

# SPOSÓB OCHRONY MASZYN GÓRNICZYCH PRZED SKUTKAMI ZWARĆ DOZIEMNYCH W SIECIACH ŚREDNIEGO NAPIĘCIA

## METHOD OF A GROUND FAULT PROTECTION OF MINING MACHINERY OPERATING IN MV NETWORK

Bogdan Miedziński, Daniel Pyda, Witold Dzierżanowski - Zakład Elektroenergetycznej Automatyki Zabezpieczeniowej, Politechnika Wroclawska

*Niezawodna praca maszyn górniczych wymaga zapewnienia nie tylko odpowiednich, wymaganych warunków odnośnie do zasilania energią elektryczną, lecz również niezawodnej ochrony przed skutkami wszelkiego rodzaju awarii elektrycznych. Szczególnie istotna w tym przypadku jest skuteczna ochrona ziemnozwarciowa z uwagi na duże prawdopodobieństwo wystąpienia 1-fazowych zwarć doziemnych w sieciach średniego napięcia.*

*W artykule przedstawiono i omówiono ideę wykorzystania charakterystycznych, wybranych cech harmonicznnych parzystych w liniach zdrowych i uszkodzonych zasilanych z sieci średniego napięcia, do wykrywania 1-fazowych zwarć doziemnych.*

*Reliable operation of mining machinery requires stable and high quality electrical energy to supply as well as application of proper protection against any possible electrical disturbances. Particularly important is effective ground fault protection due to high probability of 1-phase fault occurrence in practice.*

*In the paper is presented and discussed an idea of application of selected physical quantities of even current harmonics in faulty as well as healthy middle voltage feeders to detect and to clear ground faults.*

### Wstęp

Niezawodna praca maszyn górniczych wymaga zapewnienia nie tylko odpowiednich, wymaganych warunków odnośnie do zasilania energią elektryczną, lecz również niezawodnej ochrony przed skutkami wszelkiego rodzaju awarii elektrycznych. Szczególnie istotna w tym przypadku jest skuteczna ochrona ziemnozwarciowa z uwagi na duże prawdopodobieństwo wystąpienia 1-fazowych zwarć doziemnych w sieciach średniego napięcia.

Dotychczasowe kłopoty związane z selektywnym wykrywaniem i eliminacją zwarć doziemnych w sieciach SN, zwłaszcza w sieciach o małych wartościach prądów zwarciovych [2], a w szczególności w przypadku zwarć doziemnych o dużej wartości rezystancji przejścia, zmuszają do poszukiwania nowych rozwiązań zabezpieczeń, spełniających wymagania odnośnie do zarówno dużej czułości jak i selektywności działania. Jednym z takich rozwiązań może być zaproponowany przez autorów układ wykorzystujący harmoniczne parzyste prądu zwarcia doziemnego (jak w [1]). Harmoniczne te wymuszane są z niezależnego źródła. Z uwagi na fakt, że w normalnych warunkach eksploatacyjnych w prądach roboczych sieci parzyste harmoniczne praktycznie nie występują, stąd zarówno sam fakt pojawienia się ich w kontrolowanych sygnałach jak i ich charakterystyczne cechy mogą być z powodzeniem wykorzystane w kryteriach wystąpienia zwarcia doziemnego.

W artykule przedstawiono i omówiono ideę wykorzystania charakterystycznych, wybranych cech harmonicznnych parzystych prądu w liniach zdrowych i uszkodzonych zasilanych z sieci średniego napięcia, do wykrywania 1-fazowych zwarć doziemnych.

