

Określenie nastaw zabezpieczenia ziemnozwarciowego z falkowymi kryteriami działania

Streszczenie. W artykule przedstawiono falkowe kryteria identyfikacji zwarcí doziemnych łukowych w sieciach średnich napięć oraz sformułowano wytyczne wyznaczania nastaw zabezpieczenia ziemnozwarciowego wykorzystującego te kryteria. W szczególności oceniono maksymalne błędy monopolarności impulsów mocy detali prądu i napięcia zerowego oraz określono na tej podstawie moc rozruchową zabezpieczenia.

Abstract. In the paper the wavelet criteria of arc earth short-circuits identification in the medium voltage network were described and guidelines of determination of earth fault protection settings which use this criteria were formulated. Particularly maximum error of power impulses monopolarity of zero sequence current and voltage details was estimated and on this fundamental the setting of power for protection was determined. (**Determination of the earth fault protection settings with wavelet operating criteria**).

Słowa kluczowe: zabezpieczenie ziemnozwarciowe, kryteria falkowe, nastawy.

Keywords: earth fault protection, wavelet criteria, settings.

doi:10.12915/pe.2014.06.52

Wstęp

Znaczna część, 5÷15%, jednofazowych zwarcí z ziemią w sieciach średnich napięć przebiega w postaci niestacjonarnych, krótkotrwałych wyładowań łukowych, pojawiających się sporadycznie w nieregularnych, odstępach czasowych. Tradycyjne zabezpieczenia ziemnozwarciowe, wykorzystujące do identyfikacji zwarcia podstawowe harmoniczne wielkości ziemnozwarciowych, podczas tego rodzaju zwarcí działają często nieprawidłowo, ponieważ wielkości kryterialne (napięcie zerowe, prąd zerowy i jego składowe, admitancja i jej składowe) zawierają duże pulsacje i nieciągłości, które utrudniają lub uniemożliwiają prawidłowe funkcjonowanie tych zabezpieczeń.

Poprawę skuteczności wykrywania zwarcí łukowych przerywanych upatruje się w zastosowaniu falkowych kryteriów zabezpieczeniowych [1-7], lepiej dopasowanych do specyfiki procesów przejściowych towarzyszących takim zwarciom. Obiecujące w tym zakresie jest wykorzystanie wysokoczęstotliwościowych detali [3, 4-7], gdyż są one swoistą cechą procesów niestacjonarnych. W oparciu o badania własne sformułowano i uzasadniono dwa nowe kryteria wykorzystujące detale sygnałów prądu i napięcia zerowego, na podstawie których można zbudować bardzo skuteczne zabezpieczenia [5-7] do wykrywania zwarcí łukowych w sieciach SN z dowolnym sposobem uziemienia punktu neutralnego. Istotnym problemem przy tym jest właściwe określenie parametrów i wielkości nastawczych.

Falkowe kryteria identyfikacji zwarcí doziemnych łukowych

Podstawowymi wielkościami kryterialnymi, wykorzystywanymi w zabezpieczeniu falkowym, są sygnały utworzone z uśrednionego iloczynu detali prądu doziemnego dI i opóźnionego o jedną próbkę napięcia zerowego dU z różnych poziomów m dekompozycji falkowej:

$$(1) \quad dp_{sm}(n) = \sum_{k=0}^{N-1} dI_m(n-k) \cdot dU_m(n-k-1) h_{dp}(k) = \sum_{k=0}^{N-1} p_m(n-k) h_{dp}(k)$$

gdzie: dp - iloczyn detali przed downsamplingiem (proporcjonalny do mocy chwilowej detali), dp_s - moc chwilowa wygładzona, h_{dp} - odpowiedź impulsowa filtru wygładzającego, N - liczba współczynników filtru.

Kryteria falkowe oparto na założeniu, potwierdzonym licznymi badaniami symulacyjnymi, że uśrednione

(wygładzone) impulsy mocy chwilowej dp_s detali wielkości ziemnozwarciowych są praktycznie monopolarne i przyjmują wartości dodatnie dla linii uszkodzonych oraz wartości ujemne dla linii zdrowych.

