

Generowanie napięć uziomowych i dotykowych w rozległych układach uziomowych stacji wysokich napięć przez prądy zwarć doziemnych

Zarówno napięcia uziomowe poszczególnych obszarów rozległego układu uziomowego stacji elektroenergetycznej, jak również występujące tam napięcia dotykowe spodziewane (dotykowe rażeniowe), mogą znacząco różnić się od siebie w zależności od usytuowania miejsca wystąpienia zwarcia doziemnego.

Ponadto, napięcia uziomowe oraz napięcia dotykowe generowane są nie tylko przez prądy odpływające z rozpatrywanego układu uziomowego do punktów gwiazdowych transformatorów (autotransformatorów) usytuowanych poza rozpatrywaną stacją, ale również przez prądy zamykające się w obrębie rozpatrywanej stacji. Potwierdzają to prezentowane wyniki pomiarów.

Układy uziomowe rozległych stacji elektroenergetycznych traktowane są w dostępnych publikacjach jako uziom, którego poszczególne obszary — niezależnie od miejsca wystąpienia zwarcia — posiadają takie samo napięcie uziomowe. Nie jest to co prawda w tych publikacjach akcentowane, ale również nie dostrzeżono opublikowanych spostrzeżeń o tym, że poszczególne obszary uziomu dużej stacji elektroenergetycznej posiadają różniące się od siebie napięcia uziomowe podczas trwania doziemienia na takiej stacji, a pomiędzy różnymi miejscami uziomu występują niekiedy znaczne różnice potencjałów.

Nie zauważono także dotąd uwzględniania przez specjalistów zajmujących się problematyką zagrożenia porażeniowego zależności wartości napięć dotykowych od miejsca wystąpienia doziemienia sieci w obszarze obiektu elektroenergetycznego.

Brak także informacji o tym, aby jakkolwiek specjalistyczny zespół badający stan zagrożenia porażeniowego zwracał uwagę, że na kształtowanie się zarówno napięć uziomowych jak też napięć dotykowych mają wpływ nie tylko prądy zwarcia odpływające z uziomu stacji elektroenergetycznej do punktów gwiazdowych transformatorów (autotransformatorów) zlokalizowanych poza obszarem badanej stacji elektroenergetycznej, ale również prądy zwarcia zamykające się w obszarze stacji pomiędzy miejscem wystąpienia zwarcia a punktem gwiazdowym zainstalowanego na stacji transformatora (autotransformatora) sprzęgającego jej rozdzielnie (400 kV, 220 kV, 110 kV).

Na zagadnienia te nie zwracają również uwagi przepisy ani obowiązujące w ubiegłym okresie — np. [1], ani aktualna norma PN-E-05115:2002 [2].

Ogólne informacje o tych zależnościach przedstawiane były przez specjalistów *ZPBE Energopomiar-Elektryka* w prasie technicznej w ubiegłych latach [3, 4], natomiast pierwsze szczegółowe ich omówienie wraz z wynikami pomiarów przeprowadzonych na jednej z rozległych stacji elektroenergetycznych, autorzy zaprezentowali na konferencji ELSAF-2003 [5].

Obiekty i metodyka badań

Obiektami, na których przeprowadzone zostały opisane pomiary, były:

- stacja 400/110 kV *Tarnów*,
- stacja 400/220 kV *Joachimów*,
- stacja 220/110 kV *Skawina*.

Obiekty te zaliczają się do obiektów rozległych, a ich przybliżone rozmiary są następujące:

- stacja 400/110 kV *Tarnów* — 240 × 340 m;
- stacja 400/220 kV *Joachimów*: rozdzielnia 400 kV — 110 × 260 m, rozdzielnia 220 kV — 240 × 230 m;
- stacja 220/110 kV *Skawina* — 190 × 400 m.