### Opis modelu sieci SN (6kV)

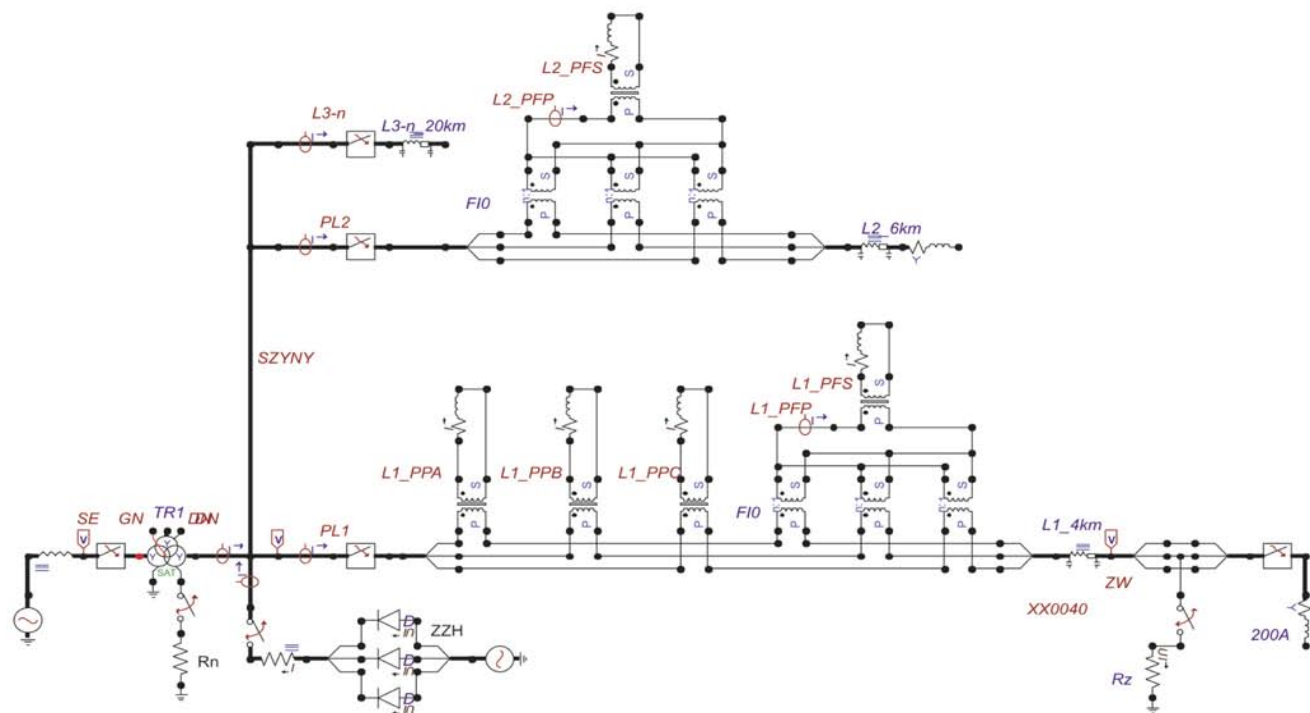
W ATP/EMTP [3] zamodelowano sieć kablową 6 kV z wyróżnioną linią  $L_1$ , w której na jej końcu, inicjowano 1-fazowe

zwarcie doziemne. Zwarcie to symulowano poprzez odpowiednią zmianę wartości rezystancji  $R_z$  (na drodze faza – ziemia). W sieci uwzględniono również linię nieuszkodzoną  $L_2$  po to, by istniała możliwość oceny analizowanych przebiegów prądowych w przypadku wystąpienia zwarcia w linii sąsiedniej. Pozostałą część sieci zamodelowano za pomocą jednej, zastępczej linii  $L_{3-n}$  o odpowiednio dobranych parametrach. Graficzną reprezentację w ATPDraw modelu symulacyjnego sieci pokazano na rysunku 1.

Zewnętrzne źródło harmonicznnych parzystych prądu (ZZH) zainstalowano bezpośrednio na szynach zbiorczych sieci średniego napięcia. Składa się ono ze źródła trójfazowego symetrycznego napięcia przemiennego (o częstotliwości 50Hz), diod półprzewodnikowych (zainstalowanych po jednej na każdej fazie) oraz rezystancji trójfazowej o odpowiednio dobranej wartości. W przeciwieństwie do propozycji układowej opisanej w [1], chwila, w której następuje wymuszenie wyższych harmonicznnych parzystych prądu jak i czas trwania sygnału wymuszenia są całkowicie niezależne od miejsca i czasu trwania zwarcia 1-fazowego.

