Autoreferat

1. **Imię i nazwisko.**

   KRZYSZTOF JACEK SOLAK

2. **Posiadane dyplomy, stopnie naukowe lub artystyczne – z podaniem podmiotu nadającego stopień, roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej.**

   2010r. doktor nauk technicznych w dyscyplinie elektrotechnika
   Rada Instytutu Energoelektryki, Politechnika Wrocławska
   Temat rozprawy doktorskiej: Rozmyte adaptacyjne zabezpieczenie różnicowe linii przesyłowych
   Promotor: prof. dr hab. inż. Waldemar Rebizant

   2006r. magister inżynier
   Wydział Elektryczny Politechniki Wrocławskiej
   Kierunek studiów: Automatyka i robotyka, specjalność: Automatyka i sterowanie w energetyce

3. **Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych lub artystycznych.**

   od 01.10.2014r. adiunkt w Katedrze Energoelektryki na Wydziale Elektrycznym Politechniki Wrocławskiej

   od 22.09.2011r. do 30.09.2014r. adiunkt w Instytucie Energoelektryki na Wydziale Elektrycznym Politechniki Wrocławskiej

   od 01.10.2010r. do 21.09.2011r. asystent w Instytucie Energoelektryki na Wydziale Elektrycznym Politechniki Wrocławskiej

4. **Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.). Omówienie to winno dotyczyć merytorycznego ujęcia przedmiotowych osiągnieć, jak i w sposób precyzyjny określać indywidualny wkład w ich powstanie, w przypadku, gdy dane osiągnięcie jest dziełem współautorskim, z uwzględnieniem możliwości wskazywania dorobku z okresu całej kariery zawodowej.**

Tytuł osiągnięcia naukowego: ***Metody i algorytmy do poprawy funkcjonowania elektroenergetycznej automatyki zabezpieczeniowej transformatorów, dławików kompensujących oraz detekcji ferrorezonansu***.

Lista publikacji wchodzących w skład osiągnięcia naukowego obejmuje 6 artykułów opublikowanych w czasopismach z listy JCR oraz 3 patenty europejskie. Oświadczenia współautorów o udziale i roli w powstaniu każdej pracy wieloautorskiej przedstawiono w Załączniku 6.

[H1] Andrzej Wiszniewski, Krzysztof J. Solak, Waldemar Rebizant, Ludwig Schiel, *Calculation of the lowest currents caused by turn-to-turn short-circuits in power transformers*, International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 2018, vol. 95, ss. 301-306. **Punktacja MEiN 2013-2018: 40, Impact Factor 2018: 4,418.** *Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu cyfrowego modelu transformatora do symulacji zwarć zwojowych. Dokonałem analizy otrzymanych wyników badań (współudział). Przeprowadziłem analizę literaturową, opracowałem koncepcję artykułu, sformułowałem wnioski. Współredagowałem artykuł – przygotowałem oryginalną wersję roboczą. Mój udział procentowy szacuję na 50%.*

[H2] Krzysztof J. Solak, Frank Mieske, Sebastian Schneider, *Negative-sequence current integral method for detection of turn-to-turn faults between two parallel conductors in power transformers*, International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 2022, vol. 141, ss. 1-12. **Punktacja MEiN 2019-2021: 100, Impact Factor 2021: 5,659.**

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu i wielowariantowym testowaniu metody do detekcji zwarć zwojowych w transformatorze. Dokonałem analizy otrzymanych wyników badań, zarekomendowałem nastawy. Przeprowadziłem analizę literaturową, opracowałem koncepcję artykułu. Współredagowałem artykuł – przygotowałem oryginalną wersję roboczą. Mój udział procentowy szacuję na 80%.

[H3] Waldemar Rebizant, Krzysztof J. Solak, Ludwig Schiel, Andrzej Wiszniewski, *Verfahren und anordnung zum erkennen eines windungsfehlers in einem transformator auf der basis korrespondierender gegensystemstromwerte (ang. Method and arrangement for detecting a winding defect in a transformer on the*

basis of corresponding negative sequence current values), Patent Europa, nr EP3595114B1, opubl. 17.02.2021.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na współpracowaniu metody do detekcji zwarć zwojowych w transformatorze bazujący na całce z iloczynu prądów składowej przeciwnej z obu stron transformatora liczonej za okres składowej podstawowej. Przeprowadziłem wielowariantowe testowanie metody. Zarekomendowałem nastawy. Współprzygotowałem wniosek patentowy – przygotowałem oryginalną wersję roboczą (patent application). Mój udział procentowy szacuję na 50%.

[H4] Waldemar Rebizant, Ludwig Schiel, Krzysztof J. Solak, Andrzej Wiszniewski, *Verfahren und anordnung zum erkennen eines windungsfehlers in einem transformator (ang. Method and assembly for detecting a winding defect in a transformer)*, Patent Europa, nr EP3422514B1, opubl. 01.01.2020.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na współpracowaniu metody do detekcji zwarć zwojowych w transformatorze bazujący na mocy pozornej liczonej na podstawie napięć i prądów składowej przeciwnej z obu stron transformatora. Przeprowadziłem wielowariantowe testowanie metody. Zarekomendowałem nastawy. Współprzygotowałem wniosek patentowy – przygotowałem oryginalną wersję roboczą (patent application). Mój udział procentowy szacuję na 50%.

[H5] Krzysztof J. Solak, Frank Mieske, Sebastian Schneider, *Modeling and detection of turn-to-turn faults in shunt reactors*, IEEE Access, 2021, vol. 10, ss. 1386-1400. **Punktacja MEiN 2019-2021: 100, Impact Factor 2021: 3,476.**

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu i wielowariantowym testowaniu metody do detekcji zwarć zwojowych w dławiku kompensującym. Opracowałem cyfrowy model dławika kompensującego do symulacji zwarć zwojowych. Dokonałem analizy otrzymanych wyników badań, zarekomendowałem nastawy. Przeprowadziłem analizę literaturową, opracowałem koncepcję artykułu. Współredagowałem artykuł – przygotowałem oryginalną wersję roboczą. Mój udział procentowy szacuję na 80%.

[H6] Daniel Bejmert, Matthias Kereit, Frank Mieske, Waldemar Rebizant, Krzysztof J. Solak, Andrzej Wiszniewski, *Power transformer differential protection with integral approach*, International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 2020, vol. 118, art. 105859, ss. 1-9. **Punktacja MEiN 2019-2021: 100, Impact Factor 2020: 4,630.**

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na współopracowaniu i wielowariantowym testowaniu metody do stabilizacji zabezpieczenia różnicowego transformatora podczas zwarć zewnętrznych z nasyceniem przekładników prądowych. Opracowałem model symulacyjny fragmentu sieci z zabezpieczanym transformatorem WN/SN oraz z przekładnikami prądowymi. Zaproponowałem adaptacyjną nastawę dla przypadku, kiedy transformator zasilany jest tylko z jednej strony. Dokonałem analizy otrzymanych wyników badań (współudział), zarekomendowałem nastawy. Przeprowadziłem analizę literaturową, współpracowałem koncepcję artykułu. Współredagowałem artykuł – przygotowałem oryginalną wersję roboczą. Mój udział procentowy szacuję na 50%.

[H7] Daniel Bejmert, Matthias Kereit, Waldemar Rebizant, Ludwig Schiel, Krzysztof J. Solak, Andrzej Wiszniewski, *Distance protection of block transformer units*, International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 2018, vol. 102, ss. 332-339. **Punktacja MEiN 2013-2018: 40, Impact Factor 2020: 4,418.**

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na współopracowaniu i wielowariantowym testowaniu metody do poprawy działania zabezpieczenia odległościowego zainstalowanego po stronie trójkąta transformatora oraz przy braku pomiarów od strony uzwojenia połączonego w gwiazdę. Opracowałem model symulacyjny fragmentu sieci z zabezpieczanym transformatorem WN/SN oraz z linią napowietrzną. Dokonałem analizy otrzymanych wyników badań (współudział), zarekomendowałem nastawy. Przeprowadziłem analizę literaturową, opracowałem koncepcję artykułu. Współredagowałem artykuł – przygotowałem oryginalną wersję roboczą. Mój udział procentowy szacuję na 50%.

[H8] Krzysztof J. Solak, Waldemar Rebizant, Matthias Kereit, *Detection of ferroresonance oscillations in medium voltage networks*, Energies, 2020, vol. 13, nr 16, ss. 1-12. **Punktacja MEiN 2019-2021: 140, Impact Factor 2020: 3,004.**

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu i wielowariantowym testowaniu metody do detekcji ferrorezonansu w sieci średniego napięcia. Dokonałem analizy otrzymanych wyników badań, zarekomendowałem nastawy. Przeprowadziłem analizę literaturową, opracowałem koncepcję artykułu. Współredagowałem artykuł – przygotowałem oryginalną wersję roboczą. Mój udział procentowy szacuję na 70%.

[H9] Waldemar Rebizant, Krzysztof J. Solak, Andrzej Wiszniewski, Matthias Kereit, *Verfahren und einrichtung zum erzeugen eined das vorliegen einer ferroresonanzschwingung in einer elektrischen anlage angebenden resonanzsignals (ang. Method and device for generating a resonance signal indicating the presence of a ferroresonant oscillation in an electrical system)*, Patent. Europa, nr EP3080885B1, opubl. 27.06.2018.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu i wielowariantowym testowaniu metody do detekcji ferrorezonansu w sieci średniego napięcia. Współprzygotowałem wniosek patentowy – przygotowałem oryginalną wersję roboczą (patent application). Mój udział procentowy szacuję na 70%.

