

Ryszard FRĄCKOWIAK*
Piotr PIECHOCKI**

WARTOŚCI CZASU TRWANIA ZWARCIA PODCZAS ZAKŁÓCEŃ W ROZDZIELNIACH NAJWYŻSZYCH NAPIĘĆ W ŚWIELE BADAŃ SYMULACYJNYCH

Prezentowana problematyka jest kontynuacją badań dotyczących oceny wartości czasu trwania zwarcia w obliczeniach skutków zwarciovych metodą probabilistyczną. W artykule przedstawiono opracowany model symulacyjny czasu trwania zwarcia podczas zakłóceń w rozdzielniach. Model oparto na analizie działania elektroenergetycznej automatyki zabezpieczeniowej EAZ i wyłączników w rozdzielniach najwyższych napięć podczas zwarć. Przedstawiono wyniki badań symulacyjnych, mających na celu oszacowanie częstości występowania określonych wartości czasu trwania zwarcia. Obliczenia wykonano dla różnych konfiguracji układu EAZ.

SŁOWA KLUCZOWE: czas trwania zwarcia, rozdzielnie najwyższych napięć, symulacja

1. WSTĘP

Podstawę do określenia warunków zwarciovych stanowi znajomość przebiegu prądu zwarciovego i jego charakterystycznych parametrów. W ogólnym przypadku parametry te mają charakter losowy [1]. Ze względów praktycznych wielkości zwarciove wyznacza się metodami deterministycznymi przyjmując szereg założeń upraszczających. Jednym z istotnych parametrów wpływających na skutki cieplne i dynamiczne jest czas trwania zwarcia. Przyjmowanie w inżynierskich analizach niewłaściwych wartości czasu trwania zwarcia może prowadzić do strat ekonomicznych. W artykule przedstawiono opracowany model symulacyjny do oceny wartości czasu trwania zwarcia dla zakłóceń w rozdzielniach w oparciu o metodę probabilistyczną. Badania przeprowadzono dla zwarć w rozdzielni a przykładową analizę wykonano dla kilku wybranych konfiguracji EAZ. Wzięto pod uwagę działanie zabezpieczenia różnicowego szyn zbiorczych ZSZ, zabezpieczeń odległościowych, zabezpieczeń ziemno-zwarciovych oraz odcinkowych, a także automatyki samoczynnego ponownego załączania SPZ oraz układu lokalnej rezerwy wyłącznikowej LRW. Uwzględniono także uwspółbieżnianie zabezpieczeń na końcach linii - uwb.

* Politechnika Poznańska.

** Polskie Sieci Elektroenergetyczne – Zachód S.A.

2. MODEL CZASU TRWANIA ZWARCIA PODCZAS ZAKŁÓCEŃ W ROZDZIELNI

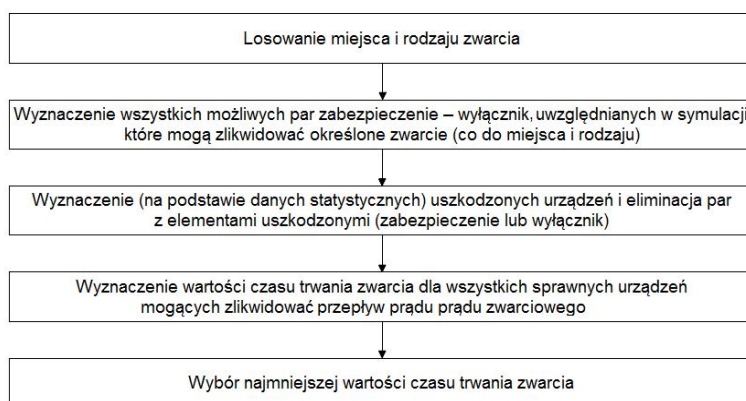
2.1. Koncepcja modelu

Podstawę do określania czasu trwania zwarcia w obliczeniach skutków zwarciovych stanowi analiza wartości czasu działania układu EAZ i wyłączników likwidujących zakłócenia w rozdzielni. Do wyznaczania wartości czasu trwania zwarcia posłużono się zależnością:

$$T_k = t_{zab} + t_{wyl} \quad (1)$$

gdzie: T_k – czas trwania zwarcia, t_{zab} – czas zadziałania zabezpieczenia, mierzony od momentu powstania zwarcia do chwili pojawienia się impulsu "wyłącz" na wyjściu zabezpieczenia, t_{wyl} – czas zadziałania wyłącznika, mierzony od chwili otrzymania impulsu „wyłącz” do chwili przerwania prądu zwarciovego.

