

Florian KRASUCKI

Michał CYRÓN

Roman PILORZ

Instytut Elektryfikacji i Automatykacji Górnictwa  
Politechniki Śląskiej w Gliwicach

### STRUKTURA I PRĄDY DOZIEMNE SIECI 500 V W ZAKŁADACH MECHANICZNEJ PRZERÓBKI WĘGLA KAMIENNEGO

**Streszczenie.** Przedstawiono opracowanie wyników badań struktury sieci elektroenergetycznych 500 V i wyniki pomiarów prądów jednofazowych zwarcí doziemnych w zakładach przeróbczych węgla kamiennego. Badania te obejmowały głównie ukształtowanie sieci, jej rozległość, liczbę odbiorników, rodzaje stosowanych kabli oraz pomiary prądów zwarcia jednofazowego z ziemią.

#### 1. WSTĘP

Problemy stosowania maszyn i urządzeń elektrycznych w zakładach przeróbki mechanicznej węgla (ZPMW) regulują przepisy górnicze oraz wytyczne MG1E wydane w 1974 r.

W zakładach przeróbczych stosowane są w zasadzie następujące napięcia znamionowe:

- a) 500 V - do zasilania napędów maszyn i urządzeń procesu technologicznego przeróbki węgla,
- b) 380/220 V - do zasilania agregatów spawalniczych i innych urządzeń trójfazowych i narzędzi jednofazowych oraz oświetlenia,
- c) 220 V - do zasilania obwodów sterowania i sygnalizacji.

Sieci 3 x 500 V i 3 x 220 V pracują jako izolowane względem ziemi, natomiast sieci 3 x 380/220 V - z uziemionym punktem zerowym transformatora.

Z punktu widzenia ochrony przeciwporażeniowej w sieciach 500 V stosowane środki nie są jednolite. Stosowane jest uziemianie ochronne, system uziemniających przewodów ochronnych lub oba te środki równocześnie oraz urządzenia do ciągłej kontroli stanu izolacji (typu UKSIW, CZUW-05, CZU-05, RRgx-05/U).

Celem podjętych badań jest ocena istniejących środków ochrony przeciwporażeniowej z punktu widzenia skuteczności ich działania oraz ustalenie wytycznych do doskonalenia systemu ochrony ziemnozwarciowej w sieciach elektroenergetycznych 500 V w zakładach przeróbki mechanicznej węgla. Do

zrealizowania tego zagadnienia konieczne jest poznanie niektórych parametrów sieci i odbiorników, takich jak:

- a) struktura sieci - układy sieci, liczba rozdzielnic, liczba odpyływów z rozdzielnic, typy kabli i przekroje żył,
- b) moce zainstalowane na odpyływach,
- c) wartości i zmienność w czasie prądów jednofazowych zwarć doziemnych,
- d) wartości rezystancji izolacji doziemnej oraz jej zmienność,
- e) stan obecnie stosowanych środków dodatkowej ochrony przeciwporażeniowej,
- f) techniczne warunki środowiskowe na terenie ZPMW.

W niniejszej publikacji przedstawiono niektóre wybrane wielkości charakteryzujące strukturę sieci oraz wartości prądów jednofazowego zwarcia z ziemią. Celem bardziej ogólnego scharakteryzowania sieci 500 V podano również rozległości sieci, liczbę odbiorników, liczbę samodzielnie pracujących transformatorów. Przedstawione wyniki pochodzą z badań w 10 kopalniach węgla kamiennego Zrzeszeń: Jastrzębskiego, Zabrzeńskiego i Bytomskiego.

## 2. CHARAKTERYSTYKA SIECI 500 V w ZPMW

Wstępne analizy i porównania istniejących sieci elektroenergetycznych ZPMW z dokumentacją projektową tych zakładów wykazały dość istotne różnice.

Zmiany dotyczą przede wszystkim liczby faktycznie zainstalowanych odpyływów z rozdzielnic oraz mocy zainstalowanych odbiorników, a często również rodzaju zainstalowanych urządzeń. Część urządzeń ciągu technologicznego stanowi rezerwę lub jest załączana dorywczo, bądź zamiennie za inne urządzenia. Istnieją również takie, które są nieczynne.