Sumaryczny Impact Factor (IF) cyklu publikacji przedstawionych jako osiągnięcie naukowe wynosi 25,605, a wszystkich publikacji 43,416. Sumaryczna liczba punktów MEiN publikacji wchodzących w skład osiągnięcia naukowego wynosi 520, a wszystkich publikacji 1004 (liczona według punktacji z roku publikacji). Liczba cytowań publikacji według Web of Science wynosi 71 (bez autocytowań 63), a indeks Hirscha 5. Natomiast według Scopus liczba cytowań wynosi 117 (bez autocytowań 97), a indeks Hirscha 6.

Głównym celem przeprowadzonych badań było opracowanie nowych metod i algorytmów, które poprawią funkcjonowanie elektroenergetycznej automatyki zabezpieczeniowej, przez co osiągnie się lepszą czułość, szybkość oraz selektywność działania zabezpieczeń. Realizowane badania dotyczyły automatyki zabezpieczeniowej transformatorów mocy, dławików kompensujących oraz detekcji i tłumienia ferrorezonansu w sieciach średniego napięcia. Habilitant może wykazać się następującymi osiągnięciami związanymi z przedstawionym cyklem publikacji [H1]-[H9]:

A. Opracowanie metod do detekcji zwarć zwojowych w transformatorach mocy i dławikach kompensujących [H1]-[H5]

B. Opracowanie metod do poprawy działania zabezpieczenia różnicowoprądowego oraz odległościowego transformatorów mocy w specyficznych warunkach pracy [H6]-[H7]

C. Opracowanie metody do detekcji ferrorezonansu w sieciach średniego napięcia [H8]-[H9]

Poniżej omówione zostało każde z wymienionych osiągnięć naukowych.

A. Opracowanie metod do detekcji zwarć zwojowych w transformatorach mocy i dławikach kompensujących [H1]-[H5]

W artykule [H1] przedstawiono model transformatora, który umożliwia analizę zwarć zwojowych dla małej liczby zwartych zwojów. Z punktu widzenia automatyki zabezpieczeniowej taki rodzaj zwarć jest najbardziej interesujący, ponieważ charakteryzuje się bardzo małym prądem zwarciowym widzianym na zaciskach transformatora. Natomiast prąd zwarciowy w miejscu zwarcia jest bardzo duży co powoduje poważne uszkodzenie uzwojeń transformatora (a czasem także rdzenia) oraz duży wzrost ciśnienia wewnątrz kadzi. Jeśli transformator nie zostanie wyłączony w ciągu około 0,5 s może dojść do eksplozji. Należy zaznaczyć, że zwarcia w uzwojeniach stanowią około 19% wszystkich przyczyn uszkodzeń transformatorów mocy [A1]. Najnowsze statystyki [A2] wykazały, że uszkodzenia uzwojeń stanowiły 37,69% dla transformatorów rozdzielczych oraz 48% dla transformatorów blokowych. Głównymi przyczynami ich powstawania są starzenie się izolacji, termiczna degradacja oraz błędy ludzkie podczas produkcji lub konserwacji [A2, A3].

Po analizie literatury [A4]-[A6] stwierdzono, że przedstawione metody symulacji zwarć zwojowych w transformatorach są dość złożone – wymagają np. znajomości szczegółowych parametrów transformatora. Co więcej, nie uwzględniają one wystarczająco dobrze wpływu rezystancji uzwojeń. Prawdą jest, że dla dużej liczby zwartych zwojów dominuje reaktancja zwarcia. Jednakże, jeśli bardzo niewiele zwojów jest zwartych, to wówczas dominująca staje się rezystancja uzwojeń. Z tego względu zaproponowano model transformatora z dodatkowym (fikcyjnym) uzwojeniem, które reprezentuje zwarte zwoje. Takie podejście oraz zastosowanie metody Thevenina umożliwia analizę teoretyczną i/lub symulacyjną zwarć zwojowych w transformatorze – możliwe jest w łatwy sposób określenie prądów zwarciowych dla wybranego transformatora. Należy dodać, że taki model może być stosowany tylko dla zwarć zwojowych z małą liczbą zwartych zwojów – maksymalnie 5%. W modelu tym należy określić rezystancję oraz reaktancję zwarcia – są to parametry obwodu powstałego w wyniku zwarcia zwojowego. W artykule wyprowadzono zależności na rezystancję zwarcia dla trzech rodzajów zwarć zwojowych – rezystancja ta wynika ze strat w miedzi. Można wyróżnić trzy rodzaje zwarć zwojowych i są to zwarcia zwojowe wszystkich przewodów równoległych, zwarcia zwojowe w jednym przewodzie oraz zwarcia zwojowe między przewodami równoległymi. Taki podział wynika z tego, że w nowoczesnych transformatorach uzwojenie pojedynczej fazy złożone jest

z kilku równoległych przewodów – aby zmniejszyć straty związane z prądami wirowymi. Reaktancja zwarcia zależy w dużej mierze od umiejscowienia zwartych zwojów w uzwojeniu. Największa jest, gdy zwarte zwoje znajdują się na górnej lub dolnej stronie uzwojenia (zwarte zwoje zlokalizowane są w pobliżu jarzma rdzenia), a najmniejsza, gdy znajdują się pośrodku (pomiędzy jarzmami rdzenia). Do obliczeń przyjęto poziomy reaktancji podane w [A7, A8], tj. od 0,7 do 1,6 j.w. W badaniach przyjęto reaktancję zwarcia na poziomie 1,6 j.w. Analiza dla wybranego transformatora pokazała, że rezystancja zwarcia dla jednego zwartego zwoju i zwarcia zwojowego między przewodami równoległymi może wynosić 120 j.w. (zwarcie zlokalizowane w środku uzwojenia). Oczywistym jest, że prąd zwarciowy dla tak dużej rezystancji będzie bardzo mały i takie zawarcie będzie bardzo trudno wykryć stosując standardowe zabezpieczenie różnicowe. Prąd różnicowy dla takiego zwarcia wynosi 0,01 j.w., a nastawę zabezpieczenia różnicowego transformatora przyjmuje się zwykle na poziomie od 0,2 j.w. do 0,3 j.w.

Reasumując, w artykule [H1] przedstawiono model transformatora, który umożliwia w łatwy sposób analizę zwarć zwojowych dla małej liczby zwartych zwojów. Nie wymaga on trudno dostępnych danych transformatora, np. konstrukcyjnych. Może być wykorzystany do określenia poziomów prądów zwarciowych, co jest pomocne przy doborze nastaw zabezpieczeń. Wykazano, że rezystancja zwarcia jest dominująca (jest kilkadziesiąt razy większa od reaktancji zwarcia) podczas zwarcia zwojowego z małą liczbą zwojów i nie może być pominięta. Zaprezentowane wyniki pokazały również, że standardowe zabezpieczenie różnicowe nie jest w stanie wykryć zwarć zwojowych między przewodami równoległymi. Dlatego dalsze prace dotyczyły opracowania metody do detekcji zwarć zwojowych, a rezultaty przedstawiono w [H2], [H3], [H4].

W [H2] i [H3] przedstawiono metodę do detekcji zwarć zwojowych bazującą na całce z iloczynu prądów składowej przeciwnej z obu stron transformatora. Otrzymano w ten sposób kryterium, które charakteryzuje się kierunkowością działania. To oznacza, że dla zakłóceń zewnętrznych wartość całki jest ujemna, natomiast dla zwarć wewnętrznych wartość całki jest dodatnia. Drugie zaproponowane kryterium bazuje na kombinacji prądów składowej zerowej oraz przeciwnej. Co istotne, kombinację tych prądów otrzymuje się bezpośrednio z fazowych prądów różnicowych – nie ma potrzeby wyznaczania składowych symetrycznych prądów. Poprzez zastosowanie tych dwóch kryteriów oraz odpowiedniej logiki działania uzyskano bardzo czułą metodę dla wykrywania zwarć zwojowych oraz bardzo dobrą stabilizację dla zwarć zewnętrznych nawet z nasyceniem przekładników prądowych. Przeprowadzone wielowariantowe testy pokazały, że zaproponowana metoda

ma najwyższą czułość w porównaniu do trzech innych wybranych metod [A9], [A10], [A11], które stosowane są obecnie w praktyce. W najbliższym czasie zaproponowana metoda ma być zaimplementowana w przekaźnikach zabezpieczeniowych firmy Siemens.

W [H4] opisano metodę, która bazuje na wartości mocy pozornej dla składowej przeciwnej liczonej po obu stronach transformatora. W tym rozwiązaniu obliczana jest moc pozorna dla składowej przeciwnej, a następnie decyzja podejmowana jest na podstawie lokalizacji punktu pracy dla obliczonej mocy pozornej na płaszczyźnie PQ. Jeżeli zmierzona moc pozorna zlokalizowana jest w trzeciej ćwiartce, oznacza to zwarcie wewnętrzne, natomiast jeżeli moc pozorna dla składowej przeciwnej zlokalizowana jest w pierwszej ćwiartce, to mamy do czynienia z zakłóceniem zewnętrznym, np. zwarciem, skokową zmianą obciążenia itp. Rozwiązanie to charakteryzuje się również bardzo dobrą czułością – możliwa jest detekcja zwarć zwojowych pomiędzy równoległymi przewodami dla kilku zwartych zwojów. Metoda ta nie reaguje na zwarcia zewnętrzne z nasyceniem przekładników prądowych. Wymagany jest tylko dodatkowy blok związany z klasyfikacją zwarć, ponieważ metoda ta może błędnie reagować w przypadku zwarć trójfazowych.

