

Ryszard FRĄCKOWIAK *
Piotr PIECHOCKI **

WPLYW PARAMETRÓW ROZDZIELNI NA DOBÓR WARTOŚCI CZASU TRWANIA ZWARCIA NA LINIACH PRZESYŁOWYCH DO OBLICZANIA SKUTKÓW DYNAMICZNYCH

W artykule przedstawiono metodę oceny wartości czasu trwania zwarcia na linii przesyłowej z punktu widzenia skutków dynamicznych w rozdzielniach najwyższych napięć NN z przewodami szynowymi giętkimi. Jako kryterium doboru wartości czasu trwania zwarcia przyjęto spodziewaną roczną częstość przekroczeń wyznaczanych sił dynamicznych. Wyniki badań symulacyjnych, wykonanych metodą Monte Carlo ukazują wpływ parametrów rozdzielni i zainstalowanych w niej urządzeń (napięcia znamionowego, mocy zwarciowej, zawodności wyłączników i zabezpieczeń, konfiguracji EAZ) na proponowane wartości czasu trwania zwarcia w zwarciowych obliczeniach inżynierskich.

1. WSTĘP

Wartości naciągów dynamicznych przewodów w rozdzielniach z przewodami giętkimi zależą nie tylko od parametrów geometrycznych i mechanicznych pręseł rozdzielni, ale również od parametrów charakteryzujących przebieg prądu zwarciowego, w tym od czasu trwania zwarcia. Przyjęcie w inżynierskich analizach niewłaściwej wartości czasu trwania zwarcia może prowadzić do strat ekonomicznych, związanych z przewymiarowaniem urządzeń lub z ich uszkodzeniem a nawet zniszczeniem. Stosunkowo niewielka liczebność zarejestrowanych wartości czasu trwania zwarcia w rzeczywistej sieci sprawia, że wiarygodność otrzymanych rozkładów tej zmiennej losowej jest mała i nie daje możliwości oceny wartości czasu T_k na podstawie prawdopodobieństwa ich występowania. Pewną pomoc w doborze wartości czasu trwania zwarcia do wyznaczania zagrożeń spowodowanych zakłóceniami zwarciowymi mogą stanowić badania symulacyjne oparte na metodzie Monte Carlo. W artykule przedstawiono metodę oceny czasu trwania zwarcia na linii przesyłowej z punktu widzenia skutków dynamicznych w rozdzielniach z szynami giętkimi. Wyniki symulacyjnej analizy dla dotyczą rozdzielni 220 i 400 kV.

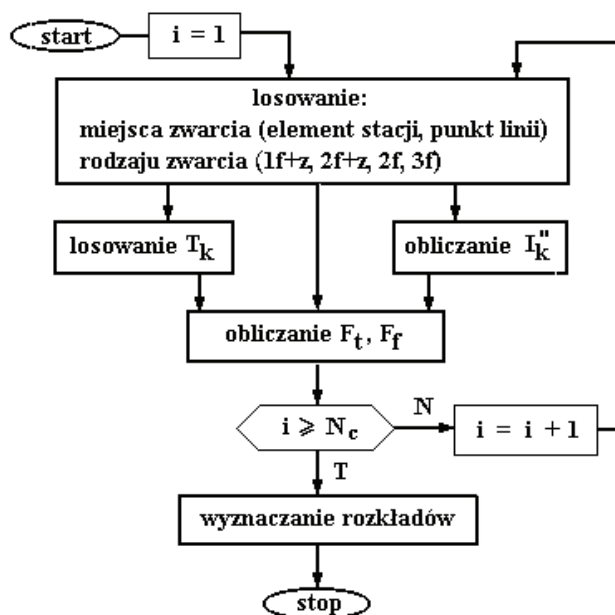
* Politechnika Poznańska.

** Polskie Sieci Elektroenergetyczne – Zachód S.A.

2. MODEL SYMULACYJNY DO ANALIZY SKUTKÓW DYNAMICZNYCH, PRZYJĘTE ZAŁOŻENIA

Obliczenia wartości sił dynamicznych oparto na metodzie zawartej w normie PN-EN 60865-1 [1]. Do analizy tych sił opracowano program Flexible Conductor [2]. Obliczanie skutków dynamicznych wymaga znajomości geometrii przęsła, danych charakteryzujących przewód i konstrukcje wsporcze w przęsle oraz parametrów charakteryzujących zwarcie. Te ostatnie mają charakter losowy. Można przyjąć, że czas trwania zwarcia nie ma wpływu na wartości siły spowodowane oddziaływaniem dynamicznym przewodów w obrębie wiązki F_{pi} [3]. Dla określonego przęsła, istotny wpływ na wartości siły wynikającej z oddziaływania przewodów sąsiednich faz na siebie F_t i siły związanej z opadaniem przewodów po wyłączeniu zwarcia F_f , posiada wartość prądu zwarcia w przewodach szynowych oraz czas jego przepływu. Wpływ składowej nieokresowej na wartości tych sił jest pomijalny [1].