Układy uziomowe stacji (rozdzielni) stanowią typowe poziome uziomy kratowe, obejmujące cały obszar obiektu, współpracujące z uziomami naturalnymi, m.in. z żelbetowymi fundamentami konstrukcji wsporczych urządzeń, do których przyłączone są zarówno części przewodzące dostępne urządzeń elektrycznych jak również części przewodzące obce znajdujące się na stacji, w tym elementy konstrukcyjne oszynowania stacji.

Pomiary napięć uziomowych U_E , napięć dotykowych spodziewanych U_{ST} i napięć dotykowych rażeniowych U_T ¹⁾ przeprowadzone zostały metodą techniczną, tj. podczas modelowanych zwarć doziemnych w badanym obiekcie.

Obwód prądowy modelowanego zwarcia stanowiła wydzielona linia (110 kV lub 220 kV) wychodząca z badanego obiektu, uziemiona albo na drugim jej końcu, albo na jej trasie w odległości od kilku do kilkunastu kilometrów od badanego obiektu. Prąd pomiarowy wymuszony był poprzez transformator izolujący, zasilany z sieci potrzeb własnych stacji.

¹⁾ Terminologia i oznaczenia — zgodnie z normą [2].

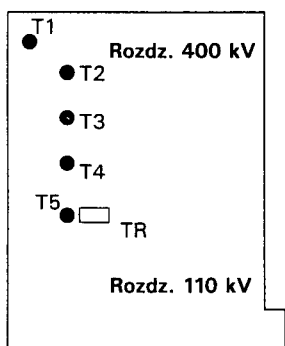
W celu jak najbardziej wiernego odwzorowania rozptyłu prądu rzeczywistego zwarcia doziemnego sieci wn, w każdym obiekcie wykonywane były trzy pomiarowe obwody prądowe:

- obwód „R-Z” (rozdzielnia-ziemia), pozwalający na wymuszenie prądu pomiarowego pomiędzy wybranym miejscem obiektu a pomocniczym uziomem prądowym;
- obwód „R-TR” (rozdzielnia-transformator, rozdzielnia-autotransformator), pozwalający na wymuszenie prądu pomiarowego pomiędzy wybranym miejscem obiektu a uziemieniem punktu gwiazdowego transformatora (autotransformatora) sprzęgającego rozdzielnie (400 kV, 220 kV, 110 kV);
- obwód „TR-Z” (transformator-ziemia, autotransformator-ziemia), pozwalający na wymuszenie prądu pomiarowego pomiędzy uziemieniem punktu gwiazdowego transformatora (autotransformatora) sprzęgającego rozdzielnie (400 kV, 220 kV, 110 kV) a pomocniczym uziomem prądowym.

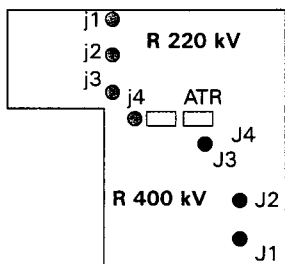
Prądy płynące w pomiarowych obwodach prądowych zawierały się w przedziale od ok. 35 A do ok. 60 A.

Na stanowiskach pomiarowych (4 lub 5) zainstalowane były na stałe elektrody prętowe wbite w ziemię na głębokość ok. 25 cm.

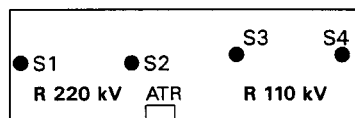
Rozmieszczenie stanowisk pomiarowych na poszczególnych obiektach przedstawiono na rysunkach 1, 2 i 3.