W artykule [H5] przedstawiono model dławika kompensującego do analizy zwarć zwojowych oraz trzy metody do ich detekcji. Przy opracowywaniu modelu zastosowano również ideę z dodatkowym (fikcyjnym) uzwojeniem oraz metodą Thevenina. Przedstawiono analizę teoretyczną, na podstawie której można określić prąd zwarciowy na zaciskach dławika kompensującego podczas zwarcia zwojowego dla małej liczby zwartych zwojów. Taka informacja jest cenna z punktu widzenia doboru nastaw zabezpieczeń dławików kompensujących. Na podstawie strat w miedzi wyznaczono rezystancję zwarcia podczas zwarcia zwojowego. Reaktancja zwarcia została założona na poziomie rezystancji zwarcia. Przyjęto takie założenie, ponieważ analityczne wyznaczenie tej wartości nie jest zadaniem prostym. Rozpatrzono dwie konfiguracje podłączenia dławika kompensującego do systemu elektroenergetycznego, a mianowicie podłączenie bezpośrednie lub poprzez transformator trójuzwojeniowy.

Zaproponowano trzy metody do detekcji zwarć zwojowych w dławiku kompensującym. Należy zaznaczyć, że zabezpieczanie różnicowe buzujące na podstawie prądów fazowych lub składowych przeciwnych prądów nie jest w stanie wykryć żadnego zwarcia zwojowego w dławiku kompensującym – prąd różnicowy będzie równy zero niezależnie od liczby zwartych zwojów. Dlatego do detekcji zwarć zwojowych proponowane są inne metody, które przedstawiono w [A12]-[A17]. Metody zarekomendowane w pracach [A12] i [A13] stosowane są w praktyce, ale ich weryfikacja jest utrudniona, ponieważ nie można znaleźć

rekomendacji co do nastaw tych rozwiązań. Metody, które habilitant przedstawił w [H5], bazują na zmierzonej reaktancji dla składowej zerowej (metoda 1), zmierzonej reaktancji dla składowej przeciwnej (metoda 2) oraz zmierzonej impedancji fazowej (metoda 3). Dla wszystkich wymienionych metod zaproponowano charakterystyki rozruchowe, nastawy oraz logikę działania. Wielowariantowa symulacja pokazała, że wszystkie opracowane metody charakteryzują się dużą czułością – wykrywają zwarcia zwojowe już od jednego zwartego zwoju. Metody te nie reagują na zwarcia zewnętrzne, więc zachowana jest selektywność działania. Najbardziej uniwersalne są metody nr 2 i 3, mogą być one stosowane do dławików kompensujących podłączonych bezpośrednio do linii oraz dławików kompensujących podłączonych do uzwojeń transformatora trójuzwojeniowego. Ostatecznie rekomendowana jest metoda 2, ponieważ jest ona bardzo prosta, bardzo czuła i nie reaguje na zwarcia zewnętrzne.

B. Opracowanie metod do poprawy działania zabezpieczenia różnicowoprądowego oraz odległościowego transformatorów mocy w specyficznych warunkach prac [H6]-[H7]

W artykule [H6], którego habilitant był współautorem, przedstawiono badania związane z zabezpieczeniem różnicowym transformatorów dla następujących sytuacji: zwarcia zewnętrzne z nasyceniem przekładników prądowych, udarowe magnesowanie transformatora, zwarcia wewnątrz chronionej strefy.

Problem prawidłowego działania zabezpieczenia różnicowego transformatora przy zwarciach zewnętrznych z nasyceniem przekładników prądowych nie jest nowy. Odnotowano wiele przypadków nieprawidłowego działania zabezpieczenia różnicowego transformatora pomimo zastosowania typowych charakterystyk rozruchowych i odpowiednich metod stabilizacji. Poza charakterystyką rozruchową dwu- lub trzy-odcinkową, powszechnie akceptowanym rozwiązaniem stabilizacji zabezpieczenia różnicowego transformatora jest kryterium drugiej harmonicznej. Kryterium to stosowane jest w produktach większości producentów przekaźników, m.in. [B1]. Inne rozwiązania przedstawiono w [B2]-[B13]. Metody te poprawiają działanie zabezpieczenia, ale mają kilka wad: wydłużenie czasu działania w przypadku zwarć wewnętrznych, brak dobrej stabilizacji przy szybkim nasyceniu się przekładnika prądowego (w mniej niż jednej trzeciej okresu składowej podstawowej) oraz przy nasycaniu się przekładnika prądowego z powodu składowej nieokresowej o długiej stałej czasowej zanikania, wymóg dodatkowego pomiaru napięcia i możliwość błędnego zadziałania w przypadku zwarć niskoprądowych.

Dlatego, aby rozwiązać wymienione problemy, zaproponowano algorytm stabilizacji z kryterium głównym bazującym na obliczaniu wartości całki (za cały okres składowej podstawowej), która jest funkcją prądu hamującego oraz prądu operacyjnego. Prąd operacyjny liczony jest jako wartość bezwzględna z pochodnej prądu różnicowego, natomiast prąd hamujący liczony jest jako wartość bezwzględna z pochodnej z sumy prądów z obu stron transformatora. Obliczona w ten sposób wartość całki porównywana jest z odpowiednio dobranym progiem i w ten sposób podejmowana jest decyzja pozwalająca na rozróżnienie, czy jest dany przypadek to zwarcie wewnętrze, czy inne zakłócenie zewnętrzne. Dodatkowo wykazano, że w przypadku transformatora zasilanego tylko z jednej strony proponowane rozwiązanie może blokować reakcję dla zwarć wewnętrznych z małą amplitudą prądu. Dlatego dla takiej konfiguracji zaproponowano rozwiązanie polegające na uzależnieniu progu rozruchowego od całki z drugiej harmonicznej prądu różnicowego.

Testy symulacyjne pokazały, że zaproponowana metoda stabilizacji nie wprowadza dodatkowego opóźnienia w działaniu dla zwarć wewnętrznych oraz charakteryzuje się bardzo dobrą stabilizacją (lepszą niż standardowe rozwiązanie) dla zwarć zewnętrznych z nasyceniem przekładników prądowych oraz podczas udarowego magnesowania transformatora. Przedstawione główne kryterium całkowe może być również z powodzeniem zastosowane do stabilizacji zabezpieczenia różnicowego generatora, co przedstawiono w [B14]. Jestem współautorem tego artykułu, a mój udział polegał na współpracowaniu metody całkowej do stabilizacji zabezpieczenia różnicowego.

W artykule [H7] omówiono problemy związane z zabezpieczeniem transformatora blokowego, gdzie przekaźnik odległościowy jest zazwyczaj zabezpieczeniem rezerwowym dla transformatora i sąsiedniej linii [B15]. Szczególną uwagę zwrócono na konfigurację, w której przekaźnik odległościowy jest zainstalowany po stronie uzwojenia połączonego w trójkąt. Zazwyczaj sygnały od strony uzwojenia połączonego w gwiazdę nie są dostępne lub nie są wykorzystywane, co może być źródłem błędów pomiaru impedancji i nieprawidłowego działanie przekaźnika [B16, B17]. Stwierdzono w [B17], że błędy działania przekaźnika odległościowego są nieuniknione (a zatem powinny być zaakceptowane) w przypadku zwarć doziemnych zlokalizowanych w linii, czyli po stronie uzwojenia połączonego w gwiazdę. Przekaźnik odległościowy ma służyć jako zabezpieczenie rezerwowe dla sąsiedniej linii, dlatego jego działanie powinno być niezawodne – niestety standardowe rozwiązania i algorytmy nie mogą tego zagwarantować.

Istnieje tylko kilka publikacji dotyczących zabezpieczenia odległościowego transformatorów [B18]-[B20]. Nie rozwiązują one jednak problemu z błędnym pomiarem impedancji dla konfiguracji, w której zabezpieczanie zainstalowane jest po stronie uzwojenia połączonego w trójkąt.

Przeprowadzona analiza teoretyczna wykazała, że dla zwarcia jednofazowego w linii (strona gwiazdy) zmierzona impedancja może być 1,5 (a nawet 2,5) razy większa od rzeczywistej impedancji w sytuacji, kiedy brane są pod uwagę tylko prądy i napięcia zmierzone po stronie trójkąta transformatora. Należy zaznaczyć, że dla zwarć międzyfazowych impedancja mierzona jest prawidłowo.

W związku z tym wyprowadzono nowe równania na pomiar impedancji dla zwarć jednofazowych dla transformatorów o różnych grupach połączeń. Otrzymane równania wskazują, że aby zrealizować prawidłowy pomiar impedancji pętli zwarcia należy (oprócz prądów i napięć po stronie trójkąta) dodatkowo zmierzyć prąd składowej zerowej po stronie gwiazdy transformatora. Tylko w takim przypadku pomiar impedancji pętli zwarcia nie będzie zafałszowany na skutek zainstalowania przekaźnika po stronie trójkąta transformatora. W artykule zaproponowano dobór nastaw dla trzech stref zabezpieczenia odległościowego dla dwóch sytuacji, kiedy prąd składowej zerowej po stronie gwiazdy jest lub nie jest mierzalny.

C. Opracowanie metody do detekcji ferrorezonansu w sieciach średniego napięcia [H8]-[H9]

Zjawisko ferrorezonansu może wystąpić w sytuacji, kiedy nieliniowa indukcyjność (np. reprezentująca gałąź magnesującą przekładnika napięciowego, transformatora mocy itp.) połączona jest z pojemnością [C1], [C2]. Oscylacje ferrorezonansowe mogą wystąpić z dość dużym prawdopodobieństwem w sieciach rozdzielczych średniego napięcia (SN) z izolowanym punktem neutralnym, gdzie przekładniki napięciowe są równolegle połączone z pojemnościami doziemnymi linii napowietrznych i kablowych [C1], [C3]. Ferrorezonans może zostać zainicjowany, gdy przekładnik napięciowy zostanie nasycony, co może mieć miejsce w przypadku nagłego wzrostu napięcia na zaciskach przekładnika napięciowego. Może to być konsekwencją operacji łączeniowych w uzwojeniach wtórnych przekładników napięciowych, eliminacją pobliskiego zwarcia doziemnego itp. W takich warunkach mogą pojawić się oscylacje nieliniowe charakteryzujące się wysokim napięciem, znacznym prądem i zniekształconym przebiegiem przez składowe subharmoniczne i/lub harmoniczne i/lub interharmoniczne. Takie zakłócenie może być

niebezpieczne dla elementów systemu elektroenergetycznego, ponieważ zwiększa obciążenia termiczne (na skutek przetężenia) i elektryczne (na skutek przepięcia), które mogą doprowadzić do zniszczenia przekładników napięciowych lub innych urządzeń. Dodatkowo zniekształcone przebiegi napięć i prądów mogą wpływać na błędne działanie automatyki zabezpieczeniowej.