Identyfikacja zwarcia na podstawie pierwszego kryterium polega na zliczaniu liczby impulsów $Imp1$ odpowiadających dodatniej mocy detali i porównaniu sumy impulsów z wartością nastawioną N_r . Zadziałanie zabezpieczenia następuje po spełnieniu warunku:

$$(2) \quad Dz1 = \left(\sum Imp1 \geq N_r \right)$$

przy czym impulsy są zliczane, jeżeli spełniony jest warunek logiczny:

$$(3) \quad Imp1 = (dp_s > P_r) \& (t_{ip} \geq t_{min}) \& (\Delta t < T_{ret})$$

gdzie: $Dz1$ - sygnał logiczny zadziałania, P_r - moc rozruchowa, t_{min} , t_{ip} - minimalny i rzeczywisty czas trwania impulsu; Δt - odstęp między kolejnymi impulsami; T_{ret} - czas podtrzymania pamięci (retrygeracji) licznika po kolejnym impulsie.

Identyfikacja zwarcia na podstawie drugiego kryterium sprowadza się do sumowania czasów trwania impulsów o wartości jedynki logicznej odpowiadających warunkowi logicznemu $Imp = (dp_s > P_r)$ i porównaniu sumy T_{sum} z wartością nastawioną T_{sr} . Przy czym sumowanie jest kontynuowane, jeżeli odstęp między kolejnymi impulsami Δt jest nie większy niż T_{ret} . Zadziałanie zabezpieczenia następuje po spełnieniu warunku:

$$(4) \quad Dz2 = (T_{sum} \geq T_{sr}) \& (\Delta t < T_{ret})$$

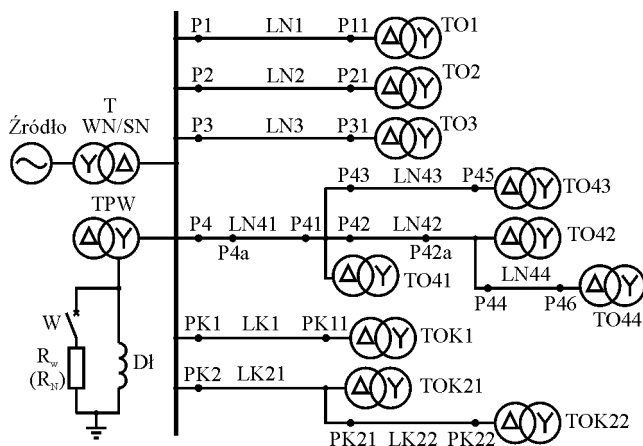
w którym: $T_{sum} = \sum t_{ip}$ - suma czasów impulsów; t_{ip} - czas trwania i -tego impulsu.

Parametry i nastawy zabezpieczenia falkowego

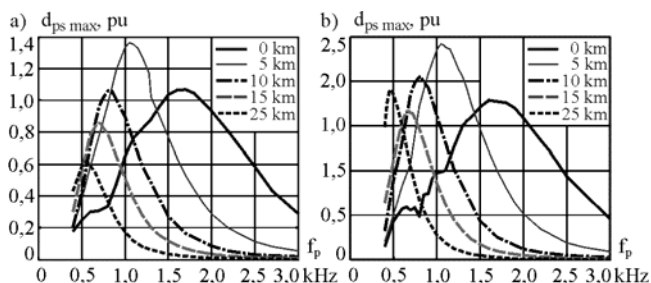
Ważnym zagadnieniem wstępnym przy projektowaniu zabezpieczenia falkowego jest wyznaczenie częstotliwości próbkowania f_p i liczby m jego stopni. Zagadnienie to wyjaśniono na podstawie analizy stanów przejściowych podczas zwarcí łukowych oraz badań symulacyjnych w przeciętnej sieci mieszanej (rys.1) o napięciu $U = 15$ kV, składającej się z sześciu linii (czterech napowietrznych i dwóch kablowych) o łącznym prądzie pojemnościowym

$I_{CS} = 46,79$ A. Może ona pracować z punktem neutralnym izolowanym, uziemionym przez dławik kompensacyjny lub rezystor.

