

Ryszard FRĄCKOWIAK*
Piotr PIECHOCKI**

SKUTKI DYNAMICZNE W ROZDZIELNI DLA WARUNKÓW ZWARCIOWYCH W ŚRODKOWEJ CZĘŚCI ROZDZIELNI

Prezentowane zagadnienie jest kontynuacją badań w dotyczących oceny wartości czasu trwania zwarcia w obliczeniach skutków zwarciovych metodą probabilistyczną. W artykule przedstawiono rozbudowany model rozdzielni do symulacyjnej analizy warunków zwarciovych i skutków dynamicznych w środkowej części szyn zbiorczych. W modelu uwzględniono rozptyw prądów zwarciovych w rozdzielni oraz działanie elektroenergetycznej automatyki zabezpieczeniowej EAZ i wyłączników w rozdzielniach najwyższych napięć podczas zwarć w systemie elektroenergetycznym. Przedstawiono wyniki badań symulacyjnych, mających na celu oszacowanie częstości występowania określonych wartości prądu zwarciovego, czasu trwania zwarcia oraz sił dynamicznych. Obliczenia wykonano dla różnych konfiguracji układu EAZ.

SŁOWA KLUCZOWE: rozdzielnie najwyższych napięć, dynamiczne skutki zwarciovowe, symulacja

1. WSTĘP

Prezentowane wyniki prac dotyczą oceny dynamicznych skutków zwarciovych w rozdzielniach najwyższych napięć z szynami giętkimi przy wykorzystaniu metod probabilistycznych. Dotychczasowe prace autorów dotyczyły badania wpływu zwarć na skutki dynamiczne w skrajnym prześle rozdzielni. Przyjęto wówczas założenie, że cały prąd zwarciovowy praktycznie płynie z jednej strony przyjętego punktu oceny warunków zwarciovych. W kolejnym etapie badań skoncentrowano się na skutkach dynamicznych w prześle położonym w środkowej części szyn zbiorczych. W tym celu rozbudowano model symulacyjny, w którym uwzględniono rozptyw prądów zwarciovych w rozdzielni oraz działanie elektroenergetycznej automatyki zabezpieczeniowej EAZ i wyłączników w rozdzielniach najwyższych napięć podczas zwarć w systemie elektroenergetycznym. W modelu czasu trwania zwarcia opartym na analizie działania elektroenergetycznej automatyki

* Politechnika Poznańska.

** Polskie Sieci Elektroenergetyczne – Zachód S.A.

zabezpieczeniowej EAZ i wyłączników w rozdzielniach najwyższych napięć podczas zwarć, przewiduje się uwzględnienie działania zabezpieczenia różnicowego szyn zbiorczych, zabezpieczeń odległościowych, zabezpieczeń ziemnozwarciowych oraz odcinkowych, a także automatyki SPZ oraz układu LRW. Przedstawiono wyniki badań testujących, mających na celu oszacowanie częstości występowania określonych wartości prądu zwarciovego, czasu trwania zwarcia oraz sił dynamicznych. Obliczenia wykonano dla różnych konfiguracji układu EAZ.