Rys. 1. Stacja 400/110 kV *Tarnów* — szkic usytuowania stanowisk pomiarowych T1...5 (odległości: T1-T2 — ok. 69 m, T2-T3 — ok. 58 m, T3-T4 — ok. 62 m, T4-T5 — ok. 57 m)



Rys. 2. Stacja 400/220 kV *Joachimów* — szkic usytuowania stanowisk pomiarowych J1...4 oraz j1...4 (odległości: J1-J2 — ok. 65 m, J2-J3 — ok. 135 m, J3-J4 — ok. 18 m, j1-j2 — ok. 60 m, j2-j3 — ok. 25 m, j3-j4 — ok. 45 m)



Rys. 3. Stacja 220/110 kV *Skawina* — szkic usytuowania stanowisk pomiarowych S1...4 (odległości: S1-S2 — ok. 195 m, S2-S3 — ok. 65 m, S3-S4 — ok. 120 m)

W celu wyeliminowania błędu przy pomiarze napięć, wynikającego z potencjału własnego układu uziomowego (tj. napięcia uziomowego występującego przy wyłączonym prądzie pomiarowym), zastosowana została metoda odwracania biegunowości napięcia zasilającego pomiarowy obwód prądowy U_s , opisana m.in. w [4]²⁾ i [2], polegająca na pomiarze napięcia (różnicy potencjałów, napięcia uziomowego i/lub dotykowego):

U_a — przy zasilaniu pomiarowego obwodu prądowego napięciem U_s ,

U_b — przy zasilaniu pomiarowego obwodu prądowego napięciem U_s o odwróconej biegunowości,

U_d — przy wyłączonym prądzie pomiarowym (pomiar napięcia zakłócającego),

a następnie obliczeniu napięcia U wywołanego wyłącznie prądem pomiarowym, ze wzoru:

$$U = [(U_a^2 + U_b^2) : 2 - U_d^2]^{1/2} \quad (1)$$

Wyniki pomiarów

Pomiary napięć uziomowych przeprowadzane były w stosunku do elektrody napięciowej usytuowanej w obszarze wykazującym cechy „ziemi odniesienia”. Obszar ten wyznaczany był podczas pomiarów różnic potencjałów badanego układu uziomowego oraz elektrody napięciowej lokalizowanej w coraz to dalszej odległości od stacji (rozdzielni) elektroenergetycznej. Odległość oddalenia elektrody napięciowej od badanego obiektu wynosiła kilkaset metrów (w przypadku stacji *Tarnów* — ok. 500 m, w przypadku stacji *Joachimów* — ok. 400 m; dla stacji *Skawina* pomiar ten nie był wykonany), przy czym odległość ta limitowana była zabudowaniem obszaru wokół obiektu.

Po zlokalizowaniu elektrody napięciowej w obszarze wykazującym cechy ziemi odniesienia przeprowadzane były pomiary napięć uziomowych uziomu stacji elektroenergetycznej, przy przepływie prądu w opisanych wcześniej pomiarowych obwodach prądowych.

Wartości napięć uziomowych U_e , wymuszonych prądami pomiarowymi, obliczone przy wykorzystaniu wzoru (1) i po przeliczeniu na prąd 100 A, zestawiono w tabeli 1.

Wartości napięć dotykowych spodziewanych U_{st} i napięć dotykowych rażeniowych U_r , wymuszonych prądami pomiarowymi, przeliczone na prąd 100 A, zestawiono w tabeli 2.

²⁾ W tekście przywołanego artykułu [4], na skutek błędu w druku, wzór na obliczenie napięcia „U” jest podany nieprawidłowo. Poprawna postać wzoru jest identyczna, jak wzoru oznaczonego (1) w tym artykule. Za pomyłkę, jaka zaistniała w artykule [4] Redakcja przeprasza Autorów i Czytelników.

Tabela 1

Napięcia uziomowe U_E układu uziomowego stacji elektroenergetycznych
(przeliczone na prąd 100 A)

Obiekt	Miejsce pomiaru	Miejsce modelowanego zwarcia	Napięcie U_E [V] przy prądzie płynącym w obwodzie			
			R-Z	R-TR	TR-Z	
Tarnów	T1	T1	2,53	1,70	0,87	
		T3	2,09	1,41	—	
		T5	0,68	0,05	—	
	T3	T1	1,67	1,22	0,52	
		T3	2,71	1,98	—	
		T5	—	—	—	
	T5	T1	1,46	5,82	4,85	
		T3	1,90	6,16	5,16	
		T5	4,96	—	4,79	
	Joachimów — rozd. 400 kV	J1	J1	11,3	6,37	5,76
			J4	5,45	—	5,61
		J4	J1	2,09	2,19	5,46
J4			7,56	—	6,74	
— rozd. 220 kV		j2	j2	3,87	1,52	3,72

Uwaga: Objaśnienia oznaczeń podano w tekście i na rysunkach.