Zabezpieczenie falkowe [6, 7] reaguje głównie na składowe zerowe przejściowe doładowania pojemności faz nieuszkodzonych po każdym zapłonie łuku [8]. Badania zwarć łukowych w sieci SN przedstawionej na rysunku 1 z wykorzystaniem modelu łuku dynamicznego [9] ujawniły silną zależność między częstotliwością próbkowania f_p , częstotliwością składowych doładowania f_d , lokalizacją zwarcia i wielkością uśrednionych impulsów mocy detali dp_s . Ze względu na czułość zabezpieczenia pożądane jest uzyskanie dp_s o jak największej amplitudzie $dp_{s\max}$. Dla każdego punktu zwarciego istnieje pod tym względem pewna optymalna częstotliwość próbkowania. Potwierdza to rysunek 2, na którym przedstawiono charakterystyki amplitudy impulsów w funkcji częstotliwości, określone dla kilku punktów zwarciovych linii LN4 w sieci kompensowanej i w sieci z izolowanym punktem neutralnym.



Rys.1. Schemat ogólny modelu przeciętnej sieci SN



Rys.2. Zależność amplitudy uśrednionych impulsów mocy detali od częstotliwości próbkowania dla linii LN4 w przypadku zwarcia w kilku punktach tej linii: a) sieć kompensowana; $s = 0,1$; b) sieć z izolowanym punktem neutralnym; filtry falkowe rbio3.5; parametry łuku: $U_z = 10$ kV, $I_z = 0,1$ A, $U_0 = 500$ V, $R_1 = 1$ Ω, $\tau = 0,1$ ms [9]

Z teorii falek [10] wiadomo, że najlepiej skorelowane z nimi są sygnały, których częstotliwość jest równa tzw. pseudoczęstotliwości falki f_a , określanej na podstawie częstotliwości środkowej falki f_{cv} , skali a i częstotliwości próbkowania f_p :

$$(5) \quad f_a = f_{cv} f_p / a$$

Zatem w zabezpieczeniu falkowym, wykorzystującym składowe doładowania, częstotliwość próbkowania pierwszego stopnia dekompozycji diadycznej powinna spełniać warunek:

$$(6) \quad f_p \leq 2 f_{d\max} / f_{cv}$$

w którym $f_{d\max}$ oznacza maksymalną częstotliwość doładowania w zabezpieczanej sieci.

W przypadku preferowanej falki rbio3.5 uzyskamy $f_p \leq 3,665 f_{d\max}$, przy tym pseudoczęstotliwość falki $f_a = 0,273 f_p$.

Maksymalna częstotliwość składowych doładowania wystąpi w przypadku zwarcia na szynach stacji. W sieciach z izolowanym punktem neutralnym i kompensowanych można ją oszacować ze wzoru:

$$(7) \quad f_{d\max} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_{1s}(2C_0 + C_1)}}$$

w którym: C_0, C_1 - pojemności dla składowych zerowej i zgodnej sieci; L_{1s} - indukcyjność dla składowej zgodnej systemu.

W sieci z rezystorem R_N dobre przybliżenie $f_{d\max}$ daje wzór:

$$(8) \quad f_{d\max} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{L_{1s}(2C_0 + C_1)} - \frac{1}{[3R_N(2C_0 + C_1)]^2}}$$

Częstotliwość $f_{d\max}$ najczęściej przyjmuje wartości z zakresu 250-800 Hz [8].

