

Prof. dr hab. inż. Waldemar Skonradek,
Katedra Elektroenergetyki i Automatyki Systemów
Przetwarzania Danych
Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki
i Inżynierii Biomedycznej
Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie
ul. Mickiewicza 30
30-059 Kraków

Opole, 16.08.2022 r.

Automatyzacja, Elektronika i Elektrotechnika
wpłynęło dnia 30.08.22
nr 26

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr inż. Agnieszki Dziendziel p.t.

*Wielotorowe, wielonapięciowe elektroenergetyczne linie napowietrzne
wysokich i najwyższych napięć*

Multi-circuit, multi-voltage HVAC Transmission Overhead Lines

opracowana na zlecenie Dziekana Wydziału Automatyki, Elektroniki i Informatyki
Politechniki Śląskiej z dnia 13.06.2022 r.

Promotor: dr hab. inż. Henryk Kocot, prof. PŚ

I. Aktualność i oryginalność tematyki oraz cel i teza rozprawy

Recenzowana rozprawa jest poświęcona zagadnieniu stosowania w budownictwie sieciowym wielotorowych i wielonapięciowych elektroenergetycznych linii napowietrznych wysokich i najwyższych napięć. Jak wynika z doświadczeń krajowej i międzynarodowej elektroenergetyki największą problemem przy realizacji inwestycji, szczególnie liniowych wiąże się z uzyskaniem potwierdzenia o oddziaływaniu danego przedsięwzięcia na środowisko naturalne w stopniu nie powodującym jakiegokolwiek zagrożenia. Jest to tak istotne, gdyż niemalże każda inwestycja w elektroenergetyce ma bezpośredni wpływ na lokalne środowisko naturalne i wymaga uzyskania akceptacji społecznej.

Specyfiką inwestycji liniowych jest to, że trasa linii zazwyczaj przebiega przez tereny, których prawo własności niejednokrotnie nie jest wprost dookreślone. A jeśli nawet ten aspekt jest prawnie spełniony, to uzyskanie zgodny na umowne naruszenie prawa własności, objęte procesem inwestycyjnym może być znacząco utrudnione. Taka rzeczywistość sprawia, że w elektroenergetycznym budownictwie liniowym preferowane są rozwiązania o ograniczonej ingerencji w środowisko naturalne i w własność prywatną. Należą do nich w szczególności linie wielotorowe i wielonapięciowe, linie o konstrukcji kompaktowej z wprowadzoną modyfikacją konstrukcji słupów, polegającą na zmianie odstępów między przewodami roboczymi linii oraz sposobu ich zamocowania – wykorzystanie tzw. wąskotrzonowych kratowych słupów stalowych, słupów strunobetonowych lub słupów stalowych pełnościenne. Dzięki smukłej sylwetce tych słupów oraz wielokrotnieniu wolumentu przesyłanej energii elektrycznej wieloma torami lub przewodami wiązkowymi istnieje możliwość ograniczenia oddziaływania linii napowietrznych na środowisko. Zastosowanie elektroenergetycznej linii napowietrznej w wersji wielotorowej i wielonapięciowej oraz ograniczenie odstępów między przewodami roboczymi linii w stopniu zachowując

wymagane poziomy wytrzymałości udarowej izolacji wpływa na obniżenie amplitud składowych pola elektromagnetycznego, występującego w otoczeniu linii.

Zasygnalizowana problematyka poprawy efektywności przesyłu energii elektrycznej w powiązaniu z działaniem środowiskowym stała się dla Doktorantki podstawą przeprowadzenia analiz teoretycznych i badań symulacyjnych pracy takich linii w Krajowym Systemie Elektroenergetycznym. Rezultatem wykonanych prac są interesujące wnioski szczegółowe, które w swej wymowie zachowują wartość naukową, badawczą, a także są zgłębieniem wiedzy praktycznej w badanym obszarze oddziaływania infrastruktury elektroenergetycznej na otoczenie.

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska jest opracowaniem o charakterze naukowo-technicznym, jasno określonym celu oraz prawidłowo postawionej i udowodnionej tezie nieznaczny mankament zapisu tezy wskazano w p. 4 recenzji.