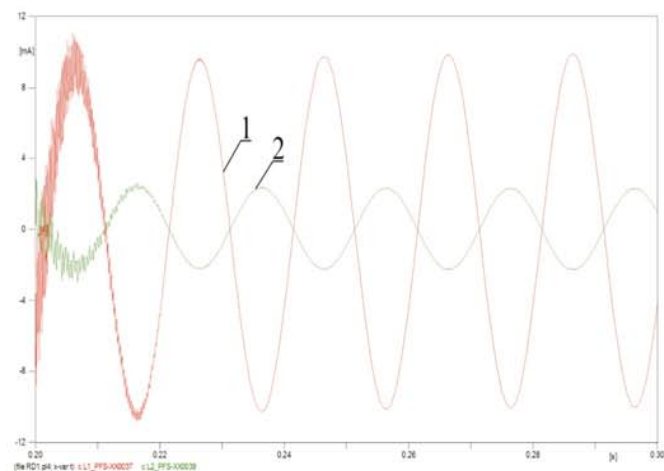
W opracowanym modelu czas trwania wymuszanego impulsu (długość impulsu) oraz moment jego pojawienia się kontrolowane są za pomocą łącznika ustalającego czasy pracy (zał./wył.). Rozwiązanie takie pozwala na odpowiednie dopasowanie parametrów czasowych generatora harmonicznnych parzystych prądu dla potrzeb zabezpieczanej sieci SN. Na liniach  $L1$  i  $L2$  zamodelowano filtry składowej zerowej prądu, realizowane poprzez przekładniki prądowe połączone w odpowiedni sposób. Otrzymywane na ich wyjściach przebiegi składowych zerowych prądu pokazano dla przykładu na rysunku 2.

Z przebiegów pokazanych na rysunku 2 wynika, że w stanie przejściowym zwarcia doziemnego w obu przebiegach prądowych pojawiają się wyższe harmoniczne o bardzo krótkim czasie trwania (około 1 okresu częstotliwości podstawowej) i o bardzo małych wartościach chwilowych (dla np. linii zwartej



Rys. 1. Model sieci średniego napięcia (6kV) z symulowanym zwarciem doziemnym jednofazowym oraz układem wymuszania wyższych harmonicznych parzystych

Fig. 1. MV 6kV network model with simulated single-phase earth fault and with a coercion system of higher, harmonic, even



Rys. 2. Przebiegi składowych zerowych prądu dla zwarcia jednofazowego, o rezystancji przejścia 20kΩ, w sieci średniego napięcia (6kV) uziemionej poprzez rezystancje 56Ω (brak wymuszania drugiej harmonicznej), 1- linia zwarta, 2-linia zdrowa

Fig. 2. Run of current zero component for single-phase fault with 20 kΩ resistance in MV 6kV network earthed with 56 kΩ resistance (there is no coercion of second, harmonic) 1- shorted, 2- correct

jest to około 10mA). Wartości te nie pozwalają na efektywne wykrywanie i eliminację 1-fazowych zwarć doziemnych, zwłaszcza wysokooporowych.

Modelowaną sieć zbadano pod kątem przydatności proponowanej metody detekcyjnej w odniesieniu zarówno do sieci SN pracującej z izolowanym punktem neutralnym jak i sieci uziemionej poprzez rezystancje (56Ω). Punkt neutralny transformatora WN/SN połączono z uziemioną rezystancją  $R_n$  za pomocą łącznika sterowanego czasowo, co umożliwiło przeprowadzenie analiz symulacyjnych zarówno dla sieci uziemionej jak i sieci izolowanej.

### Metoda monitoringowo – detekcyjna dla zwarć o wysokiej rezystancji przejścia

Zaproponowana przez autorów metoda monitoringowo – detekcyjna bazuje na relacjach fazowych wybranych harmonicznych prądu. Jak już wspomniano wcześniej, w warunkach normalnej pracy sieci nie występuje w niej harmoniczna prądu drugiego rzędu. Wymuszenie jej przepływu, w badanym systemie, może być skutecznie wykorzystane (relacje fazowe) do wykrywania wystąpienia doziemienia (zwłaszcza o wysokiej wartości rezystancji przejścia).