Ogólną zasadę wyznaczania wartości T_k wg wzoru (1) na drodze symulacji z wykorzystaniem metody Monte Carlo w postaci kolejnych etapów (rys. 1) bliżej omówiono w pracy [2].



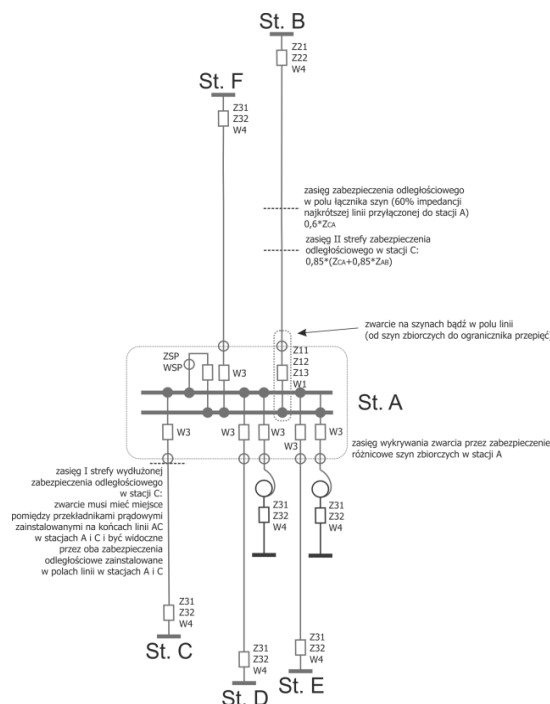
Rys. 1. Etapy wyznaczania czasu trwania zwarcia na drodze symulacyjnej

Szczegółowe wymagania dotyczące instalowanych zabezpieczeń w polach rozdzielni WN i NN i elementów automatyki elektroenergetycznej podaje Instrukcja Ruchu i Eksploatacji Sieci Przesyłowej (IRiESP) [2].

2.2. Schemat i przyjęte założenia

Schemat fragmentu systemu zawierający badaną rozdzielnię 220 kV przedstawiono na rys. 2, na którym zaznaczono zabezpieczenia oraz wyłączniki

uczestniczące w likwidacji zwarć w rozdzielni (na szynach oraz w polach) a także zaznaczono przykładowe zasięgi stref uwzględnianych zabezpieczeń. Działanie zabezpieczeń podczas zwarć na liniach oraz zasadę budowy programu komputerowego do wyznaczenia czasu trwania takich zwarć omówiono w pracy [3].