Charakteryzując istniejącą sieć w zamieszczonych tabelach i na rysunkach wyróżniono linie - odpyły będące podczas normalnej pracy zakładu pod napięciem (oznaczone symbolem "pn"). Sumę wszystkich elementów sieci, czyli zainstalowanych (łącznie z rezerwowymi) oznaczono przez "c". Przykładowo w tabeli 1 podano zestawienie długości linii elektroenergetycznych 500 V w zakładzie przerobczym jednej z kopalń (oznaczonej umownie przez K2).

Rozległość sieci (zasilanych z oddzielnego transformatora - galwanicznie nie połączonych z innymi) obrazuje histogram obejmujący dane z 61 sieci 10 kopalń. Zamieszczając długości kabli i przewodów zainstalowanych wyróżniono tę część sieci, która jest pod napięciem w czasie normalnej pracy zakładu przerobczego (podobnie jak w tabeli 1).

W tabeli 2 podano długości według typu najczęściej stosowanych kabli z uwzględnieniem połączeń między rozdzielnicami oraz między rozdzielnicami a odbiornikami (silnikami).

Tabela 1

## Długości linii elektroenergetycznych o napięciu 500 V w ZPMW kopalni K2

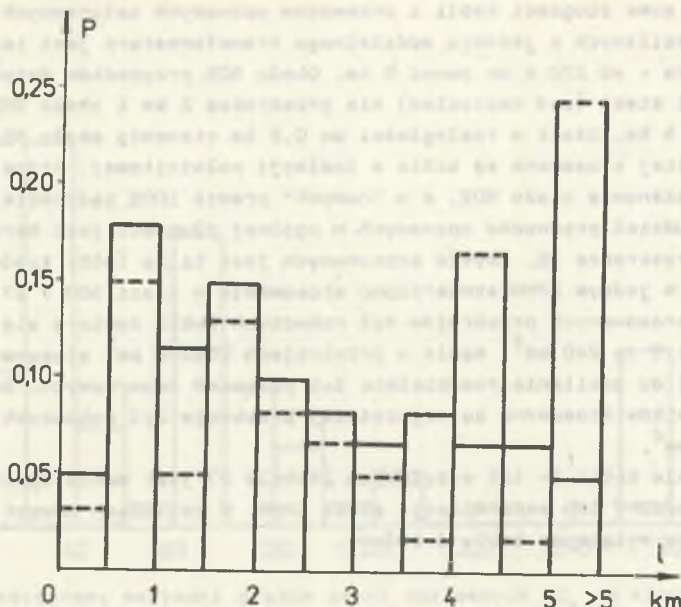
Prze- krój żył, mm <sup>2</sup>	Nr sieci, długość linii elektroenergetycznych, km																							
	S1		S2		S3		S4		S5		S6		S7		S8		S9		S10		S11		S12	
	pn	c	pn	c	pn	c	pn	c	pn	c	pn	c	pn	c	pn	c	pn	c	pn	c	pn	c	pn	c
2,5	-	-	0,91	0,99	0,24	0,30	-	-	-	-	0,48	0,56	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	0,09	0,37	1,43	1,99	0,55	0,55	1,59	1,69	0,55	0,55	0,62	1,58	-	-	1,49	1,61	6,32	8,54	-	-	-	-	-	-
6	0,0	0,02	0,35	0,35	0,09	0,14	0,14	0,14	-	-	0,11	0,12	-	-	0,05	0,05	0,74	0,82	-	-	-	-	-	-
10	0,13	0,17	0,12	0,12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,09	0,09	0,34	0,38	-	-	-	-	-	-
16	0,02	0,02	0,17	0,17	-	-	0,03	0,03	-	-	0,10	0,20	0,01	0,11	0,0	0,10	0,34	0,63	-	-	-	-	-	-
25	0,26	0,26	0,06	0,06	0,20	0,29	-	-	-	-	0,04	0,09	-	-	0,13	0,13	0,69	0,83	-	-	-	-	-	-
35	0,15	0,15	0,28	0,35	0,35	0,71	0,18	0,21	-	-	0,37	0,45	0,07	0,14	0,18	0,18	1,58	2,19	-	-	-	-	-	-
50	-	-	-	-	0,05	0,16	-	-	0,06	0,06	0,09	0,09	-	-	-	-	0,20	0,31	-	-	-	-	-	-
70	0,36	0,36	0,09	0,09	0,05	0,05	0,08	0,12	-	-	0,28	0,28	-	-	-	-	0,86	0,90	-	-	-	-	-	-
95	0,07	0,07	-	-	-	-	0,00	0,04	-	-	0,05	0,05	0,01	0,01	-	-	0,13	0,17	-	-	-	-	-	-
120	-	-	0,00	0,04	-	-	0,05	0,05	-	-	0,18	0,18	0,08	0,09	0,09	0,09	0,40	0,45	-	-	-	-	-	-
240	0,36	0,36	-	-	-	-	-	-	-	-	2,08	2,08	0,70	0,70	-	-	3,14	3,14	-	-	-	-	-	-
Rezer	1,44	1,78	3,41	4,16	1,53	2,20	2,07	2,28	0,61	0,61	4,40	5,68	0,87	1,05	2,03	2,45	16,37	20,21	-	-	-	-	-	-