2. MODEL SYMULACYJNY PRZYJĘTE ZAŁOŻENIA

2.1. Model czasu trwania zwarcia

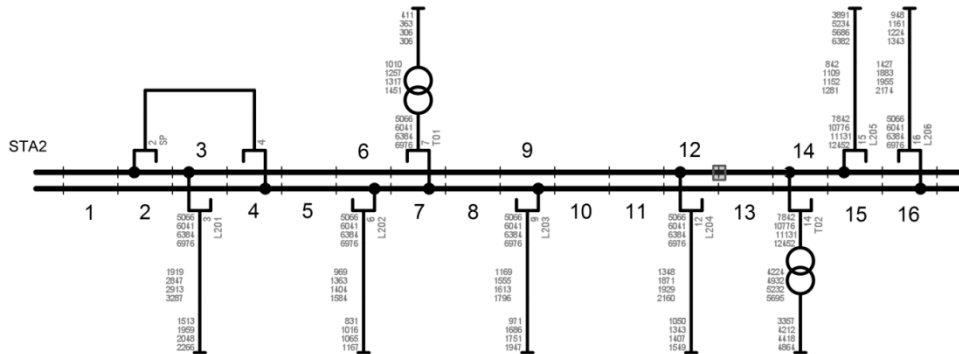
Podstawę do określania czasu trwania zwarcia w obliczeniach skutków zwarciovych stanowi analiza wartości czasu działania układu EAZ i wyłączników likwidujących zakłócenia w rozdzielni. Ogólną zasadę wyznaczania wartości T_k na drodze symulacji Monte Carlo w postaci kolejnych etapów bliżej omówiono w pracy [1]. Szczegółowe wymagania dotyczące instalowanych zabezpieczeń w polach rozdzielni WN i NN i elementów automatyki elektroenergetycznej podaje Instrukcja Ruchu i Eksploatacji Sieci Przesyłowej (IRiESP) [2].

Schemat fragmentu systemu zawierający badaną rozdzielnię 220 kV przedstawiono w pracy [3]. Działanie zabezpieczeń podczas zwarć na liniach i w rozdzielni oraz zasadę budowy programu komputerowego do wyznaczenia czasu trwania takich zwarć omówiono w pracy [3, 4].