Doktorantka w treści rozprawy doktorskiej dużą wagę przywiązuje do problematyki środowiskowych wymagań prawnych stawianych elektroenergetycznej infrastrukturze liniowej, w szczególności sposób eksponując zjawisko niesymetrii napięć i prądów pojawiających się w wielotorowych, wielonapięciowych liniach napowietrznych wysokiego i najwyższych napięć.

W części opisowej rozprawy Doktorantka przedstawiła zasady funkcjonowania krajowego systemu elektroenergetycznego oraz scharakteryzowała wielotorowe, wielonapięciowe elektroenergetyczne linie wysokiego i najwyższych napięć. Natomiast zasadniczą część pracy zawiera teoretyczną analizę modelu matematycznego n -torowej wielonapięciowej linii z punktu widzenia jej parametrów wzdłużnych i poprzecznych oraz geometrii zawieszenia przewodów roboczych, co ma zasadniczy wpływ na rozkład pola elektromagnetycznego wokół linii.

Mimo wielu prac opublikowanych w ostatnich latach obejmujących tematykę ograniczenia oddziaływania elektroenergetycznych linii napowietrznych na środowisko, modyfikacji zasad koordynacji izolacji, co stało się przyczynkiem do opracowania konstrukcji wsporczych tych linii w wariantcie kompaktowym oraz podejmowanych działań zmierzających do poprawy niezawodności tych elementów sieci elektroenergetycznych recenzowana rozprawa stanowi oryginalny dorobek Doktorantki. Główną przesłanką uzasadniającą prezentowane stanowisko są analizy teoretyczne i badania symulacyjne, których rezultaty stworzyły płaszczyznę do sformułowania wniosków z zakresu asymetrii napięć i prądów w tych specyficznych liniach.

2. Rozwiązanie postawionego zadania - metody i samodzielność Doktorantki

Praca jest o objętości 154 stron. Została podzielona na 7 rozdziałów merytorycznych, bibliografię i załączniki. Rozdziały od 3 do 6 stanowią zasadniczą część rozprawy doktorskiej. Rozdział 7 stanowi podsumowanie rozprawy doktorskiej oraz zawiera wnioski. W pracy zamieszczono 85 rysunków i 33 tablice. W bibliografii umieszczono 117 pozycji literatury, w tym wybrane książki, monografie, rozprawy doktorskie, artykuły, referaty konferencyjne oraz dokumenty normatywne. Lista istotnych publikacji współautorskich Doktorantki przywołanych w rozprawie doktorskiej zawiera 8 pozycji. Na wskazanej liście znajdują się publikacje umieszczone w recenzowanych czasopiśmie, posiadające IF (np. czasopismo – *Energies* IF 3,252, *Przegląd Elektrotechniczny* IF 0,561).

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska zawiera jednoznacznie określony cel, tezę (z uwagą ujętą w p. 4 recenzji) oraz zakres pracy. Zasadniczą treść merytoryczną rozprawy została zawarta w rozdziałach 3-6. Podsumowanie wyników badań dowodzące słuszność tezy postawionej w pracy oraz rekomendacje do dalszego rozwoju zaproponowanej metody wyboru najbardziej optymalnych sylwetek wielotorowych, wielonapięciowych

elektroenergetycznych linii wysokiego i najwyższych napięć, charakteryzujących się ograniczonym poziomem wprowadzanych niesymetrii napięć i prądów w systemie, ujętu w rozdziale 7.

Zamiarem Doktorantki było zidentyfikowanie istniejących asymetrii napięć i prądów w liniach napowietrznych wielotorowych, wielonapięciowych wysokiego i najwyższych napięć i zaproponowanie sposobu ich redukcji, opierając się w szczególności na geometrii rozkładu przewodów roboczych poszczególnych linii napowietrznych, umieszczonych na wspólnych konstrukcjach wsporczych.

