

Łódź, 28 lipca 2020 r.

dr hab. inż. Michał Kaczmarek

Politechnika Łódzka

Wydział Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Justyny Herlender

pt. „*Impedancyjne zabezpieczenie różnicowe linii napowietrznych*”

opracowana na zlecenie Komisji ds. Stopni Naukowych Dyscypliny Naukowej Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika Politechniki Wrocławskiej z dnia 22.06.2020 r.

1. Charakterystyka rozprawy

Praca składa się z dziewięciu rozdziałów wraz z wnioskami końcowymi i zawiera wykaz oznaczeń, wykaz literatury (138 pozycji), wstęp, tezę pracy oraz jej cel i zakres. W pracy występują obszerne załączniki dotyczące wyników symulacji.

We wstępie, w rozdziale 1, Autorka podkreśla znaczenie podjętego problemu, wskazuje na istotną rolę zabezpieczeń linii przesyłowych i dokładnej lokalizacji zwarć w zapewnieniu stabilności systemu elektroenergetycznego. Praca dotyczy również zwiększenia dokładności obliczeń odległości do zwarcia w przypadku nasycenia przekładników prądowych. Opracowany algorytm na podstawie symulacji w programie ATP-EMTP zapewnia poprawne i selektywne działania oraz dokładną lokalizację zwarcia. Rzeczywiście jest to tematyka ważna i aktualna, zatem temat rozprawy i zakres zostały wybrane właściwie.

Autorka rozprawy sformułowała następującą tezę przedstawioną w rozdziale 2:

„*Włączenie sygnałów napięciowych do zabezpieczenia różnicowego linii pozwala na poprawę jego działania, w szczególności w warunkach wystąpienia nasycenia przekładników*”



prądowych, podczas zwarć w linii, jak również poza nią. Dodatkowym efektem wykorzystania sygnałów napięciowych jest możliwość dokładnego określenia odległości do miejsca zwarcia.”

Cel pracy jest następujący:

„... rozwój i badanie impedancyjnego zabezpieczenia różnicowego linii przesyłowych, które oprócz sygnałów prądowych z dwóch końców linii, korzysta również z sygnałów napięciowych mierzonych na jej końcach. Zabezpieczenie to oprócz wykrywania zwarć w liniach napowietrznych umożliwia również lokalizację zwarcia.”

W rozdziale 3 przedstawiono zwięzłą analizę statystyczną z zakresu przyczyn występowania awarii w liniach napowietrznych z uwzględnieniem przyczyny zwarć z podziałem na linie 220 kV i 400 kV. W rozdziale 4 przedstawiono zasadę działania zabezpieczenia różnicowego linii przesyłowych, omówiono wpływ dokładności transformacji przekładnika prądowego na jego pracę oraz opisano metody wykrywania nasycenia. Analiza literatury przedstawiona w rozdziale 5 dotyczy impedancyjnych algorytmów lokalizacji zwarć w liniach napowietrznych. Omówiono stosowane modele linii i metody lokalizacji zwarć. Uwzględniono wpływ nasycenia przekładników prądowych. W rozdziale 6 opisano opracowane kryterium kątowe do określania położenia zwarcia i algorytm odtwarzania prądów dla przypadku nasycenia przekładników prądowych. Ponadto, przedstawiono opracowane impedancyjne zabezpieczenie różnicowe dedykowane dla linii dwutorowych. W rozdziale 7 Autorka rozprawy na podstawie analizy literaturowej przedstawiła analizowane układy przesyłowe oraz sposób modelowania tych układów w programie ATP-EMTP ze szczególnym uwzględnieniem metody odwzorowania linii przesyłowej 400 kV. Rozdział 8 zawiera analizę wyników badań symulacyjnych, wykonano ocenę poprawności działania proponowanego zabezpieczenia i sprawdzono dokładność lokalizacji zwarcia. W rozdziale 9 przedstawiono podsumowanie pracy i wnioski końcowe.

2. Uwagi merytoryczne i pytania

Zrozumiałe jest, że oceniana praca nie wyczerpuje szerokiej problematyki dotyczącej analizy zagadnień związanych z zabezpieczeniem i lokalizacją zwarcia w liniach napowietrznych 400 kV. W związku z tym niektóre z możliwych kierunków prac badawczych nie zostały omówione. Dlatego nasuwają się pewne uwagi i pytania.