Dolna częstotliwość odcięcia górnoprzepustowego filtra falkowego najniższego stopnia zabezpieczenia musi być co najmniej dwukrotnie większa od częstotliwości sieci, w celu ograniczenia oddziaływania na impulsy mocy dp_s prądu i napięcia zerowego o częstotliwości sieciowej. Stąd minimalna częstotliwość próbkowania $f_{p\min} \geq 400$ Hz. Przy tym liczba stopni zabezpieczenia m wyniesie:

$$(9) \quad m = \text{floor}(1 + \ln(f_p / f_{p\min}) / \ln(2))$$

Przykładowo, w zabezpieczeniu przeznaczonym dla sieci przedstawionej na rysunku 1 maksymalna częstotliwość składowych doładowania wynosi 484 Hz. Obliczono ją ze wzoru (7) z uwzględnieniem parametrów: $C_0 = 5,73 \cdot 10^{-6}$ F, $C_1 = 6,81 \cdot 10^{-6}$ F, $L_{1s} = 5,96 \cdot 10^{-3}$ H. Przy tym optymalna częstotliwość próbkowania sygnałów jest równa 1767 Hz. Jest ona zgodna z wynikami badań symulacyjnych (rys.2) dla zwarcia w pobliżu stacji. Można ją z powodzeniem zaokrąglić do często stosowanych wartości 1600 Hz lub 2000 Hz. Maksymalna liczba stopni zabezpieczenia w tym przypadku jest równa 3.

Podstawową wielkością nastawczą w zabezpieczeniu falkowym jest moc rozruchowa P_r . Powinna być ona odniesiona do mocy bazowej S_b , charakterystycznej dla danej sieci i konstrukcji zabezpieczenia. Taką wielkością jest maksymalna moc średnia za jeden półokres składowych przejściowych doładowania $S_{0dsr\max}$, określona dla przypadku pierwszego zapłonu łuku na szynach stacji, przemnożona przez współczynnik skojarzenia z falką k_{sk} :

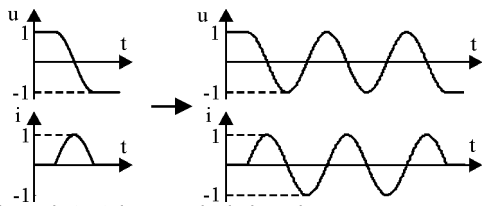
$$(10) \quad S_b = k_{sk} S_{0dsr\max} = k_{sk} \frac{6E_{\max}^2 C_0^3 \omega_{d\max}}{(2C_0 + C_1)^2}$$

gdzie: E_{\max} - amplituda napięcia fazowego źródła zasilania, $\omega_{d\max} = 2\pi f_{d\max}$ - maksymalna pulsacja doładowania.

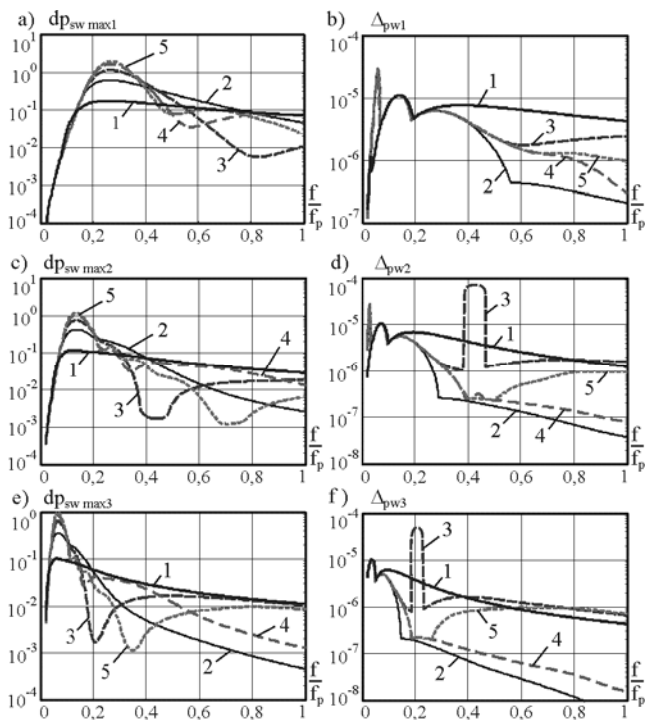
Współczynnik skojarzenia k_{sk} jest zdefiniowany jako iloraz amplitudy mocy uśrednionej detali $dp_{s\max}$ i mocy średniej za jeden półokres sygnałów wejściowych S_{sr1} o częstotliwości $f_d = f_a$. Zależy on od rodzaju filtrów analogowych i falkowych zastosowanych w zabezpieczeniu.