Tabela 2

Napięcia dotykowe spodziewane U_{ST} i dotykowe rażeniowe U_T na stacjach elektroenergetycznych (przeliczone na prąd 100 A)

Obiekt	Miejsce pomiaru	Miejsce modelowanego zwarcia	Napięcia U_{ST} i U_T [V] przy prądzie płynącym w obwodzie						
			R-Z		R-TR		TR-Z		
Tarnów	T1	T1	0,78	0,64	0,79	0,65	—	—	
		T2	0,28	0,23	0,20	0,17	—	—	
		T3	0,27	0,22	0,22	0,18	—	—	
	T2	T5	0,16	0,12	0,01	—	—	—	
		T1	0,16	0,14	0,12	0,10	0,08	0,07	
		T2	0,99	0,87	1,02	0,89	0,08	0,07	
	T3	T3	0,19	0,16	0,14	0,12	—	—	
		T5	0,21	—	0,14	0,03	—	—	
		T1	0,21	0,18	0,17	0,15	0,07	0,06	
	T5	T2	0,19	0,16	0,15	0,12	0,05	0,05	
		T3	0,41	0,34	0,39	0,34	—	—	
		T5	0,09	0,06	—	—	—	—	
	Joachimów — rozd. 400 kV	J1	T1	0,05	0,05	0,77	0,65	0,73	0,62
			T2	0,06	0,05	0,77	0,65	0,73	0,63
			T3	0,06	0,04	0,77	0,65	0,72	0,62
T5			1,06	0,90	0,44	0,37	0,73	0,62	
J2		J1	0,88	0,60	0,73	0,36	0,25	0,14	
		J2	0,27	0,13	0,07	0,01	0,24	0,11	
	J3	0,23	0,12	—	0,01	0,25	0,12		
	J4	—	—	—	—	—	—		
J3	J1	0,15	0,06	0,22	0,09	0,07	0,03		
	J2	0,30	0,13	0,26	0,11	0,07	0,03		
	J3	0,07	0,03	0,02	0,01	0,07	0,03		
	J4	0,07	0,02	0,00	0,00	0,07	0,03		
J4	J1	0,02	0,01	0,02	0,01	—	—		
	J2	0,03	0,01	0,03	0,01	—	—		
	J3	0,57	0,20	0,65	0,23	—	—		
	J4	0,03	0,01	0,04	0,02	0,01	—		
— rozd. 220 kV	j1	J1	0,02	0,01	0,35	0,25	0,33	0,24	
		J2	0,02	0,02	0,35	0,25	0,33	0,24	
		J3	—	—	0,37	0,26	0,33	0,24	
		J4	0,40	0,32	0,03	0,01	0,24	0,22	
Skawina	j1	J1	0,30	0,07	0,22	0,06	0,10	0,03	
		J2	0,10	0,03	0,05	0,01	0,10	0,03	
		J3	0,09	0,02	0,04	0,01	0,09	0,02	
		J4	0,10	0,03	0,02	0,01	0,10	0,03	
	j2	J1	0,06	0,05	0,04	0,03	0,04	0,03	
		J2	0,23	0,17	0,20	0,14	0,06	0,04	
		J3	0,03	0,02	0,04	0,03	0,04	0,03	
		J4	0,06	0,04	0,03	0,02	0,06	0,04	
	j4	J1	0,01	0,01	0,04	0,02	0,04	0,03	
		J2	0,01	0,01	0,04	0,02	0,04	0,03	
		J3	0,01	0,01	0,04	0,02	0,04	0,03	
		J4	0,18	0,12	0,03	0,02	0,20	0,13	
S1	S1	0,35	0,12	0,31	0,10	0,07	0,02		
	S4	0,07	0,03	0,02	0,01	0,07	0,02		

Uwaga — jak do tabeli 1.