Zjawisko ferrorezonansu nie występuje bardzo często w systemie elektroenergetycznym – na pewno rzadziej niż zwarcia. Jednakże w literaturze można znaleźć szereg praktycznych przykładów przedstawiających uszkodzenia elementów systemu elektroenergetycznego w wyniku drgań ferrorezonansowych [C3]-[C7]. Najjaskrawszy przypadek, który obrazuje jak niebezpieczne jest zjawisko ferrorezonansu opisano w pracy [C3]. Dotyczył on zniszczenia 72 przekładników napięciowych w sieci 50 kV w Norwegii. Aby zapobiec tego typu sytuacjom należy jak najszybciej wykryć pojawienie się ferrorezonansu, a następnie wytłumić go, co uchroni urządzenia sytemu elektroenergetycznego przed uszkodzeniem.

Niektóre rozwiązania do detekcji oscylacji ferrorezonansowych można znaleźć w [C8]-[C13]. Opierają się one głównie na analizie składowych częstotliwościowych napięcia w obwodzie otwartego trójkąta albo prądów i napięć fazowych. W rozwiązaniach przedstawionych w [C8]-[C13] najczęściej stosuje się analizę falkową i S-transformatę. Ponadto stosowane są zaawansowane algorytmy podejmowania decyzji, np. sztuczne sieci neuronowe, algorytm Support Vector Machine (SVM) oraz stosowane są wysokie częstotliwości próbkowania (co najmniej 10 kHz). Algorytm przedstawiony w [C14] opiera się na analizie drgań i do tego celu potrzebny jest czujnik akcelerometru oraz zespół filtrów cyfrowych. Cytowane algorytmy wydają się nieco zbyt skomplikowane do praktycznej implementacji sprzętowej.

Można również zauważyć, że w praktyce nie stosuje się żadnego dedykowanego algorytmu do wykrywania ferrorezonansu. Generalnie, metoda polegająca na podłączeniu rezystora tłumiącego (na stałe lub przez ograniczony czas) do otwartego połączenia trójkąta przekładników napięciowych służy jedynie do tłumienia ferrorezonansu, jak opisano w [C15]. Jednak przy małych wartościach rezystancji tłumienia może dojść do przegrzania przekładników napięciowych podczas zwarcia doziemnego, co może być postrzegane jako poważna wada takiego podejścia.

W związku z powyższym istnieje potrzeba opracowania algorytmu do detekcji ferrorezonansu, ale mniej skomplikowanego, aby można go było zaimplementować na standardowym sprzęcie. Poza tym algorytm powinien być w stanie odróżnić ferrorezonans od zwarć i innych zakłóceń, tak aby nie zostały one błędnie sklasyfikowane.

Algorytm, który został zaproponowany w [H8], [H9] bazuje na estymowanym strumieniu z napięcia mierzonego w obwodzie otwartego trójkąta przekładników napięciowych. W pierwszym kroku obliczany jest strumień przy użyciu filtru dolnoprzepustowego pierwszego rzędu. Następnie sygnał wyestymowanego strumienia filtrowany jest filtrem pasmowoprzepustowym o skończonej odpowiedzi impulsowej. Filtr ten przepuszcza składowe pomiędzy 0Hz a 50Hz – dobór takiego zakresu oparty jest na podstawie analizy widma strumienia dla wszystkich zasymulowanych przypadków ferrorezonansu. W kolejnym kroku mierzona jest amplituda przefiltrowanego strumienia. Zastosowano do tego celu metodę cyfrowego całkowania (metoda trapezów) za pół okresu. W przypadku ferrorezonansu okres nie jest stały (oscylacje mają charakter nieliniowy, często chaotyczny), dlatego dodatkowo zastosowano metodę wykrywania przejścia sygnału przez zero. Oznacza to, że pomiar amplitudy realizowany jest adaptacyjnie, ponieważ wartość okresu sygnału określana jest na bieżąco na podstawie obserwacji przejścia sygnału przez zero. Zmierzona amplituda porównywana jest z odpowiednim progiem zadziałania i po upływie czasu opóźnienia generowany jest sygnał alarmu. Dla zwiększenia pewności działania całego algorytmu zastosowano również blok resetu sygnału alarmowego.

Opracowana metoda detekcji ferrorezonansu szybko i pewnie wykrywa zjawisko ferrorezonansu w sieci średniego napięcia dla wszystkich rozważanych przypadków. Dodatkowo zaproponowana metoda nie reaguje na przypadki zwarć (co jest dużą zaletą) i jest prosta do praktycznej implementacji. W najbliższym czasie zaproponowana metoda ma być zaimplementowana w przekaźnikach firmy Siemens.

W ramach badań związanych z ferrorezonansem zajmowałem się również określeniem skutecznych warunków do tłumienia ferrorezonansu. Zaproponowana strategia tłumienia ferrorezonansu w sieci średniego napięcia polegała na dołączeniu (po detekcji ferrorezonansu) tylko na pewien czas rezystora w obwód otwartego trójkąta przekładników napięciowych. Określona została wartość rezystancji tłumiącej oraz optymalny przedział czasu, dla którego ten rezystor powinien być włączony w obwód otwartego trójkąta. Cześć wyników została zaprezentowana w [C16].

Bibliografia

[A1] CIGRE Working Group 05. *An international survey on failures in large power transformers in service, Electra*, no 88; 1983.

[A2] CIGRE WG A2.37. *Transformer Reliability Survey, Brochure 642*, Paris; 2015.

[A3] Mostafaei M., Faiz J., Venikar P.A., Ballal M.S., *Turn-to-turn fault monitoring methods in electrical power transformers—State of the art.*, Int Trans Electr Energy Syst. 2018.

[A4] Bastard P., Bertrand P., Meunier M., *A transformer model for winding fault studies*, IEEE Trans Power Deliv 1994;9(2):690–9.

[A5] Kezunovic M., Guo Y., *Modeling and simulation of power transformer fault and related protective relay behawior*, IEEE Trans Power Deliv 2000;15(1):44–50.

[A6] Diaz G., Gomez Alexandre J. *Analytical approach to inter turn fault simulation in power transformers based on fault related incremental current*, IEEE Trans. Power Deliv, 2006;21(1):142–9.

[A7] Jablonski M., Napieralska-Juszczak E., *Internal faults in power transformers*. IET Electr. Power Appl., 2007;1(1):105–11.

[A8] Wiszniewski A. *Internal short circuit currents in power transformers*, Przegląd Elektrotechniczny 1968; vol. 44, p. 154–158.

[A9] Gajic Z., Brncic I., Hillstrom B., Ivankovic I., *Sensitive Turn-To-Turn Fault Protection for Power Transformers*, In: CIGRE Study Committee B5 Colloquium, Calgary, Canada; 2005.

[A10] SIPROTEC 5, *Transformer Differential Protection 7UT82, 7UT85, 7UT86, 7UT87*, Manual, Edition: 06.2016.

[A11] Fischer N., Labuschagne C.A., *Negative sequence differential element*, Patent No.: US7903381B2, Mar. 8, 2011.

[A12] Basha F. K., Thompson M., *Practical EHV reactor protection*, in Proc. 66th Annu. Conf. Protective Relay Eng., Apr. 2013, pp. 408-419.

[A13] CIGRE, *Monitoring and Control of Shunt Reactors*, Paris, France, Aug. 2013.

[A14] Gajic Z., Birger H., Fahrudin M., *HV shunt reactor secrets for protection engineers*, in Proc. 30th Western Protective Relaying Conf., Washington, DC, USA, 2003, pp. 1-5.

[A15] Das S., Sidhu T., Zadeh M. R. D., Zhang Z., *A novel hybrid differentia algorithm for turn to turn fault detection in shunt reactors*, IEEE Trans. Power Del., vol. 32, no. 6, pp. 2537-2545, Mar. 2017.

[A16] Nishida S., Sakaguchi T., *A new algorithm of digital protection for shunt reactors*, IEEE Trans. Power App. Syst., vol. PAS-103, no. 10, pp. 2934-2942, Oct. 1984.

[A17] Vázquez E., Andrade M. A., Esponda H., Ávila J., *A new differentia protection algorithm for power reactors based on the second central moment*, Int. J. Electr. Power Energy Syst., vol. 118, Jun. 2020, Art. no. 105795..

[B1] Siemens SIPROTEC, *7UT613/63x Differential Protection*, Instruction Manual, 2007.

[B2] Mathews CA., *An improved transformer differential relay*, AIEE Trans 1954; 73 (Part III): 645–650.

[B3] Guzmán A., Hector J., Altuve HJ., *Performance analysis of traditional and improved transformer differential protective relays*, SEL Technical Papers; 2000. p. 405–412.

[B4] He B., Zhang X., Bo Z., *A new method to identify inrush current based on error estimation*, IEEE Trans Power Delivery 2006;21(3):1163–8.

[B5] Zengping W., Jing M., Yan X., Lei M., *A new principle of discrimination between inrush current and internal fault current of transformer based on self-correction function*, In: The 7th International Power Engineering Conference, Singapore, Vol. 2; November 2005. p. 614–617.

