

Józef LORENC*, Krzysztof ŁOWCZOWSKI*, Bogdan STASZAK*

POPRAWA SKUTECZNOŚCI DZIAŁANIA ZABEZPIECZEŃ ZIEMNOZWARCIOWYCH TYPU YY₀ WSPIERANYCH FUNKCJAMI ADAPTACYJNYMI

W artykule przedstawiono możliwości poprawienia skuteczności działania zabezpieczeń ziemnozwarciowych poprzez dostosowanie wartości nastawczych do zmian spowodowanych modyfikacją sposobu pracy punktu neutralnego w sieci średniego napięcia.

SŁOWA KLUCZOWE: punkt neutralny, zwarcie doziemne, admitancja, przekąźnik zabezpieczeniowy, elektroenergetyczna automatyka zabezpieczeniowa

1. WPROWADZENIE

Zabezpieczenie ziemnozwarciowe typu YY₀ służy do wykrywania wysokoporowych zwarć z ziemią w sieciach średnich napięć, w których układ uzziemienia punktu neutralnego może, podczas zwarcia doziemnego, wywołać chwilowe zmiany wypadkowej impedancji obwodu ziemnozwarciowego. Typowym układem takiego uzziemienia jest dławik (cewka Petersena), którego impedancja ulega zmianie po chwilowym załączeniu bocznika rezystancyjnego lub chwilowym załączeniu bocznika reaktancyjnego. W obu rozwiązaniach załączaniem boczników steruje odpowiednia automatyka – AWSCz (automatyka wymuszania składowej czynnej) lub AWSB (automatyka wymuszania składowej biernej). Dławik w tym rozwiązaniu pełni bardzo ważną rolę, ponieważ ogranicza prąd zwarcia z ziemią do wartości pozwalającej na zgaszenie łuku zwarciego i pozwala na samoistne, szybkie zlikwidowanie zakłócenia o charakterze nietrwałym. Ze względu na relatywnie dużą liczbę rejestrowanych takich zwarć praca dławika ma kluczowe znaczenie dla niezawodnej pracy sieci [1].

Kompensujące działania dławika stwarza jednak trudne warunki pracy dla urządzeń lokalizujących linię dotkniętą trwałym zwarcie z ziemią. Poprawę tych warunków i wzmocnienie wielkości pomiarowych uzyskuje się poprzez stosowanie układu bocznikującego i automatyki typu AWSCz lub AWSB. Od kilkunastu lat polskie spółki dystrybucyjne stosują zabezpieczenia ziemnozwarciowe, w których kryteria decyzyjne opierają się na analizie jakościowej i ilo-

* Politechnika Poznańska

ściowej admitancji mierzonych w obwodach ziemnozwarciowych. Zostały one opracowane w Instytucie Elektroenergetyki Politechniki Poznańskiej i wdrożone do produkcji przez krajowych i zagranicznych wytwórców urządzeń EAZ [2]. Zastąpiły one rozwiązania tradycyjne, których skuteczność działania jest relatywnie niska i nie obejmuje zakłóceń, podczas których rezystancje w miejscu zwarcia osiągają wartości powyżej 1,5 k Ω [3]. Do innych zabezpieczeń stosowanych w sieciach uziemionych przez dławik gaszący zalicza się zabezpieczenia wykorzystujące zawartość wyższych harmonicznnych w sygnałach pomiarowych [4]. Autorom są znane również nowsze propozycje, na przykład takie jak zaprezentowano w [5], dla których przewidywana skuteczność obejmuje rezystancje przejścia nawet na poziomie 10 k Ω . Są to jednak rozwiązania na etapie badań i brakuje doświadczeń eksploatacyjnych potwierdzających ich zdolności w działaniu.

Wykrywanie zwarć wysokooporowych jest bardzo ważne, ponieważ pozwala ograniczyć ryzyko porażenia ludzi i zwierząt. Zwarcie jest bowiem stanem awaryjnym podczas, którego układ izolacji zostaje uszkodzony, przez co potencjał elektryczny przenosi się na pobliskie elementy oraz ziemię [6]. W miejscu doziemienia potencjał jest największy i maleje ze wzrostem odległości od miejsca zwarcia. Różnice potencjałów między stopami nazywa się powszechnie napięciem krokowym. Napięcie krokowe maleje ze wzrostem odległości od miejsca doziemienia i zależy od odległości między stopami. Do porażenia może więc dojść nieświadomie, bez bezpośredniego kontaktu z miejscem uszkodzenia np. zerwanym przewodem.