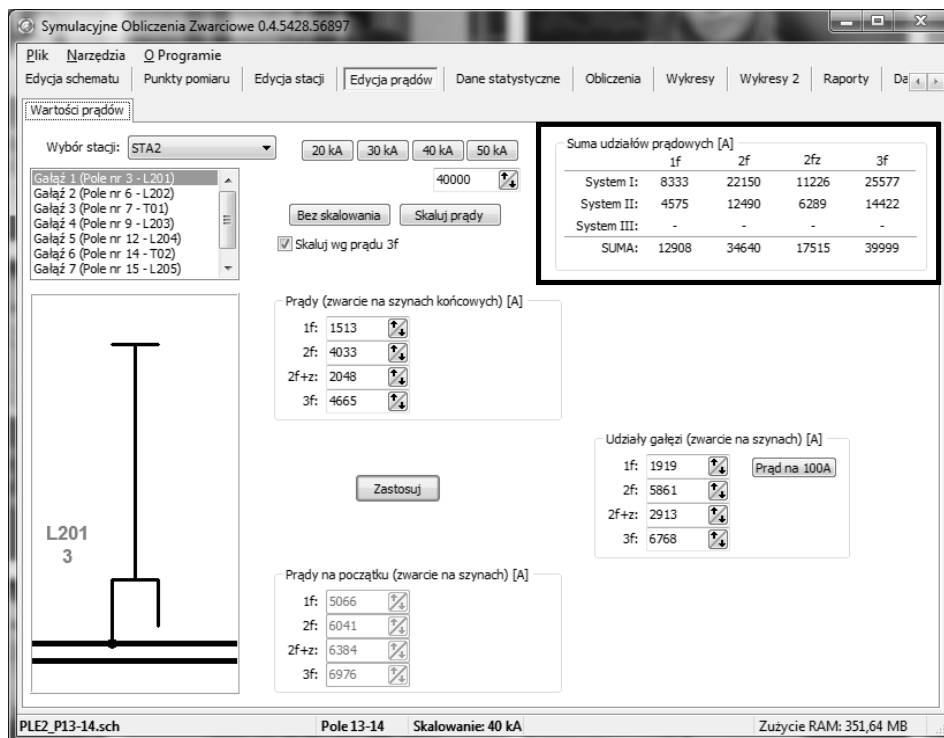
2.2. Model rozdzielni

Na rysunku 1 przedstawiono schemat rozdzielni (widok z okna programu komputerowego), na którym zaznaczono punktu obserwacji warunków zwarciovych na systemie szyn nr 1 pomiędzy polem 12 i 13. Po jednej stronie punktu obserwacji znalazły się dwa pola do których jest dołączony transformator T02 oraz linia L205, a po drugiej pozostałe gałęzie uwzględniane na schemacie. Do wyznaczenia rozplywu prądów zwarciovych wykorzystano model sieci w programie Plans. Wartości te zaznaczono na schemacie rozdzielni pokazanym na rys. 1. Obliczenia symulacyjne wykonano przy założeniu, że maksymalny prąd dla zwarcia trójfazowego na szynach rozdzielni wynosi 40 kA. Dla potrzeb symulacyjnej analizy sił dynamicznych dokonano odpowiedniego skalowania prądów. Na rysunku 2 przedstawiono okno programu umożliwiające edycję prądów zwarciovych płynących przez wybrany punkt rozdzielni podczas zakłóceń w różnych fragmentach rozdzielni oraz na krańcach dołączonych gałęzi

(linii i transformatorów). Okno to umożliwia także przeprowadzenie odpowiedniego skalowania uwzględnianych prądów zwarciovych do wybranej wartości maksymalnej dla zwarcia trójfazowego.



Rys. 1. Schemat badanej rozdzielni 220 kV – punkt obserwacji zaznaczono kwadratem na 1 systemie szyn pomiędzy polami nr 12 i 13



Rys. 2. Wygląd okna programu służącego do edycji rozpyłu prądów zwarciovych

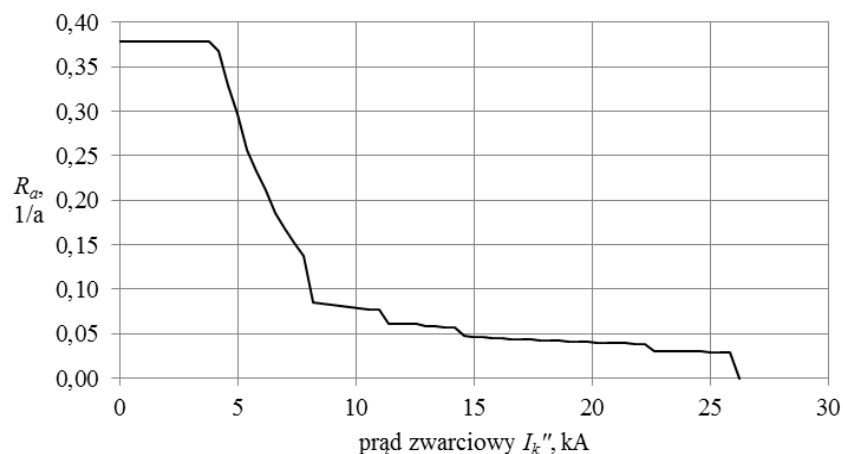
3. WYNIKI ANALIZY PRĄDÓW ZWARCIOWYCH I CZASU TRWANIA ZWARCIA

W celu weryfikacji poprawności opracowanego modelu dokonano szczegółowej analizy rozkładów prądu zwarciovego w wybranym punkcie rozdzielni oraz czasu trwania zwarcia. W tabeli 1 przedstawiono wybrane wartości charakteryzujące rozływ tych prądów zwarciovych w rozdzielni.

Tabela 1. Wartości prądów zwarciovych

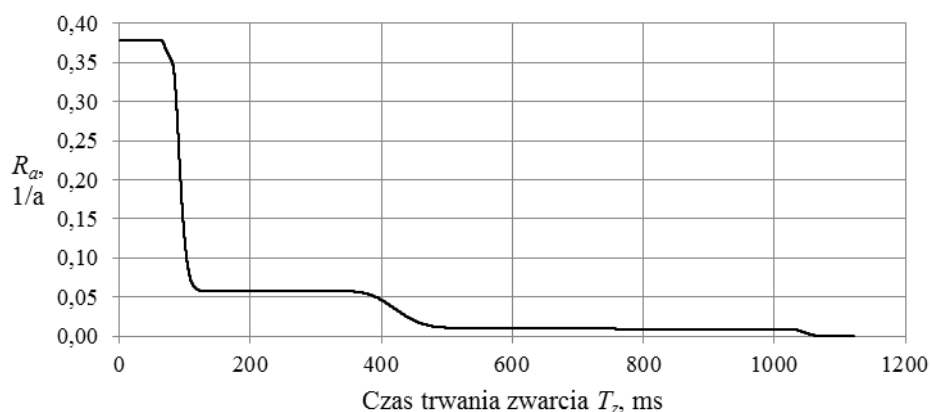
Prąd zwarciovowy	Wartość prądu 2-fazowego [kA]	Wartość prądu 3-fazowego [kA]
Zwarcie na szynach rozdzielni	34,64	40,00
Udział transformatora T02	10,15	11,76
Udział linii L205	2,28	2,64
Zwarcie z prawej strony punktu obserwacji	22,21	25,6
Zwarcie z lewej strony punktu obserwacji	12,43	14,4

