu,

s - przekrój żyły roboczej kabla lub przewodu.

W przypadku linii napowietrznych lub kablowo-napowietrznych wyposażonych w automatykę dwukrotnego SPZ współczynnik W_o określono dla każdego

z możliwych rodzajów zwarć, tj. przemijających (W_{c1}), wolno przemijających (W_{c2})¹⁾ i trwałych (W_{c3}). Dla wszystkich urządzeń współczynnik W_c określono także przy założeniu, że zwarcie likwidowane jest przez zabezpieczenie rezerwowe (W_{cr}).



Rys. 6. Histogramy wybranych współczynników wykorzystania zwarciovych parametrów znamionowych podstawowych aparatów rozdzielczych 6 kV w GPZ na terenie ZE Gliwice (n - liczba aparatów); a - wyłączniki $n_c = 459$, $n_p = 1$, $\bar{W}_{ws} = 0,58$; b - odłączniki $n_c = 949$, $n_p = 24$, $\bar{W}_d = 0,64$; c - przekładniki prądowe $n_c = 466$, $n_p = 1$, $\bar{W}_d = 0,27$

Fig. 6. Frequency distributions of selected utilization coefficients of the equipment short-circuit rating in 6 kV substations on territory of Power Board Gliwice (n -number of apparatus); a - circuit breakers; b - disconnectors; c - current transformers

¹⁾ Zwarcia likwidowane przez automatykę SPZ w cyklu WZ (przemijające) lub w cyklu WZWZ (wolno przemijające)

Tablica 2

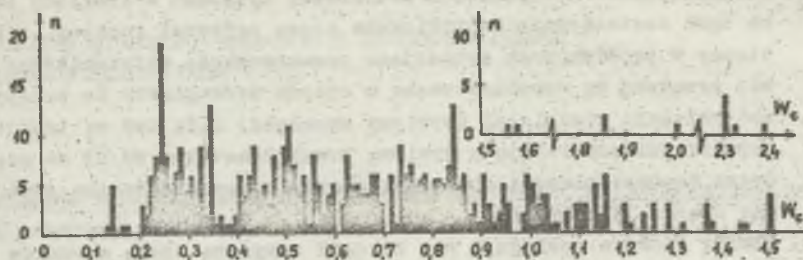
Charakterystyka stwierdzonych przekroczeń $W_{(.)}$ wytrzymałości zwarciowej urządzeń w sieciach SN ZE Gliwice

Nap. znam. sieci	Grupa urządzeń	Przekroczenia				Nap. znam. sieci	Grupa urządzeń	Przekroczenia				
		rodzaj wsp. obciążenia	liczba badanych urządzeń n_c	liczba prze-kro-czeń n_p	maks. wsp. obciążenia			rodzaj wsp. obciążenia	liczba badanych urządzeń n_c	liczba prze-kro-czeń n_p	maks. wsp. obciążenia	
6 kV	Wyłączniki	W_{we}	459	1	1,11	20kV	Wyłączniki 1)	W_d	284	3	1,40	
		W_c	435	23	1,36			W_{ws}	271	6	2,34	
		W_{cr}	449	25	1,56			W_{c1}	48	3	1,62	
	Odłączniki	W_d	949	24	1,55			W_{c3}	48	3	1,51	
		W_c	928	10	1,41			W_{or}	244	11	2,25	
		W_{cr}	974	30	1,73			Przekł. prąd.	W_d	220	1	1,05
	Przekł. prąd.	W_d	466	1	2,01				W_{cr}	186	2	1,51
		Kable	W_c	472	78			2,75	Kable	W_c	138	4
	W_{cr}		425	268	4,38			W_{cr}		138	11	2,07
	5 kV	Kable	W_{cr}	28	4		1,43	Linie napow.	W_{c2}	47	3	1,36
Linie napow.		W_{c3}	19	1	1,13	W_{c3}	47		10	2,42		
		W_{cr}	19	8	1,72	W_{cr}	50		17	3,44		

1) Współczynniki W_{c1} i W_{c2} zostały obliczone na podstawie wzoru (4b), natomiast współczynniki W_{c3} i W_{cr} dla wielu wyłączników na podstawie wzoru (4a). Z tego powodu w niektórych przypadkach histogramy współczynników W_{c3} i W_{cr} mogą być korzystniejsze od histogramów współczynników W_{c1} i W_{c2} .