Analiza wyników pomiarów

Wpływ miejsca wystąpienia zwarcia doziemnego na napięcia uziomowe

Wykonane pomiary potwierdzają wcześniejsze spostrzeżenia [3, 4], że potencjał uziomu, zwłaszcza uziomu rozległego, pomimo jego metalicznej ciągłości, nie jest taki sam na całym jego obszarze.

O tej zależności pomiędzy wartością napięcia uziomowego i miejscem wystąpienia zwarcia doziemnego na stacji (rozdzielni) elektroenergetycznej świadczą przykładowe wyniki pomiarów, które zestawiono w tabeli 1.

Wpływ miejsca wystąpienia zwarcia doziemnego na napięcie uziomowe rozpatrywanego stanowiska pomiarowego przedstawiono również w tabeli 3, poprzez wyrażenie napięć uziomowych towarzyszących zwarciom w różnych miejscach układu uziomowego w procentach napięcia uziomowego, występującego podczas zwarcia przy rozpatrywanym stanowisku pomiarowym.

Z danych tych wynika, że usytuowanie miejsca zwarcia w stosunku do rozpatrywanego obszaru układu uziomowego znacząco wpływa na wartość napięcia uziomowego tego obszaru.

Napięcie uziomowe rozpatrywanego miejsca układu uziomowego, w przypadku wystąpienia zwarcia doziemnego

w odległości 100 m od tego miejsca, może być mniejsze o 20–60% od napięcia uziomowego, które występuje przy zwarcu w tym rozpatrywanym miejscu.

Wpływ miejsca wystąpienia zwarcia doziemnego na napięcia dotykowe

Wartość napięcia dotykowego (spodziewanego, rażeniowego) zależy od wielu czynników, m.in. od konfiguracji elementów układu uziomowego, wartości prądu zwarcia doziemnego, charakteru podłoża i jego warunków wilgotnościowych [2–9]. Ale w znaczący sposób na wartość tego napięcia wpływa również usytuowanie miejsca zwarcia w stosunku do stanowiska, na którym to napięcie dotykowe występuje (jest wyznaczane), na co zwraca się uwagę jedynie w nielicznych publikacjach [3, 4].

Kształtowanie się napięć dotykowych w zależności od usytuowania miejsca zwarcia w stosunku do stanowiska, w którym wyznaczane (mierzone) jest napięcie dotykowe, prezentują wyniki pomiarów zestawione w tabeli 2.

W celu zobrazowania stopnia wpływu miejsca wystąpienia zwarcia, w stosunku do rozpatrywanego obszaru układu uziomowego, na wartość napięć dotykowych, w tabeli 4 zestawiono wartości napięć dotykowych spodziewanych U_{ST} .

Tabela 3

Wpływ miejsca wystąpienia zwarcia doziemnego na napięcie uziomowe U_E układu uziomowego

Obiekt	Stanowisko pomiarowe	Miejsce modelowanego zwarcia	Odległość miejsca zwarcia od stanowiska pomiarowego, m	Napięcie U_E , V	Wartość U_E w % napięcia występującego przy zwarcu na stanowisku pomiarowym
Tarnów	T1	T1	0	2,53	100
		T3	~ 105	2,09	83
		T5	~ 211	0,68	27
	T3	T3	0	2,71	100
		T1	~ 105	1,67	62
		T5	0	4,96	100
	T5	T3	~ 119	1,90	38
		T1	~ 211	1,46	29
		J1	J1	0	11,30
Joachimów – rozdz. 400 kV	J4	J4	~ 118	5,45	48
		J4	0	7,56	100
	J1	J1	~ 118	2,09	28

Uwaga – jak do tabeli 1.