Na rysunku 3 przedstawiono ryzyko przekroczeń poszczególnych wartości prądów zwarciovych, które pojawiają się w punkcie obserwacji podczas zwarcia na systemie szyn, w polach 14 i 15 oraz w linii L205.



Rys. 3. Ryzyko przekroczeń poszczególnych wartości prądu zwarciovego dla zwarcia na systemie szyn, w polach 14 i 15 oraz w linii L205

Wykres ryzyka przekroczeń poszczególnych wartości czasu trwania zwarcia dla tych zwarcia przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4. Ryzyko przekroczeń poszczególnych wartości czasu trwania zwarcia dla zwarć na systemie szyn, w polach 14 i 15 oraz w linii L205

Wartości czasów trwania zwarcia dla wybranych poziomów ryzyka i dla 4 konfiguracji EAZ przedstawionych w tabeli 2 przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 2. Uwzględniane konfiguracje wyposażenia rozdzielni w układy EAZ

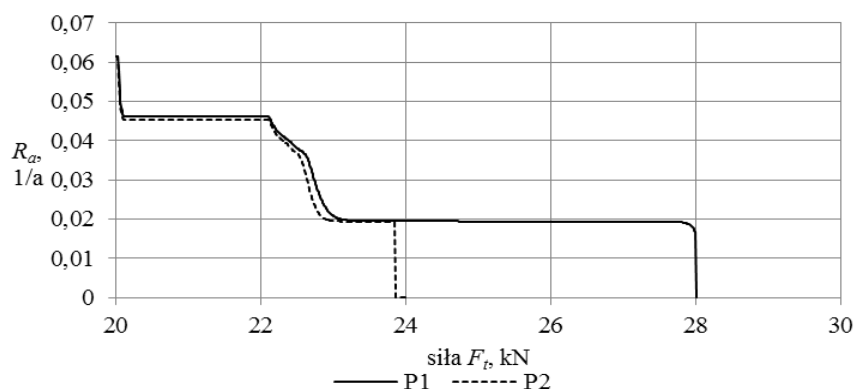
	Konf. 1	Konf. 2	Konf. 3	Konf. 4
Układ LRW	jest	jest	jest	jest
Automatyka SPZ	jest	brak	jest	jest
Uwspółbieżnianie zabezpieczeń	jest	brak	jest	jest
Sprzęgło	jest	jest	brak	jest
Zabezpieczenie szyn zbiorczych	jest	jest	jest	brak

Tabela 3. Wartości czasu trwania zwarcia dla wybranych poziomów ryzyka w zależności od wyposażenia rozdzielni w układy EAZ

R_a [1/a]	Konfiguracja			
	1	2	3	4
	T_k [ms]			
miejsce zwarcia - system szyn, aparatura w polach 14 i 15 oraz linia L205				
10^{-1}	102,5	372,1	102,5	110,2
10^{-2}	540,3	793,3	1058,6	554,2
10^{-3}	1061,6	1062,8	1074,1	1061,9
10^{-4}	1074,5	1076,1	1085,0	1074,6
10^{-5}	1084,5	1086,5	1094,9	1085,7
10^{-6}	1122,0	1122,0	1131,0	1122,0