Dodatkowym niekorzystnym zjawiskiem jest wynoszenie zagrożenia porażeniowego poza miejsce uszkodzenie. Typowym przykładem jest doziemienie w stacji SN/nn, z której potencjał wywołany zwarcie z ziemią jest wynoszony przewodem neutralnym linii do obwodów instalacyjnych niskiego napięcia.

W przypadku bezpośredniego kontaktu z miejscem uszkodzenia spodziewane napięcie rażeniowe jest większe. Ryzyko bezpośredniego dotyku miejsca uszkodzenia np. zerwanego przewodu zależy od świadomości ludzi. Odpowiednie przepisy wskazują miejsca, w których potencjalne awarie miałyby szczególnie niekorzystne skutki i nakazują zachowanie szczególnych środków ostrożności np. zwiększenie pewności zawieszenia przewodów [7]. Niestety, biorąc pod uwagę rozległość sieci dystrybucyjnych – ponad 850 tys. kilometrów linii średniego napięcia w Polsce, nie jest możliwe zapobiegnięcie wszystkim awariom i dlatego ważne jest stosowanie urządzeń do detekcji zwarć wysokooporowych [8]. Przedstawione w artykule zabezpieczenie YY_0 jest jednym z najskuteczniejszych stosowanych środków zapobiegawczych. Należy jednak podkreślić, że nawet najlepsze zabezpieczenie nie jest w stanie wykryć wszystkich awarii np. zerwanego przewodu wiszącego w powietrzu [9], zwarcia z równoczesną przerwą od strony zasilania [10].

Poprawa skuteczności wykrywania awarii może być osiągnięta poprzez wykorzystanie przyrządów pomiarowych zainstalowanych w stacjach transformatorowych SN/nn po stronie niskiego napięcia. Możliwe jest wykrywanie pracy niepełnofazowej, a tym samym stwierdzenie uszkodzenia linii napowietrznej [10].

W momencie wystąpienia zwarcia jednofazowego o niskiej rezystancji dochodzi do przepięć o dużej wartości. Wartość szczytowa przepięć zależy głównie od sposobu pracy punktu neutralnego oraz od rezystancji przejścia w miejscu zwarcia. Przepięcia w fazach nieuczestniczących w zwarciu jednofazowym skutkują wzrostem naprężenia na izolacje. Wzrost naprężenia na izolacje podczas zwarcia jednofazowych może prowadzić do uszkodzenia kolejnych elementów sieci elektroenergetycznej i w konsekwencji do wystąpienia zwarcia dwufazowych z ziemią [11]. Zwarcie dwufazowe z ziemią jest szczególnie niebezpieczne ponieważ prowadzi do przepływu prądu zwarciovego o dużej amplitudzie. W konsekwencji może dojść do awarii kolejnych elementów sieci elektroenergetycznej np. upalenia mostka, co wydłuża czas usunięcia awarii i przestoju w przedsiębiorstwach zasilanych z ciągu, w którym wystąpiła awaria. Prawdopodobieństwo wystąpienia zwarć dwufazowych z ziemią jest szczególnie duże, jeżeli sieć elektroenergetyczna pracuje z niewykrytym zwarcie doziemnym, ponieważ izolacja jest uszkodzona.

2. ZABEZPIECZENIE PORÓWNAWCZO-ADMITANCYJNE

Porównawczo-admitancyjne zabezpieczenie ziemnozwarciowe YY_0 jest dedykowane przede wszystkim kompensowanym sieciom SN. Jak wspomniano wcześniej zostały one opracowane w Instytucie Elektroenergetyki Politechniki Poznańskiej i szczegółowo opisane w [12, 13, 14, 15, 16], a ich pierwsze konstrukcje wdrożono w ostatnich latach ubiegłego wieku. Obecnie występuje ono w postaci algorytmów decyzyjnych w niektórych zintegrowanych systemach pomiarów i zabezpieczeń instalowanych w polach rozdzielni SN (np. system CZIP [2]). Wielkością kryterialną zabezpieczenia YY_0 jest przyrost admitancji ΔY_0 w obwodzie składowej zerowej linii podczas zwarcia doziemnego i po wprowadzeniu zmian w impedancji uziemiającej punkt neutralny sieci. Działanie zabezpieczenia opisują następujące warunki:

$$\Delta Y_0 = \left| \frac{1}{S_1^I} |S_3^I - S_4^I| - \frac{1}{S_1^{II}} |S_3^{II} - S_4^{II}| \right| \geq \Delta Y_{0n} \quad (1a)$$

$$S_5 \geq U_{0n} \quad (1b)$$

gdzie: S_1^I, S_3^I, S_4^I – sygnały mierzone w czasie doziemienia sieci przed działaniem urządzeń do wymuszania dodatkowego prądu zwarcia, $S_1^{II}, S_3^{II}, S_4^{II}$

– sygnały mierzone w czasie doziemienia sieci po zadziałaniu urządzeń do wymuszania dodatkowego prądu zwarcia, ΔY_{0n} – wartość nastawcza (progowa) przyrostu admitancji mierzonej w obwodach składowej zerowej linii, U_{0n} – wartość nastawcza kryterium napięciowego.

Poszczególne sygnały S są funkcjami napięcia składowej zerowej sieci (U_0) i składowej zerowej prądu linii (I_0) rejestrowanych podczas zwarcia doziemnego. Opisują to następujące zależności:

$$S_1 = k_u U_0 \quad (2)$$

$$S_2 = k_i I_0 \quad (3)$$

$$S_3 = |k_y \underline{U}_0 + k_i \underline{I}_0| \quad (4)$$

$$S_4 = |k_y \underline{U}_0 - k_i \underline{I}_0| \quad (5)$$

Ich uzupełnieniem jest sygnał S_5 podawany na człon rozruchu napięciowego zabezpieczenia. Opisany jest on wyrażeniem:

$$S_5 = k_n U_0 \quad (6)$$

Współczynniki k_u , k_i , k_y i k_n wyrażają sposób przetwarzania sygnałów wejściowych w torach pomiarowych prądu I_{0i} i napięcia U_0 . Współczynniki k_u , k_i , i k_n są bezwymiarowe i wyrażają wypadkową przekładnię transformatorów i dzielników wejściowych, natomiast współczynnik k_y ma wymiar admitancji dodatkowego obwodu w torze napięciowym.

Warunki pracy zabezpieczeń reagujących według powyższej zależności nie zależą od parametrów doziemnych linii, a ich czułość działania zależy tylko od impedancji urządzeń wymuszających dodatkowy prąd zwarcia z ziemią. Stosowanie w kompensowanych sieciach układów automatyki wymuszania składowej czynnej prądu ziemnozwarciowego (AWSCz) powoduje, że przyrost admitancji ΔY_0 , obserwowany w linii doziemionej, wynika przede wszystkim z przyrostu konduktancji ΔG_0 i jest proporcjonalny do wartości załączanej w punkcie neutralnym rezystancji. Wartości nastawcze zabezpieczeń YY_0 ze względów praktycznych ustala się najczęściej na poziomie 50% wartości konduktancji urządzeń włączanych podczas działania układu AWSCz. Z doświadczeń eksploatacyjnych wynika, że dla typowych tego typu urządzeń stosowanych w Polsce skuteczność działania zabezpieczeń YY_0 kończy się podczas zwarc z ziemią, którym towarzyszy rezystancja przejścia R_F przekraczająca wartości 2000 Ω . Te ograniczenia powodowane są przede wszystkim utratą czułości działania kryterium napięciowego opisanego warunkiem (1b) i uszczegółowionej zależnością:

$$\underline{U}_{0p} = \frac{E_f}{1 + R_F \omega C_{0s} (d_0 + js)} \quad (7)$$

$$d_0 = \frac{G_{0s}}{\omega C_{0s}} \quad (7a)$$

$$s = \frac{1}{\omega^2 L_d C_{0s}} - 1 \quad (7b)$$

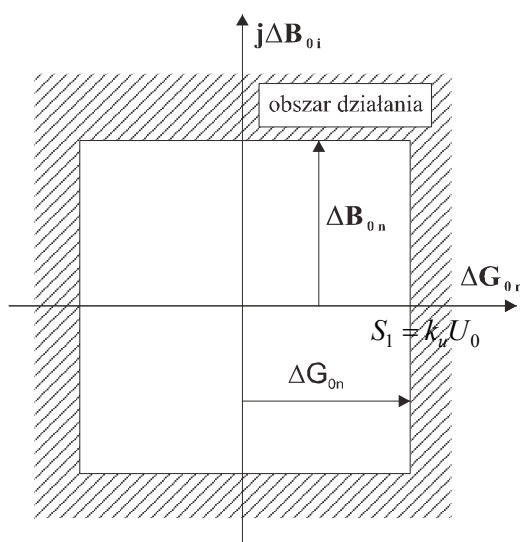
gdzie: U_{0p} – składowa zerowa napięcia pomiarowego, E_F – fazowe napięcie źródłowe sieci, R_F – rezystancja przejścia w miejscu doziemienia, C_{0s} – pojemność doziemna sieci, ω – pulsacja sieci, d_0 – współczynnik tłumienia obwodu doziemnego sieci definiowany ilorazem konduktancji doziemnej sieci G_{0s} do jej susceptancji ωC_{0s} , s – współczynnik rozstrojenia kompensacji ziemnozwarciowej, L_d – indukcyjność dławika kompensującego (cewki Petersena).

Analizując wzory (6) i (7), łatwo wykazać, że czułość napięciową zabezpieczenia YY_0 można poprawić przez oddziaływanie na wartości współczynników d_0 i s lub stosując, w określonych warunkach zwarciovych, obniżenie wartości nastawczej U_{0m} . Jednak decyzję o wykorzystaniu takich możliwości należy podjąć dopiero w czasie trwania doziemienia i po analizie parametrów ziemnozwarciowych. W tym celu należy algorytmy sterowania urządzeniami wymuszania dodatkowego prądu ziemnozwarciowego oraz algorytmy decyzyjne zabezpieczeń YY_0 doposażyć w funkcje adaptacyjne. Poniżej przedstawiono dwa rozwiązania spełniające cechy takich funkcji.

3. FUNKCJA ADAPTACYJNA W ZAKRESIE WYBORU TYPU AUTOMATYKI WYMUSZANIA DODATKOWEGO PRĄDU ZWARCIA DOZIEMNEGO

Z analizy wzoru (7) jednoznacznie wynika, że poziom napięcia U_{0p} , przy określonych wartościach C_{0s} i R_F , jest silnie uzależniony od wartości współczynnika d_0 i stopnia rozstrojenia kompensacji s . Podczas działania urządzeń AWSCz zwiększeniu ulega wartość współczynnika d_0 , natomiast po zastąpieniu rezystora wymuszającego odpowiednią reaktancją zmienia się wartość współczynnika s . W praktyce zmiany współczynnika s dotyczą wartości lub znaku i mogą być realizowane przez włączanie lub wyłączanie reaktancji realizującej automatykę wymuszania składowej biernej prądu ziemnozwarciowego (urządzenia AWSB). Wykorzystanie skutków działania AWSB wymaga zastosowania w zabezpieczeniu YY_0 kryterium badające przyrosty susceptancji w obwodach składowej zerowej linii. W związku z tym należy zastosować uniwersalną charakterystyką admitancyjną zabezpieczenia w postaci przedstawionej na rys. 1. Dla potrzeb zrealizowania charakterystyki obejmujące również obszary susceptancji należy rozszerzyć kryterium opisane zależnością (1) o analogiczny warunek, w którym sygnały w torze prądu I_0 są

przesunięte dodatkowo o kąt fazowy równy $\pi/2$. Po takim zabiegu charakterystyka działania zabezpieczenia YY_0 przyjmuje postać przedstawioną na rys. 1, na którym na płaszczyźnie zespolonej zaznaczono przyrosty konduktancji lub susceptancji konieczne do zadziałania.

