

doi:10.15199/48.2024.04.03

Analiza rozptyłu prądów w przewodach odgromowych wielotorowych, wielonapięciowych linii napowietrznych wysokich i najwyższych napięć – część 2

Streszczenie. W artykule przedstawiono wyniki rozszerzonych analiz rozptyłów prądów w przewodach odgromowych linii wielotorowych na modelu przedstawionym w części 1 tego artykułu. Dokonano analizy zróżnicowania prądów w przewodzie odgromowym w zależności od fazy toru, w którym wystąpiło zwarcie. Pokazano również wpływ zamkniętych sprzęgieł na końcach linii wielotorowych, w których występują tory prądowe o takich samych napięciach znamionowych. Przedstawione wyniki pokazują konieczność obliczania prądów w przewodach odgromowych dla zwarc występujących we wszystkich fazach i torach linii wielotorowej.

Abstract. The article presents the results of extended analyses of current flows in lightning conductors of multi-circuit lines on the model presented in part 1 of this article. An analysis of the differentiation of currents in the lightning conductors depending on the phase of the circuit in which the short-circuit occurred was carried out. The influence of closed couplings at the ends of the multi-circuit lines, in which there are circuits with the same rated voltages, is also shown. The presented results show the need to calculate the currents in lightning conductors for short-circuits occurring in all phases and circuits of multi-circuit line. (*Analysis of the flow of currents in lightning conductors of the multi-circuit, multi-voltage high and highest voltage overhead lines – part 2*)

Słowa kluczowe: napowietrzne linie wielotorowe, rozptył prądu zwarcowego, przewody odgromowe, dobór przewodów odgromowych
Keywords: multi-circuit overhead lines, short-circuit current flow, lightning conductors, selection of ground wires.

Wprowadzenie

W części pierwszej artykułu [1] przedstawiono uniwersalny model wyznaczania prądów w przewodach odgromowych dla różnych linii napowietrznych, w tym linii wielotorowych i o różnych napięciach znamionowych. Skupiono się przy tym na prezentacji podstawowych cech rozptyłów prądów w przewodach odgromowych. W celu dokładniejszego przyjrzenia się właściwościom tego rozptyłu w liniach o rozbudowanej strukturze, jakimi są linie wielotorowe - w tym wielonapięciowe - w ramach dalszych prac wykonano szereg kolejnych analiz. Obejmują one zbadanie wpływu położenia przewodu fazowego objętego zwarcie na przepływy prądów w przewodach odgromowych oraz wpływu przepływu prądów zwarcowych także w innych przewodach linii, nie tylko w tym objętym zwarcie. Taka sytuacja występuje zawsze w przewodach linii trójfazowej, wówczas przy zwarcie doziemnym jednej fazy w pozostałych fazach płyną prądy zależne od stosunku Z_0/Z_1 obwodu zawierającego badaną linię. W liniach wielotorowych sytuacja ta jeszcze pogłębia się, gdy tory badanej linii wielotorowej kończą się w tej samej stacji i przyłączone są do tego samego systemu szyn, lub do szyn połączonych sprzęgłem - wtedy prąd zwarcia rozptyla się obydwoma torami linii.

Wpływ wyboru fazy zwartej na prądy w przewodach odgromowych

W liniach o dużej niesymetrii geometrycznej, a do takich należą linie wielotorowe, szczególnie wielonapięciowe, co wykazano w [2], prądy zwarcia jednofazowego mogą się różnić między sobą w zależności od fazy, w której wystąpiło zwarcie. Dodatkowo różne odległości tych przewodów od przewodów odgromowych skutkują innym rozptyłem prądu zwarcowego w układzie uziemiającym [1]. W przypadku występowania dwóch przewodów odgromowych, a taka sytuacja występuje zawsze w liniach wielotorowych, pojawia się różnica prądów w tych przewodach, która zależy głównie od stosunku odległości przewodów odgromowych do przewodu na którym wystąpiło zwarcie jednofazowe oraz od wartości prądu tego zwarcia [1]. Wszystko to powoduje, że rozptył prądu w przewodach

odgromowych jest skomplikowaną kombinacją tych czynników.