4. ANALIZA SIŁ DYNAMICZNYCH

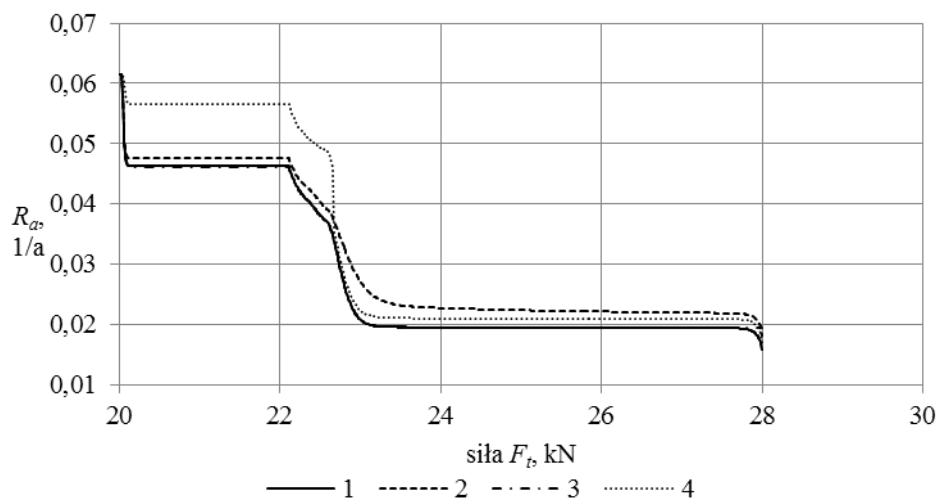
Analizę sił dynamicznych przeprowadzono metodą symulacji Monte Carlo [4], przy uwzględnieniu wymagań normy [5]. Wykres ryzyka przekroczeń poszczególnych wartości siły F_t dla dwóch rozpatrywanych długości przęsła (56 m – P1, 28 m – P2), wyznaczone dla warunków zwarciovych w wybranym punkcie rozdzielni przedstawiono na rys. 5. Maksymalna wartość siły dla przęsła krótszego P2 jest nieco mniejsza od 24 kN, a dla przęsła P1 wartość ta wynosi około 28 kN. We wspólnym zakresie sił krzywe mają zbliżony przebieg. Bliższa analiza wskazuje, że najmniejszy wpływ na wyznaczone ryzyko mają zwarcia na systemie szyn, trochę większe zwarcia na analizowanej linii, a największe zwarcia w uwzględnianych polach rozdzielni. Mały wpływ zwarc w linii L205 na wyznaczone ryzyko wynika z faktu, że jest to linia bardzo krótka. Jej długość wynosi około 15 km.



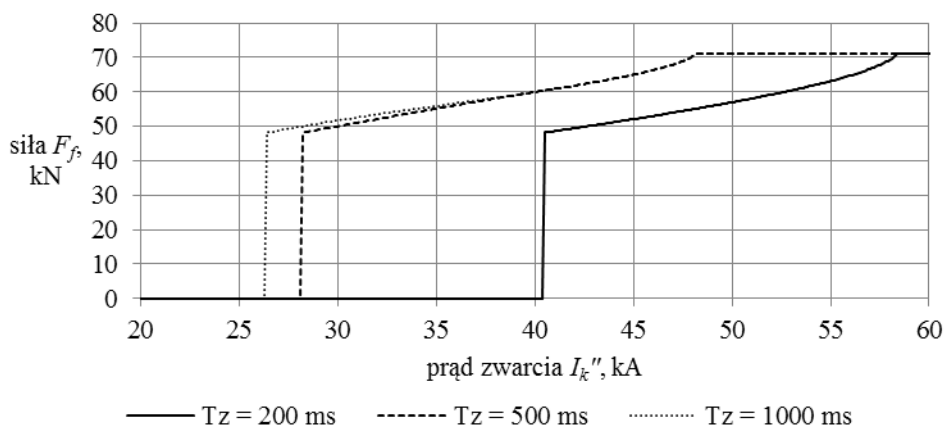
Rys. 5. Ryzyko przekroczeń poszczególnych wartości siły F_t dla zwarć na systemie szyn, w polach 14 i 15 oraz w linii L205 dla dwóch rozpatrywanych długości przęsła

Wpływ konfiguracji EAZ na wykres ryzyka przekroczeń siły F_t , wyznaczany na drodze badań symulacyjnych pokazano na rys. 6. Zbliżone przebiegi zamieszczonych na rysunku krzywych wskazują, że wpływ ten jest stosunkowo mały. Największy wzrost wyznaczonej częstości przekroczeń powoduje brak zabezpieczenia różnicowego szyn zbiorczych.