Tabela 4

Wpływ miejsca wystąpienia zwarcia doziemnego na napięcie spodziewane U_{ST}

Obiekt	Stanowisko pomiarowe	Miejsce modelowanego zwarcia	Odległość miejsca zwarcia od stanowiska pomiarowego, m	Napięcie U_{ST} , V	Wartość U_{ST} w % napięcia występującego przy zwarcu na stanowisku pomiarowym	
Tarnów	T1	T1	0	0,78	100	
		T2	~ 69	0,28	36	
		T3	~ 105	0,27	35	
	T2	T5	~ 211	0,16	21	
		T2	0	0,99	100	
		T3	~ 58	0,19	19	
	T5	T5	~ 177	0,21	21	
		J1	J1	0	0,88	100
			J2	~ 65	0,27	31
Joachimów – rozdz. 400 kV	J2	J2	0	0,30	100	
		J1	~ 65	0,15	50	
	j1	j1	0	0,30	100	
– rozdz. 220 kV	j2	j2	~ 60	0,10	33	
		j2	0	0,23	100	
	j1	j1	~ 60	0,06	26	
Skawina	S1	S1	0	0,35	100	
		S4	~ 380	0,07	20	

Uwaga – jak do tabeli 1.

Napięcia te zmierzono w kilku miejscach badanych obiektów, przy różnych usytuowaniach modelowanego zwarcia w stosunku do rozpatrywanego stanowiska, przy czym przedstawiono je w postaci wartości procentowych napięcia dotykowego występującego przy zwarcu na rozpatrywanym stanowisku pomiarowym.

Z otrzymanych przeliczeń wynika, że oddalenie miejsca zwarcia doziemnego od rozpatrywanego stanowiska pomiarowego powoduje znaczne obniżenie napięcia dotykowego w stosunku do napięcia, jakie wystąpiłoby przy zwarcu na tym stanowisku pomiarowym.

Podobny do zobrazowanego w tabeli 4 wpływ miejsca wystąpienia zwarcia, w stosunku do rozpatrywanego obszaru układu uzimowego, na napięcia dotykowe (spodziewane, rażeniowe) występuje w przypadku wszystkich stanowisk pomiarowych napięć dotykowych, na wszystkich przebadanych obiektach elektroenergetycznych (tab. 2).

Generowanie napięć dotykowych i napięć uzimowych przez prądy zwarcia zamykające się w obrębie układu uzimowego

Powszechnie panuje przekonanie, że napięcia dotykowe generowane są wyłącznie przez „prąd uzimowy”³¹, a więc przez prąd zwarcia odpływający poprzez ziemię z układu uzimowego do punktów gwiazdowych transformatorów (autotransformatorów) zlokalizowanych poza terenem rozpatrywanego układu uzimowego.

Na te napięcia wpływają jednak również prądy zwarcia zamykające się w obrębie układu uzimowego.

³¹ Definicja prądu uzimowego wg [2]: „2.7.15.3 **prąd uzimowy**: prąd uzimowy jest prądem płynącym do ziemi przez impedancję układu uzimowego [uwaga: prąd uzimowy jest częścią prądu zwarcia doziemnego I_p]”.

Ten wpływ powinien być uwzględniany podczas dokonywania oceny zagrożenia porażeniowego w obszarach rozległych układów uziemiających [3, 4].

Wypada nadmienić, że dotychczas nie spotkano się z przypadkiem, aby ktokolwiek – poza *ZPBE Energopomiar-Elektryka* – uwzględniał podczas badań wpływ prądów zwarciovych zamykających się w obrębie układu uzimowego na napięcia dotykowe, a tym samym na poziom zagrożenia porażeniowego.