[B6] Bi DQ, Zhang XA, Yang HH, Yu GW, Wang XH, Wang WJ., *Correlation analysis ofwaveforms in nonsaturation zone-based method to identify the magnetizing inrush in transformer*, IEEE Trans Power Delivery 2007;22(3):1380–5.

[B7] Kasztenny B., Rosołowski E., *A self-organizing fuzzy logic based protective relay anapplication to power transformer protection*, IEEE Trans Power Delivery 1997;12(3):1119–27.

[B8] Myong-Chul S., Chul-Won P., Jong-Hyung K., *Fuzzy logic-based relaying for large power transformer protection*, IEEE Trans Power Delivery 2003;18(3):718–24.

[B9] Guzmán N, Fischer C, Labuschagne, *Improvements in Transformer Protection and Control*, In: Proceedings of the 62nd Annual Conference for Protective Relay Engineers, College Station, Texas; March 2009.

[B10] Medeiros R.P., Costa F.B., *A wavelet-based transformer differential protection with differential current transformer saturation and cross-country fault detection*. IEEE Trans Power Delivery 2018;33(2):789–99.

[B11] Medeiros R.P., Costa F.B., Silva K.M., *Power transformer differential protection using the boundary discrete wavelet transform*, IEEE Trans Power Delivery 2016;31(5):2083–95.

[B12] Behvandi A., Seifossadat S.G., Saffarian A., *A new method for discrimination of internal fault from other transient states in power transformer using Clarke's transform and modified hyperbolic S-transform*, Electr Power Syst Res 2020;178.

[B13] Ali E., Helal A., Desouki H., Shebl K., Abdelkader S., Malik O.P., *Power transformer differential protection using current and voltage ratios*, Electr. Power Syst. Res. 2018;154:140–50.

[B14] Bejmert D., Boehme K., Kereit M., Rebizant W., Solak K., Wiszniewski A., *Integral-based stabilization of generator differential protection*, Int J Electr. Power Energy Syst. 2019;106:87–95.

[B15] *IEEE guide for protecting power transformers*, IEEE Std C37.91-2008.

[B16] Ungrad H., Winkler W., Wiszniewski A., *Protection techniques in electrical energy systems*, New York: Marcel Dekker Inc.; 1995.

[B17] Ziegler G., *Numerical distance protection. Principles and applications*, 4th ed. Publicis Erlangen; 2011.

[B18] Ghorbani A., *An adaptive distance protection scheme in the presence of phase shifting transformer*, Electr. Power Syst. Res. 2014;129:170–7.

[B19] Lizer M., *Power unit impedance and distance protection functions during faults in the external power grid*, Acta Energet. 2012;4(13):22–33.

[B20] Bermann J., Prochazka M., *Distance protection of big network transformers*, In: Proceedings of the 17th international scientific conference on electric power engineering (EPE), Prague, Czech Rep.; 2016.

[C1] Ferracci P., *Ferroresonance, Cahier technique no 190*, Groupe Schneider, March 1998.

[C2] Iravani M. R., et al., *Slow Transients Task Force of the IEEE Working Group on Modelling and Analysis of System Transients Using Digital Programs, "Modelling and Analysis Guidelines for Slow Transients – Part III: The Study of Ferroresonance*, IEEE Trans. on Power Delivery, Vol 15, No 1., January 2000, pp. 255-265.

[C3] Horak, J., *A review of ferroresonance*, 57th Annual Conference for Protective Relay Engineers, 30 March - 1 April 2004, pp. 1-29.

[C4] Pattanapakdee C. B. K., *Failure of Riser Pole Arrester due to Station Service Transformer Ferroresonance*, Proceedings of the International Conference on Power Systems Transients (IPST'07) Lyon, France, 4-7 June 2007.Author 1, A.B. (University, City, State, Country); Author 2, C. (Institute, City, State, Country). Personal communication, 2012.

[C5] Jacobson D.A.N., Swatek D.R., Mazur R.W., *Mitigating potential transformer ferroresonance in a 230 kV converter station*, Proceedings of the IEEE Transmission and Distribution Conference, 1996, pp. 269-275.

[C6] Emin Z., Al Zahawi B.A.T., Tong Y. K., *Voltage Transformer Ferroresonance in 275kV Substation*, Proceedings of the Eleventh International Symposium on High Voltage Engineering, Volume: 1, London (UK), August 1999, pp. 283 - 286.

[C7] Val Escudero M., Dudurych I., Redfern M., *Characterization of Ferroresonant Modes in HV Substation with CB Grading Capacitors*, Electric Power Systems Research, Vol. 77, No 11, September 2007, pp. 1506-1513.

[C8] Bo Z., Tiecheng L. *On the use of wavelet decomposition for ferroresonance detection in power system*, Power and Energy Engineering Conference, Asia-Pacific, 2009.

[C9] 9. Mokryani G., Haghifam M.-R., Latafat H., Aliparast P., Abdolahi A., *Wavelet based kernel fisher classifier for ferroresonance identification*, The 15th International Conference on Intelligent System Applications to Power Systems, Nov. 2009.

[C10] Mokryani G., Haghifam M.-R., Esmaeilpoor J., *Identification of ferroresonance based on wavelet transform and artificial neural networks*, Australasian Universities Power Engineering Conference, AUPEC 2007.

[C11] 11. Mokryani G., Haghifam M.-R., *Application of wavelet transform and MLP neural network for ferroresonance identification*, 2008 IEEE Power and Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, 20-24 July 2008.

[C12] Guo P.-Y., Li C.-Z., Yan S., Liangcheng J., Zhang J.-Y., *Application of wavelet transform in ferroresonance detection*, The 2nd International Conference on Artificial Intelligence, Management Science and Electronic Commerce (AIMSEC), 8-10 Aug. 2011, pp. 3800- 3803.

[C13] Mokryani G., Siano P., Piccolo A., *Identification of ferroresonance based on S-transform and support vector machine*, Simulation Modelling Practice and Theory, Volume 18, Issue 9, October 2010, pp. 1412-1424.

[C14] Arroyoa A., Martineza R., Mananaa M., Pigazoa A., Minguez R., *Detection of ferroresonance occurrence in inductive voltage transformers through vibration analysis*, Electrical Power and Energy Systems 106 (2019), pp. 294–300.

[C15] Piasecki W., Florkowski M., Fulczyk M., Mahonen P., Nowak W., *Mitigating ferroresonance in voltage transformers in ungrounded MV networks*, IEEE Trans. Power Delivery, 2007, pp. 2362- 2369.

[C16] Solak K., Rebizant W., Modeling of Ferroresonance Phenomena in MV Networks, IEEE Electrical Power and Energy Conference (EPEC), Toronto, Canada, 10-11 Oct. 2018.

5. **Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej.**

Prowadzę aktywną współpracę naukową z panem dr. hab. inż. Adamem Kempskim, prof. UZ z Wydziału Informatyki, Elektrotechniki i Automatyki (Instytut Automatyki, Elektroniki i Elektrotechniki) Uniwersytetu Zielonogórskiego. Nasza współpraca rozpoczęła się w 2015r. wraz z realizacją projektu GEKON2/O2/267193/13/2015 (NFOŚiGW i NCBR), w którym byłem wykonawcą. Efektem prowadzonych prac było przygotowanie artykułu naukowego [W1]. Następnie przygotowaliśmy dwa wnioski o grant NCN na konkursy OPUS14 oraz OPUS16 – w obu wnioskach byłem kierownikiem projektu ze strony Politechniki Wrocławskiej. Tematyka wniosków dotyczyła nadprzewodnikowego ogranicznika prądu zwarciowego i jego współpracy z automatyką zabezpieczeniową – oba wnioski nie uzyskały finansowania.

[W1] Waldemar Rebizant, Krzysztof J. Solak, Bartosz J. Brusiłowicz, Grzegorz Benysek, Adam Kempski, Jacek Rusiński, *Coordination of overcurrent protection relays in networks with superconducting fault current limiters,* International Journal of Electrical Power & Energy Systems. 2018, vol. 95, ss. 307-314.

W okresie od 01.12.2021r. do 28.02.2022r. odbyłem trzymiesięczny staż naukowy w Instytucie Automatyki, Elektroniki i Elektrotechniki Uniwersytetu Zielonogórskiego. W ramach stażu zrealizowałem następujące zadania:

- przygotowałem wspólnie z prof. A. Kempskim oraz mgr inż. S. Hajdasz artykuł pod tytułem „*Critical Current Degradation in HTS Tapes for Superconducting Fault Current Limiter Under Repeated Overcurrent*”, który został wysłany do czasopisma Applied Energy;
- rozpocząłem (wspólnie z prof. A. Kempskim oraz mgr inż. S. Hajdasz) przygotowywanie wniosku o kolejny grant NCN OPUS – wniosek będzie złożony na konkurs OPUS 23 lub OPUS 24;
- w dniu 16.02.2022 wygłosiłem referat pt. „Metody i algorytmy do poprawy działania automatyki zabezpieczeniowej transformatorów” na seminarium Instytutu Automatyki, Elektroniki i Elektrotechniki UZ.