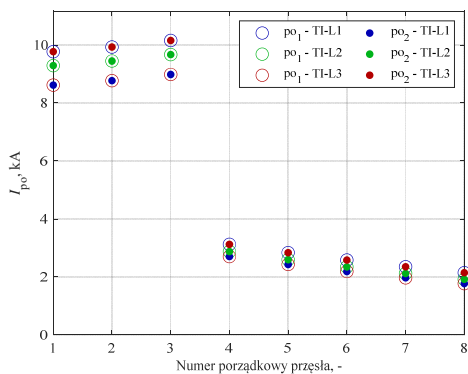
Analizy, podobnie jak w [1], przeprowadzono dla trzech sylwetek linii trójtorowych: a) – linia dwunapięciowa $2 \times 400 + 220$ kV, b) – linia dwunapięciowa $400 + 2 \times 110$ kV oraz c) – linia trójnapięciowa $400 + 220 + 110$ kV. Aby lepiej zobrazować wpływ poszczególnych elementów na różnice w prądach przewodów odgromowych, wykonano analizę ich rozptyłu przy założeniu jednakowych prądów zwarcia dopływających do słupa, na którym to zwarcie wystąpiło, niezależnie od poziomu napięcia badanego toru objętego zwarcie. Następnie wykonano analizę w układach z badanymi liniami, dla których wyniki przedstawiono w części 1 artykułu [1], tj. przy przyjęciu takich mocy zwarcowych na końcach linii, aby prąd zwarcia był jednakowy w każdym torze, niezależnie od poziomu napięcia (20 kA). W tym przypadku prądy zwarcia dopływające do miejsca zwarcia na wybranym słupie nie są już jednakowe ze względu na różne impedancje dla poszczególnych torów wynikające z ich napięcia i budowy, a także z faktu niesymetrii geometrycznej linii powodującej różnice w prądach zwarcia jednofazowego na poszczególnych fazach, nawet tego samego toru [2].

Wyniki dla kilku pręseł sąsiadujących z miejscem zwarcia przedstawiono w tabeli 1. Można zauważyć, że różnice w modułach prądów (co nie jest równoznaczne z różnicą obliczoną wg wzoru (14) w [1] – wartości zespolone) w pręsełach są bardzo podobne dla pręseł 'poprzedzających' miejsce zwarcia oraz dla pręseł 'za' miejscem zwarcia. Jak podano w [1], przepływy prądów w pręsełach najbliższych miejscu zwarcia mają decydujący wpływ na dobór przekroju tych przewodów, stąd różnica w ich wartościach ma znaczący wpływ na ich dobór.

Wyniki dla 'unormowanych' do jednej wartości prądu zwarcia przepływów gałęziowych są, ze względu na liniowość modelu, przeskalowaniem wyników dla różnych, rzeczywistych przepływów prądów zwarcia, w prostej proporcji. Istotny jednak jest wniosek, że maksymalne zróżnicowanie prądów w poszczególnych przewodach odgromowych występują dla zwarc w fazach położonych najbliższej tych przewodów.

Tabela 1. Prądy w przęsłach przyległych do miejsca zwarcia dla trzech linii trójtorowych, wielonapięciowych przedstawionych w [1] – rys. 6