Nastawa P_r musi być dobrana z warunku odstrojenia od maksymalnego błędu monopolarności impulsów Δ_p , który zależy od kształtu i częstotliwości sygnałów wejściowych.

W celu określenia stopnia skojarzenia przebiegów przejściowych z wybraną falką oraz oceny wielkości amplitudy uśrednionych impulsów mocy $dp_{sw\ max}$ i błędu monopolarności Δ_p w funkcji częstotliwości sygnałów wykonano serię badań symulacyjnych zabezpieczenia trójstopniowego podając na jego wejścia paczki impulsów sinusoidalnych prądu i napięcia (wyprzedzającego prąd o kąt $\pi/2$) o jednostkowych amplitudach, zawierające od 1 do 5 półokresów w paczce (rys.3). Impulsy te odpowiadają kształtem nietłumionym składowym zerowym doładowania. Częstotliwość impulsów zmieniano w zakresie od $f_1 = 50$ Hz do $f_p = 2000$ Hz. Wybrane wyniki badań $dp_{sw\ max}$ i Δ_{pw} w jednostkach względnych, odniesionych do mocy średniej za półokres sygnałów wejściowych, przedstawiono na rysunku 4.



Rys.3. Sygnały testujące napięcia i prądu



Rys.4. Amplituda oraz błąd monopolarności uśrednionych impulsów mocy w zabezpieczeniu trójstopniowym z filtrami analogowymi Czebyszewa II rodzaju 6 rzędu w funkcji częstotliwości sygnałów testujących, odpowiednio w stopniach: a, b) pierwszym; c, d) drugim; e, f) trzecim; 1÷5 - liczba półokresów sygnałów testujących

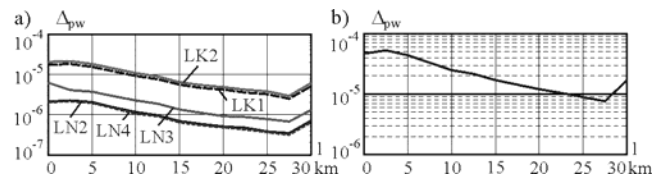
Wartości współczynnika skojarzenia k_{sk} , obliczone dla pierwszego stopnia zabezpieczenia z filtrami analogowymi Czebyszewa II rodzaju lub Butterwortha i filtrami falkowymi typu rbio3.5, zamieszczono w tabeli 1. Zawiera ona również moce bazowe obliczone dla modelu sieci z rysunku 1.

Jak wynika z rysunku 4, największe błędy monopolarności Δ_{pw} są ponad cztery rzędy wielkości mniejsze od maksymalnej amplitudy impulsów $dp_{sw\ max}$.