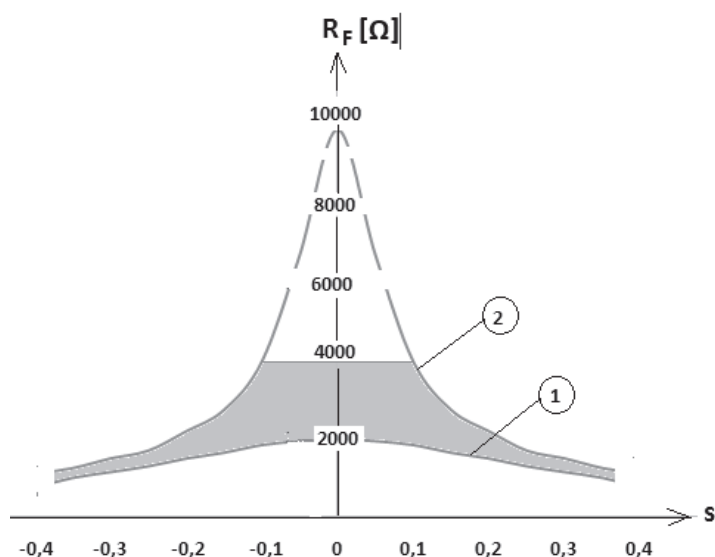


Rys.1. Charakterystyka admitancyjnego zabezpieczenia typu YY_0

Typowym rozwiązaniem AWSB są rozwiązania podobne do układów realizujących wymuszanie składowej czynnej z tą różnicą, że w miejsce rezystora wymuszającego instaluje się dławik o określonej reaktancji indukcyjnej, która może być uzupełnieniem cewki Petersena uziemiającej punkt neutralny sieci. Załączaniem lub wyłączaniem dławika zajmuje się odpowiedni sterownik. Dotychczasowe doświadczenia wskazują [17], że układy AWSB mogą być w wielu przypadkach efektywniejsze dla potrzeb zabezpieczeniowej automatyki ziemnozwarciowej niż AWSCz. Dotyczy to przede wszystkim zakłóceń doziemnych, którym towarzyszą znaczne rezystancje przejścia w miejscu zwarcia.

Na rys. 2 przedstawiono krzywe $R_F = f(s)$ opisujące graniczne obszary wykrywanych zwarć doziemnych oporowych przez zabezpieczenia typu YY_0 w kompensowanej sieci 15 kV o doziemnym prądzie pojemnościowym 120 A. Z przebiegów tych krzywych wynika, że w takiej, typowej dla polskich rozwiązań sieci SN, przy bardzo dobrej kompensacji (rozstrojenie mniejsze 0,1) obszar wykrywanych zwarć może być znacznie większy podczas działania urządzeń AWSB (krzywa 2) niż w przypadku włączania układu AWSCz (krzywa 1). Zjawisko to należy tłumaczyć tym, że wpływ reaktancji urządzeń

AWSB na poziom składowej zerowej napięcia sieci jest mniejszy niż rezystora układu AWSCz.



Rys. 2. Rezystancje graniczne wykrywane przez zabezpieczenia YY_0 podczas działania urządzeń wymuszających typu AWSCz (krzywa 1) lub typu AWSB (krzywa 2) dla typowej skompensowanej sieci SN o susceptancji doziemnej 0,013 S

Przebiegi krzywych 1 i 2 opisują skuteczność działania zabezpieczenia YY_0 po działaniu urządzeń wymuszających zmieniających prąd zwarcia (o składową czynną – AWSCz lub składową bierną – AWSB) na poziomie 20% doziemnego prądu pojemnościowego sieci oraz przy założeniu, że wartość nastawcza U_{0n} kryterium napięciowego wynosi 15% napięcia fazowego sieci. Przyjęto również, że sieć jest symetryczna w zakresie fazowych pojemności doziemnych, a naturalna tłumienność obwodu doziemnego d_0 nie przekracza wartości 0,04.

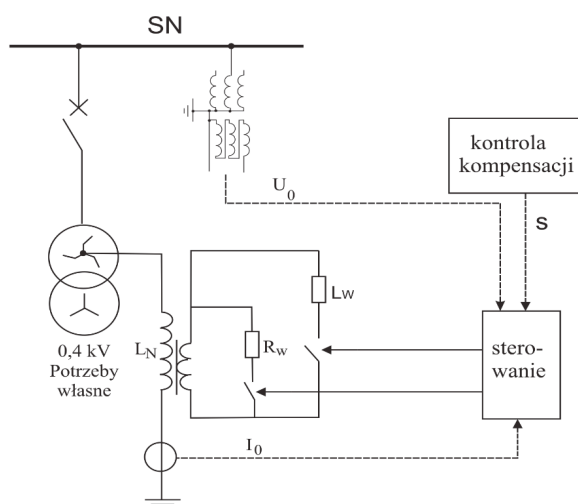
Praktyczne możliwości wykorzystania dużej skuteczności działania zabezpieczeń YY_0 podczas wymuszania dodatkowo składowej biernej zaznaczono na rys. 2 polem zamalowanym szarym kolorem. Maksymalną skuteczność (4000Ω) uzyskuje się w warunkach rozstrojenia kompensacji po zadziałaniu urządzeń AWSB do poziomu 0,1. Efekt taki wystąpić może jednak tylko wtedy, gdy:

- sieć niedokompensowana (rozstrojenie nie większe niż $s = -0,1$) po działaniu AWSB przechodzi w stan przekompensowania (rozstrojenie nie większe niż $s = -0,1$),

- sieć przekompensowana (rozstrojenie nie większe niż $s = -0,1$) po działaniu AWSB przechodzi w stan niedokompensowania (rozstrojenie nie większe niż $s = -0,1$).

W pozostałych stanach kompensacji skuteczność będzie słabsza i w przypadku relatywnie dużych rozstrojeń powodowanych działaniem urządzeń AWSB zakres wykrywanych rezystancji będzie poniżej 2000Ω , czyli gorszy niż w przypadku działania urządzeń AWSCz w sieci dobrze skompensowanej.

Funkcja adaptacyjna sterownika urządzeń wymuszających może zatem podejmować decyzję o wyborze rodzaju automatyki (AWSCz czy AWSB) oraz o sposobie realizacji wymuszania w układzie AWSB. Powinna być realizowana zasada, że w sytuacji aktualnego stanu niedokompensowania należy zmniejszyć reaktancję dławika, w przypadku przekompensowania ją zwiększyć. Propozycje takiego rozwiązania przedstawiono na rys. 3. Ważną rolę w tym rozwiązaniu pełni układ sterujący, w którym mierzony jest poziom napięcia U_0 oraz kontrolowany jest stan kompensacji ziemnozwarciowej. Układ AWSB realizuje zwiększenie prądu indukcyjnego przez załączenie dodatkowej reaktancji L_{NW} , natomiast zwiększenie prądu pojemnościowego przez wyłączenie tej reaktancji (zmniejszenie prądu indukcyjnego). W tym drugim wypadku reaktancja L_{NW} stanowi trwały element układu kompensującego i w stanie pracy sieci niezakłóconej jest załączona. Układ wymaga ciągłej informacji o aktualnym stanie kompensacji. Powszechne stosowanie rozwiązań z kompensacją nadążną [18, 19] oraz stacjonarnych układów kontroli parametrów doziemnych sieci [20, 21] w pełni umożliwiają dostęp do takiej informacji.



Rys. 3. Układ z możliwością załączenia urządzeń AWSB lub AWSCz

Uruchamianie automatyki AWSCz (włączanie rezystora R_w) jest zasadne wtedy, gdy zwarcia są niskooporowe (relatywnie duża wartość U_{op} – np. powyżej 50% napięcia fazowego) lub stan rozstrojenia kompensacji jest zbyt duży. O podjęciu decyzji w tym zakresie może również zdecydować aktualny poziom naturalnej asymetrii doziemnej sieci.

5. PODSUMOWANIE

W artykule opisano korzyści wynikające ze stosowania zabezpieczeń zabezpieczenia YY_0 z funkcjami adaptacyjnymi – ograniczenie ryzyka porażenia osób postronnych oraz zmniejszenie prawdopodobieństwa wystąpienia zwarców dwufazowych z ziemią. Przedstawiono możliwości poprawy skuteczności działania zabezpieczeń admitancyjnych poprzez zastosowanie specjalnych funkcji adaptacyjnych w algorytmach sterujących automatyki stacyjnej i algorytmach decyzyjnych kryteriów YY_0 . Opisano zasady korzystania z takich funkcji i wykazano, że mają one bardzo znaczący wpływ na poprawę skuteczności działania zabezpieczeń. Można stwierdzić, że w typowych układach sieciowych średniego napięcia i rozwiązaniach aktywnych funkcji adaptacyjnych, uzyskuje się dobre warunki do zadziałania zabezpieczeń YY_0 nawet przy kilkakrotnie większych rezystancjach w miejscu doziemienia niż podczas wyłączenia lub braku zastosowania takich funkcji.