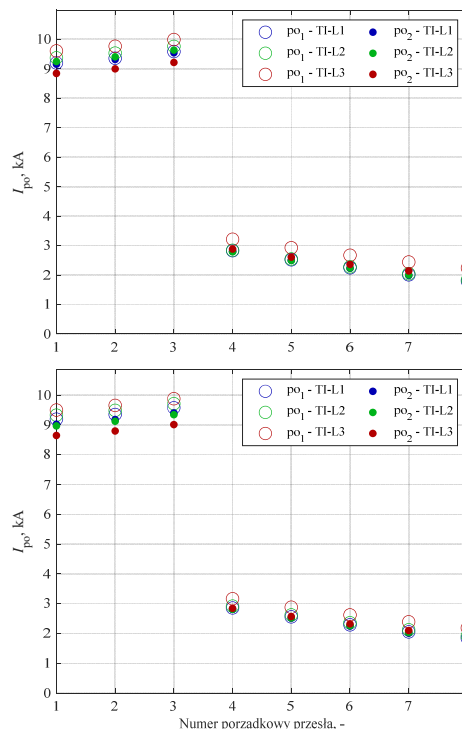
Miejsce zwarcia	Linia a)				Linia b)				Linia c)			
	Jednakowe prądy		Różne prądy		Jednakowe prądy		Różne prądy		Jednakowe prądy		Różne prądy	
	po ₁	po ₂	po ₁	po ₂	po ₁	po ₂	po ₁	po ₂	po ₁	po ₂	po ₁	po ₂
T1-L1	10,36	9,15	9,93	8,77	9,81	9,76	9,36	9,31	9,80	9,62	9,35	9,18
	10,60	9,37	10,16	8,98	10,04	10,00	9,58	9,54	10,03	9,85	9,57	9,40
	3,26	2,82	3,12	2,70	2,96	2,94	2,83	2,80	2,99	2,95	2,86	2,81
	2,96	2,53	2,84	2,43	2,64	2,62	2,52	2,50	2,68	2,63	2,56	2,51
T1-L2	9,86	9,86	9,45	9,45	9,96	9,83	9,53	9,41	9,92	9,54	9,49	9,12
	10,09	10,09	9,67	9,67	10,20	10,07	9,76	9,63	10,16	9,77	9,71	9,34
	3,00	3,00	2,87	2,87	2,97	2,92	2,84	2,79	3,05	2,94	2,92	2,81
	2,71	2,71	2,60	2,60	2,66	2,61	2,55	2,50	2,74	2,64	2,62	2,52
T1-L3	9,15	10,36	8,77	9,93	10,14	9,35	9,76	9,00	10,06	9,17	9,65	8,80
	9,37	10,60	8,98	10,16	10,38	9,57	9,99	9,21	10,29	9,39	9,88	9,01
	2,82	3,26	2,70	3,12	3,34	2,99	3,21	2,88	3,30	2,96	3,17	2,84
	2,53	2,96	2,43	2,84	3,04	2,71	2,93	2,61	3,00	2,68	2,88	2,57
T2-L1	9,60	10,15	9,17	9,70	8,25	8,40	6,80	6,92	8,63	8,78	7,78	7,91
	9,83	10,39	9,39	9,92	8,45	8,59	6,96	7,08	8,84	8,99	7,97	8,10
	2,85	3,00	2,72	2,87	2,17	2,18	1,79	1,79	2,48	2,50	2,23	2,25
	2,55	2,70	2,43	2,58	1,92	1,93	1,58	1,59	2,20	2,22	1,99	2,00
T2-L2	10,00	10,00	9,55	9,55	8,23	8,53	6,82	7,08	8,58	8,88	7,76	8,03
	10,24	10,24	9,78	9,78	8,42	8,73	6,99	7,24	8,78	9,09	7,95	8,22
	2,89	2,89	2,76	2,76	2,11	2,13	1,75	1,76	2,43	2,47	2,20	2,24
	2,59	2,59	2,48	2,48	1,87	1,89	1,55	1,57	2,17	2,21	1,96	2,00
T2-L3	10,15	9,60	9,70	9,17	8,00	8,88	6,71	7,44	8,30	9,16	7,55	8,33
	10,39	9,83	9,92	9,39	8,19	9,08	6,87	7,61	8,50	9,37	7,73	8,52
	3,00	2,85	2,87	2,72	2,02	2,09	1,70	1,75	2,37	2,53	2,16	2,30
	2,70	2,55	2,58	2,43	1,80	1,86	1,51	1,56	2,12	2,27	1,93	2,07
T3-L1	8,83	8,54	7,96	7,70	8,13	8,17	6,64	6,67	8,11	8,19	6,59	6,65
	9,04	8,75	8,15	7,89	8,33	8,37	6,80	6,83	8,30	8,38	6,75	6,82
	2,48	2,44	2,24	2,20	2,30	2,30	1,88	1,88	2,33	2,34	1,89	1,90
	2,21	2,17	1,99	1,96	2,04	2,04	1,66	1,66	2,07	2,07	1,68	1,68
T3-L2	8,74	8,74	7,88	7,88	8,19	8,25	6,70	6,74	8,14	8,17	6,62	6,65
	8,95	8,95	8,07	8,07	8,39	8,44	6,86	6,90	8,33	8,37	6,78	6,81
	2,45	2,45	2,20	2,20	2,26	2,27	1,85	1,85	2,33	2,33	1,89	1,89
	2,18	2,18	1,96	1,96	2,00	2,01	1,64	1,64	2,06	2,07	1,68	1,68
T3-L3	8,54	8,83	7,70	7,96	8,23	8,31	6,75	6,82	8,15	8,22	6,63	6,69
	8,75	9,04	7,89	8,15	8,43	8,51	6,91	6,98	8,35	8,41	6,79	6,85
	2,44	2,48	2,20	2,24	2,22	2,22	1,82	1,82	2,31	2,31	1,88	1,88
	2,17	2,21	1,96	1,99	1,96	1,97	1,61	1,61	2,05	2,05	1,67	1,67