Prowadzę również szeroką współpracę badawczo-rozwojową z przemysłem – pełny wykaz realizowanych projektów znajduje się w rozdziale 7. W ramach tej współpracy odbyłem następujące wyjazdy zagraniczne do:

- Siemens AG, Berlin, Niemcy, w dniach od 13.07. do 17.07.2015r., związany z przeprowadzeniem wielowariantowych testów przekaźnika 7UT87,
- AREVA T&D, Stafford, UK, w dniach od 02.07. do 28.09.2007, związany z realizacją projektu „FIS supported differential protection for HV single transmission lines – external and internal faults with CT saturation”,
- AREVA T&D, Stafford, UK, w dniach od 01.07. do 29.08.2008, związany z realizacją projektu „FIS supported differential protection for HV double transmission lines – external and internal faults with CT saturation”,
- AREVA T&D, Stafford, UK, w dniach od 01.07. do 15.09.2009, związany z realizacją projektu „FIS supported differential protection for HV transmission lines – phase-to-ground faults with broken conductor and cross-country faults”,

6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę

Osiągnięcia dydaktyczne

Prowadziłem/prowadzę następujące zajęcia dydaktyczne na Wydziale Elektrycznym oraz Wydziale Mechanicznym Politechniki Wrocławskiej (studia stacjonarne oraz niestacjonarne, I i II stopnia):

- Metody podejmowania decyzji (wykład),
- Teoria i technika sterowania (wykład),
- Układy impulsowe (wykład),
- Modelowanie cyfrowe w elektroenergetyce (wykład),
- Podstawy automatyki 1 (ćwiczenia),
- Podstawy automatyki 2 (ćwiczenia),
- Metody podejmowania decyzji (seminarium),
- Modelowanie cyfrowe w elektroenergetyce (projekt),
- Symulacja elektromagnetycznych stanów przejściowych (projekt),
- Technika cyfrowa w automatyce elektroenergetycznej (projekt),
- Sztuczna inteligencja w automatyce elektroenergetycznej (projekt),
- Metody numeryczne (projekt),

- Teoria Sterowania (laboratorium),
- Teoria i technika sterowania (laboratorium),
- Elementy techniki sterowania (laboratorium),
- Układy impulsowe (laboratorium),
- Metody i algorytmy sterowania cyfrowego (laboratorium),
- Podstawy automatyki 2 (laboratorium),
- Modelowanie cyfrowe (laboratorium),
- Podst. cyfr. aut. elektroenergetycznej (laboratorium),
- Podstawy modelowania systemów (laboratorium),
- Modelowanie systemów (laboratorium),
- Automatyka zabezpieczeniowa (laboratorium),
- Protection and Control of Distributed Energy Sources (laboratorium).

Przygotowałem karty przedmiotów dla następujących kursów: Układy impulsowe (wykład i laboratorium) oraz Teoria i technika sterowania (wykład i laboratorium).

Opracowałem materiały pomocnicze w postaci multimedialnej do kursu Układy impulsowe (wykład) realizowanego na kierunku zamawianym Automatyka i Robotyka na Wydziale Mechanicznym. Zadanie to wykonałem w ramach projektu „Wzrost liczby absolwentów Politechniki Wrocławskiej o kluczowym znaczeniu dla gospodarki opartej na wiedzy", który był współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego.

Opracowałem instrukcje do ćwiczeń laboratoryjnych z następujących kursów: Układy impulsowe, Teoria i technika sterowania, Modelowanie cyfrowe, Podstawy modelowania systemów.

Byłem promotorem 30 prac magisterskich oraz 40 prac inżynierskich z zakresu zabezpieczeń elektroenergetycznych, modelowania cyfrowego w elektroenergetyce oraz cyfrowego przetwarzania sygnałów w elektroenergetyce.

Pełniłem rolę promotora pomocniczego w następujących przewodach doktorskich:

- Bernard Wiecha, rozprawa pt. „Nowe kryteria detekcji zwarć doziemnych w sieciach rozdzielczych średniego napięcia", obroniona 26.09.2019; promotorem był dr hab. inż. Mirosław Łukowicz, prof. uczelni;

- Justyna Herlender, rozprawa pt. „Impedancyjne zabezpieczenie różnicowe linii napowietrznych”, obroniona z wyróżnieniem 24.09.2020; promotorem był prof. dr hab. inż. Jan Iżykowski.
- Frank Mieske, rozprawa pt. „Protection of Converter Transformer in VSC HVDC connected Offshore Wind Power Plants”, planowany termin obrony - koniec roku 2022; promotorem jest prof. dr hab. inż. Waldemar Rebizant.

Ukończyłem jednosemestralny kurs dydaktyczny szkoły wyższej (105 godzin zajęć dydaktycznych) w 2012 r.

Od 2013 do 2020 roku byłem członkiem komisji dyplomowej dla studiów pierwszego i drugiego stopnia na Wydziale Elektrycznym. Od 2020 roku jestem członkiem komisji hospitacyjnej zajęć dydaktycznych na Wydziale Elektrycznym.

Osiągnięcia organizacyjne

Od 2012r. pełnię funkcję zastępcy kierownika do spraw dydaktyki w Zespole Automatyki i Sterowania w Energetyce (ZAS). Układam plany zajęć dydaktycznych dla każdego pracownika ZAS, zajmuję się wstępną oceną merytoryczną inżynierskich i magisterskich prac dyplomowych otrzymanych od pracowników ZAS.

Od 2012r. do 2014r. byłem członkiem rady naukowej Instytutu Energoelektryki.

Od 2021r. jestem członkiem Rady Wydziału Elektrycznego.

Brałem udział w pracach komitetów organizacyjnych następujących konferencji organizowanych przez Instytut/Katedrę Energoelektryki Politechniki Wrocławskiej:

- EPNet 2016,
- Sieci 2012,
- Modern Electric Power Systems (MEPS) 2010, 2015, 2019,
- 18th Power Systems Computation Conference (PSCC) 2014,
- PAC World Conference 2017.

Osiągnięcia popularyzujące naukę

Do osiągnięć popularyzujących naukę mogę zaliczyć:

- wygłoszenie wykładu popularnonaukowego dla koła SEP numer 8 przy Elektrotim S.A.– „Zastosowanie sztucznej inteligencji w automatyce elektroenergetycznej”, 2013;

- wygłoszenie wykładów popularnonaukowych dla Policealnego Studium „Oświata” we Wrocławiu pt. „Odnawialne źródła energii”, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019;
- wygłoszenie wykładów popularnonaukowych dla Policealnego Studium „Oświata” we Wrocławiu pt. „Ochrona przeciwporażeniowa”, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019;
- wygłoszenie wykładów popularnonaukowych dla Policealnego Studium „Oświata” we Wrocławiu pt. „Sztuczna inteligencja”, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019;
- wygłoszenie wykładów popularnonaukowych dla firmy VM Complex w Siechnicach pt. „Odnawialne źródła energii”, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017;
- wygłoszenie wykładów popularnonaukowych dla firmy VM Complex w Siechnicach pt. „Ochrona przeciwporażeniowa”, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017.

7. Oprócz kwestii wymienionych w pkt. 1-6, wnioskodawca może podać inne informacje, ważne z jego punktu widzenia, dotyczące jego kariery zawodowej.

Nagrody i odznaczenia:

- nagrody JM Rektora Politechniki Wrocławskiej w uznaniu wyróżniającego wkładu w działalność uczelni przyznana w latach 2013, 2017, 2018, 2019, 2021;
- medal Brązowy za Długoletnią Służbę, 2021;
- stypendium Rektora Politechniki Wrocławskiej za wybitne osiągnięcia w kategorii aktywność publikacyjnej, 2021;
- laureat programu Secundus Politechniki Wrocławskiej dla młodych naukowców z najlepszym dorobkiem publikacyjnym w dyscyplinie automatyka, elektronika i elektrotechnika, 2021.

Projekty naukowe i badawczo-rozwojowe:

I. “Investigation on advanced methods for improvement of transformer and generator differential protection”, projekt badawczo-rozwojowy na zlecenie SIEMENS AG, Berlin, 01.10.2010-30.09.2011.

W tym projekcie byłem kierownikiem dwóch z czterech zadań. Pierwsze zadanie dotyczyło opracowania algorytmu do stabilizacji zabezpieczenia różnicowoprądowego transformatora. Opracowałem model symulacyjny fragmentu sieci z zabezpieczanym

transformatorem WN/SN oraz z przekładnikami prądowymi. Przetestowałem zaproponowane kryterium całkowe dla zwarć wewnętrznych oraz zewnętrznych. Zarekomendowałem ostateczną wersję algorytmu oraz nastaw. Część wyników z przeprowadzonych badań przedstawiłem w [H6]. W drugim zadaniu należało zaproponować metodę stabilizacji zabezpieczenia różnicowoprądowego podczas udarowego magnesowania transformatora – analizowałem układ, w którym transformatory pracują równolegle. Opracowałem model symulacyjny fragmentu sieci z zabezpieczanymi transformatorami WN/SN – praca równoległa transformatorów. Przetestowałem zaproponowane kryteria dla zwarć wewnętrznych, zewnętrznych oraz udarowego magnesowania transformatora. Analizowałem również szczególną sytuację, która w literaturze anglojęzycznej określana jest jako sympathetic inrush. Zarekomendowałem ostateczną wersję algorytmu oraz nastaw.

II. "Investigation on advanced methods for improvement of transformer and generator differential protection", projekt badawczo-rozwojowy na zlecenie SIEMENS AG, Berlin, 01.10.2011-30.09.2012.

W tym projekcie byłem kierownikiem dwóch z pięciu zadań. Pierwsze zadanie dotyczyło analizy pracy zabezpieczenia różnicowoprądowego przesuwników fazowych. Opracowałem model symulacyjny fragmentu sieci z zabezpieczanym dwurdzeniowym przesuwnikiem fazowym oraz z przekładnikami prądowymi. Przetestowałem zabezpieczenie różnicowoprądowe oraz kryterium całkowe dla zwarć wewnętrznych, zewnętrznych oraz udarowego magnesowania transformatora. Zarekomendowałem wartości nastaw. W drugim zadaniu analizowałem zjawisko ferrorezonansu w sieci średniego napięcia. Opracowałem model symulacyjny fragmentu sieci średniego napięcia z przekładnikami napięciowymi (uzwojenia połączone w otwarty trójkąt) z odpowiednimi charakterystykami magnesowania. Przeanalizowałem różne warunki pracy tej sieci, aby określić dla jakich sytuacji może wystąpić ferrorezonans – zmieniane były wartości pojemności doziemnych, sposób uziemienia sieci średniego napięcia, sposób oraz moment inicjonowania ferrorezonansu. Na podstawie zebranych danych z symulacji określiłem sygnały kryterialne, które mogą posłużyć do detekcji ferrorezonansu. Zaproponowałem pierwszą wersję algorytmu do detekcji ferrorezonansu.