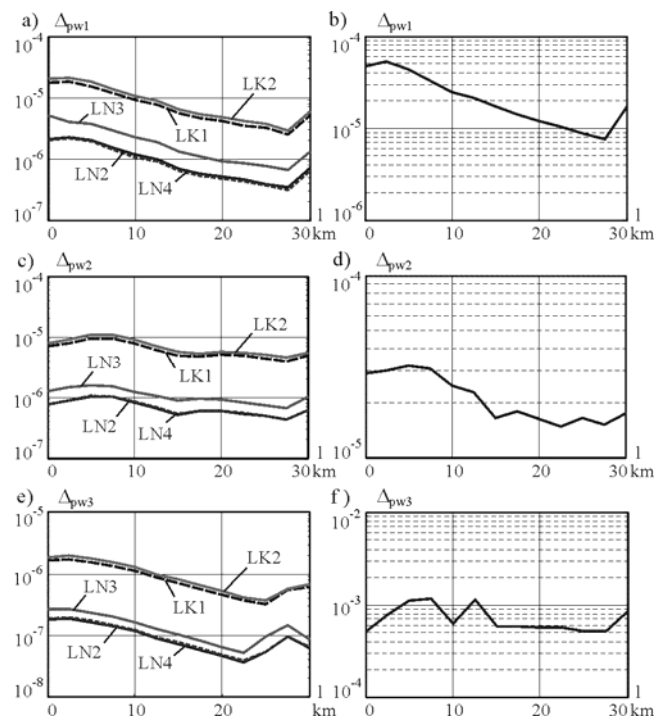
Tabela 1. Wartości współczynnika skojarzenia k_{sk} i mocy bazowej S_b w zależności od typu i podstawowych parametrów filtrów analogowych zabezpieczenia

Rodzaj filtrów analogowych	Czeb. II 4 rzędu	Czeb. II 6 rzędu	Butter. 6 rzędu	Butter. 8 rzędu
Tłumienie dla $f \geq f_p/2$, dB	40	40	18,7	25
Względna częstotliwość odcięcia f_c/f_p dla tłumienia 3 dB	0,248	0,352	0,35	0,35
Współczynnik skojarzenia k_{sk}	0,0774	0,172	0,171	0,172
Moc bazowa S_b , kVA	119	265	263	265

Błędy monopolarności oceniono także w przypadku bardziej realistycznych sygnałów prądu i napięcia, występujących podczas zwarcia łukowego w sieci kompensowanej przedstawionej na rysunku 1. Zbadano zależność błędu względnego monopolarności $\Delta_{pw} = \Delta_p/S_E$ ($S_E = EI_{CS} = 405$ kVA) na liniach nieuszkodzonych i na linii doziemionej w funkcji odległości do zwarcia łukowego. Zwarcia symulowano na linii napowietrznej LN1. Badania wykonano dla zabezpieczenia jednostopniowego, w którym zastosowano częstotliwość próbkowania $f_p = 1000$ Hz, oraz dla zabezpieczenia trójstopniowego z $f_p = 2000$ Hz. W obu rodzajach zabezpieczeń zastosowano filtry analogowe Czebyszewa II rodzaju 6 rzędu. Wyniki badań przedstawiono na rysunkach 5 i 6.



Rys.5. Błąd monopolarności uśrednionych impulsów mocy w zabezpieczeniach jednostopniowych linii nieuszkodzonych (a) oraz linii doziemionej LN1 (b) w funkcji odległości do zwarcia. Zwarcie w sieci skompensowanej ($s = 0,1$). Parametry łuku: $U_z = 10$ kV, $I_z = 0,1$ A, $U_0 = 500$ V, $R_1 = 1 \Omega$, $\tau = 0,1$ ms



Rys.6. Błąd monopolarności uśrednionych impulsów mocy w stopniach 1÷3 zabezpieczeń linii nieuszkodzonych (a, c, e) oraz w stopniach 1÷3 zabezpieczenia linii doziemionej (b, d, f) w funkcji odległości do zwarcia. Zwarcie na linii LN1 w sieci skompensowanej ($s = 0,1$). Parametry łuku: $U_z = 10$ kV, $I_z = 0,1$ A, $U_0 = 500$ V, $R_1 = 1 \Omega$, $\tau = 0,1$ ms

Jak wynika z rysunków, błąd względny monopolarności impulsów mocy detali linii nieuszkodzonych nie przekracza wartości 10^{-4} i jest w bardzo zgrubnym przybliżeniu proporcjonalny do udziału pojemności zerowej linii w pojemności sieci $\alpha = C_{0L}/C_{0S}$. Największe wartości błędów występują na ogół podczas zwarć w pobliżu stacji. Błąd monopolarności impulsów mocy linii doziemionej jest znacznie większy, zwłaszcza w trzecim stopniu zabezpieczenia.