Rys.1. Prądy w przewodach odgromowych linii a), dla których występują największe różnice ich wartości

Ilustracją wyników zawartych w tabeli 1 są rysunki 1÷3, na których przedstawiono zależności rozplywu prądu zwarciego w przewodach odgromowych dla zwarc w poszczególnych fazach tego samego toru. Do prezentacji wybrano za każdym razem te tory badanych linii, w których różnice w prądach płynących w przewodach odgromowych były największe. Zatem na rysunkach 1÷3 ograniczono się do przedstawienia ośmiu najbliższych przęseł w pobliżu analizowanego zwarcia, które każdorazowo modelowano na zwartym słupie badanych linii wielotorowych.

Sposób numeracji przęseł oraz oznaczenia torów i układów faz badanych linii przedstawiono kolejno na rysunkach 1 i 6 części 1 artykułu [1].

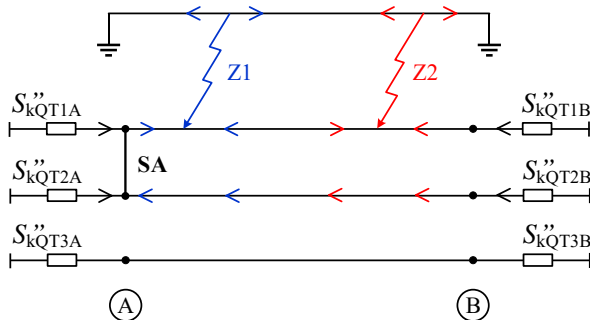


Rys.3. Prądy w przewodach odgromowych linii c), dla których występują największe różnice ich wartości

Wpływ sprzęgieł na końcach torów o jednakowych napięciach znamionowych

Do tej pory wszystkie analizy rozplywu prądów w przewodach odgromowych prowadzone były w układach,

w których torzy zasilane były z niezależnych systemów zastępczych oraz w żadnym punkcie torzy te nie były łączone ze sobą. W takim przypadku prądy zwarcia płynęły wyłącznie w fazie objętej zwarcie w jednym torze. W pozostałych fazach pojawiały się prądy indukowane, wynikające z niesymetrii układu, które były znacznie mniejsze niż prądy w fazie zwartej. W przypadku, gdy dwa torzy z danej linii mają identyczne napięcia znamionowe mogą być połączone na jednym lub obu końcach badanej linii. Skutkuje to przede wszystkim zwiększeniem mocy zwarciowej w zwartym węźle (podwojenie tej mocy w badanych układach). Ponadto w omawianym przypadku, dodatkowo również w przewodzie II toru płynie udział prądu zwarciowego. Zatem na przepływy w przewodzie odgromowym mają wpływ dwa prądy o znaczących wartościach, co pokazano schematycznie na rysunku 4.



Rys.4. Rozpływ prądu zwarciowego w torach podczas zwarcia w pobliżu dwóch końców linii w przypadku wspólnego punktu dwóch torów na jednym z krańców linii trójtorowej

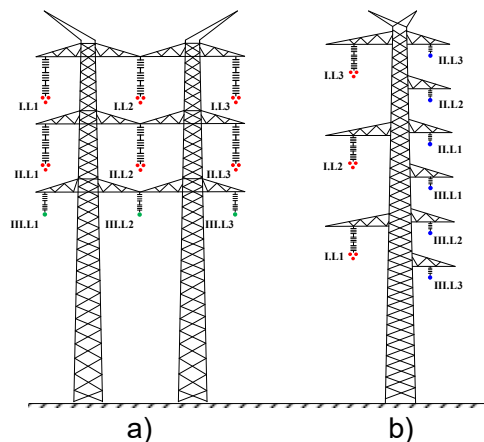
Ze względu na różne kierunki przepływów tych prądów zbadano ich wpływ na przepływy prądu w przewodach odgromowych dla dwóch miejsc zwarcia: blisko miejsca załączenia sprzęgła SA (punkt A) modelując zwarcie Z1 na słupie 4, oraz w tej samej odległości od drugiego końca linii, modelując zwarcie Z2 na słupie 197.

