

Zabezpieczenia eliminacyjne w urządzeniach EAZ, metoda falowa detekcji zwarców występujących w liniach SN

Streszczenie

Zabezpieczenie zwarciove powinno eliminować zwarcia powstałe w obrębie strefy objętej tym zabezpieczeniem w czasie możliwie najkrótszym, a jeśli to możliwe nawet bezwzględnie. Do grupy tej można zaliczyć zabezpieczenia nadprądowe bezwzględne i zwłoczne oraz zabezpieczenia różnicowe. Typowe czasy działania aktualnie stosowanych zabezpieczeń decyzyjnych linii SN, opartych o pomiary prądów i napięć o częstotliwości 50Hz, wynoszą 20-40 ms. Jest to czas od jednego do dwóch pełnych okresów prądu o częstotliwości 50Hz. Czas całkowitej eliminacji zwarcia jest wydłużony dodatkowo o czas otwarcia wyłącznika przerywającego przepływ prądu zwarciovego, a więc o kolejne 40-60 ms. Całkowity czas eliminacji zwarcia jest na tyle długi, iż dochodzi w wyniku oddziaływania prądu zwarciovego do wyzwolenia tak dużej energii, żeby uszkodzić aparaturę rozdzielczą stojącą na drodze przepływu prądu zwarciovego.

Ze wszystkich stanów nieustalonych, które zachodzą w SEE, zjawiska falowe w liniach WN charakteryzują się najkrótszym czasem trwania, wynoszącym od μ s do ms. W przypadku detekcji zakłócenia przez zabezpieczenia falowe prąd zwarciovy o częstotliwości 50Hz może powodować mniejsze zniszczenia. Stąd też istotnego znaczenia nabiera problem możliwości detekcji zwarców występujących w krótkich czasach rzędu < 1 ms.

W referacie przedstawiono wyniki prac badawczo-rozwojowych przeprowadzonych w firmie Elektrometal Energetyka S.A. nad zabezpieczeniami zwarcioowymi z wykorzystaniem metod falowych.

Analiza zjawisk falowych w sieci rzeczywistej na bazie symulacji i wyników przeprowadzonych prób na linii napowietrznej SN

Opracowanie metody falowej detekcji zwarców poprzedziły prace badawcze, których celem było opracowanie na bazie

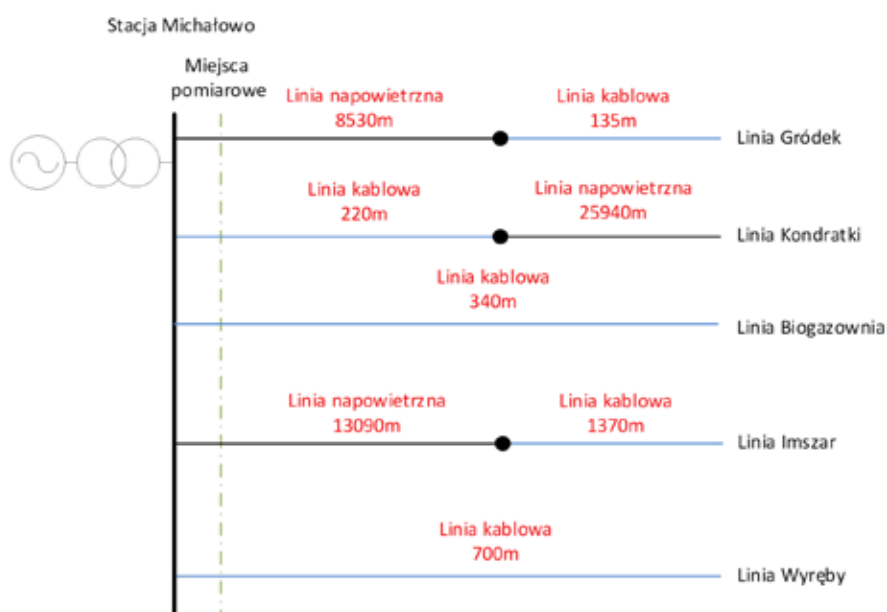
rzeczywistych danych stacji Michałowo jej modelu symulacyjnego oraz przeprowadzenie testów symulacyjnych propagacji fal zwarcioowych w tego typu sieci rozdzielczej. Uzyskane dane zostały porównane z rzeczywistymi rejestracjami zapisanych podczas prób rzeczywistych zwarców w opisywanej stacji elektroenergetycznej.