Tabela 2

Długości zainstalowane najczęściej stosowanych typów kabli w sieciach 500 V ZPMW wybranych kopalń

Typ kabla	Kft		YKY		YAKY		YKYFpy		AKFT		YAKYFpy		Razem		Poł. między dziel.		Poł. silników z rozdział.	
	KFod		%		%		%		%		%		%		3-żył.		4-żył.	
	km	%	km	%	km	%	km	%	km	%	km	%	km	%	km	%	km	%
K1	2,6	6,7	5,8	15,1	11,2	29,2	-	-	4,7	12,3	3,4	8,9	27,7	72,2	26,1	73,9	38,1	61,9
K2	2,6	13,0	2,9	14,2	3,0	14,8	3,9	19,3	4,1	20,1	-	-	16,6	81,4	29,0	71,0	33,6	66,4
K3	2,8	28,5	-	-	-	-	3,9	39,1	-	-	2,2	23,1	8,8	89,7	47,0	53,0	44,6	55,4
K4	-	-	12,6	47,0	7,6	28,1	-	-	-	-	6,1	22,5	26,3	97,6	0	100	1,4	98,4
K5	-	-	-	-	-	-	1,8	38,9	-	-	1,7	38,2	3,5	77,1	33,0	67,0	5,4	94,6
K6	-	-	-	-	-	-	17,5	67,5	-	-	7,4	28,3	24,9	95,8	100	0	93,7	6,3
K7	-	-	9,8	-	9,8	32,4	-	-	14,2	47,1	2,7	8,9	26,7	88,4	74,8	25,2	0,9	99,1



Rys. 1. Histogramy rozległości  $l$  sieci 500 V w zakładach przerobczych węgla kamiennego

— — — częstość  $P$  występowania sieci o rozległościach wyznaczonych z uwzględnieniem długości wszystkich kabli i przewodów oponowych (zainstalowanych), ———— częstość  $P$  występowania sieci o rozległościach wyznaczonych bez uwzględnienia linii wyłączonych spod napięcia (rezerwowych)

Analiza przedstawionych przykładowo wyników dotyczących struktury sieci wykazała, że sieci elektroenergetyczne 500 V w ZPMW eksploatowane są najczęściej jako promieniowe (rzadko jako magistralno-promieniowe). Nie stosuje się pracy równoległej transformatorów 6/0,525 kV, a ich liczba potrzebna do zasilania odbiorników ciągu technologicznego wynosi od kilku do kilkunastu (stwierdzono od 4 do 14), o mocach jednostkowych od 0,5 MVA do 1,6 MVA.