Z danych zwarciovych otrzymywanych od odpowiednich służb PSE i zakładów dystrybucyjnych wynika, że udziały punktów gwiazdowych transformatorów (autotransformatorów) sprzęgających rozdzielnie 400 kV, 220 kV, 110 kV, osiągają wielokrotnie znaczne wartości, często kilka tysięcy amperów.

Prądy te płynąc w obrębie układu uzimowego, pomimo obejmowania całego obszaru stacji przez wspólny układ uzimowy, wywołują zarówno napięcia uzimowe jak i dotykowe.

W tabeli 5 zestawiono wyniki kilku wykonanych pomiarów napięć dotykowych spodziewanych, wyrażając napięcie wymuszone prądem płynącym w obwodzie „R-TR” jako wartość procentową napięcia wymuszonego prądem obwodu „R-Z”.

Wyniki pomiarów dowodzą, że prądy zwarcia zamykające się w obrębie układu uzimowego mogą generować napięcia dotykowe (spodziewane i rażeniowe) o podobnych wartościach jak prądy odpływające z układu uzimowego do punktów gwiazdowych transformatorów (autotransformatorów) zlokalizowanych poza badanym obiektem, jeżeli tylko miejsca, pomiędzy którymi prąd zamyka się w obrębie układu uzimowego, są odpowiednio od siebie oddalone.

W tabeli 6 przytoczono niektóre wyniki pomiarów, które świadczą o tym, że podobne zjawisko obserwuje się również w przypadku napięć uzimowych.

Tabela 5

Napięcia dotykowe spodziewane U_{ST} wymuszone prądami płynącymi w obwodach R-Z oraz R-TR (napięcia przeliczone na prąd 100 A)

Obiekt	Stanowisko pomiarowe	Odległość miejsca pomiaru od TR, m	Napięcie U_{ST} , V przy prądzie płynącym w obwodzie		Napięcie U_{ST} przy prądzie R-TR w % napięcia przy prądzie R-Z
			R-Z	R-TR	
Tarnów	T1	~ 210	0,78	0,79	101
	T2	~ 180	0,99	1,02	103
	T3	~ 120	0,41	0,39	95
	T4	~ 60	1,06	0,44	42
Joachimów – rozd. 400 kV	J1	~ 220	0,88	0,73	83
	J2	~ 150	0,30	0,26	87
– rozd. 220 kV	j1	~ 130	0,30	0,22	73
	j2	~ 70	0,23	0,20	87

Uwaga – jak do tabeli 1.

Napięcia uziomowe U_E wymuszone prądami płynącymi w obwodach R-Z oraz R-TR
(napięcia przeliczone na prąd 100 A)

Obiekt	Stanowisko pomiarowe	Odległość miejsca pomiaru od TR, m	Napięcie U_E , V przy prądzie płynącym w obwodzie		Napięcie U_E przy prądzie R-TR w % napięcia przy prądzie R-Z
			R-Z	R-TR	
Tarnów	T1	~ 210	2,53	1,70	67
	T3	~ 120	2,71	1,98	73
Joachimów – rozd. 400 kV	J1	~ 220	11,3	6,37	56
– rozd. 220 kV	j2	~ 70	3,87	1,53	40

Uwaga – jak do tabeli 1.

Podsumowanie

Przedstawione w artykule zależności pomiędzy miejscem modelowanego (rzeczywistego) zwarcia doziemnego a wartościami napięć uziomowych i napięć dotykowych (spodziewanych i rażeniowych), występujących na obszarach rozległych układów uziomowych, uwzględniane są od wielu lat w procedurach badawczych przez *ZPBE Energopomiar-Elektryka* podczas badań poziomu zagrożenia porażeniowego w instalacjach o napięciu wyższym niż 1 kV. Podczas tych badań uwzględniane jest również generowanie napięć dotykowych przez tę część prądu zwarcia, która zamyka się na terenie badanego obiektu elektroenergetycznego między miejscem zwarcia a punktami gwiazdowymi transformatorów (autotransformatorów) na terenie tego obiektu.