Ogólny schemat wyznaczania rozkładów sił dynamicznych F_t i F_f metodą symulacji Monte Carlo pokazano na rys. 1.



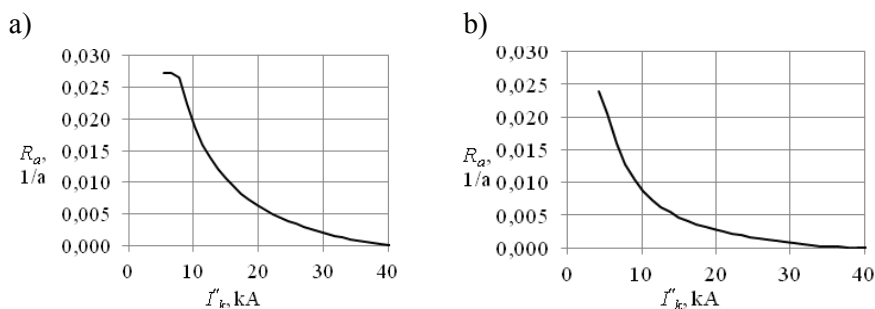
Rys. 1. Schemat wyznaczania rozkładów sił dynamicznych

Dla kolejno symulowanych zwarć wyznacza się miejsce i rodzaj zwarcia i na tej podstawie oblicza się wartość prądu zwarcia w przewodach szynowych oraz czas trwania zwarcia. Następnie dla określonego przęsła rozdzielni oblicza się

wartości sił dynamicznych oraz roczną częstość ich występowania. Odpowiedni program komputerowy pozwalający na realizację przedstawionych obliczeń został napisany w środowisku Delphi. Zasadę oraz algorytm wyznaczania czasu trwania zwarcia przedstawiono w pracy [4]. Czasy działania zabezpieczeń dla określonej nastawy czasowej są odwzorowane za pomocą rozkładów: logarytmiczno-normalnego lub normalnego. W algorytmie uwzględniono, działanie automatyki samoczynnego ponownego załączania na zwarcie - SPZ, współbieżanie zabezpieczeń, działanie łącznika szyn i związanego z nim zabezpieczenia oraz działanie lokalnej rezerwy wyłącznikowej - LRW.

Wyniki analizy rozkładów czasu trwania zwarcia (czasu przepływu prądu od strony rozdzielni), podczas zakłóceń na linii przesyłowej, przeprowadzonej dla określonych typów zabezpieczeń oraz dla różnych konfiguracji EAZ omówiono [4]. Przyjęto, że pola rozdzielni są wyposażone w wyłączniki DLF, a ich współczynnik zawodności q_w wynosi 0,03.

Analizę sił dynamicznych przeprowadzono dla dwóch rozdzielni 220 kV i 400 kV. Przyjęto, że w planowanym układzie sieci maksymalna wartość prądu podczas zwarcia trójfazowego na szynach rozdzielni wynosi 40 kA. Ponadto założono, że prąd zwarciovowy płynący badaną linią podczas zwarcia na szynach jest pomijalnie mały, tzn., że maksymalna wartość prądu zwarciovowego, płynącego od strony szyn zbiorczych podczas zwarcia na badanej linii, jest bliska 40 kA. Rozpływ prądu w otoczeniu rozdzielni wyznaczono przy założeniu, że prądy zwarciovowe dopływające do szyn zbiorczych od pozostałych pól wzrosły proporcjonalnie do wartości w układzie aktualnym. Ponadto przyjęto, że prąd zwarciovowy ma stałą wartość na całej długości analizowanego przęsła szyn zbiorczych. Nie uwzględniano zmniejszania wartości prądu zwarciovowego w przęśle wskutek rozplywu w rozdzielni. Przyjęte założenia mają na celu wybór sytuacji najmniej korzystnej, ze względu na obliczane zwarciovowe skutki dynamiczne. Roczna częstość przekroczeń poszczególnych wartości prądu płynącego od strony rozdzielni podczas zwarć trójfazowych i dwufazowych na badanych liniach przedstawiono na rys. 2 a, b.