- 2.1. W pracy nie wyjaśniono, jakie normy i wymagania musi spełniać przekładnik prądowy do zabezpieczeń, żeby mógł zostać zastosowany w układzie zabezpieczeniowym linii napowietrznej 400 kV.

- 2.2. Jakie są możliwości aplikacyjne opracowanego rozwiązania w odniesieniu do wymagań norm PN-EN 62689-1:2017 i PN-EN 62689-2:2017?
- 2.3. Czy zastosowany sposób odwzorowania charakterystyki magnesowania przekładnika prądowego (Rys. 7.9.) wpływa na poprawność działania proponowanego zabezpieczenia i dokładność lokalizacji zwarcia?
- 2.4. Czy zastosowanie „odtworzenia fazorów prądów fazowych” w przypadku wystąpienia nasycenia przekładników prądowych jest skuteczniejszym rozwiązaniem niż zastosowanie cewek Rogowskiego?
- 2.5. Dokładność transformacji przekładnika klasy 5P (Tab. 7.7.) zgodnie z normą PN-EN 61869-2:2013 dla prądu znamionowego jest określona nie tylko przez wartość błędu prądowego, ale również wartość błędu kąтового. Jaki jest wpływ przesunięcia fazowego wprowadzanego przez prądowy przekładnik zabezpieczeniowy na poprawność działania opracowanego impedancyjnego zabezpieczenia różnicowego linii przesyłowych i dokładność lokalizacji zwarcia za pomocą impedancyjnego algorytmu różnicowego?
- 2.6. W jakim zakresie przeprowadzona została praktyczna weryfikacja poprawności działania opracowanego algorytmu wraz z kryterium wyzwania zabezpieczenia linii przesyłowej i dokładności lokalizacji zwarcia?

3. Uwagi redakcyjne

Praca przygotowana jest starannie, jednak, w mojej ocenie, zawiera pewne błędy językowe, wymienione poniżej:

- 3.1. Błędy interpunkcyjne, polegające na nierozdzielaniu przecinkiem imiesłowych równoważników zdań (np. na str. 50 w zdaniu „Następnie mnożąc obie strony równania przez dwa oraz zapisując, w celu uproszczenia, całość jako impedancję kryterialną otrzymać można następujące równanie” brak przecinka przed „otrzymać można”) lub zdania podrzędnego od nadrzędnego (np. na str. 13 w zdaniu „Podczas normalnej pracy narażone są na działanie takich czynników jak warunki atmosferyczne czy przeciążenia co powoduje, że nie są niezawodne” brak przecinka przed „co powoduje”); takie błędy interpunkcyjne występują również na stronach: 13, 14, 16, 23, 35, 38, 41, 42, 44, 45, 50, 53, 55, 58, 62, 64, 67, 68, 70, 71, 73, 80, 82, 83, 89, 94, 106, 109, 110, 111, 114, 116.