Weryfikacja modeli propagacji sygnałów falowych w sieciach SN została przeprowadzona przy wykorzystaniu aplikacji PSCAD. Zgodnie z danymi producenta oprogramowania występujące w programie PSCAD modele linii elektroenergetycznych pozwalają na obserwowanie występowania zjawisk falowych podczas pracy takich linii. Proponowany układ odwzorowujący rzeczywisty obiekt stację Michałowo pokazany został na rys. 1. Z opisywanej sekcji szyn zbiorczych stacji Michałowo odchodzi 5 linii składających się z odcinków kablowych oraz napowietrznych.

Badany układ testowy składa się z pięciu linii SN o różnych długościach połączonych zgodnie z rys. 1. W badanym układzie założono możliwość wykonywania pomiarów napięć i prądów na początku każdej z symulowanych linii SN. Zgodnie z charakterem rzeczywistego obiektu, linie SN zasilane są jednostronnie z szyn stacji elektroenergetycznej.

W modelu odwzorowano linie kablowe i napowietrzne oraz ich podziały. Model pozwalał na wybranie sposobu pracy punktu neutralnego sieci. Istniała możliwość wykonania 7 podstawowych typów zwarcia z możliwością dodania dodatkowej rezystancji przejścia. Wykonanie szeregu symulacji pozwoliło na analizę działania stworzonego algorytmu zabezpieczenia falowego.

Jednym z wyników symulacji był przypadek załączenia na zwarcie jednofazowe w fazie A, dzięki czemu istniała możliwość porównania zachowania układu symulacyjnego z rzeczywistymi testami wykonanymi w stacji Michałowo. W opisywanym przypadku załączenie linii



Rys. 1. Badany układ linii SN zasilanych z sekcji szyn zbiorczych stacji Michałowo



wykonywane jest na zwarcie jednofazowe w fazie A w odległości 5km. Przebieg pochodnej prądu w fazie A pokazano na rys. 2. Podstawową cechą badanego przypadku jest pojawienie się dużego impulsu w chwili zamknięcia wyłącznika. Pozostałe fale pojawiają się w zadanych odstępach czasu odpowiadających odległości do miejsca zwarcia. Należy zaznaczyć, że w fazach zdrowych również pojawiają się pochodne prądu, co pokazano na rys. 3.

Uzyskane symulacje pokazują, że dla odpowiedniego dobrania warunków działania, algorytm szybkiego zabezpieczenia falowego może poprawnie wykrywać tego typu zakłócenia. Mogą one być jednak odrobinę problematyczne ze względu na specyfikę samego zjawiska.

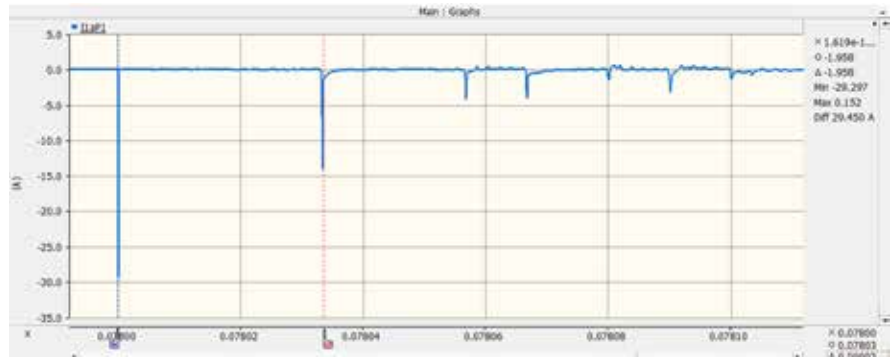
Podobny test wykonano w warunkach rzeczywistych na linii SN, dokonano załączenia linii Gródek na zwarcie doziemne w odległości około 5km od GPZ Michałowo. Zarejestrowane przebiegi pokazano na rysunkach poniżej. Na wskazanych rysunkach widoczne są zmiany pochodnych prądu. Widoczne są one we wszystkich fazach, co jest zgodne z wynikami symulacji.

Przedstawione przypadki testowe oraz wyjęcia symulacji PSCAD w postaci próbek, zostały wykorzystane do sprawdzenia zachowania algorytmu zabezpieczenia falowego. Przetestowano działanie algorytmu w każdej linii odchodzącej od szyn symulowanej stacji.