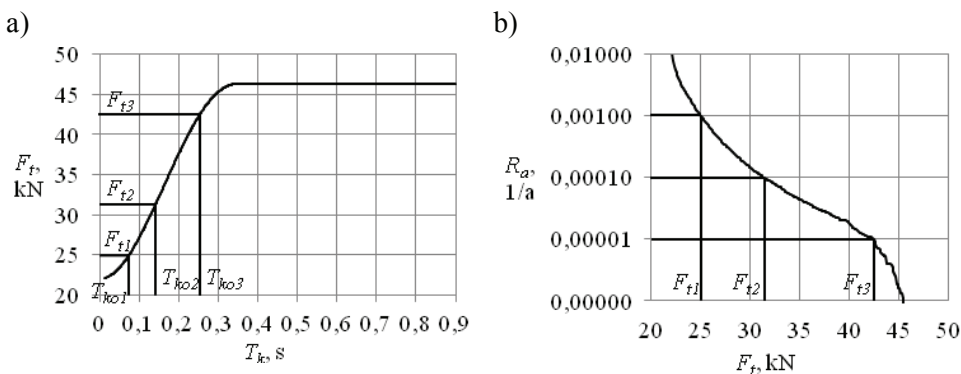


Rys. 2. Roczna częstość przekroczeń poszczególnych wartości prądu zwarciovowego podczas zwarć na badanej linii: a) 220 kV, b) 400 kV

3. ANALIZA SIŁ DYNAMICZNYCH W ROZDZIELNI

3.1. Obliczenia dla wybranych przęseł

Badania sił dynamicznych przeprowadzono dla przęsła głównego rozdzielni 220 kV o długości $l = 56 \text{ m}$ i odstępem pomiędzy fazami $3,5 \text{ m}$ oraz 400 kV o długości 72 m i odstępem pomiędzy fazami 6 m . W obu przęsłach zastosowano 2 przewody AFL-8-525 w każdej fazie o odstępem 200 mm . Przyjęto wartość siły statycznej $F_{st} = 20 \text{ kN/fazę}$. Zależność wartości badanej siły F_t od czasu trwania zwarcia, dla przęsła 220 kV przedstawiono w postaci graficznej na rys. 3a. Na rysunku 3b przedstawiono natomiast, wyznaczoną na drodze symulacji, spodziewaną roczną częstość przekroczeń poszczególnych wartości tej siły.



Rys. 3. Zależność wartości siły F_t od czasu trwania zwarcia (a) oraz roczna częstość przekroczeń poszczególnych wartości siły F_t (b)

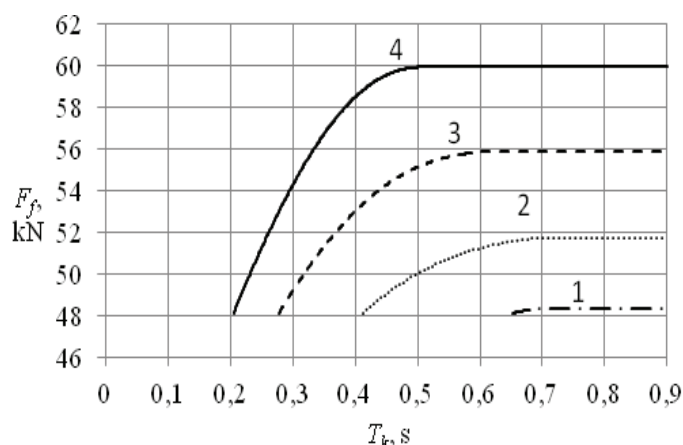
Na podstawie uzyskanych wyników można określić wartości czasu trwania zwarcia T_{ko} , jakie należy przyjmować podczas obliczania siły F_t przy założonej wartości ryzyka zagrożenia R_{az} (spodziewanej częstości przekroczenia wyznaczonej wartości siły F_t). Na rysunku 3 b zaznaczono wartości sił F_{t1} , F_{t2} i F_{t3} odpowiadające wartościom ryzyka przekroczenia 10^{-3} 1/a , 10^{-4} 1/a oraz 10^{-5} 1/a . Na rys. 3a zaznaczono natomiast wartości czasu trwania zwarcia T_{ko1} , T_{ko2} i T_{ko3} odpowiadające tym siłom. Wartości czasów do obliczania siły F_t , wyznaczone dla uwzględnianych przęseł 220 kV i 400 kV, dla trzech wartości ryzyka, zestawiono w tabeli 1. W tabeli tej podano także maksymalne wartości siły oraz minimalny czas, po jakim/którym te wartości wystąpią. Wyniki obliczeń wskazują, że wpływ na rezultaty analizy posiada poziom napięcia rozdzielni i związany z nim rozkład prądu zwarciovego oraz parametry przęsła. Bardziej szczegółowa analiza pokazuje także, że dla tych samych warunków zwarciovych, większe wartości czasu T_{ko} należy przyjmować dla przęseł dłuższych, o mniejszym naprężeniu statycznym i o większej masie dodatkowej.