- 3.2. Na stronie 3 w Podziękowaniach: spacja przed kropką w skrótce prof., brak przecinka przed zdaniem „jakiej mi udzielił”, spacja przed zwrotem „za miłą atmosferę pracy”; ponadto brak kropki w skrótach dr (w rodzaju męskim), użytych w przypadku zależnym, (powinno być „dr.” lub „drowi”).
- 3.3. Błędy, które kwalifikuję jako literówki, zarówno czysto mechaniczne błędy, jak i niewłaściwe formy fleksyjne (nie wynikają one z niewiedzy Autorki, powstały zapewne w toku przepisywania rozprawy), np.: str. 13, jest „wersje”, powinno być „wersję”; str. 21, jest „zwarcia zewnętrzze”, powinno być „zwarcia zewnętrzne”; str. 22, pierwszy akapit, jest „przesytu”, powinno być „przesyłu”; str. 26, niewłaściwa forma fleksyjna „znajduję się”, powinno być „znajduje się”; str. 27, niewłaściwa forma fleksyjna „prace”, powinno być „pracę”; str. 28, jest „działanie”, powinno być „działania”; str. 31, podpis pod rysunkiem 4.6 b), jest „amplituda prąd różnicowego”, powinno być „amplituda prądu różnicowego”, to samo 4.7; str. 32, jest „gdyż zabezpieczenia może zadziałać nadmiarowo”, powinno być „gdyż zabezpieczenie może zadziałać nadmiarowo”; str. 41, jest „zwarcia w dla linii dwutorowej”, powinno być „zwarcia dla linii dwutorowej”; str. 51, jest „model trójfazowy układu przesyłowego”, powinno być „model trójfazowy układu przesyłowego”; str. 54, jest „W przypadku zwarć symetrycznych [...] obliczona zostają impedancje”, powinno być „W przypadku zwarć symetrycznych [...] obliczone zostają impedancje”; str. 56, jest „podrozdział”, powinno być „podrozdział”; str. 65, jest „linią dwutorową”, powinno być „linią dwutorową”; str. 78, jest „Na potrzeby niniejszej pracy przejęto”, powinno być „Na potrzeby niniejszej pracy przyjęto”; str. 80, jest „możne”, powinno być „można”; str. 81, w Tabeli 7.7 jest „Dopuszczalne bład”, powinno być „Dopuszczalny bład”; str. 82, jest „Rysunku 7.11 ukazuje”, powinno być „Rysunek 7.11 ukazuje”; str. 89, jest „krytrialny”, powinno być „kryterialny”; str. 91, w opisach rysunków 8.7, 8.8, 8.9 jest „błędem”, powinno być „błędem”; str. 104, jest „a za stałą czasowa przyjęto”, powinno być „a za stałą czasową przyjęto”; str. 107, 108, w opisach rysunków 8.35, 8.36, 8.37 jest literówka „błędem”; str. 108, jest błędna końcówka fleksyjna „rozważając idealną transformacje”, powinno być „rozważając idealną transformację”; str. 109, jest „wynoszącca”, powinno być „wynosząca”; str. 116, jest „algorytm impedancyjnego zabezpieczenie różnicowego linii”, powinno być „algorytm impedancyjnego zabezpieczenia różnicowego linii”; str. 224 i 225, jest „równianiu”, powinno być „równaniu”.
- 3.4. Nieaktualna nomenklatura terminologiczna na str. 24 „uchyby przekładników”, zgodnie z normami PN-EN 61869-1\2 stosuje się termin „błędy przekładników”.

- 3.5. Błąd stylistyczny na str. 28 „co spowodowane jest z dwóch powodów”; mogłoby być „co spowodowane jest”.
- 3.6. Błąd ortograficzny w wyrazie „antyaliasingowy”; niepoprawna forma z łącznikiem, przejęta z języka angielskiego, na stronach: 9, 10, 34, 74, 76, 78, 81.
- 3.7. Niejednolity zapis wyrażenia „jedno- oraz dwutorowych” na str. 47 w Podsumowaniu; błędny zapis, niezawierający łącznika, to „w linii jedno jak i dwutorowej”, poprawny zapis: „w linii jedno-, jak i dwutorowej”.
- 3.8. Drobne błędy interpunkcyjne, polegające na niezastosowaniu właściwego znaku interpunkcyjnego, np. na str. 57 brak kropki na końcu akapitu „Impedancje zespolone...”, to samo na str. 61 w przedostatnim akapicie; na str. 115 brak kropki w ostatnim wyliczeniu; na str. 116 brak przecinka na końcu pierwszego podpunktu.
- 3.9. Brak spacji między wyrazem „prądu” a symbolem [kA] na str. 113 w opisie rysunku 8.46.
- 3.10. Błąd ortograficzny na str. 117 w imiesłowie przysłówkowym „niewpływając”, powinno być „nie wpływając”.

4. Ocena rozprawy

Opiniowana rozprawa doktorska ma charakter czysto symulacyjny, stanowi jednak istotne pogłębienie praktyki zagadnień związanych z zabezpieczeniem i lokalizacją zwarcia w liniach napowietrznych 400 kV. Przedstawione wyniki testów pozwalają stwierdzić, że zastosowanie opracowanego przez Autorkę rozprawy impedancyjnego algorytmu zabezpieczenia różnicowego poprawiło selektywność działania dla zwarć zewnętrznych, jednocześnie nie zakłócając szybkości i czułości jego działania dla zwarć wewnątrz chronionej linii przesyłowej. Istotną cechą opiniowanej pracy jest aktualność podjętej tematyki. Niezależnie od przedstawionych wcześniej uwag krytycznych i pytań, pracę we wszystkich jej aspektach oceniam pozytywnie. Dlatego uważam, że recenzowana rozprawa wnosi istotny wkład do rozwoju zarówno dawnej dyscypliny elektrotechnika, w której realizowany był przewód doktorski do 30.04.2019 r., jak i tym bardziej obecnej rozszerzonej dyscypliny automatyka, elektronika i elektrotechnika ze względu na wkład także do rozwoju dawnej dyscypliny automatyka i robotyka. Do głównych osiągnięć Kandydatki zaliczam:

- 4.1. opracowanie impedancyjnego zabezpieczenie różnicowego linii przesyłowych i impedancyjnego algorytmu różnicowego dla celów lokalizacji zwarć oraz symulacyjną weryfikację poprawności tych rozwiązań,



- 4.2. przedstawienie syntetycznego opisu podjętego problemu naukowego wraz z analizą literaturową metod lokalizacji zwarć w liniach przesyłowych i stasowanych modeli oraz impedancyjnych algorytmów lokalizacji zwarć w liniach napowietrznych,
- 4.3. przygotowanie modeli cyfrowych rozważanych układów przesyłowych i torów pomiarowych,
- 4.4. opracowanie kryterium kąтового do określania położenia zwarcia i algorytmu do odtwarzania prądów podczas nasycenia przekładników prądowych.

5. Wniosek końcowy

Założone cele pracy zostały osiągnięte. Autorka wykazała się wiedzą i umiejętnością prowadzenia badań eksperymentalnych i symulacyjnych, wykazując samodzielność w pracy naukowej w zakresie nauk technicznych. Recenzowana rozprawa stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego oraz potwierdza ogólną wiedzę teoretyczną Kandydatki w dyscyplinie naukowej automatyka, elektronika i elektrotechnika. Uznaję również, że teza rozprawy została w zupełności uzasadniona. W związku z powyższym, zgodnie z obowiązującą ustawą o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki, stawiam wniosek o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

29.07.2020 r.

Kawonik

Łódź, 28 lipca 2020 r.

dr hab. inż. Michał Kaczmarek

Politechnika Łódzka

Wydział Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki

Wniosek o wyróżnienie rozprawy doktorskiej mgr inż. Justyny Herlender
pt. „*Impedancyjne zabezpieczenie różnicowe linii napowietrznych*”

Mam zaszczyt wnioskować do Szanownej Komisji ds. Stopni Naukowych Dyscypliny Naukowej Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika Politechniki Wrocławskiej o wyróżnienie pracy doktorskiej autorstwa Pani mgr inż. Justyny Herlender.

Przedstawiona do oceny dysertacja wymagała interdyscyplinarnego warsztatu naukowego i jest oryginalnym rozwiązaniem przedstawionego problemu badawczego o wysokim potencjalnym walorze aplikacyjnym. Wysoki poziom merytoryczny prowadzonych badań naukowych potwierdza bogaty dorobek publikacyjny, liczący 12 pozycji według bazy DONA (Dorobek naukowy) PWr, w tym 4 pozycje indeksowane w bazie Web of Science:

- [1] J. Herlender, J. Iżykowski, K. Solak, Compensation of the current transformer saturation effects for transmission line fault location with impedance-differential relay, *Electric Power Systems Research*, 182 (2020), p. 106223.
- [2] J. Herlender, J. Iżykowski, E. Rosołowski, Impedance-Differential Protective Algorithm for Double-Circuit Transmission Lines, *Przegląd Elektrotechniczny*, 11 (2019), s. 238 - 242.
- [3] K. Solak, J. Herlender, J. Iżykowski, Transmission Line Impedance-Differential Protection with Improved Stabilization for External Fault Cases, 19th International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE), 2018.
- [4] J. Herlender, J. Iżykowski, Impedance-Differential Protective Algorithm for Long Power Transmission Lines, 18th International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE), 2017.

Uważam, że recenzowana rozprawa wnosi istotny wkład do rozwoju zarówno dawnej dyscypliny elektrotechnika, w której realizowany był przewód doktorski do 30.04.2019 r., jak i tym bardziej obecnej rozszerzonej dyscypliny automatyka, elektronika i elektrotechnika ze względu na wkład także do rozwoju dawnej dyscypliny automatyka i robotyka.

28.07.2020
Kaczmarek