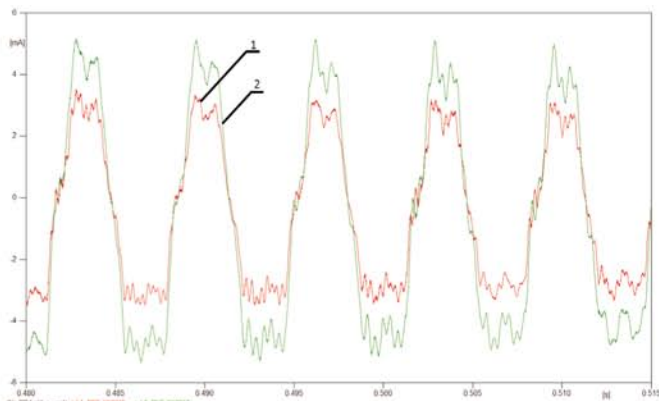
Przebieg składowej zerowej prądu w czasie po wymuszeniu impulsu drugiej harmonicznej w liniach sieci SN z izolowanym punktem neutralnym (bez wystąpienia doziemienia) ma postać jak pokazano dla przykładu na rysunku 3.

Dla sieci natomiast z punktem neutralnym uziemionym (poprzez rezystancję o wartości 56Ω) przebiegi składowych zerowych prądu obu linii w sieci również bez zwarcia 1-fazowego ilustruje rysunek 4.

Z porównania przebiegów prądowych pokazanych na rysunkach 3 i 4 widać, że ich charakter w dość istotny sposób jest związany ze sposobem pracy punktu neutralnego sieci SN i zależy od parametrów linii.

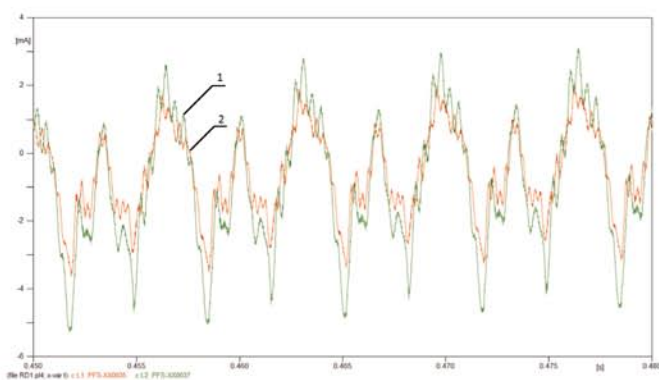
W celu uzyskania informacji o wystąpieniu doziemienia (zwłaszcza wysoko-oporowego) autorzy przeanalizowali wzajemne relacje fazowe dla wybranych harmonicznych prądu (podstawowej i drugiej o częstotliwościach odpowiednio 50Hz i 100Hz). Porównano różnice wartości argumentów tych harmonicznych, dla przypadku wystąpienia zwarcia 1-fazowego, dla dwóch obciążonych linii sieci średniego napięcia (6kV), co pokazano na rysunku 5.

Stwierdzono wystąpienie istotnej różnicy w przebiegach relacji fazowych w linii zwartej i zdrowej (rys. 5). Efekt ten może stanowić podstawę do oceny prawdopodobieństwa wystąpienia zaburzeń w sieci SN spowodowanych zwarciem 1-



Rys.3. Przebieg składowej zerowej prądu w czasie po wymuszeniu impulsu drugiej harmonicznej w liniach sieci SN z izolowanym punktem neutralnym (bez wystąpienia doziemienia). 1-linia krótsza, 2-linia dłuższa

Fig. 3. Run of current zero component after coercion of second harmonic in MV network line with neutral isolated point (without ground fault) 1-shorter line; 2- longer line



Rys.4. Przebieg składowej zerowej prądu w czasie po wymuszeniu impulsu drugiej harmonicznej w liniach sieci SN z punktem neutralnym uziemionym poprzez rezystancję o wartości 56Ω (bez wystąpienia doziemienia). 1-linia krótsza, 2-linia dłuższa

Fig. 4. Run of current zero component after coercion of second harmonic in MV network line with neutral grounded point with 56 kΩ resistance (without ground fault) 1-shorter line; 2- longer line

-fazowym, w tym wysokooporowym. Efektywne wykorzystanie tego zjawiska w ziemnozwarciowych zabezpieczeniach maszyn i urządzeń górniczych średniego napięcia wymaga jednak zastosowania odpowiednich metod przetwarzania sygnałów.