Tabela 1. Wartości czasu trwania zwarcia proponowane do wyznaczania siły F_t dla badanych przęseł rozdzielni 220 i 400 kV dla określonych wartości ryzyka R_{az}

R_{az} , 1/a	220 kV		400 kV	
	F_t , kN	T_{ko} , ms	F_t , kN	T_{ko} , ms
10^{-3}	25,13	77	22,52	62
10^{-4}	31,41	143	24,74	148
10^{-5}	42,96	260	32,35	348
0	46,31	>347	34,99	>500

Siła F_f pojawia się przy odpowiednio dużych wartościach prądów zwarciovych i czasów ich przepływu przez przewody w przęśle. Mniejszym wartościom prądów zwarciovych odpowiadają większe wartości czasu trwania zwarcia, po którym pojawi się siła F_f . Ilustrują to krzywe wyznaczone dla przęśla 220 kV (rys. 4). Dla prądu mniejszego od 26,5 kA siła F_f nie pojawi się w ogóle. Na zależność siły F_f od czasu T_k wpływa wartość siły F_{st} , masa dodatkowa i długość przęśla.

Chociaż siła F_f w rozdzielniach NN może osiągać duże wartości, większe niż siła F_t , jednak prawdopodobieństwo ich pojawienia jest bardzo małe. Analiza wskazuje, że częstość występowania siły F_f dla przęśla 400 kV jest mniejsza niż 10^{-5} 1/a, a dla przęśla rozdzielni 220 kV jest mniejsza niż 10^{-4} 1/a. Tak mała wartość częstości upoważnia do rozpatrzenia możliwości pominięcia tej siły w obliczeniach skutków dynamicznych [5]. Wartości czasu trwania zwarcia, jakie należałoby przyjmować do wyznaczania siły F_f dla przęśla 220 kV dla ryzyka $R_{az} = 10^{-5}$ 1/a wynosi ok. 380 ms. Wpływ parametrów przęśla na wartości czasów przyjmowanych w obliczeniach tej siły jest podobny jak w przypadku siły F_t .

Rys. 4. Zależność siły F_f od czasu trwania zwarcia dla przęśla 220 kV wyznaczona dla czterech wartości prądu zwarciovego: 1 – 26,5 kA, 2 – 30 kA, 3 – 35 kA, 4 – 40 kA

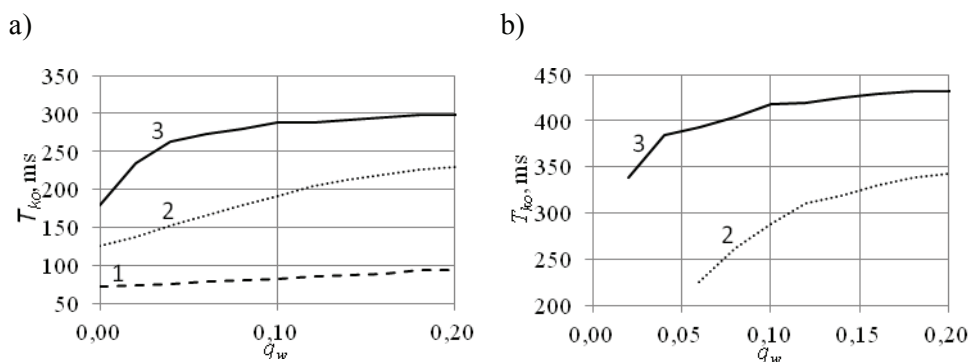
3.2. Wpływ konfiguracji EAZ i zawodności urządzeń

Wyraźny wpływ na dobór czasu trwania zwarcia posiada konfiguracja EAZ. Przykładowe wyniki obliczeń wykonanych przy uwzględnieniu działania automatyki SPZ i współbieżniania zabezpieczeń (konfiguracja 1) oraz przy założeniu, że automatyka SPZ jest odstawiona i nie występuje współbieżnianie zabezpieczeń (konfiguracja 2) zamieszczono w tabeli 2.