W układach sieci stosuje się bardzo często połączenia rezerwowe między rozdzielnicami oraz sekcjami rozdzielnic. Dla zwiększenia obciążalności linii stosuje się połączenia równoległe kabli. Moce silników stosowanych w ZPMW mieszczą się w granicach od 0,25 do 160 kW (500 V).

Długości połączeń (kable, przewody oponowe) od silników do zasilającej je rozdzielnicy wynoszą od kilku do ok. 250 metrów, natomiast długości połączeń między rozdzielnicami wahają się w granicach od kilkunastu metrów (połączenia szynowe) do nawet 500 m (połączenia kablowe).

Stwierdzono bardzo duże zróżnicowanie całkowitej zainstalowanej długości kabli pomiędzy zakładami przerobczymi różnych kopalń - długości te wynoszą od 4,5 do 38 km.

Również suma długości kabli i przewodów oponowych załączonych pod napięcie i zasilanych z jednego, oddzielnego transformatora jest też mocno zróżnicowana - od 270 m do ponad 5 km. Około 50% przypadków dotyczących rozległości sieci (pod napięciem) nie przekracza 2 km i około 95% nie przekracza 5 km. Sieci o rozległości do 0,5 km stanowią około 5%.

Najczęściej stosowane są kable o izolacji polwinitowej, które w ZPMW "starych" stanowią około 50%, a w "nowych" prawie 100% całkowitej długości linii. Udział przewodów oponowych w ogólnej długości jest bardzo mały i rzadko przekracza 3%. Zwykle stosowanych jest kilka (6÷8) typów kabli (wyjątkowo w jednym ZPMW stwierdzono stosowanie w sieci 500 V 17 typów).

Zakres stosowanych przekrojów żył roboczych kabli zawiera się w przedziale od 1,5 do 240 mm<sup>2</sup>. Kable o przekrojach 95÷240 mm<sup>2</sup> stosowane są najczęściej do zasilania rozdzielnic lub połączeń rezerwowych. Do zasilania odbiorników stosowane są najczęściej przekroje żył roboczych 2,5; 4; 6; 25; 35 mm<sup>2</sup>.

Stosowanie kabli 3- lub 4-żyłowych (tabela 2) jest mocno uzależnione od okresu budowy lub modernizacji sieci ZPMW. W zakładach nowych (np. K4) stosowane są wyłącznie kable 4-żyłowe.

### 3. WYNIKI POMIARÓW PRĄDÓW JEDNOFAZOWEGO ZWARCIA DOZIEMNEGO W SIECIACH 500 V ZPMW

Sieci elektroenergetyczna 500 V ZPMW pracują w układzie izolowanym od ziemi. Wartości prądów jednofazowego zwarcia z ziemią zależą przede wszystkim od pojemności doziemnej sieci, ta zaś zależy w sposób zasadniczy od jej rozległości.

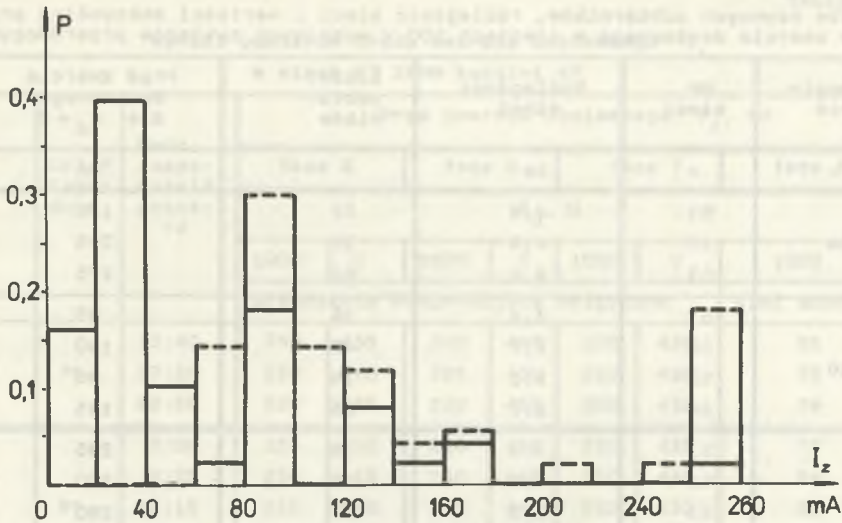
Pomiary prądów zwarcia jednofazowego z ziemią wykonywano miliamperomierzem podczas krótkotrwałego zwarcia fazy z ziemią przez rezystancję dodatkową  $R_d$ . Czas trwania doziemienia limitowany był czasem potrzebnym do dokonania odczytu wskazań miliamperomierza i z reguły nie przekraczał 5 sekund.