Dla warunków zwarciovych występujących w przyjętym punkcie rozdzielni siła F_f nie występuje w ogóle. Na rysunku 7 przedstawiono zależności wartości tej siły od prądu zwarciovego dla wybranych czasów trwania zwarcia. Z wykresów wynika, że dla praktycznie występujących wartości czasu trwania zwarcia wartości prądów zwarciovych w miejscu obserwacji są zbyt małe, aby siła F_f wystąpiła.



Rys. 6. Ryzyko przekroczeń poszczególnych wartości siły F_t dla zwarć na systemie szyn, w polach 14 i 15 oraz w linii L205 dla różnych konfiguracji wyposażenia w EAZ



Rys. 7. Zależność wartości siły F_f od prądu zwarcia wyznaczona dla różnych czasów trwania zwarcia

5. WNIOSKI

Opracowany model oraz przeprowadzone przykładowe obliczenia symulacyjne stanowią kolejny etap prac mających na celu ocenę wartości czasu trwania zwarcia podczas zakłóceń występujących w rozdzielniach NN, oraz związanych z nim sił dynamicznych pojawiających się podczas zakłóceń zwarciovych. W przedstawionym modelu nie uwzględniono szczegółowego

modelu zabezpieczeń transformatora. Należy się spodziewać, że ich wpływ na warunki zwarciove w badanym punkcie rozdzielni będzie zauważalny. Model działania tych zabezpieczeń jest aktualnie opracowywany i będzie on prezentowany w kolejnej publikacji oraz uwzględniany w dalszych badaniach.

LITERATURA

- [1] Frąckowiak R., Piechocki P.: Wartości czasu trwania zwarcia w sieci elektroenergetycznej najwyższych napięć w świetle badań symulacyjnych, *Academic Journals Electrical Engineering*, Poznan University of Technology, nr 70, 2012, s. 75-82.
- [2] IRiESP - Instrukcja Ruchu i Eksploatacji Sieci Przesyłowej – Warunki korzystania, prowadzenia ruchu, eksploatacji i planowania rozwoju sieci przesyłowej: dostępna na stronie <http://www.pse-operator.pl>.
- [3] Frąckowiak R., Piechocki P.: Probabilistic assessment of the short-circuit duration on the 220 kV transmission line basing on simulation analysis, Monograph “Computer Applications in Electrical Engineering”, Poznan University of Technology, Poznan 2012, vol. 10, ISBN 978-83-7775-232-6, ISSN 1508-4248, p. 275-282.
- [4] Frąckowiak R., Piechocki P.: Values of short-circuit duration and dynamic forces during short- circuits in the EHV substations: simulation-based investigations, Monograph “Computer Applications in Electrical Engineering”, Poznan University of Technology, Poznan 2014, vol. 12, p. 171-184.
- [5] PN-EN 60865-1 Obliczanie skutków zwarciowych – Część I: Definicje i metody obliczania.

DYNAMIC EFFECTS IN DISTRIBUTION SUBSTATION UNDER SHORT-CIRCUIT CONDITIONS IN CENTRAL SECTION OF SUBSTATION

Presented topic is the continuation of investigations concerning the estimation of short-circuit duration when computing the short-circuit effects using probabilistic methods. In the paper, an expanded model of distribution substation for simulation-based analysis of the short-circuit conditions and dynamic effects in the central section of bus-bar is presented. In the model, the short circuit currents' flow in the distribution station as well as the operation of the EAZ power automatic protections and circuit breakers in the EHV distribution substations during faults in the electric power system have been considered. The results of simulations aiming to assess the frequency of occurrence of the defined values of short-circuit current, short-circuit duration and dynamic forces are reported. Computations have been carried out for different EAZ system configurations.