Histogramy wybranych współczynników dla podstawowych aparatów rozdzielczych oraz kabli 6 kV w GPZ na terenie ZE Gliwice przedstawiono na rys. 6 i 7. Zbiorcze zestawienie stwierdzonych przekroczeń we wszystkich sieciach SN ZE Gliwice zawiera tablica 2.

Oprócz grup urządzeń ujętych w tablicy 2 rozpatrzono również wytrzymałość szyn zbiorczych i izolatorów wsporczych stacyjnych na działanie dynamiczne prądów zwarciowych. Stwierdzono, że jedynie w bardzo nielicznych przypadkach wytrzymałość ta może być niedostateczna.



Rys. 7. Histogram współczynnika wykorzystania obciążalności zwarciovej żył roboczych kabli odpływowych 6 kV w GPZ na terenie ZE Gliwice (n - liczba kabli); $n_c = 472$, $n_p = 78$, $\bar{W}_c = 0,70$

Fig. 7. Frequency distribution of utilization coefficient of thermal short-circuit strength of the 6 kV cable conductors in substations on the territory of Power Board Gliwice (n -number of cables),

W zakresie kabli przeprowadzone badania statystyczne uwzględniały jedynie żyły robocze. Badania statystyczne przekroczeń obciążalności zwarciovej powłok i żył powrotnych są obecnie bardzo utrudnione, głównie ze względu na niemożność określenia ich parametrów technicznych (brak danych w dokumentacjach starych kabli). Z analizy zawartej w p.4 wynika, że w zdecydowanej większości przypadków deterministyczne zagrożenie powłok i żył powrotnych jest mniejsze niż żył roboczych (wyjątek stanowią głównie kable AKPta 6 kV oraz w mniejszym stopniu kable YAKY 6 kV, HAKPta 15 kV i YHAKX 6-20 kV [2]). W analizie probabilistycznej zagrożenia trzeba dodatkowo uwzględnić, że podwójne zwarcia doziemne stanowią w sieciach kompensowanych i izolowanych co najwyżej kilkanaście - kilkadziesiąt procent w stosunku do liczby zwarć międzyfazowych. Oba te czynniki powodują, że zagrożenie probabilistyczne powłok i żył powrotnych jest ogólnie znacznie mniejsze niż żył roboczych.

6. Wnioski

Duży materiał dokumentacyjny, zebrany w ZE Gliwice, czyni przeprowadzoną ocenę zagrożenia zwarciowego urządzeń SN bardzo wszechstronną i wiarygodną. Z oceny tej wynika szereg interesujących wniosków, z których najbardziej ogólne są następujące:

1. W sieciach SN występują liczne przekroczenia wytrzymałości zwarciowej urządzeń. Z badań warunków zwarciovych wynika, że przekroczenia dotyczą głównie linii (zwłaszcza kablowych), w mniejszym natomiast zakresie urządzeń rozdzielczych (wyłączników, odłączników, przekładników, szyn zbiorczych).

2. Przekroczenia wytrzymałości zwarciowej urządzeń w sieciach SN nie są na ogół dostatecznie kontrolowane przez personel ruchowy. Z drugiej strony w pojedynczych sytuacjach przekroczenia wytrzymałości zwarciowej urządzeń są wykorzystywane w sposób bezwzględny do przeprowadzenia modernizacji rozdzielni (wymiany urządzeń) bądź też są traktowane jako czynnik uniemożliwiający wymianę transformatorów WN/SN na większe. Ocena dopuszczalności pracy urządzenia z przekroczeniem jest przedmiotem części II artykułu.
3. Służby ruchowe posługują się na ogół zawyżoną oceną warunków zwarciowych, nawet o kilkadziesiąt procent, wynikającą z nadmiernych uproszczeń w obliczeniach. Wydaje się, że jest to także jeden z czynników powodujących bardzo niskie przeciętne wykorzystanie wytrzymałości zwarciowej urządzeń (nie jest to czynnik najważniejszy; decydujące znaczenie ma dobór urządzeń na przewidywany docelowy poziom prądów zwarcia, trudności z zakupem właściwej aparatury, wpływ innych kryteriów techniczno-ekonomicznych doboru urządzeń itp.). Olbrzymi rozrzut stopnia wykorzystania wytrzymałości zwarciowej urządzeń (od kilkunastu do stukilkudziesięciu procent) jest naturalnie bardzo niekorzystny ze względów ekonomicznych.