Pomiary te wykonywano przy załączonym i wyłączonym urządzeniu kompensującym odpowiedniego zabezpieczenia upływowego. Wartość rezystancji  $R_d$  wynosiła 1000, 600 i 0 omów. Z punktu widzenia profilaktyki rażeniowej istotna jest znajomość wartości prądu doziemnego zmierzone dla  $R_d = 1000$  omów i  $R_d = 0$ . Przykładowo wyniki pomiarów przeprowadzonych dla 22 sieci 500 V w 5 ZPMW przedstawiono w tabeli 3. Wyniki te dotyczą tej części sieci, która jest załączona pod napięcie podczas normalnej pracy.

Wartości maksymalne wszystkich otrzymanych w 10 kopalniach wyników pomiarów prądu zwarcia jednofazowego z ziemią dla  $R_d = 0$  przedstawia histogram na rys. 2.

Powtarzając pomiary prądów zwarcia doziemnego zaobserwowano zmiany mierzonych wartości w różnych porach doby. Przykładowe wyniki takich pomiarów przedstawiono w tabeli 4. Natomiast na rys. 3 przedstawiono dobowy





Rys. 2. Histogramy wartości prądów zwarć doziemnych  $I_z$  w sieciach 500 V zakładów przerobczych węgla kamiennego z załączonym (linia ciągła) i wyłączonym (linia przerywana) układem kompensującym



Rys. 3. Dobowy przebieg zmian wartości prądu doziemnego  $I_z$  w sieci S1 kopalni K9

Tabela 3

Liczba czynnych odbiorników, rozległość sieci i wartości maksymalne prądów zwarcia doziemnego w sieciach 500 V wybranych zakładów przerobczych

Kopalnia	Nr sieci	Rozległość sieci	Liczba odbiorników	Prąd zwarcia doziemnego dla $R_d = 0$
-	-	km	-	mA
K4	S1	4,8	62	185
	S2	4,0	50	295
	S3	4,0	65	275
K6	S1	3,4	36	95
	S2	3,7	42	150
	S3	1,1	16	90
	S4	2,7	33	135
K7	S1	3,0	18	285
	S2	3,9	8	300
	S3	3,0	53	290
	S4	4,2	55	490
	S5	2,6	17	90
	S6	6,2	60	370
	S7	6,2	38	380
K9	S1	2,3	32	90
	S2	0,7	13	60
	S3	2,4	40	245
	S4	4,6	96	180
K10	S1	4,8	52	290
	S2	0,8	15	145
	S3	8,7	62	500
	S4	1,9	28	190

przebieg zmian wartości prądów zwarcia doziemnego otrzymany na podstawie pomiarów przeprowadzonych w dni robocze w ZPMW kopalni K9. Przedstawiony na rys. 3 wykres wskazuje na możliwość zmian wartości prądu doziemnego również w okresie doby. Znaczne obniżenie się wartości prądu doziemnego w godzinach nocnych (w czasie "postoju" zakładu przerobczego) związane jest z wyłączeniem odpływów znacznej liczby odbiorników (czyli ze znacznym zmniejszeniem się rozległości sieci). Pomiar, których wyniki podano w tabeli 4, wykonano w zakładzie przerobczym "starym" o dużym udziale połączeń "stałych" (magistralnych, zasilających rozdzielnice), wskazują na mało zmienny poziom wartości prądu zwarcia doziemnego.