Realizując zamierzony cel Doktorantka w rozdziale pierwszym w sposób ogólny przedstawiła organizację krajowego systemu elektroenergetycznego skupiając uwagę w szczególności na stosowanych poziomach napięć znamionowych w sieciach wysokiego i najwyższych napięć, granicznym zapotrzebowaniu na moc w systemie oraz na zastosowaniu innowacyjnych technologii w elektroenergetycznym budownictwie linii napowietrznych. Rozdział pierwszy zawiera również cel, tezę i zakres rozprawy doktorskiej.

W rozdziale drugim scharakteryzowano elektroenergetyczne linie kompaktowe, tzn. linie napowietrzne o konstrukcjach wsporczych umożliwiających prowadzenie na tej samej podbudowie słupowej wielu linii o różnych napięciach, z zachowaniem odstępów przewodów roboczych od konstrukcji uziemionej, spełniających wymóg dostosowania do poziomu wytrzymałości udarowej izolacji.

W rozdziałach 3 i 4 Doktorantka stosując rachunek macierzowy podjęła próbę wielowariantowego zamodelowania elektroenergetycznej linii napowietrznej oraz przeprowadziła w badanych układach analizę rozkładu pola elektromagnetycznego, uwzględniając wzajemne oddziaływanie na siebie pól elektromagnetycznych pochodzących od poszczególnych linii. Analizy rozkładu natężenia pola elektromagnetycznego przeprowadzono niezależnie dla składowych elektrycznej i magnetycznej pola. Obejmowały one:

- a) wyznaczenie rozkładu natężenia pola elektrycznego i magnetycznego w funkcji odległości od osi konstrukcji wsporczej linii,
- b) wyznaczenie maksymalnych wartości natężenia pola elektrycznego i magnetycznego w zależności od zastosowanego układu przewodów roboczych linii,
- c) wyznaczenie maksymalnych wartości natężenia pola elektrycznego i magnetycznego w zależności od zmiany kąta napięć zasilających rozpatrywane linie.

Kluczowe dla rozprawy doktorskiej rozważania zostały umieszczone w rozdziałach 5 i 6. Rozdziały te zawierają opis wyboru najbardziej korzystnego – z punktu widzenia wzajemnego oddziaływania – układu przewodów roboczych poszczególnych linii, umieszczonych na wspólnych konstrukcjach wsporczych oraz analizę asymetrii geometrycznej ciągów liniowych wielotorowych i wielonapięciowych w wytypowanych fragmentach rzeczywistej sieci elektroenergetycznej.

W kolejnym, siódmym rozdziale recenzowanej rozprawy doktorskiej Doktorantka sformułowała wnioski szczegółowe oraz określiła kierunki dalszych badań. W rozprawie nie zamieszczono streszczenia pracy oraz spisu rysunków i tabel.

Wykonanie przez Doktorantkę pracy badawczej upoważnia do stwierdzenia, że istnieje możliwość doboru konstrukcji wsporczych linii napowietrznych wielotorowych i wielonapięciowych, których sylwetka umożliwi redukcję asymetrii napięć i prądów w rozpatrywanych liniach. Dodatkową zaletą takiego postępowania jest ograniczenie negatywnego oddziaływania tych urządzeń elektroenergetycznych na środowisko naturalne wokół linii.

Wyniki przeprowadzonych przez Doktorantkę analiz i symulacji są niewątpliwie ich
tyki

w elektroenergetyce działań prośrodowiskowych. Zatem, uzyskane rezultaty można oceniać w sposób jednoznacznie pozytywny.

Doktorantka osiągnęła zamierzony cel pracy m.in. poprzez:

- przegląd literatury w zakresie korzyści i zagrożeń związanych z zastosowaniem wielotorowych, wielonapięciowych linii napowietrznych wysokiego i najwyższych napięć,
- analizę pracy systemu elektroenergetycznego i rozwoju mocy wytwórczych,
- opracowanie modelu matematycznego do wyznaczania rozkładu pola elektromagnetycznego w otoczeniu badanych linii; wykorzystano w tym celu rachunek macierzowy,
- analizę pracy przedmiotowych linii w stanach ustalonych i quasi-ustalonych,
- analizę asymetrii geometrycznej ciągów liniowych wielotorowych i wielonapięciowych w wytypowanych fragmentach rzeczywistej sieci elektroenergetycznej.