Tabela 2. Przykładowe wartości czasu trwania zwarcia (T_{ko} , ms) do wyznaczania siły F_t , dla wybranych konfiguracji EAZ

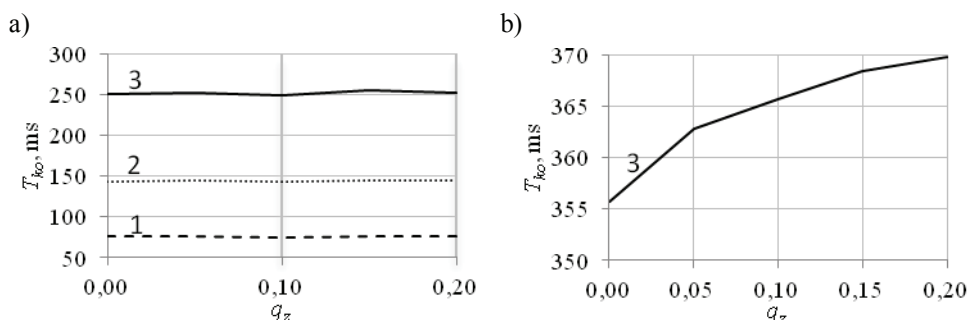
R_{az} , 1/a	Konfiguracja 1		Konfiguracja 2	
	220 kV	400 kV	220 kV	400 kV
10^{-3}	77	62	96	80
10^{-4}	143	148	231	302

Zależności wartości czasu T_{ko} od współczynnika zawodności wyłącznika dla prądu 220 kV przedstawiono na rys. 4. Wpływ współczynnika q_w dla wartości mniejszych od 0,05 na wartość czasu T_{ko} do obliczania siły F_t jest wyraźniejszy im mniejsza jest wartość założonego poziomu ryzyka. Wraz ze wzrostem współczynnika zawodności maleje jego wpływ na wyznaczone wartości czasu T_{ko} .



Rys. 5. Zależność wartości czasu T_{ko} do wyznaczania sił dynamicznych (a – F_t , b – F_f) od współczynnika zawodności wyłączników, dla ryzyka R_{az} : 1 - 10^{-3} 1/a, 2 - 10^{-4} 1/a, 3 - 10^{-5} 1/a

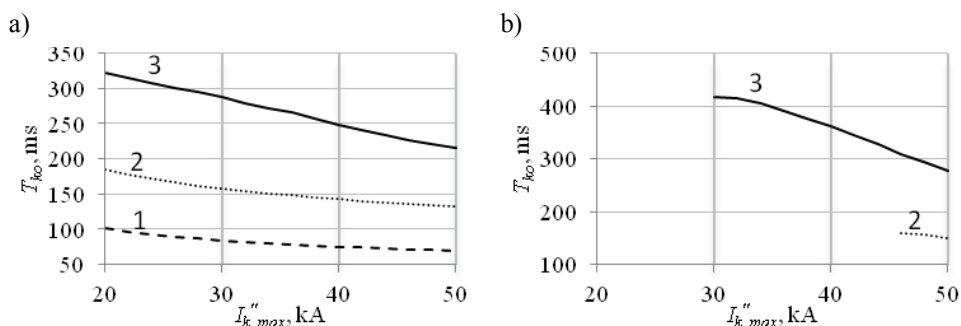
Wpływ współczynnika zawodności zabezpieczeń na wartości czasu T_{ko} jest pomijalny (rys. 6 – rozdzielnia 220 kV). Znaczący wpływ współczynnika q_z na wartości czasu T_{ko} pojawia się dopiero przy większych wartościach q_z , które w rzeczywistości nie występują (w przypadku siły F_t , dla q_z większego niż 0,4).



Rys. 6. Zależność wartości czasu T_{ko} do wyznaczania sił dynamicznych (a – F_t , b – F_f) od współczynnika zawadności zabezpieczeń, dla ryzyka R_{az} : 1 - 10^{-3} 1/a, 2 - 10^{-4} 1/a, 3 - 10^{-5} 1/a

3.3. Wpływ mocy zwarciowej rozdzielni

Istnieje wyraźny związek pomiędzy wartością czasu T_{ko} a wartością prądu pojawiającą się podczas zwarcia na szynach rozdzielni. Większym wartościom prądu zwarciowego odpowiadają także większe wartości sił dynamicznych. Jednak wartości czasu przyjmowane do wyznaczania siły F_t , przy określonych poziomach ryzyka są mniejsze dla rozdzielni o większych wartościach prądu zwarciowego. Przyczynia się do tego większe tłumienie prądu zwarciowego przez reaktancję linii. Ilustrują to wyniki symulacji wykonane dla przęseł 220 kV i 400 kV - rys 7.