Prądy jednofazowych zwarc doziemnych (dla  $R_d = 0$ ) przy załączonym urządzeniu kompensującym osiągają w 55% przypadków wartości nie większe



Tabela 4

Wyniki pomiarów prądu zwarcia doziemnego  $I_z$   
w sieci S7 ZPMW kopalni K7

Lp.	Dzień tygodnia	Godz. rozpoczęcia pomiaru	Prąd zwarcia doziemnego $I_z$ , mA							
			faza R		faza S		faza T		faza R	
			$R_d$ , $\Omega$							
			1000	0	1000	0	1000	0	1000	
			urządzenie kompensujące wyłączone							sieć skomp.
1	Pn	13:40	245	455	240	445	230	430	85	
2		17:20	230	440	225	430	210	420	79	
3		22:20	230	445	230	450	220	430	78	
4	Wt	3:00	235	450	230	450	230	435	78	
5		8:35	230	445	230	440	220	440	85	
6		13:15	230	450	230	440	220	430	80	
7		17:50	230	450	225	440	220	430	80	
8		20:35	225	450	230	445	220	430	78	
9	Śr	2:40	240	470	230	460	220	440	77	
10		9:30	230	490	240	460	230	450	80	
11		13:25	235	460	230	450	225	440	83	
12		17:45	230	435	230	440	220	420	85	
13		21:45	240	460	240	450	230	440	78	
14	Cz	4:30	235	440	230	430	225	440	80	
15		9:25	230	445	230	440	225	435	76	
16		16:45	230	430	230	440	220	415	70	
17		23:55	230	430	230	425	210	410	68	
18	Pt	2:05	230	430	230	425	220	420	75	
19		6:05	230	430	230	430	220	420	76	
20		10:15	240	440	230	430	220	420	77	
21		14:35	230	435	235	430	230	430	80	
22		18:35	240	435	220	430	220	420	81	
23		23:45	220	440	220	430	210	415	79	
24	So	4:20	240	430	435	425	230	415	75	
25		8:20	230	430	220	420	200	425	80	
26		10:20	235	440	225	420	210	420	80	

niż 40 mA, a w 65% - nie większe niż 60 mA oraz w 80% - nie większe niż 100 mA (rys. 2).

Przy wyłączonym urządzeniu kompensującym prądy te w 43% przypadków mieszczą się w zakresie (61±100) mA, w 69% w zakresie (61-140) mA, a w 18% - mają wartości większe niż 260 mA. Największa wartość prądu zwarcia jedno-

fazowego z ziemią zmierzone przy wyłączonym urządzeniu kompensującym wynosiła 500 mA.

#### 4. ZAKOŃCZENIE

Przedstawione w niniejszym referacie wyniki badań charakteryzujące ogólnie strukturę i wybrane parametry sieci elektroenergetycznych 500 V w ZPMW są zaledwie częścią opracowywanego problemu - analizy zagrożeń wynikających z eksploatacji sieci kopalnianych do 1 kV i poprawy stopnia bezpieczeństwa elektryfikacji zakładów przeróbki mechanicznej węgla.

Recenzent: Doc. mgr inż. Eligiusz MATYJA

Wpłynęło do Redakcji w sierpniu 1984 r.

СТРУКТУРА И ТОКИ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ НА ЗЕМЛЮ 500 В СЕТИ  
В ПРЕДПРИЯТИЯХ МЕХАНИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ КАМЕННОГО УГЛЯ

#### Р е з ю м е

В работе представлены результаты исследований структуры энергетических 500 в сетей и результаты измерений однофазных токов короткого замыкания на землю в предприятиях механической переработки каменного угля. Исследования включали главным образом топографию сети, её распространённость, число приёмников, вид применяемых кабелей а также измерения токов однофазного короткого замыкания на землю.

THE STRUCTURE AND EARTH-GOING CURRENTS OF 500 V  
NETWORK IN COAL DRESSING PLANTS

#### S u m m a r y

In the paper are presented some results of studies on the structure of 500 V power networks and measurement results of the currents of single-phase earth-going shortings in coal dressing plants. The studies comprised mainly configuration of the network, its extent, the number of receivers, types of cables used and measurements of the current of single-phase earth shorting.