Dla zapewnienia selektywnego działania zabezpieczenia falkowego wystarczy dobrać nastawę P_r powyżej maksymalnych błędów monopolarności impulsów mocy detali występujących podczas zwarcia zewnętrznego, co można wyrazić zależnością:

$$(11) \quad P_r \geq k_b \alpha \Delta_{pw \max} S_b$$

gdzie: k_b - współczynnik bezpieczeństwa, $\Delta_{pw \max}$ - maksymalny błąd względny monopolarności impulsów mocy detali przypadający na moc średnią jednostkową sygnałów wejściowych, S_b - moc bazowa obliczona ze wzoru (10).

Maksymalny błąd względny $\Delta_{pw \max}$ oszacowany na podstawie rysunków 4÷6 nie przekracza wartości 10^{-4} . W przypadku stosowania filtrów analogowych innego typu i niższych rzędów, na przykład Butterwortha czwartego rzędu, należy się spodziewać błędów kilkakrotnie większych. W układach rzeczywistych będą one również kilkakrotnie większe z powodów zakłóceń elektromagnetycznych w obwodach wejściowych zabezpieczeń oraz ograniczonej dokładności cyfrowego przetwarzania sygnałów. Dlatego proponuje się przyjąć bezpieczną wartość maksymalnego błędów $\Delta_{pw \max}$ o rząd wielkości większą od oszacowanej, tj. równą $\Delta_{pw \max} = 0,001$. Minimalna nastawa mocy rozruchowej, przy tym, z uwzględnieniem dodatkowego zapasu bezpieczeństwa $k_b = 2$, wyniesie $P_r = 0,002 \alpha S_b$.

Oprócz mocy rozruchowej w zabezpieczeniu falkowym należy dobrać dla poszczególnych stopni: minimalny czas trwania impulsu t_{\min} , liczbę zliczanych impulsów N_r , łączny czas trwania impulsów T_{sr} oraz czas podtrzymania pamięci T_{ret} . Minimalną długość impulsu można przyjąć z zakresu $2T_{pm} \leq t_{\min} < 5T_{pm}$ (T_{pm} - okres próbkowania na poziomie m dekompozycji) ze wskazaniem na wartość mniejszą, gdyż przy większej wartości będą pomijane impulsy o małej amplitudzie. Liczba zliczanych impulsów powinna być wybrana z warunku $N_r \geq 2$. Uchroni to zabezpieczenie przed zbędnym zadziałaniem pod wpływem impulsów generowanych w wyniku operacji łączeniowych w sieci. Badania symulacyjne pokazały, że w linii nieuszkodzonej, podczas zwarć międzyfazowych i operacji łączeniowych w pozostałej części sieci, powstają pojedyncze ujemne impulsy mocy detali, które są ignorowane przez zabezpieczenie. Jednak nie da się całkowicie wykluczyć pojawienia się dodatnich impulsów. Dlatego zabezpieczenie nie powinno działać po jednym impulsie.

Nastawę T_{sr} należy dobrać co najmniej dwukrotnie większą od czasu odpowiedzi filtrów falkowych na poszczególnych poziomach dekompozycji. W przypadku stosowania falek rbio3.5 czasy T_{sr} w stopniach 1÷3 powinny wynosić: $T_{sr1} \geq 24T_p$, $T_{sr2} = 2T_{sr1}$, $T_{sr3} = 4T_{sr1}$.

Czas T_{ret} zależy od maksymalnych oczekiwanych przedziałów czasowych między kolejnymi zapłonami łuku. W sieciach kompensowanych wartość tego parametru należy wybrać powyżej 0,3 s.