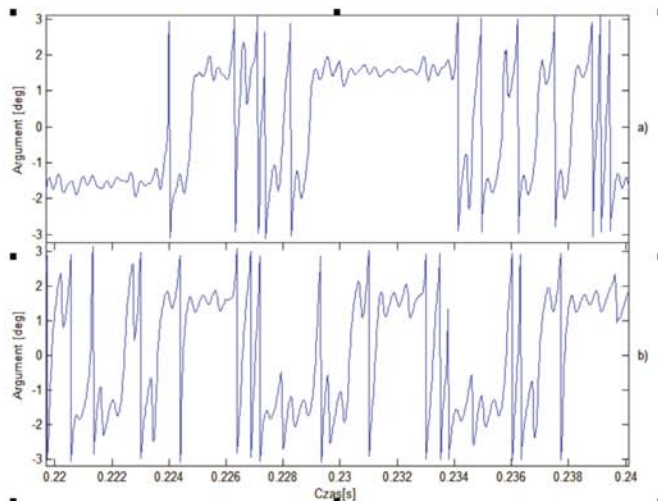
## Literatura

- [1] Miedziński B., Dzierżanowski W., Belka H. Szymański A., *Układ detekcji wysokorezystancyjnych zwarć doziemnych w sieciach średnich napięć*, MIAG, 450 (2008), Nr 7-8, 45-51
- [2] Szwejczer W., Smolarczyk A., *Porównywanie wybranych metod lokalizacji miejsca zwarcia* *Przegląd Elektrotechniczny*, 02 (2003), 59-64
- [3] Dusang L.V., Johnson B.K., *Evaluation of fault protection methods using ATP and MathCAD*, Electric Power Conference, 2008, EPEC 2008, IEEE Canada, 6-7 Oct. 2008, 1-8

Artykuł recenzowali dr inż. Marcin Habrych  
dr inż. Zenon Okraszewski  
Rękopis otrzymano 11.08.2011 r. \*2226

## Uwagi i wnioski

- Niezawodna praca maszyn i urządzeń górniczych zasilanych z sieci średniego napięcia wymaga, między innymi, szybkiego wykrywania i eliminacji 1-no fazowych zwarć doziemnych.



Rys.5. Przebieg różnic wartości argumentów harmonicznych prądu (podstawowej i drugiej), dla przypadku wystąpienia zwarcia w sieci z izolowanym punktem neutralnym. a) linia uszkodzona, b) linia zdrowa

Fig. 5. Run of current harmonic arguments (primary and second) in case of faults in nets with neutral isolated point. a)- shorted; 2) correct

- Zwarcia doziemne 1-no fazowe są szczególnie trudne do lokalizacji w przypadku dużej wartości rezystancji przejścia, co stwarza istotne zagrożenie tak dla pracy maszyn jak i dla bezpieczeństwa obsługi.
- Zaproponowana przez autorów metoda wykrywania zwarć doziemnych (w tym wysokooporowych o wartościach rezystancji przejścia do około 100kΩ) wykorzystuje relacje fazowe wybranych harmonicznych prądu w linii zwartej i liniach zdrowych, umożliwiając selektywne działanie zabezpieczeń ziemnozwarciowych niezależnie od sposobu pracy punktu neutralnego sieci SN. Skuteczność tej metody zależy od umiejętnego zastosowania odpowiednich algorytmów do przetwarzania sygnału.

Artykuł powstał w ramach realizacji Projektu Rozwojowego nr 03 0039 06.