Rys. 7. Zależność wartości czasu T_{ko} do wyznaczania siły F_t od maksymalnej wartości prądu zwarcia na szynach, ryzyka R_{az} : 1 - 10^{-3} 1/a, 2 - 10^{-4} 1/a, 3 - 10^{-5} 1/a; dla przęśla: a – 220 kV, b – 400 kV

4. PODSUMOWANIE

Badania symulacyjne mogą stanowić pomoc przy doborze czasu trwania zwarcia w inżynierskich obliczeniach sił F_t i F_f . Proponowany dobór oparto na poziomach przyjmowanego w analizie ryzyka, tzn. spodziewanej częstości wystąpienia przekroczenia wyznaczonej siły, w czasie eksploatacji rozdzielni. Wyznaczane wartości czasu trwania zwarcia zależą głównie od parametrów przęśla rozdzielni, zastosowanego naciągu statycznego przewodów oraz mocy zwarciowej.

W rozdzielniach najwyższych napięć o długich przesłach siła F_f posiada z reguły znacznie większe wartości niż siła F_t , ale prawdopodobieństwo jej wystąpienia jest bardzo małe. Szczególnie podczas modernizacji istniejącej rozdzielni potrzebę jej uwzględnienia należy umotywić analizą ekonomiczną. Zamieszczone wyniki dla rozdzielni 400 kV wskazują, że przewidywana częstość występowania sił F_f jest mniejsza niż 10^{-5} 1/a.

Przyjęte założenia, szczególnie nie uwzględnienie rozptyłu prądu zwarciovego w rozdzielni oraz założenie stałej temperatury przewodów przed zwarcie, znacznie zawyżają spodziewaną wartość ryzyka.

W dalszych pracach przewiduje się zastosowanie prezentowanej metody do określania wartości czasu T_{ko} dla zwarć w samej rozdzielni.

LITERATURA

- [1] PN-EN 60865-1 Obliczanie skutków zwarciovych – Część I: Definicje i metody obliczania (IEC 865-1. Short-circuit currents - Calculation of effects. Geneva 1993).
- [2] Frąckowiak R., Piechocki P.: Model symulacyjny do oceny obciążeń dynamicznych w rozdzielniach z szynami giętkimi – koncepcja programu komputerowego, *Materiały XII Konferencji Naukowej – Zastosowanie Komputerów w Elektrotechnice, ZKwE'07*, Poznań 2007, s. 111-112.
- [3] Frąckowiak R., Mitkowski E., Paszyk R.: Application of Monte Carlo method to dynamic tension assessment in substations with flexible bus-bars, *Archives of Electrical Engineering*, nr2, 2000. pp.243-261.
- [4] Frąckowiak R., Piechocki P.: Wartości czasu trwania zwarcia w sieci elektroenergetycznej najwyższych napięć w świetle badań symulacyjnych. *Academic Journals Electrical Engineering, PUT*, nr 70, Poznań 2012, pp.75-82.
- [5] Pscherer L., Stegemann G., Probabilistyczna ocena obciążeń zwarciovych wyłączników wysokiego napięcia (Wahrscheinlichkeitsorientierte Bewertung von Leistungsschalterbeanspruchungen durch Kurzschlussstrom). *Materiały III Międzynarodowe Sympozjum "Jakość zasilania z układów sieciowych"*, Gliwice 1986, s. 274 -279.

INFLUENCE OF SUBSTATION PARAMETERS ON THE CHOICE OF FAULT DURATION ON TRANSMISSION LINES FOR DYNAMIC EFFECTS' CALCULATION

In the paper, a method of assessment of the fault duration on the transmission line is presented regarding dynamic effects in the highest LV substations equipped with flexible bus conductors. Expected yearly frequency of exceeding the calculated dynamic forces has been assumed as the fault duration choice criterion. The simulation results carried out using the Monte Carlo technique are showing how the parameters of the substation and its devices affect the proposed fault duration values in the engineer's short-circuit calculations.