Pomiary zagrożenia porażeniowego, szczególnie w przypadku badań rozległych układów uziomowych, muszą być wykonywane przez doświadczony zespół specjalistyczny, które powinny między innymi stosować pomiarowe obwody prądowe zapewniające rozpięty prądu możliwie zbliżone do rozpiętych prądu rzeczywistego zwarcia oraz:

- ◆ uwzględniać przy pomiarze napięcia uziomowego, a zwłaszcza przy pomiarach napięć dotykowych, wpływ usytuowania miejsca modelowanego zwarcia doziemnego na mierzone napięcia;
- ◆ uwzględniać generowanie napięć dotykowych przez składowe prądu zwarcia doziemnego zamykające się w obrębie badanego układu uziomowego.

Nieuwzględnienie powyższych zaleceń może powodować znaczące błędy, a w konsekwencji doprowadzić do niewłaściwej oceny poziomu zagrożenia porażeniowego występującego w obszarze badanego obiektu elektroenergetycznego.

LITERATURA

- [1] Rozporządzenie Ministra Przemysłu z 8 października 1990 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać urządzenia elektroenergetyczne w zakresie ochrony przeciwporażeniowej. Załącznik 2: Warunki techniczne, jakim powinny odpowiadać urządzenia elektroenergetyczne o napięciu znamionowym wyższym niż 1 kV w zakresie ochrony przeciwporażeniowej dodatkowej. Dz. U. nr 81 z 26 listopada 1990 r. (anulowane z dniem 1 kwietnia 1995 r.)
- [2] PN-E-05115:2002. Instalacje elektroenergetyczne prądu przemiennego o napięciu wyższym od 1 kV
- [3] Groszko M., Olechowski T., Sikorski J., Szpak S.: Oddziaływanie napowietrznych linii oraz stacji elektroenergetycznych wysokiego napięcia na ludzi i środowisko. Biuletyn *ZPBE Energopomiar. Energetyka* 1997, nr 8
- [4] Sikorski J., Szpak S.: Ocena zagrożenia porażeniowego w rejonie rozdzielni i stacji wysokiego napięcia, zwłaszcza o napięciu od 110 kV wzwyż. Biuletyn *ZPBE Energopomiar. Energetyka* 2001, nr 10
- [5] Sikorski J., Szpak S., Wojciechowski A.: Kształtowanie się napięć uziomowych uziomu rozległej stacji elektroenergetycznej najwyższych napięć oraz napięć dotykowych w zależności od miejsca wystąpienia zwarcia doziemnego i od prądów zwarcia zamykających się w obrębie stacji. Referat na XIV Konferencję ELSAF-2003. Wrocław, wrzesień 2003
- [6] Danielski L., Jabłoński W.: Zasady wykonywania badań ochrony przeciwporażeniowej i pomiary rezystancji uziemień w urządzeniach wysokiego napięcia. *Biuletyn SEP – INPE*, nr 41, wrzesień-październik 2001
- [7] Danielski L., Jabłoński W.: Pomiary napięć uziomowych, dotykowych, krokowych i napięć rażeniowych w urządzeniach wysokiego napięcia. *Biuletyn SEP – INPE*, nr 41, wrzesień-październik 2001
- [8] Koształuk R.: Doświadczenia wielu lat badań uziemień. *Biuletyn SEP – INPE*, nr 47, wrzesień-październik 2002 r.
- [9] Anderson E.: Ocena zagrożenia porażeniowego ludzi w aspekcie wymagań przepisów Unii Europejskiej. Koncepcja jej uproszczenia. *Biuletyn SEP – INPE*, nr 48, listopad-grudzień 2002



ZPBE ENERGOPOMIAR Sp z o.o., ul Sowińskiego 3, skr. poczt. 402, 44-101 Gliwice
tel. (032) 237 62 08, fax (032) 231 65 42, e-mail: sekretariat@energopomiar.com.pl