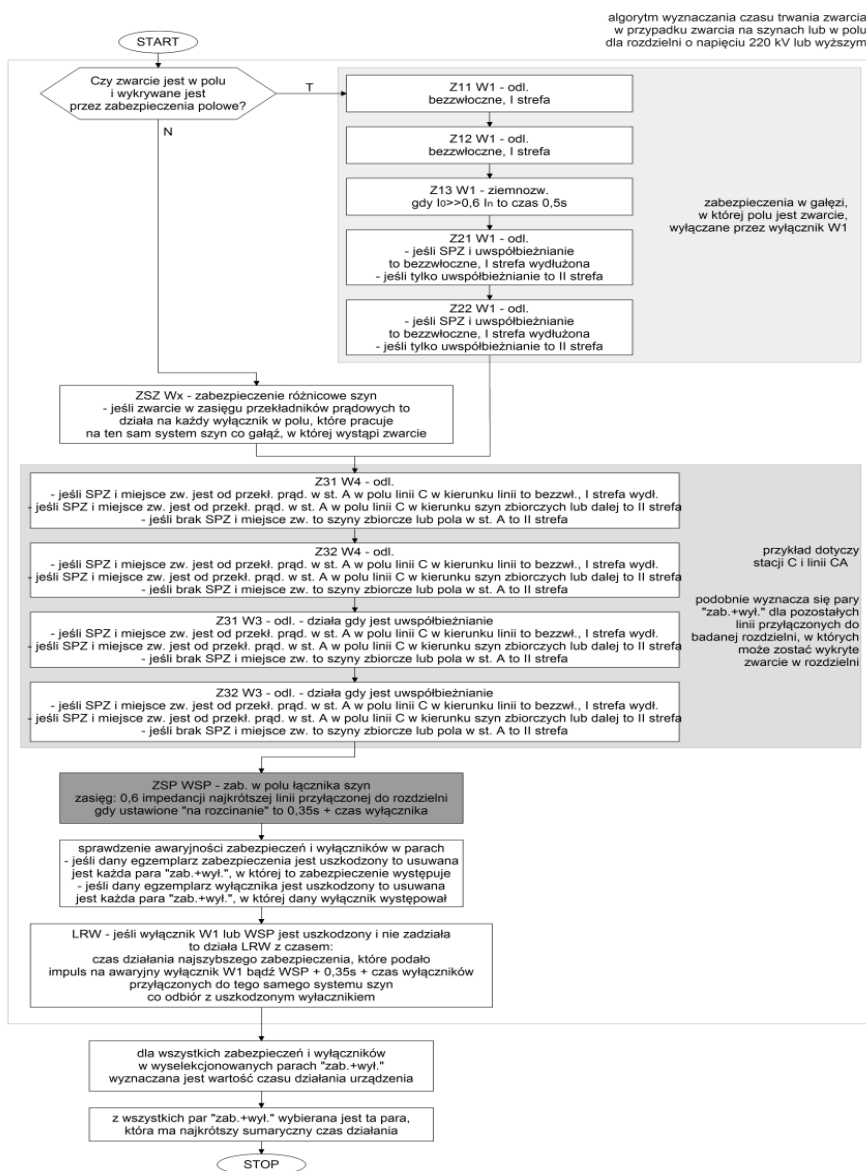


Rys. 2. Schemat rozdzielni 220 kV uwzględnianej w obliczeniach symulacyjnych

2.3. Ogólny algorytm obliczeń i program komputerowy

Ogólny algorytm wyznaczania czasu trwania zwarcia w rozdzielni przedstawiono na rys. 3. Algorytm podzielony jest na dwie zasadnicze części. Pierwsza dotyczy zwarć na szynach i we fragmentach pól rozdzielni do przekładników prądowych od strony szyn a druga zakłóceń zwarciovych występujących w pozostałych częściach pól.

W przypadku zwarcia na szynach i w polach do przekładników prądowych podstawowe znaczenie ma zabezpieczenie różnicowe szyn, które działa bezzwłocznie. W przypadku, gdy rozdzielnia nie jest wyposażona w tego typu zabezpieczenie, zwarcie wykrywane jest przez zabezpieczenia w sąsiednich rozdzielniach oraz w polu łącznika szyn rozdzielni, w której wystąpiło zakłócenie. Podczas zwarcia w polu za przekładnikiem prądowym, od strony linii algorytm jest taki jak dla zwarć w linii [3].