LITERATURA

- [1] Yan X., He Z., Chen W., An Investigation into Arc Self-extinguishing Characteristics on Peterson Coil Compensated System, Konferencja High Voltage Engineering and Application, Chongqing, 2008.
- [2] RELPOL S.A., Zakład Polon, CZIP-PRO, 2016.
- [3] Brusilowicz B., Łukowicz M., Michalik M., Rebizant W., Schiel L., Sensitivity Comparison of Admittance and Watt-metric Criteria for Ground Fault Detection, Konferencja Development in Power System Protection, Edynburg, 2016.
- [4] Papp K., Konig R., Arc Suppression Coils - The key component of modern earthfault protection systems, IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition: Latin America, 2010.
- [5] Wahlroos A., Altonen J., Hakola T., Kempainen T., Practical Application and Performance of Novel Admittance Based Earth-fault protection in Compensated MV-Networks, Konferencja CIRED, Frankfurt, 2011.
- [6] Jabłoński W., Napięciowe Kryteria Skuteczności Ochrony Przeciwporażeniowej przy Uszkodzeniu w Liniach oraz Instalacjach Elektrycznych Niskiego i Wysokiego Napięcia, inpe, 2013, 169 (10).
- [7] Jankiewicz Z., <http://www.bezel.com.pl/index.php/system-elektroenergetyczny/linie-napowietrzne#obostrzenia>, Bezel 2016.

- [8] Think Paga! Akademia Analiz i Mediów, Nowy model opłat jakościowych sposobem na niezawodne dostawy energii elektrycznej, Raport 2015.
- [9] Hoppel W., Uziemienia Betonowych Słupów Linii Średniego Napięcia, inpe, 2017, 208-209 (1-2).
- [10] Kwapisz A., Lorenc J., Staszak B., Identification and Location Open Phase Fault in the MV Network with Wireless Data Acquisition, Conference on Electricity Distribution, Vienna, 2007.
- [11] Hansen J. Z., Results from Danish failure statistics for medium voltage XLPE cables, Konferencja CIRED, Sztokholm, 2013.
- [12] Florkowski W., Lorenc J., Maćkowiak M., Musierowicz K., Sposób i układ wybiorczego zabezpieczenia od jednofazowych zwarć z ziemią w sieci o małym prądzie ziemnozwarciowym, Patent PL Nr 116699.
- [13] Lorenc J., Admitancyjne zabezpieczenia ziemnozwarciowe, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, 2007.
- [14] Lorenc J., Kordus A. Erdschlusschutz fur Mittelspannungsnetze auf der Basis eines Vergleiches der Leitungsnulladmittanzen, Elektrze, 5, 1985.
- [15] Lorenc J., Marszałkiewicz K., Andruszkiewicz J., Admittance Criteria for Earth Fault Detection in Substation Automation Systems in Polish Distribution Power Networks. CIRED, Birmingham, Publication IEEE 438, 1997.
- [16] Wahlross A., Altonen J., Compensated Networks and Admittance Based Earth-fault Protection, 2011.
- [17] Lorenc J., Musierowicz K., Sposób i układ do pomiaru stopnia skompensowania prądu ziemnozwarciowego w sieciach kompensowanych średniego napięcia, Patent PL Nr 150320.
- [18] ABB, Zabezpieczenie pola liniowego z funkcjami sterowniczymi REF615 – Przewodnik po produkcji, 2016.
- [19] Lorenc J., Rakowska A., Staszak B., Limitation of Earth-Fault Disturbances and their Effects in Medium Voltage Overhead Lines. Przegląd Elektrotechniczny no. 4, 2007.
- [20] Lorenc J., Torbus M., Staszak B., Automatyczne sterowanie kompensacją ziemnozwarciową w sieciach SN przy wykorzystaniu miernika parametrów ziemnozwarciowych, Wiadomości Elektrotechniczne, 12, 2013.
- [21] Lorenc J., Staszak B., Wiśniewski A., Sposób i układ do wykrywania zwarć wysokooporowych w liniach pracujących w kompensowanej sieci średniego napięcia, Patent PL Nr 226282.

IMPROVING THE EFFECTIVENESS OF THE OPERATION OF EARTH FAULT PROTECTION Y_{Y_0} TYPE SUPPORTED WITH ADAPTIVE FUNCTIONS

Paper present possibilities for improvement of ground fault protection by adjustment of protective relay settings due to change of neutral point impedance in medium voltage networks.

(Received: 15.02.2018, revised: 10.03.2018)