LITERATURA

- [1] Norma PN-74/B-05002. Dobór aparatów wysokonapięciowych w zależności od warunków zwarciowych.
- [2] Podczyk J., Błaszczyk A., Żmuda K., Wosik J.: Zasady oceny sieci SN w aspekcie wytrzymałości zwarciowej. Instytut Elektroenergetyki i Sterowania Układów Politechniki Śląskiej, Gliwice listopad 1984 (praca niepublikowana).
- [3] Burke J.J., Lawrence D.J.: Characteristics of Fault Currents on Distribution Systems. IEEE Transactions on PAS, Vol. 103, No.1, January 1984.
- [4] Heinhold L.: Power Cables and their Application. Siemens AG, Berlin 1979.

Recenzent: prof. dr hab. inż. Szczepny Kujszczyk

Wpłynęło do redakcji dn. 11 marca 1985 r.

ОЦЕНКА УСЛОВИЙ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ СРЕДНЕГО НАПРЯЖЕНИЯ]

ЧАСТЬ I]

СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОЧНОСТИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ [ПО УСЛОВИЯМ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ]

Резюме

Представлены гистограммы (1) расчетных значений тока короткого замыкания, (2) условных нагрузок электрооборудования среднего напряжения токами короткого замыкания и (3) времени установок релейных защит. Гистограммы определены на основе исследований, охватывающих целое электрооборудование среднего напряжения эксплуатируемое в энергетическом объединении Гливице (свыше 70 подстанций 110 кв среднего напряжения). В анализе, использования прочности электрооборудования, учтены нагрузки от ударного тока (для выключателей, отключателей, измерительных трансформаторов тока и сборных шин), нагрузки выключателей от симметрического отключаемого тока и нагрузки всех видов электрооборудования (в том числе воздушных и кабельных линий), от термического тока короткого замыкания. Удостоверены многочисленные превышения прочности, прежде всего для линий (особенно кабельных) и очень большой разброс уровня использования прочности электрооборудования по токам короткого замыкания. В статье предложен также критический анализ принципов определения прочности по токам короткого замыкания возвратных жил кабелей среднего напряжения и представлены основные результаты этого анализа.

ASSESSMENT OF SHORT-CIRCUIT CONDITIONS IN MEDIUM VOLTAGE POWER NETWORKS

PART I

STATISTICAL CHARACTERISTICS OF UTILIZATION DEGREE OF THE EQUIPMENT SHORT-CIRCUIT RATING

Summary

The frequency distributions of (i) calculated values of initial symmetrical short-circuit current, (ii) time delay setting the overcurrent protections, (iii) calculated values of relative short-circuit load of the medium voltage equipment are presented. The frequency distributions are derived from the investigations of all medium voltage equipment in substations operated by Power Board Gliwice (above 70 substations). When

analysing the utilization degree of the equipment short-circuit rating, the following parameters characterizing the short-circuit load are taken into account: the peak short-circuit (for circuit-breakers, disconnectors, current transformers and bus-bars), the symmetrical short-circuit breaking current (for circuit-breakers) and the thermal equivalent short-circuit current (for all equipment, also for overhead and cable lines). A great number of exceedings of the short-circuit strength is observed principally in lines (especially in cable lines). In the paper the critical analysis of the principles of determining the thermal short-circuit strength of the metallic coating and copper wires of cables is also presented.