W przypadku zwarcia Z1 na prąd płynący w przewodzie odgromowym na odcinku obejmującym fragment linii od miejsca zwarcia do punktu A (gdzie jest zamknięte sprzęgło) mają wpływ: prąd płynący w tym odcinku w torze I, który w tym przypadku jest praktycznie dwukrotnie większy niż przy otwartym sprzęgle, oraz prąd płynący w drugim torze, który płynie w przeciwnym kierunku niż prąd w torze I. Można się więc spodziewać, że prąd II toru będzie zmniejszał prąd w przewodzie odgromowym. Prąd płynący w przewodzie odgromowym na odcinku od miejsca zwarcia do stacji B będzie natomiast powiększany w stosunku do prądu płynącego przy otwartym sprzęgle, gdyż prądy zwarcia w obu torach mają w tym przypadku jednakowy kierunek. Jednak wzrost ten nie powinien być duży, ponieważ prąd w torze II, ze względu na stosunkowo długą pętlę zwarcia dla tego prądu, będzie wyraźnie mniejszy. Dodatkowo prąd ten nie jest prądem kryterialnym dla doboru przewodu odgromowego. Inna sytuacja występuje w przypadku zwarcia Z2. Przy tak usytuowanym zwarcie prąd w przewodzie odgromowym będzie wzmacniany na odcinku do stacji B i zmniejszany na odcinku w kierunku stacji A.

W układzie z zamkniętym sprzęgłem istotne jest także jak względem siebie położone są przewody poszczególnych faz i torów. Przewody tej samej fazy mogą znajdować się w różnych miejscach względem siebie w różnych torach. Przykładowo dla linii a), charakteryzującej się poziomym układem prowadzenia torów, przewody fazy L1 torów 400 kV w układzie podstawowym (jak na rysunku 6 w [1]), patrząc na jej przekrój poprzeczny, znajdują się po przeciwnych stronach linii.

W praktyce wybór sposobu ułożenia przewodów fazowych w torach rzeczywistych linii wielotorowych jest dobierany indywidualnie w każdym przypadku w ten sposób, aby maksymalnie minimalizować skutki niesymetrii napięć w całym układzie sieciowym. Kompleksową analizę tego zagadnienia można znaleźć w [2].

Wyniki przeprowadzonych analiz przedstawiono w tabelach 2 i 3, odpowiednio dla linii a) oraz dla linii b). Przy czym na potrzeby niniejszej analizy zdecydowano się na odmienny układ faz niż ten przedstawiony na rysunku 6 w [1]. Układ zmieniony w przypadku linii a) polegał na zamianie w II torze faz skrajnych tj. fazy L1 i fazy L3 z sobą. Wówczas kolejność faz we wszystkich torach tej linii jest jednakowa patrząc od jej lewej strony, otrzymując kolejno układy: L1, L2 i L3. Dla linii b) zmiana polegała na zamianie miejscami faz L1 i L3 w dolnym torze 110 kV (tor III). Ostatecznie, otrzymano dla linii b) następujący układ przewodów – patrząc od góry w układzie 110 kV – L3, L2, L1, L1, L2, L3. Układy faz przyjęte do analizy przedstawia rysunek 5.



Rys.5. Zmienione układy przewodów fazowych analizowanych linii

Wyniki zaprezentowane w tabelach 2 i 3 pokazują, że wpływ zamkniętego sprzęgła jest dostrzegalny w torach, w których włączone jest sprzęgło. W torze trzecim praktycznie nie dostrzega się zmian w stosunku do pracy bez zamkniętego sprzęgła.