Wnioski

Zaproponowane kryteria falkowe do identyfikacji niestacjonarnych zwarć doziemnych łukowych w sieciach SN bazują głównie na wykorzystaniu składowych zerowych swobodnych doładowania pojemności faz nieuszkodzonych. Wykazano, że pomocą badań symulacyjnych i w formie analitycznej, występowanie ścisłego związku między maksymalną częstotliwością składowych doładowania $f_{d \max}$, pseudoczęstotliwością zastosowanej falki f_a i optymalną częstotliwością próbkowania f_p . W przypadku preferowanej falki rbio3.5 sprowadza się on do zależności $f_p \leq 3,665 f_{d \max}$. Określono w formie analitycznej częstotliwość $f_{d \max}$ i maksymalną liczbę stopni zabezpieczenia wykorzystującego diadyczną dekompozycję sygnałów.

Oszacowano, drogą badań symulacyjnych, maksymalny błąd monopolarności impulsów mocy detali prądu i napięcia zerowego i określono moc rozruchową P_r zabezpieczenia w funkcji mocy bazowej S_b , tj. iloczynu mocy średniej za półokres składowych swobodnych doładowania podczas zwarcia na szynach stacji i współczynnika skojarzenia z falką. Jest to wielkość charakteryzująca poziom składowych przejściowych w sieci i zabezpieczeniu. Oprócz mocy rozruchowej określono także parametry drugoplanowe: minimalny czas trwania impulsu t_{\min} , liczbę zliczanych impulsów N_r , łączny czas trwania impulsów T_{sr} oraz czas podtrzymania pamięci T_{ret} .

LITERATURA

- [1] Musierowicz K., Niekonwencjonalne metody detekcji zwarć w systemach elektroenergetycznych, *Przegląd Elektrotechniczny*, nr 6, 2004, 555-559.
- [2] Lorenc J., Musierowicz K., Kwapisz A., Detection of the intermittent earth faults in compensated MV network. *IEEE Bologna Power Tech. Conference*, paper No. 76, Bologna, 23-26 June 2003.
- [3] Michalik M., Okraszewski T.M., Application of the wavelet transform to backup protection of MV networks - wavelet phase comparison method, *IEEE Bologna Power Tech Conference*, paper No. 154, Bologna, Italy, 23-26 June 2003.
- [4] Elkalashy N.I., Lehtonen M., Advancing DWT-Bayesian technique for earth fault protection in MV networks, *OJEEE*, vol. 1 (2009), No. 2, 89-93.
- [5] Marciniak L., Wavelet criteria for identification of arc intermittent faults in medium voltage networks, *Proceedings of the International Symposium „Modern Electric Power Systems, MEPS'10”*, paper 09.1, Wrocław, 20-22 September 2010.
- [6] Marciniak L., Application of signal wavelet decomposition for identification of arc earth fault, *Przegląd Elektrotechniczny*, 87(2011), nr 2, 101-104.
- [7] Marciniak L., Trójstopniowe zabezpieczenie ziemnozwarciowe z kryteriami falkowymi, *Śląskie Wiadomości Elektrotechniczne*, nr 6, 2011, 36-40.
- [8] Łobos T., Przebiegi przejściowe podczas jednofazowych zwarć doziemnych w sieciach średnich napięć i wykorzystanie ich w automatyce zabezpieczeniowej, *Prace Naukowe Instytutu Energoelektryki Politechniki Wrocławskiej*, nr 30, Monografie nr 3, 1975.
- [9] Marciniak L., Modelowanie zwarć łukowych w sieciach średniego napięcia, *Przegląd Elektrotechniczny*, 2009, nr 3, 188-191.
- [10] Misiti M., Misiti Y., Oppenheim G., Poggi J.M., Wavelet Toolbox 4. User's Guide, The MathWorks, Inc, 2010.

Autorzy: dr inż. Lubomir Marciniak, Politechnika Częstochowska, Instytut Elektroenergetyki, Al. Armii Krajowej 17, 42-200 Częstochowa, E-mail: ubmar@el.pcz.czyst.pl