III. “Investigation concerning the topics transformer differential protection, detection of ferroresonance and admittance method for earth fault detection”, projekt badawczo-rozwojowy na zlecenie SIEMENS AG, Berlin, 01.10.2012-30.09.2013.

W tym projekcie byłem kierownikiem dwóch z sześciu zadań. Pierwsze zadanie dotyczyło analizy pracy zabezpieczenia różnicowoprądowego przesuwników fazowych – kontynuacja tematu. Analizowane był różne metody kompensacji przesunięcia fazowego (wprowadzanego przez przesuwnik fazowy), które mogą być zastosowane w zabezpieczeniu różnicowoprądowym. Część wyników z przeprowadzonych badań przedstawiłem w [1] i [2]. W drugim zadaniu opracowałem algorytm do detekcji zjawiska ferrorezonansu w sieci średniego napięcia – kontynuacja tematu. Zaproponowałem drugą wersję algorytmu do detekcji ferrorezonansu – pierwsza wersja była zbyt skomplikowana, co uniemożliwiało praktyczną implementację. Przygotowałem wniosek patentowy [H9]. Część wyników z przeprowadzonych badań przedstawiłem w [H8].

[1] Krzysztof J. Solak, Waldemar Rebizant, Ludwig Schiel, *Investigation of current differential protection for phase shifting transformers*, 5th International Conference on Advanced Power System Automation and Protection 2013, APAP 2013, Jeju, Korea, October 28-31, 2013, s. 1-5.

[2] Krzysztof J. Solak, Waldemar Rebizant, Ludwig Schiel, *EMTP testing of selected PST protection schemes*, Proceedings of the 2014 15th International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE), May 12-14, 2014, Brno, Czech. s. 85-90.

IV. “Investigation concerning the topics protection of phase-shift transformer, power transformer and line-transformer units, detection of ferroresonance and admittance method for earth fault detection”, projekt badawczo-rozwojowy na zlecenie SIEMENS AG, Berlin, 01.10.2013-30.09.2014.

W tym projekcie byłem kierownikiem czterech z sześciu zadań. Pierwsze zadanie dotyczyło analizy pracy zabezpieczenia różnicowoprądowego jednordzeniowych przesuwników fazowych. Opracowałem modele symulacyjne trzech jednordzeniowych przesuwników fazowych wraz z fragmentem sieci. Przetestowałem zabezpieczenie różnicowoprądowe (z uwzględnieniem metody kompensacji przesunięcia fazowego) dla zwarć wewnętrznych, zewnętrznych oraz udarowego magnesowania transformatora. Zarekomendowałem wartości nastaw dla zabezpieczenia różnicowoprądowego. Część

wyników z przeprowadzonych badań przedstawiłem w [3] i [4]. W drugim zadaniu testowałem zaproponowany algorytm do detekcji zjawiska ferrorezonansu w sieci średniego napięcia (SN) oraz analizowałem sposoby tłumienia ferrorezonansu. Określiłem odpowiednią wartość rezystora tłumiącego, który dołączany jest w obwód otwartego trójkąta tylko po detekcji ferrorezonansu. Część wyników z przeprowadzonych badań przedstawiłem w [6]. W trzecim zadaniu opracowałem model symulacyjny fragmentu sieci z transformatorem oraz linią. Przetestowałem sześć zaproponowanych metod do zabezpieczania transformatora oraz linii – strefa działania zabezpieczenia obejmuje transformator oraz linię. Po wielowariantowych testach zarekomendowałem najlepszą metodę oraz nastawy. Część wyników z przeprowadzonych badań przedstawiłem w [5]. W czwartym zadaniu analizowałem działanie zabezpieczenia odległościowego transformatora. Przenalizowałem działanie klasycznego zabezpieczenia odległościowego zainstalowanego po stronie trójkąta transformatora. Przetestowałem zaproponowaną metodę poprawiającą działanie zabezpieczenia odległościowego transformatora dla różnych sytuacji zwarciowych. Zarekomendowałem logikę oraz nastawy zabezpieczenia. Część wyników z przeprowadzonych badań przedstawiłem w [H7].

[3] Krzysztof J. Solak, Waldemar Rebizant, Ludwig Schiel, *Modeling and analysis of the single-core phase shifting transformer and its differential protection*, Modern Electric Power Systems, MEPS '15, July 06-09, 2015, Wrocław, Poland. ss. 1-7.

[4] Krzysztof J. Solak, Waldemar Rebizant, Ludwig Schiel, *Differential protection of single-core symmetrical phase shifting transformers*, Proceedings of the 2015 16th International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE), May 20-22, 2015, Kouty nad Desnou, Czech Republic. ss. 221-226.

[5] Krzysztof J. Solak, Waldemar Rebizant, Ludwig Schiel, Matthias Kereit, *Analysis of current differential protection of line-transformer units*, APAP 2017, 7th International Conference on Advanced Power System Automation and Protection, Jeju, Korea, October 16-19, 2017, ss. 1-6.

[6] Krzysztof J. Solak, Waldemar Rebizant, *Modeling of ferroresonance phenomena in MV networks*, 2018 IEEE Electrical Power and Energy Conference (EPEC), Danvers, MA: IEEE, cop. 2018. ss. 1-6.

V. “Investigation concerning the topics protection of phase-shifting transformers, REF-protection of transformers, df/dt-protection and dφ/dt-protection, line transformer unit protection, ferroresonance detection and applications for PMUs”, projekt badawczo-rozwojowy na zlecenie SIEMENS AG, Berlin, 01.10.2014-30.09.2015.

W tym projekcie byłem kierownikiem trzech z sześciu zadań. Pierwsze zadanie dotyczyło analizy pracy przekaźnika 7SD87 oraz zarekomendowanych metod (w poprzednim projekcie 2013/2014) dla zwarć wewnętrznych oraz zewnętrznych z nasyceniem przekładników prądowych. Przeprowadziłem wielowariantową symulację, a następnie wykorzystałem tester Omicron do przetestowania przekaźnika 7SD87. Zarekomendowałem nastawy przekaźnika 7SD87 oraz zaproponowanych metod. W drugim zadaniu testowałem zaproponowany algorytm do detekcji zjawiska ferrorezonansu w sieci wysokiego napięcia (WN). Wykonałem symulacyjną analizę zjawiska ferrorezonansu w sieci wysokiego napięcia i na tej podstawie wykazałem, że dla sieci wysokiego napięcia występują drgania okresowe – w sieci średniego napięcia występowały drgania subharmoniczne lub chaotyczne. W związku z tym zmodyfikowałem algorytm detekcji ferrorezonansu, tak aby wykrywał drgania subharmoniczne oraz okresowe. Część wyników z przeprowadzonych badań przedstawiłem w [7]. W trzecim zadaniu opracowałem model symulacyjny fragmentu sieci z transformatorem pięciouzwojeniowym, prostownikiem 24-pulsowym oraz odbiorem RL lub silnikiem indukcyjnym (wraz z falownikiem). Przeprowadziłem wielowariantową symulację, a następnie wykorzystałem tester Omicron do przetestowania przekaźnika 7UT87 – testy wykonałem podczas tygodniowego pobytu w siedzibie Siemens AG Berlin w dniach od 13.07 do 17.07.2015r. Zarekomendowałem nastawy dla przekaźnika 7UT87. Część wyników z przeprowadzonych badań przedstawiłem w [8].

[7] Krzysztof J. Solak, Waldemar Rebizant, *Study of ferroresonance phenomena in HV power networks*, Present Problems of Power System Control, 2015, nr 6, ss. 6-14.

[8] Krzysztof J. Solak, Waldemar Rebizant, Ludwig Schiel, *Differential protection of converter transformers*, 17th International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE), Prague, 2016. ss. 245-250.

VI. “Investigation concerning the topics earth-fault differential protection of transformers, PMU-supported protection concepts and detection of winding shorts”, projekt badawczo-rozwojowy na zlecenie SIEMENS AG, Berlin, 01.10.2015-30.09.2016.

W tym projekcie byłem kierownikiem dwóch z pięciu zadań. Pierwsze zadanie dotyczyło analizy pracy przekaźnika 7SD87 oraz zarekomendowanych metod (projekt 2013/2014) dla zwarć zwojowych w transformatorze oraz zwarć jednofazowych w linii przez dużą rezystancję przejścia – testowana była czułość zabezpieczeń. Przeprowadziłem wielowariantową symulację, przy czym wszystkie otrzymane przebiegi prądów i napięć zostały zapisane w formacie Comtrade. Następnie wykorzystałem tester Omicron do przetestowania przekaźnika 7SD87. Zarekomendowałem nastawy przekaźnika 7SD87 oraz zaproponowanych metod. W drugim zadaniu opracowałem cyfrowy model transformatora, który umożliwia symulację zwarć zwojowych – wyniki przedstawiłem w [H1]. Opracowałem algorytm do detekcji zwarć zwojowych bazujący na mocy pozornej liczonej na podstawie napięcia i prądu składowej przeciwnej. Zarekomendowałem charakterystykę rozruchową oraz nastawy. Przygotowałem wniosek patentowy [H4].

VII. “Investigation concerning the topics: generator protection, PMU-supported protection concepts and detection of winding shorts”, projekt badawczo-rozwojowy na zlecenie SIEMENS AG, Berlin, 01.10.2016-30.09.2017.