Dla zwarcia na słupie 4 (w pobliżu zamkniętego sprzęgła) obserwuje się zmniejszenie prądu w przewodzie odgromowym płynącego w stronę stacji A w stosunku do podwójnej mocy zwarciowej na tym końcu zasilającym. Jest to korzystne zjawisko, gdyż prąd ten jest prądem kryterialnym do doboru przekroju przewodu w drugim przęśle linii. Prąd w przeciwnym kierunku nieco wzrasta, jednak nie ma to znaczenia dla doboru przewodu odgromowego. Dla zwarcia na przeciwnym końcu (słup 197) zmiany są odwrotne tzn. w kierunku stacji B prąd wzrasta, jednak wzrost ten nie jest zbyt duży, przy czym aspekt ten należy mieć na uwadze przy doborze przekroju przewodu odgromowego.

W tabelach 2 i 3 można zauważyć również wpływ układu przewodów fazowych w poszczególnych torach na słupie. Wpływ ten jest różny, tzn. w niektórych przypadkach wzmacniający prąd w przewodach odgromowych, w innych przypadkach skutkujący zmniejszeniem tego prądu. Zatem obydwa rodzaje wpływu przewodów odgromowych mogą wystąpić w rzeczywistych układach sieciowych, ponieważ sposób ułożenia przewodów fazowych na konstrukcjach tego samego typu jest zazwyczaj różnorodny i optymalizowany z punktu widzenia asymetrii napięć w węzłach sieci, poziomowi hałasu czy też poziomemu natężeniu pola elektromagnetycznego.

Tabela 2. Prądy płynące przewodami odgromowymi w przęśłach przyległych do miejsca zwarcia dla linii a)

Miejsce zwarcia	Słup	Układ podstawowy rys. 6 w [1]		Układ zmieniony rys. 5	
		po ₁	po ₂	po ₁	po ₂
T1-L1	4	19,55	16,86	19,03	16,64
		5,36	5,09	5,39	4,86
	197	3,41	2,87	3,42	2,92
T1-L2	4	18,12	18,12	18,12	18,12
		5,09	5,09	5,09	5,09
	197	3,13	3,13	3,13	3,13
T1-L3	4	16,86	19,55	16,64	19,03
		5,09	5,36	4,86	5,39
	197	2,87	3,41	2,92	3,42
T2-L1	4	17,11	18,56	17,85	17,10
		5,57	5,34	5,61	5,09
	197	2,80	3,05	3,00	2,89
T2-L2	4	17,78	17,78	17,78	17,78
		5,32	5,32	5,32	5,32
	197	2,92	2,92	2,92	2,92
T2-L3	4	18,56	17,11	17,10	17,85
		5,34	5,57	5,09	5,61
	197	3,05	2,80	2,89	3,00
T3-L1	4	8,15	7,89	8,15	7,89
		2,24	2,20	2,24	2,20
	197	2,24	2,20	2,24	2,20
T3-L2	4	8,07	8,07	8,07	8,07
		2,21	2,21	2,21	2,21
	197	2,21	2,21	2,21	2,21
T3-L3	4	7,89	8,15	7,89	8,15
		2,20	2,24	2,20	2,24
	197	2,20	2,24	2,20	2,24

Podsumowanie

Wykonanie analizy rozptyłu prądów zwarcia w przewodach odgromowych jest istotnym elementem w procesie ich doboru. Istnieje wiele czynników wpływających na wartość prądu w przewodzie odgromowym. Najważniejszym, tj. o największym wpływie, jest wartość prądu zwarcia jednofazowego liczonego na kolejnych słupach linii. Nawet w najprostszych układach jednotorowych analiza wymaga uwagi, gdyż przyjmowane powszechnie zalecenie np. o wyborze do analizy przewodu fazowego najbardziej oddalonego od przewodu odgromowego nie zawsze jest słuszne.

Dla linii wielotorowych sprawa jeszcze bardziej się komplikuje, gdyż dodatkowo wpływ na prąd w przewodzie odgromowym ma układ prowadzenia torów na słupie, a nawet układ faz w poszczególnych torach. Dla linii wielonapięciowych może występować duże zróżnicowanie prądów zwarcia w torach o różnych napięciach znamionowych. Niekoniecznie wiąże się to zarazem z występowaniem większych prądów dla torów o wyższych napięciach znamionowych. Charakterystyczną cechą linii wielotorowych niesymetryzowanych (a symetryzacja takich linii jest praktycznie niemożliwa) jest fakt, że prądy zwarcia jednofazowego występujące w obrębie tego samego toru nie są takie same. Różnice mogą sięgać nawet około 10% co pokazano w [2]. Ten fakt dodatkowo utrudnia wybór fazy decydującej o doborze przekroju przewodu odgromowego.