Na podstawie wskazanych osiągnięć można stwierdzić, że postawione w tezie rozprawy kwestie zostały rozwiązane w sposób satysfakcjonujący recenzenta. Można także przyjąć z dużym prawdopodobieństwem akceptację uzyskanych przez Doktorantkę rezultatów przez znaczącą część zainteresowanego tą problematyką środowiska naukowego.

3. Wiedza Doktorantki i umiejętność prezentowania wyników naukowych

Omawiając w kolejnych rozdziałach rozprawy sposób realizacji jej celu Doktorantka ujawniła swoje predyspozycje naukowe i wiedzę z zakresu tematyki, obejmującej:

- ogólną wiedzę o Krajowym Systemie Elektroenergetycznym i stosowanych rozwiązaniach konstrukcyjnych elektroenergetycznych linii napowietrznych wysokiego i najwyższych napięć,
- modelowanie linii elektroenergetycznych w oparciu o modele wielofazowe i modele jednofazowe wykorzystujące składowe symetryczne,
- zastosowanie w elektroenergetyce rachunku macierzowego,
- technikę badań modelowych i symulacyjnych,
- technikę obliczeń komputerowych.

Dzięki tym umiejętnościom Doktorantka uzyskala interesujące wyniki badań i analiz. Tym samym, wykazała dobre przygotowanie teoretyczne i dużą zręczność zarówno w modelowaniu, jak i komputerowej symulacji rozpatrywanych zagadnień. Doktorantka uzyskała zdolność samodzielnego prowadzenia badań, a także posiada umiejętność przedstawiania i komentowania uzyskanych wyników badań i analiz oraz formułowania wniosków szczegółowych. Uzyskane wyniki pracy oraz sformułowane wnioski/rekomendacje są wystarczające, aby włączyć Doktorantkę do grona specjalistów, którzy posiadają umiejętność inicjowania badań naukowych, uzyskiwania interesujących rezultatów swoich prac i zadowalającego ich prezentowania.

Niewątpliwie, Doktorantka swoją rozprawa doktorska przyczyniła się do rozwoju reprezentowanej przez siebie dziedziny nauki.

4. Uwagi i zastrzeżenia do rozprawy doktorskiej

Mając na względzie zachowanie obiektywności w ocenie rozprawy doktorskiej, doceniając jej pozytywne walory nie można pominąć dostrzeżonych usterek redakcyjnych. Wśród nich są następujące:

- str. 3, Spis treści – wprowadzono skrót WWLN, który wyjaśniono dopiero na stronie 5,
- str. 4, tytuł rozdziału pomija sieci dystrybucyjne, o których również mowa w rozprawie,
- str. 4, Załączniki – zbędnie ponumerowano zawartość załącznika,
- str. 7, zdanie nad rys. 1.2 – „zwiększenie przesyłanej mocy do poziomu 182 %” – błędna redakcja, treść niezrozumiała,
- str. 7, podpis pod rys. 1.2 – „Ilustracja wplywu podwyższenia napięcia znamionowego linii napowietrznej” – ale zaprezentowane na rysunku podwyższenie ... wpływa na co?
- str. 8, wiersz 19 od dołu strony – co to jest dodatnia rozszerzalność temperaturowa materiałów; zatem, czy istnieje ujemna rozszerzalność temperaturowa materiałów?
- str. 10, wiersz 2 od dołu strony – cyt.: „Literatura krajowa i zagraniczna omawia ...” – w jaki sposób to omawianie się odbywa?
- str. 11, Cel, teza i zakres pracy – Doktorantka stwierdza, że głównym celem prac jest ... , a następnie wymienia cztery cele (t. mnoga) – brak spójności stwierdzeń,
- str. 12, Teza pracy – teza bardzo nieprecyzyjnie sformułowana: niepotrzebnie przywołano w jednym zdaniu trzy różne sformułowania, tj. tor, układ faz, przewód roboczy, podczas gdy podmiotem są wyłącznie przewody robocze, np. przewody robocze toru linii o najniższym napięciu znamionowym, układ przewodów roboczych na konstrukcji, czy też przeplot przewodów roboczych; ponadto stwierdzenie „... dobór układu faz ...” w tym przypadku należy traktować jako żargon (!),
- str. 54 i 55, podpisy pod rysunkami 4.2 i 4.3 – brak wyjaśnienia, co oznaczają zapisy: a) pierwsza WWLN, b) druga i trzecia WWLN itd.; jakiego parametru dotyczy skala obok rysunków 4.2 d) i 4.3 d) i jaką posiada jednostkę?
- str. 116, pierwsze zdanie od góry strony – jaka jest definicja sprawnego przesyłu energii elektrycznej?,
- uwagę ogólną do wniosków zamieszczonych na stronach od 116 do 121 w sformułowanych wnioskach nągminnie stosuje się niedookreślone stwierdzenia, np. wniosek 1 – „WWLN nie charakteryzuja się zwiększonym poziomem natężenia pola elektromagnetycznego ...”; wniosek 2 – „Niesymetria pojemnościowa WWLN, wynikająca z jej niesymetrii geometrycznej jest przyczyną znaczących wartości napięcia kolejności zerowej ...”; wniosek 3 – „Nieodpowiednio dobrany układ przewodów lub niekorzystne warunki pracy linii, rozumianej jako konfiguracja kątów fazowych napięć zasilających mogą spowodować wzrost napięcia przesunięcia punktu neutralnego sieci o najniższym napięciu znamionowym.” – zapis całkowicie niezrozumiały; wniosek 6 – „Na podstawie przeprowadzonej analizy zauważa się, że możliwa jest redukcja wskaźników (wskaźników, czy wartości tych wskaźników?) niesymetrii i nierównoważenia ...”; wskazany mankament można dostrzec również we wnioskach 10, 12, 14 i 16,
- czy użyte w rozprawie doktorskiej stwierdzenia *pełny przeplot* i *przeplot* są równoważne?

Ponieważ rozprawa dotyczy bardzo istotnego zagadnienia, jakim jest identyfikacja i zapobieganie skutkom asymetrii napięć i prądów w liniach napowietrznych wielotorowych, wielonapięciowych wysokiego i najwyższych napięć należy oczekiwać, że Doktorantka zechce podczas obrony pracy doktorskiej udzielić odpowiedzi w następujących kwestiach:

1. W części merytorycznej rozprawy Doktorantka nie określiła, czy rezultaty Jej analiz i badań symulacyjnych są uniwersalne w swej istocie, czy też stanowią odniesienie wyłącznie do konkretnych, rozpatrywanych przypadków. Zatem, proszę o szerszy komentarz w tej sprawie.
2. W rozdziale 7 rozprawy przywołano wiele wniosków szczegółowych nie formułując wniosków generalnych. Zatem, proszę o zredagowanie dwóch, trzech wniosków zasadniczych stanowiących o rezultatach wykonanej pracy naukowo-badawczej i o ich zaprezentowanie w trakcie obrony.
3. W trakcie obrony należałoby również krótko omówić wnioski szczegółowe, w których Doktorantka zastosowała wiele nieprecyzyjnych określeń (zgodnie z wcześniej przywołanymi uwagami).

5. Końcowa ocena rozprawy

Podane w rozprawie rozważania i jej wyniki, mimo wykazanych uwag i zastrzeżeń, pozwalają na stwierdzenie, że Doktorantka dysponuje ogólną wiedzą teoretyczną w dyscyplinie naukowej automatyka, elektronika i elektrotechnika, podjęła oryginalne i ważne zadanie, rozwiązała je, stosując akceptowalne metody oraz wykazała umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Stwierdzam więc, że recenzowana rozprawa doktorska Pani mgr inż. Agnieszki Dziendziel nie wymaga uzupełnień ani poprawek i spełnia warunki i wymagania stawiane rozprawom doktorskim, określone w art. 187 ust. 1 i ust. 2 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku Prawo o Szkolnictwie Wyższym i Nauce (Dz.U. z 2018 poz. 1668 z późn. zm.) i wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Recenzent