Wyniki testów potwierdziły skuteczność algorytmu w 86% zakłóceń, w przypadku 6% stwierdzono zadziałanie zabezpieczenia, ale zwarcie zostało określone w niewłaściwej fazie lub na niewłaściwej odległości, w 8% stwierdzono brak działania zabezpieczenia. Brak zadziałania był związany z bardzo krótkimi odstępami pomiędzy poszczególnymi falami prądu odbitymi od miejsca zwarcia. Przy zastosowanym próbkowaniu 1 MHz próbkowanie odbywa się co 1 μ s, natomiast przy 10 MHz co 0.1 μ s. Wynika z tego, że zmiany są na tyle szybkie, że niemożliwa jest ich obserwacja opracowanym algorytmem.

Zabezpieczenie falowe do detekcji zwarć występujących w liniach SN z wykorzystaniem fal wielokrotnie odbitych

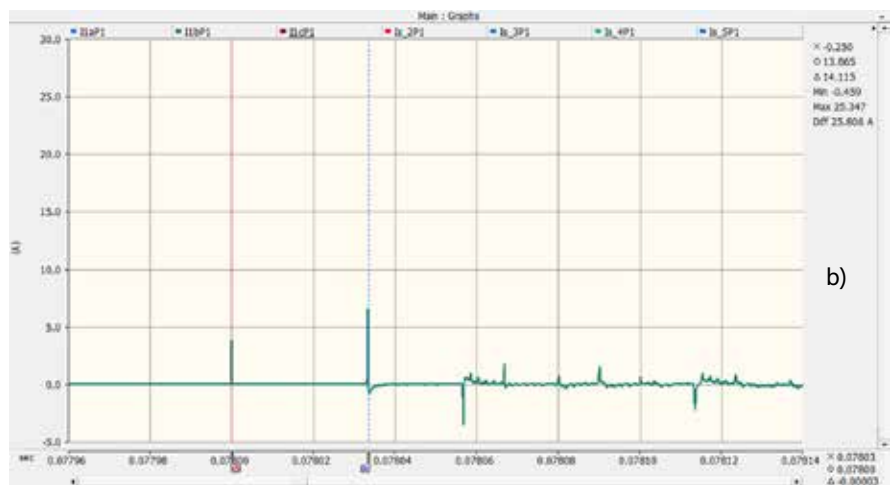
Schemat propagacji fal elektromagnetycznych linią elektroenergetyczną średniego napięcia na przykładzie zdarzenia, którym jest wystąpienie zwarcia doziemnego przedstawiono na rys.7. W tym przypadku w linii elektroenergetycznej, łączącej szyny zbiorcze stacji A i B, wystąpiło zwarcie



Rys. 2. Załączenie na zwarcie jednofazowe faza A (Chwila 0,078s, odstępy między falami mają 33,7 μ s co odpowiada długości 2x5km)



a)



b)

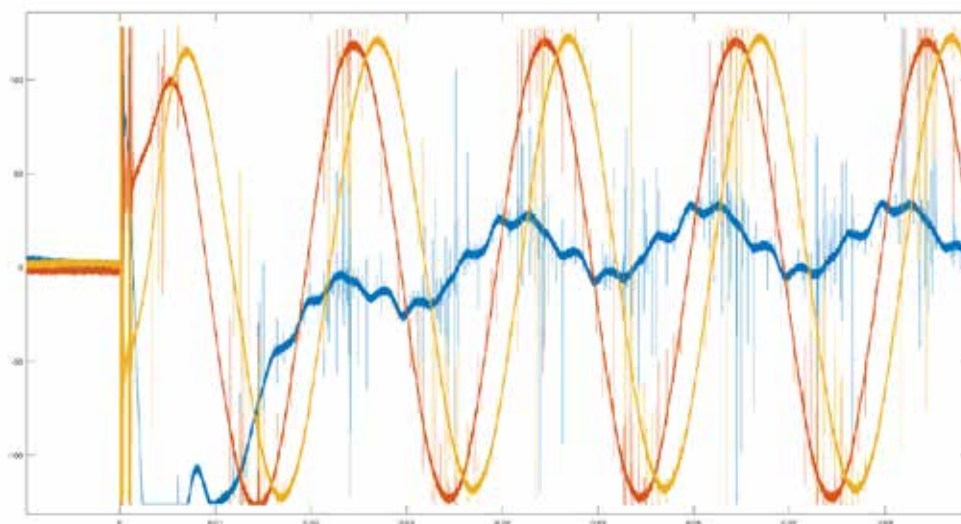
Rys. 3. Widok sygnałów mierzonych w fazach B i C dla załączenia na zwarcie jednofazowego w fazie A; a) pochodna prądu w fazie C; b) pochodna prądu w fazie B