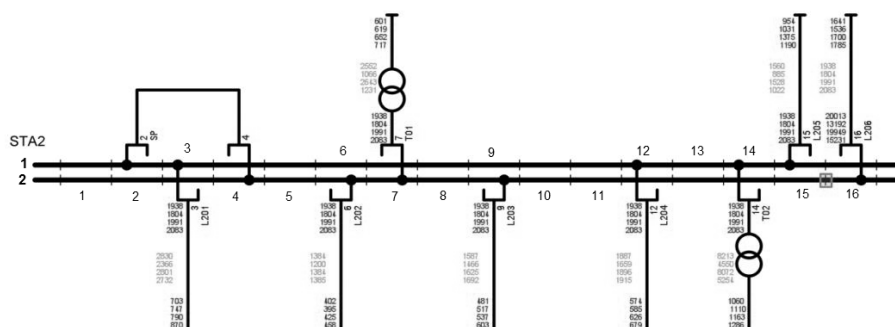


Rys. 3. Algorytm działania zabezpieczeń w przypadku zwarcia występujących w rozdzielni

Po określeniu wszystkich możliwych par zabezpieczenie-wyłącznik sprawdzana jest awaryjność urządzeń oraz ewentualne działanie układu LRW. Najmniejsza suma czasów działania sprawnych par zabezpieczenie-wyłącznik jest przyjmowana jako czas trwania zakłócenia.

2.4. Przykładowe wyniki obliczeń

Przykładową analizę czasu trwania zwarcia przeprowadzono dla rozdzielni 220 kV, której schemat pokazano na rys. 4 (widok okna programu komputerowego) z 16 polami oraz 2 systemami szyn. Na schemacie pomiędzy polami nr 15 i 16 na drugim systemie szyn zaznaczono punkt obserwacji czasu przepływu prądu zwarciego.



Rys. 4. Schemat badanej rozdzielni 220 kV – punkt obserwacji zaznaczono kwadratem na 2 systemie szyn pomiędzy polami nr 15 i 16

W obliczeniach przyjęto, że współczynnik zawodności wszystkich zabezpieczeń oraz wyłączników jest równy 0,03. Czas trwania zwarcia jest liczony do momentu, gdy wartość prądu zwarciego spadnie poniżej $2/3$ wartości maksymalnej. W badaniach prowadzonych dla potrzeb oceny skutków dynamicznych, uznano, że prąd o takiej wartości nie stanowi istotnego zagrożenia. Z reguły otwarcie wyłącznika w polu łącznika szyn spełnia ten warunek. Podobnie w przypadku wyłączania zwarcia przez wyłączniki na drugich końcach linii dołączonych do badanej rozdzielni przyjęto, że spadek prądu zwarciego o $1/3$ wartości maksymalnej wyznacza czas trwania zwarcia. W tabeli 1 przedstawiono wartości czasu trwania zwarcia dla wybranych poziomów ryzyka R_a (spodziewanej rocznej częstości przekroczeń tych wartości) dla różnych konfiguracji EAZ podczas zwarć występujących na szynach rozdzielni. Przez znak (+) oznaczono, że dany element EAZ występuje, znak (-) oznacza jego brak.

W przypadku zwarć na szynach rozdzielni najszybciej działa zabezpieczenie różnicowe szyn zbiorczych, działające bezzwłocznie. W konfiguracjach od 1 do 8 czasy trwania zwarcia są podobne i na poziomie ryzyka 10^{-2} i 10^{-3} są zdecydowanie krótsze niż w konfiguracji 9 (bez ZSZ), dla której przekraczają wartość 450 ms. Gdy w rozdzielni nie występuje zabezpieczenie szyn zbiorczych, na czas trwania zwarcia składa się czas działania zabezpieczenia w polu sprzęgła (ok. 350 ms) i czas działania wyłącznika (ok. 100 ms) lub czas zadziałania zabezpieczeń w sąsiednich rozdzielniach, w II strefie czasowej i czas działania

wyłączników z nimi współpracujących. Nieco mniejsze wartości czasów T_k dla konfiguracji 1-4 niż 5-8, dla poziomu ryzyka 10^{-4} 1/a i mniejszej, wynikają z faktu występowania zabezpieczenia w polu łącznika szyn w konfiguracjach 1-4.