Ze względu na skomplikowanie problemu autorzy artykułu proponują wykorzystanie dokładnej metody rozptyłowej do wyznaczenia pełnego rozptyłu prądów

Tabela 3. Prądy płynące przewodami odgromowymi w przęśłach przyległych do miejsca zwarcia dla linii b)

Miejsce zwarcia	Słup	Układ podstawowy rys. 6 w [1]		Układ zmieniony rys. 5	
		po ₁	po ₂	po ₁	po ₂
T1-L1	4	9,58	9,54	9,58	9,54
		2,83	2,81	2,83	2,81
	197	2,83	2,81	2,83	2,81
T1-L2	4	9,58	9,54	9,58	9,54
		2,84	2,79	2,84	2,79
	197	2,84	2,79	2,84	2,79
T1-L3	4	9,99	9,22	9,99	9,22
		3,21	2,88	3,21	2,88
	197	3,21	2,88	3,21	2,88
T2-L1	4	11,66	11,87	11,63	11,83
		2,97	2,98	2,97	2,98
	197	1,79	1,80	1,79	1,80
T2-L2	4	11,80	12,24	11,80	12,24
		2,90	2,92	2,90	2,92
	197	1,75	1,77	1,75	1,77
T2-L3	4	11,73	13,03	11,72	13,02
		2,81	2,87	2,81	2,86
	197	1,70	1,77	1,70	1,77
T3-L1	4	11,32	11,37	11,49	11,60
		3,15	3,16	3,04	3,05
	197	1,89	1,89	1,83	1,83
T3-L2	4	11,42	11,48	11,42	11,48
		3,13	3,14	3,13	3,14
	197	1,86	1,86	1,86	1,86
T3-L3	4	11,49	11,57	11,28	11,30
		3,11	3,16	3,21	3,26
	197	1,82	1,83	1,88	1,88

w takich układach. Jest to wniosek zgodny z prezentowanym w pracach [5, 6]. Model i sposób rozwiązania problemu pokazano w pierwszej części artykułu [1].

Autorzy: dr hab. inż. Henryk Kocot, prof. PŚ, E-mail: Henryk.Kocot@polsl.pl, dr inż. Agnieszka Dziendziel, E-mail: Agnieszka.Dziendziel@polsl.pl, Politechnika Śląska, Katedra Elektroenergetyki i Sterowania Układów, ul. Bolesława Krzywoustego 2, 44-100 Gliwice.

LITERATURA

- [1] Dziendziel A., Kocot H.: Analiza rozptyłu prądów w przewodach odgromowych wielotorowych, wielonapięciowych linii napowietrznych wysokich i najwyższych napięć – część 1. Przegląd Elektrotechniczny.
- [2] Dziendziel A.: Wielotorowe, wielonapięciowe elektroenergetyczne linie napowietrzne wysokich i najwyższych napięć. Rozprawa doktorska, Gliwice 2022.
- [3] Żmuda K.: Elektroenergetyczne układy przesyłowe i rozdzielcze. Wybrane zagadnienia z przykładami. Gliwice: Wydawnictwo Politechniki Śląskiej 2014.
- [4] Podręcznik użytkownika MeLiNet 2.1, IPC Sp. z o.o.; <https://www.ipcsc.pl/index.php/oprogramowanie/pobieranie/file/24-melinet> [dostęp: 31.08.2023], Gliwice, 2016.
- [5] Klucznik J. Obliczanie wartości prądów w przewodach odgromowych linii napowietrznych. Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, seria Monografie nr 162, Gdańsk 2017.
- [6] Nowak W., Szypra W., Tarko R., Benesz M.: Obliczenia prądów płynących w uziemieniach słupów w czasie zwarcia jednofazowych w liniach wysokiego napięcia. Przegląd Elektrotechniczny 6/2016.