doziemne F. Na jego skutek nastąpiło nagłe obniżenie napięcia, które w efekcie powoduje wygenerowanie dwóch fal, propagujących się w przeciwnych kierunkach do szyn stacji A i B. Wygenerowane fale mają pionowe czoło w miejscu powstania F (miejsce wystąpienia zwarcia) i są tłumione wraz z przebytą drogą, co powoduje zmniejszenie ich amplitudy oraz wydłużenie czoła fali.

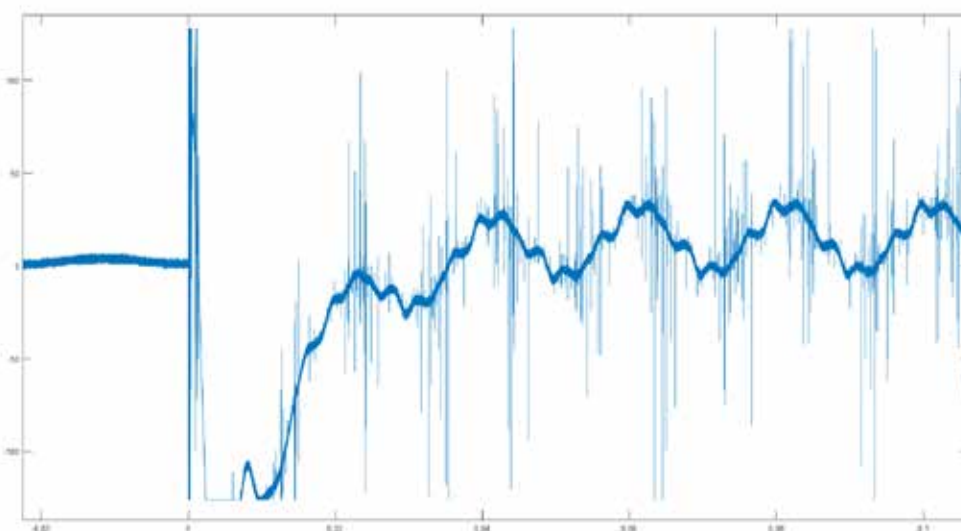
Fale są propagowane i tłumione w ośrodkach jednorodnych. W miejscach nieciągłości rozumianej jako zmiana

impedancji falowej ośrodków, część energii fali ulega odbiciu, a część jest przekazywana dalej za miejsce nieciągłości. Takimi miejscami nieciągłości są szyny stacji oraz miejsce zwarcia.

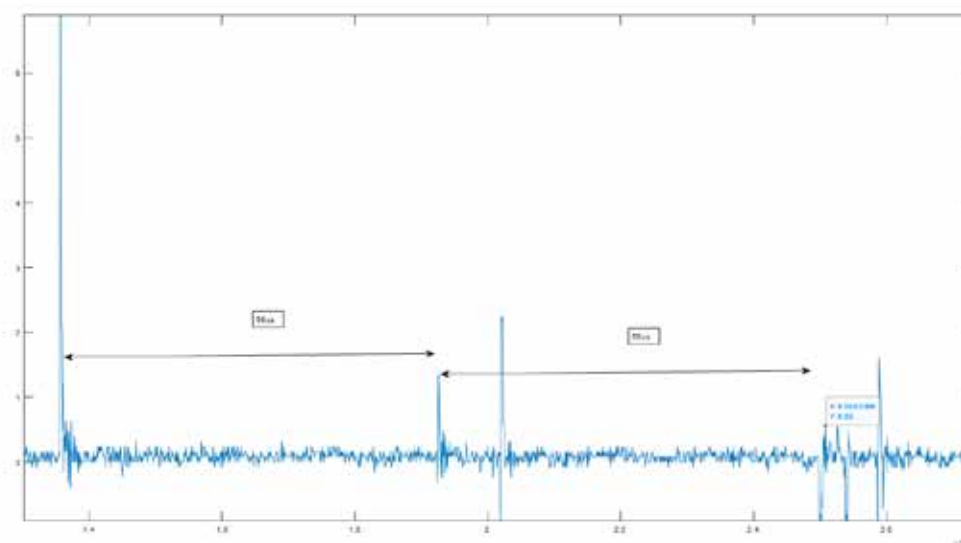
Prędkość propagacji fal jest równa około 98% prędkości światła w liniach napowietrznych oraz około 50% prędkości światła w liniach kablowych. Różnica jest związana z pojemnościami poprzecznymi występującymi w tych typach linii, których to przeładowanie stoi za mechanizmem propagacji fali.