Tabela 1. Czasy trwania zwarcia w przypadku zwarć na szynach rozdzielni w zależności od wyposażenia rozdzielni w układy EAZ

Konfiguracja	ZSZ(+), SP(+), LRW(+), uwb(+), SPZ(+)	ZSZ(+), SP(+), LRW(-), uwb(+), SPZ(+)	ZSZ(+), SP(+), LRW(+), uwb(-), SPZ(-)	ZSZ(+), SP(+), LRW(-), uwb(-), SPZ(-)	ZSZ(+), SP(-), LRW(+), uwb(+), SPZ(+)	ZSZ(+), SP(-), LRW(-), uwb(+), SPZ(+)	ZSZ(+), SP(-), LRW(+), uwb(-), SPZ(-)	ZSZ(+), SP(-), LRW(-), uwb(-), SPZ(-)	ZSZ(-), SP(+), LRW(-), uwb(-), SPZ(-)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
R_a [1/a]	T_k [ms]								
miejsce zwarcia - system szyn									
10^{-1}	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10^{-2}	76,8	76,8	76,8	76,8	76,4	76,8	76,8	76,8	453,9
10^{-3}	100,5	101,3	100,9	100,9	100,5	100,9	100,5	100,5	542,7
10^{-4}	531,7	532,1	532,5	532,5	544,8	544,8	546,0	546,0	553,8
10^{-5}	547,6	548,1	548,9	548,9	554,6	554,6	555,8	556,2	561,6
10^{-6}	585,0	586,0	589,0	593,0	595,0	592,0	596,0	595,0	595,0

Wartości czasu trwania zwarcia w polu rozdzielni dla wybranych poziomów ryzyka przedstawiono w tabeli 2. W przypadku zwarć w polu od strony szyn zbiorczych do przekładników prądowych włącznie obowiązuje algorytm działania zabezpieczeń taki, jak dla zwarć występujących na systemie szyn zbiorczych. Zwarcia występujące w polu za przekładnikami prądowymi są traktowane tak jak zwarcia na linii, zabezpieczenie szyn zbiorczych nie chroni przed tymi zwarzami.

Dla ryzyka 10^{-4} 1/a zauważa się wpływ zabezpieczenia w polu sprzęgła. Dla ryzyka 10^{-3} 1/a brak automatyki SPZ oraz uwspółbieżniania zabezpieczeń (konfiguracje 3, 4 oraz 7, 8) zwiększa czas trwania zwarcia więcej niż o 280 ms (dotyczy zwarć między przekładnikiem prądowym a linią). Brak ZSZ oraz SPZ powoduje wzrost wartości czasu trwania zwarcia już dla ryzyka 10^{-2} 1/a.

Wartości czasu trwania zwarcia na szynach i w polu rozdzielni łącznie, dla wybranych poziomów ryzyka, przedstawiono w tabeli 3.

W przypadku zwarć na szynach i w polu rozdzielni istotny wpływ na wyznaczone wartości czasu trwania zwarcia ma zabezpieczenie różnicowe szyn zbiorczych (konfiguracje 1-8, dla ryzyka 10^{-2} 1/a). Dla ryzyka 10^{-3} 1/a widoczny jest wpływ automatyki SPZ i zabezpieczenia w polu sprzęgła (konfiguracje 1 i 2) oraz pewien wpływ LRW (porównanie konfiguracji 5 i 6).

Tabela 2. Czasy trwania zwarcia w przypadku zwarć w polu linii L206 w zależności od wyposażenia rozdzielni w układy EAZ

Konfiguracja	ZSZ(+), SP(+), LRW(+), uwb(+), SPZ(+)	ZSZ(+), SP(+), LRW(-), uwb(+), SPZ(+)	ZSZ(+), SP(+), LRW(+), uwb(-), SPZ(-)	ZSZ(+), SP(+), LRW(-), uwb(-), SPZ(-)	ZSZ(+), SP(-), LRW(+), uwb(+), SPZ(+)	ZSZ(+), SP(-), LRW(-), uwb(+), SPZ(+)	ZSZ(+), SP(-), LRW(+), uwb(-), SPZ(-)	ZSZ(+), SP(-), LRW(-), uwb(-), SPZ(-)	ZSZ(-), SP(+), LRW(-), uwb(-), SPZ(-)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
R_a [1/a]	T_k [ms]								
miejsce zwarcia - aparatura w polu									
10^{-1}	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10^{-2}	97,0	97,0	104,9	104,9	97,0	97,0	104,9	104,9	404,9
10^{-3}	116,4	116,3	399,3	398,9	116,3	116,3	438,6	528,0	500,6
10^{-4}	448,6	452,4	455,4	497,2	539,4	540,7	540,7	549,3	545,2
10^{-5}	535,4	537,0	536,2	546,4	551,3	552,6	552,6	560,0	555,9
10^{-6}	581,0	582,0	583,0	590,0	593,0	595,0	595,0	602,0	591,0