W tym projekcie byłem kierownikiem jednego z pięciu zadań. Opracowałem algorytm do detekcji zwarć zwojowych bazujący na całce z iloczynu prądów składowej przeciwnej z obu stron transformatora. Zarekomendowałem logikę oraz nastawy. Przygotowałem wniosek patentowy [H5]. Część wyników z przeprowadzonych badań przedstawiłem w [H2].

VIII. “Analysis of DC excitation of transformers by geomagnetically induced currents, improvement of REF differential protection for transformers, investigation of the influence of digital power converters on the protection of transformers, investigations concerning distance protection for double earth faults in arc-suppression-coil grounded or isolated systems, investigations concerning generator protection against subsynchronous resonance”, projekt badawczo-rozwojowy na zlecenie SIEMENS AG, Berlin, 01.10.2017-30.09.2018.

W tym projekcie byłem kierownikiem dwóch z pięciu zadań. W pierwszym zadaniu opracowałem model cyfrowy trójpoziomowego przekształtnika wraz ze sterowaniem, transformatora mocy i silnika wysokiego napięcia. Przeprowadziłem wielowariantową symulację i przetestowałem zabezpieczenie różnicowe transformatora. Zarekomendowałem nastawy i sposób zabezpieczenia transformatora, który zasila przekształtnik. Część wyników z przeprowadzonych badań przedstawiłem w [9]. W drugim zadaniu zamodelowałem (nietypowy) fragment systemu elektroenergetycznego z izolowanym punktem neutralnym oraz z linią 110kV. Przetestowałem działanie zabezpieczenia odległościowego dla zwarć podwójnych doziemnych – dwa zwarcia jednofazowe zlokalizowane w dwóch różnych miejscach systemu. Zaproponowałem algorytm do detekcji tego typu zwarć, który może stanowić wsparcie dla zabezpieczenia odległościowego.

[9] Krzysztof J. Solak, Waldemar Rebizant, Frank Mieske, *Differential protection for converter transformers in three-level active-front-end large drive systems*, Proceedings of the 2019 20th International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE), 2019, s. 376-381.

IX. "Analysis of transformer inrush for point-on-wave switching, influence of modular multilevel converters on protection of converter transformers, detection of winding faults in shunt reactors and development of generator model for turn-to-turn faults", projekt badawczo-rozwojowy na zlecenie SIEMENS AG, Berlin, 01.10.2018-30.09.2019.

W tym projekcie byłem kierownikiem dwóch z czterech zadań. W pierwszym zadaniu opracowałem model cyfrowy wielopoziomowego przekształtnika modułowego (ang. Modular Multilevel Converter) wraz ze sterowaniem, transformatora mocy i silnika wysokiego napięcia. Przeprowadziłem wielowariantową symulację i przetestowałem zabezpieczenie różnicowe transformatora. Zarekomendowałem nastawy i sposób zabezpieczania transformatora, który zasila tego typu przekształtnik. W drugim zadaniu zamodelowałem cyfrowy model dławika kompensującego, który umożliwia modelowanie zwarć zwojowych. Zaproponowałem i przetestowałem trzy algorytmy do detekcji zwarć zwojowych w dławiku kompensującym. Część wyników z przeprowadzonych badań przedstawiłem w [H3].

X. “Research related to protection of power transformers energized with point-on-wave procedure, influence of MMCs on converter transformers protection, transients-based protection concepts and non-conventional in-strument transformers“, projekt badawczo-rozwojowy na zlecenie SIEMENS AG, Berlin, 01.10.2019-30.09.2020.

W tym projekcie byłem kierownikiem jednego z czterech zadań. W tym zadaniu dalej analizowałem działanie zabezpieczenia różnicowego transformatora przekształtnikowego. Analizowałem transformator, który zasila wielopoziomowy przekształtnik modułowy (ang. Modular Multilevel Converter). W sterowaniu przekształtnikiem uwzględniłem wymagania LVRT (ang. *Low-Voltage Ride-Through*) *oraz kontrolę składowej przeciwnej prądu podczas zwarcia. Przeprowadziłem wielowariantową symulację i przetestowałem zabezpieczenie różnicowe transformatora. Zarekomendowałem nastawy i sposób zabezpieczenia transformatora, który zasila tego typu przekształtnik.*

XI. “Research related to TW-based protection concepts, NCIT for protection, Rogowski coil applications and differential protection with positive-sequence quantities“, projekt badawczo-rozwojowy na zlecenie SIEMENS AG, Berlin, 01.10.2020-30.09.2021.

W tym projekcie byłem kierownikiem jednego z pięciu zadań. Analizowałem działanie zabezpieczenia różnicowego dwurdzeniowego przesuwnika fazowego w zależności od miejsca zainstalowania przełącznika Advanced-Retard-Switch (ARS). Testowałem standardowe zabezpieczenie przesuwnika fazowego oraz nowe rozwiązanie bazujące na składowej zgodnej prądu. Zarekomendowałem nastawy oraz sposób zabezpieczania przesuwnika w zależności od miejsca zainstalowania ARS.

XII. “Research related to travelling-wave-based protection concepts, ferroresonance detection function and damping, Transformer tutn-to-turn fault protection, Transformer condition monitoring and line distance protection“, projekt badawczo-rozwojowy na zlecenie SIEMENS AG, Berlin, 01.10.2021-30.09.2012.

W tym projekcie jestem kierownikiem dwóch z pięciu zadań. W pierwszym zadaniu stosuję sztuczną sieć neuronową do stabilizacji zabezpieczenia różnicowego transformatora podczas zwarć zewnętrznych z nasyceniem przekładników prądowych oraz sytuacji udarowego prądu magnesowania. Drugie zadanie dotyczy określenia optymalnej wartości rezystora tłumiącego ferrorezonans w zależności od poziomu napięcia.

XIII. „Nadprzewodnikowy ogranicznik prądu zwarciowego (NOPZ) jako element zwiększający zdolności przyłączeniowe odnawialnych źródeł energii elektrycznej do elektroenergetycznej sieci dystrybucyjnej”, projekt w ramach II Konkursu Programu GEKON, który jest wspólną inicjatywą Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej (NFOŚiGW) oraz Narodowego Centrum Badań i Rozwoju (NCBR), nr umowy o dofinansowanie projektu: GEKON2/O2/267193/13/2015, wnioskodawcy: Przedsiębiorstwo Badawczo-Wdrożeniowe "Frako-Term" sp.z o.o., Instytut Elektrotechniki, Uniwersytet Zielonogórski, 01.06.2015-29.02.2016.

W tym projekcie byłem wykonawcą (umowa o dzieło). Przygotowałem model fragmentu sieci średniego napięcia z nadprzewodnikowym ogranicznikiem prądu zwarciowego (NOPZ). Przeanalizowałem oraz przetestowałem działanie zabezpieczenia nadprądowego bezzwłocznego dla układu bez/z nadprzewodnikowym ogranicznikiem prądu zwarciowego. Wykazałem, że dobór nastaw zabezpieczeń nadprądowych bezzwłocznych w sieci, w której zainstalowano układ NOZP może nastręczać problemów, szczególnie jeśli chodzi o spełnienie kryteriów czułości oraz selektywności. Część wyników z przeprowadzonych badań przedstawiłem w [10].

[10] Waldemar Rebizant, Krzysztof J. Solak, Bartosz J. Brusiłowicz, Grzegorz Benysek, Adam Kempski, Jacek Rusiński, *Coordination of overcurrent protection relays in networks with superconducting fault current limiters*, International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 2018, vol. 95, ss. 307-314.

XIV. „Preparation and validation of the model for simulation of faults inside of transformers to be used within RelaySimTest”, projekt badawczo-rozwojowy na zlecenie Omicron electronics GmbH, Austria, 01.10.2018 – 31.03.2019.

W tym projekcie byłem wykonawcą (umowa o dzieło). Opracowałem model symulacyjny transformatora trójuzwojeniowego, w którym możliwe jest modelowania zwarć zwojowych. Zweryfikowałem działanie przygotowanego modelu na podstawie wykonanych testów. Przygotowany model został zaimplementowany w programie symulacyjnym RelaySimTest.

XV. „Przekaźnik zabezpieczeniowy SESTO Rapid”. Opracowanie wielokryterialnych algorytmów zabezpieczeniowych i wykonanie badań przemysłowych przekaźnika,

projekt badawczo-rozwojowy na zlecenie SESTO Sp. z o.o., finansowany ze środków EFRR, RPO woj. łódzkiego, 04.07.2014r – 23.12.2014r.

W tym projekcie byłem wykonawcą (umowa o dzieło). Opracowałem model symulacyjny kilku podstawowych wariantów sieci elektroenergetycznej z zabezpieczanym transformatorem SN/nN, linią zasilającą i obciążeniem. Model ten posłużył do generacji przebiegów prądów i napięć, które odwzorowują przebiegi podczas stanu ustalonego oraz zwarć w badanej sieci. Zaproponowałem oraz przetestowałem dwukryterialne zabezpieczenie nadprądowe z logiką rozmytą: nadprądowe bazujące na prądach fazowych oraz prądzie składowej przeciwnej.

Pozostałe informacje

Zrecenzowałem 26 artykułów dla następujących czasopism naukowych: International Journal of Electrical Power and Energy Systems, Electric Power Systems Research, IET Generation, Transmission & Distribution, IEEE Transactions on Smart Grid.

Prowadziłem sesję na międzynarodowej konferencji naukowej 15th International Scientific Conference Electric Power Engineering 2014, 12.05. - 14.05. 2014, Brno, Czech Republic. Tytuł sesji: IEC 61850 9-2 Process Bus Applications.

Posiadam świadectwo kwalifikacyjne SEP – eksploatacja.

Kr. Solak
.....
(podpis wnioskodawcy)

PODPIS ZAUFANY
KRZYSZTOF
SOLAK
18.07.2022 17:16:42 [GMT+2]
Dokument podpisany elektronicznie podpisem zaufanym