Rys. 4. Zarejestrowane przebiegi prądów przy załączeniu linii na zwarcie jednofazowe



Rys. 5. Pomiar rzeczywisty w fazie doziemionej podczas załączenia na zwarcie doziemne



Rys. 6. Pomiar czasu propagacji fal odbitych od miejsca doziemienia (pochodne prądu, które pojawiają się z czasami odpowiadającymi pełnej długości badanej linii. Odpowiada to około 56µs.)



Nowatorskie rozwiązania EAZ w sterownikach WN, SN i nN e²TANGO



Pomiary prądów, napięć i zabezpieczenia po stronie SN i nN transformatora



Przekładniki lub sensory pomiarowe



Światłowodowe zabezpieczenia od łuku elektrycznego



Obsługa kamer zainstalowanych w rozdzielni



Automatyka SZR/PPZ



Zabezpieczenie różnicowe transformatora i automatyczna regulacja napięcia



Komunikacja IEC 61850 – certyfikat KEMA



Obsługa nawet dwóch transformatorów jednym sterownikiem



Obsługa do 31 łączników



Światłowodowe pomiary temperatury w rozdzielni



Zabezpieczenie od ferorezonansu



Kontrola izolacji kabli SN

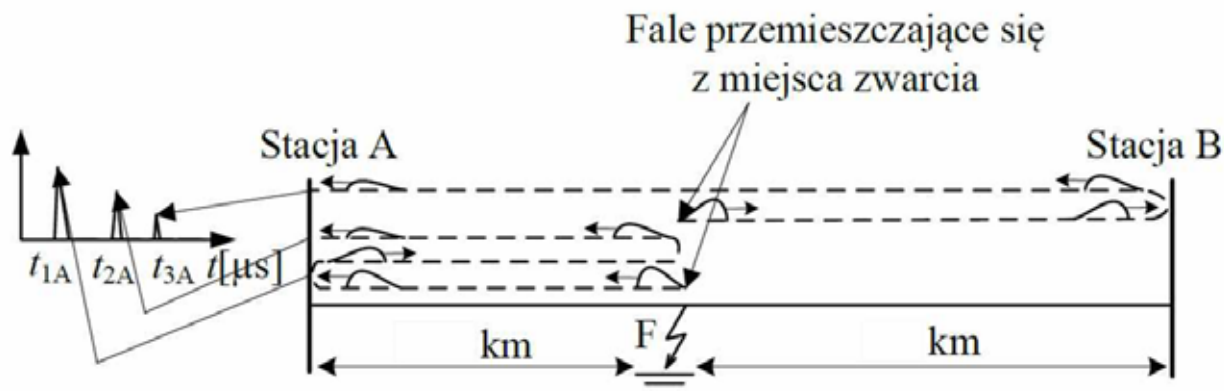


Tabliczki ostrzegawcze BHP na ekranie sterownika



Moduł zasilania redundantnego





Rys. 7. Układ sieci i przebieg fal wędrownych w linii o długości 10 km przy zwarciu w odległości 3 km od stacji A.

Energia użyteczna propagowanych fal zawiera się w częstotliwościach z zakresu 10 – 600 kHz. Dokonując pomiaru przebiegów wysokiej częstotliwości, układ automatyki zabezpieczeniowej jest w stanie zidentyfikować fale propagujące się linią SN na skutek zwarcia oraz ich właściwości, takie jak czas odebrania, amplituda i polaryzacja. Na ich podstawie, jeszcze przed przepływem prądu zwarciego o częstotliwości 50Hz, układ automatyki jest w stanie w czasie setek mikrosekund wykryć zwarcie i podać sygnał na otwarcie wyłącznika.

Istotą opracowanego rozwiązania zabezpieczenia falowego jest jednostronny układ pomiarowy, pozwalający na wierne odwzorowanie sygnałów prądowych wysokich częstotliwości przy pomocy wysokoczęstotliwościowych cewek Rogowskiego i pomiar napięć, stanowiących sygnały analogowe dla urządzenia pomiarowego oraz metoda detekcji zwarć w liniach SN, oparta o zjawisko odbijania fal elektromagnetycznych.