Tabela 3. Czasy trwania zwarcia w przypadku zwarć na szynach rozdzielni i w polu linii L206 w zależności od wyposażenia rozdzielni w układy EAZ

Konfiguracja	ZSZ(+), SP(+), LRW(+), uwb(+), SPZ(+)	ZSZ(+), SP(+), LRW(-), uwb(+), SPZ(+)	ZSZ(+), SP(+), LRW(+), uwb(-), SPZ(-)	ZSZ(+), SP(+), LRW(-), uwb(-), SPZ(-)	ZSZ(+), SP(-), LRW(+), uwb(+), SPZ(+)	ZSZ(+), SP(-), LRW(-), uwb(+), SPZ(+)	ZSZ(+), SP(-), LRW(+), uwb(-), SPZ(-)	ZSZ(+), SP(-), LRW(-), uwb(-), SPZ(-)	ZSZ(-), SP(+), LRW(-), uwb(-), SPZ(-)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
R_a [1/a]	T_k [ms]								
miejsce zwarcia - system szyn i aparatura w polu									
10^{-1}	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10^{-2}	100,4	100,4	110,2	110,3	100,4	100,4	110,3	110,2	455,5
10^{-3}	370,9	372,4	431,4	432,2	437,9	520,2	516,5	536,2	542,8
10^{-4}	531,7	532,1	532,5	537,0	544,8	545,6	546,0	552,1	554,2
10^{-5}	547,8	548,4	549,4	552,2	555,1	555,5	556,3	561,6	562,0
10^{-6}	590,0	590,0	591,0	598,0	598,0	599,0	599,0	604,0	597,0

5. WNIOSKI

Przeprowadzone przykładowe badania symulacyjne potwierdzają przydatność opracowanego modelu do probabilistycznej oceny wartości czasu trwania zwarcia podczas zakłóceń występujących w rozdzielni, z uwzględnieniem różnej konfiguracji EAZ. W ramach dalszych prac przewiduje się wykorzystanie

opracowanego modelu czasu trwania zwarcia w liniach [3] i na elementach stacji elektroenergetycznej do oceny skutków dynamicznych przepływu prądu zwarciovego w rozdzielniach, przy wykorzystaniu podejścia probabilistycznego. Pozwoli to na opracowanie wskazówek do określania czasu trwania zwarcia podczas analizy wymienionych wyżej skutków zwarciovych.

LITERATURA

- [1] Frąckowiak R. Random type of threat to electrical power devices posed by the short circuit current flow. Archives of Electrical Engineering, nr 2, 2000 r. pp. 221-242.
- [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.: 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.

SHORT-CIRCUIT DURATION VALUES UNDER DISTURBATION CONDITIONS IN EXTREME HIGH VOLTAGE DISTRIBUTION SUBSTATIONS - SIMULATION-BASED RESEARCH

Presented question is the continuation of investigations concerning the short-circuit duration's estimation in the short-circuit effect calculations using the probabilistic method. In the paper, the developed simulation model of the short circuit duration under the short-circuit conditions in the distribution substation is presented. The model development was based on the analysis of operation of the automatic power protections EAZ and circuit-breakers in the EHV substations during short-circuits. The results of simulation investigations aiming to estimate the frequency of occurrence of the defined short-circuit duration are reported. The calculations have been carried out for different configurations of the EAZ system.