Metoda detekcji zwarć w liniach SN opiera się o pomiar fal wielokrotnie odbitych od miejsca zwarcia w określonym oknie czasowym, nie dłuższym niż czas propagacji fali na długości całej linii. Urządzenie pomiarowe identyfikuje pierwszą falę, drugą falę odbitą od miejsca zwarcia i kolejne fale odbite od miejsca zwarcia, na podstawie sygnału prądu pochodzącego z sensora prądu będącego sygnałem prądu lub jego pochodną pierwszego, drugiego lub wyższych rzędów. Identyfikacja co najmniej trzech następujących po sobie fal, dla których spełnione są wzajemne relacje odległości, amplitudy i polaryzacji, pozwala na klasyfikację

obserwowanego zjawiska, jako zwarcie w linii SN.

Parametrami wejściowymi dla metody detekcji zwarć w linii SN są: długość linii L , czułość S (%), liczba zidentyfikowanych fal wymaganych do wykrycia zwarcia N , strefy nieczułości.

Na błąd pomiaru odległości do miejsca zwarcia za pomocą metody fal wielokrotnie odbitych i pojedynczego układu pomiarowego mają wpływ takie czynniki, jak krótki czas trwania łuku zwarciego, rezystancja przejścia, rozgałęzienia i odcięcia w linii oraz trudności w identyfikacji odpowiedniej fali.

Wnioski

Działanie algorytmu zabezpieczenia falowego w przypadku zwarć międzyfazowych algorytm wykrywa zwarcia ze skutecznością 98%, z kilkoma punktami charakteryzującymi się nadmiarowym określeniem faz objętych zwarcie podczas załączenia linii na zwarcie. Podczas zwarć doziemnych zabezpieczenie wykrywa zwarcia ze skutecznością 94%.

Wśród zaobserwowanych problemów, z uwagi na wiele odbić i długi czas propagacji fal obserwuje się nieselektywne działanie w linii nieobjętej zwarcie. W kolejnych etapach prac należałoby opracować sposób postępowania w celu ograniczenia nieselektywnego działania w podobnych przypadkach.

Pomimo kilku problemów warto zauważyć, że opracowane zabezpieczenie falowe, cechuje się dużą pewnością działania oraz przyczyni się do szybkiego wykrywania zwarć w liniach średniego napięcia z czasem poniżej 1 ms.

Literatura

1. D. Rasolomampionona, M. Januszewski, K. Kurek: Analiza zjawisk falowych w sieci rzeczywistej na bazie symulacji i wyników przeprowadzonych zwarć w stacji Michałowo. Praca badawczo rozwojowa w ramach projektu „Opracowanie i weryfikacja w warunkach rzeczywistych zaawansowanych rozwiązań i systemów bezpieczeństwa stacji wysokiego/średniego napięcia, wyposażonych w mechanizmy predykcyjne w oparciu o algorytmy sztucznej inteligencji” Warszawa 2021.
2. Patent 434541: Jednostronny układ pomiarowy oraz metoda detekcji zwarć występujących w liniach SN z wykorzystaniem fal wielokrotnie odbitych.
3. Saha M., Izykowski J., Rosołowski E.: Fault Location on Power Networks, Springer, Londyn 2010.
4. Zimath, S. L.; Ramos, M. A. F.; Filho, J. E. S.; Comparison of impedance and travelling wave fault location using real faults, Transmission and Distribution Conference and Exposition, 2010 IEEE PES, Publication Year: 2010, Page(s): 1 – 5.
5. Bingyin X., Zhihui S., Gale P.F.: „The Application of Travelling Wave Fault Locators in China”, IET 9th International Conference on Developments in Power System Protection, Vol. 2008 535 - 539.

dr inż. Dariusz Sajewicz
 Politechnika Białostocka, Wydział Elektryczny
 mgr inż. Dariusz Rybak
 mgr inż. Tomasz Klonowski
 Elektrometal Energetyka S.A., Warszawa

Wyniki prac naukowo badawczych przedstawionych w referacie sfinansowano ze środków NCBiR w ramach projektu MAZOWSZE/0169/19, pt.: Opracowanie i weryfikacja w warunkach rzeczywistych zaawansowanych rozwiązań i systemów bezpieczeństwa stacji wysokiego/średniego napięcia, wyposażonych w mechanizmy predykcyjne w oparciu o algorytmy sztucznej inteligencji.