

Prof. dr hab. inż. Wojciech Jarzyna
Katedra Napędów i Maszyn Elektrycznych
Wydział Elektrotechniki i Informatyki
Politechnika Lubelska
ul. Nadbystrzycka 38A, 20-618 Lublin
tel. 81 5384339; e-mail: w.jarzyna@pollub.pl

Lublin, 14.01.2025 r.

SEKRETARIAT
Rady Dyscypliny AEEITK

Wpłynęło dnia15.01.2025.....

Zarejestrowano pod nr 510-12-4/24

Podpis*Jm*.....

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Łukasza Jerzego Topolskiego pt. „Współpraca elektrowni fotowoltaicznych z siecią zasilającą”

Podstawą opracowania recenzji jest uchwała Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie z dnia 8 listopada 2024 r.

Recenzja wykonana została zgodnie ze szczegółowymi zasadami określonymi w paragrafie 3, ust.5 umowy o dzieło na wykonanie recenzji rozprawy doktorskiej.

1. Ocena problematyki rozprawy

Problematyka rozprawy dotyczy badań wpływu mikroinstalacji fotowoltaicznych na jakość dostawy energii elektrycznej oraz oceny wybranych metod służących do poprawy integracji tych źródeł z siecią dystrybucyjną niskiego napięcia. Problematyka ta, wobec dość dynamicznego wzrostu zainstalowanych generatorów fotowoltaicznych u indywidualnych prosumentów, jest niezwykle istotna. Przyłączenie takich instalacji do sieci niskiego napięcia generuje jednak szereg problemów. Problemy te ujawniają się zwłaszcza podczas niesymetrycznego i nieliniowego obciążenia i mogą powodować asymetrię napięć, ich wahania oraz odkształcenia wyższymi harmonicznymi.

Zjawiska te sprawiają duże problemy zarówno operatorom sieci jak i negatywnie wpływają na pracę przyłączanych do sieci urządzeń. Stąd poprawa jakości napięcia w sieciach z zainstalowanymi generatorami fotowoltaicznymi jest priorytetowym zadaniem, którego rozwiązanie powinno poprawić niezawodność i obciążalność linii elektroenergetycznych niskiego napięcia. Z tego względu wybór tej problematyki uważam za uzasadniony i istotny.

2. Ocena układu rozprawy w tym informacje o poszczególnych częściach składowych

Układ pracy jest zgodny z typową strukturą rozprawy. Pierwszym rozdziałem jest wprowadzenie, w którym przedstawiono motywację podjęcia tematu, sformułowano cel, tezę pracy, scharakteryzowano metody badawcze oraz krótko opisano strukturę pracy. Kolejne trzy rozdziały opracowane zostały na podstawie przeglądu literatury.

W pierwszym z nich, w rozdziale drugim, przedstawiono rozwój energetyki na Świecie, w Europie i w Polsce, zwracając uwagę na dynamikę zmian oraz zachodzące przemiany w strukturze produkcji energii. Charakteryzując przemiany w Polsce szczególną uwagę zwrócono na rozwój mikroinstalacji fotowoltaicznych oraz towarzyszące tym zmianom zachęty ze strony państwa. W trzeciej części pracy dokonano podziału instalacji fotowoltaicznych, scharakteryzowano ich budowę podając podstawowe charakterystyki modułów PV jak i definiując podzespoły wchodzące w skład elektrowni fotowoltaicznych. W rozdziale czwartym kończącym części przeglądowej rozprawy, przytaczając odpowiednie przepisy, określono wymagania stawiane instalacjom fotowoltaicznym. Wśród tych wymagań uwzględniono również wskazania, w jaki sposób powinna być regulowana moc bierna i czynna oraz jak powinny zachowywać się instalacje fotowoltaiczne podczas zapadów napięcia.

Rozdziały 5-7 mają charakter badawczo-analityczny. W pierwszym z nich opisano testy kilkunastu falowników fotowoltaicznych na zgodność z wymaganiami przyłączania jednostek wytwórczych do sieci. Testy przeprowadzono w trybie włączonej albo wyłączonej pracy z aktywną regulacją mocy biernej lub aktywną regulacją mocy czynnej. Przetestowano również spełnienie warunków pracy z przetrwaniem zapadów napięcia jak i przetrwaniem krótkotrwałych wzrostów napięć. Kolejne testy zrealizowano ze względu na pomiar wyższych harmonicznych prądu. Wyniki opracowano w formie wykresów oraz tabel zbiorczych.

W rozdziale szóstym przedstawiono wyniki badań przeprowadzonych w gminie Ochotnica Dolna. Rezultatem tych badań było określenie wpływu instalacji fotowoltaicznych na wybrane parametry jakości dostawy energii elektrycznej w sieci dystrybucyjnej. Na ich podstawie opracowano profile wartości skutecznych napięć dla różnych węzłów analizowanej sieci. Modelowano również warunki powstawania asymetrii napięć fazowych oraz ich przykłady pomiarowe dotyczące wahań napięcia. Wyniki badań zilustrowano na wykresach i charakterystykach oraz w postaci tabel.

W rozdziale siódmym opisano obszerny cykl badań, który w głównym stopniu przyczynia się do realizacji przyjętych celów rozprawy gdyż odnosi się do możliwych sposobów poprawy współpracy mikroinstalacji fotowoltaicznych z siecią zasilającą. Realizując cele rozprawy Doktorant scharakteryzował poszczególne sposoby redukcji negatywnego oddziaływania mikroinstalacji fotowoltaicznych na sieć, podał wyniki pomiarów oceniając skuteczność poprawy parametrów napięcia za pomocą wybranych rozwiązań technicznych, a dla porównania wykonał symulacje i podał wyniki. W podsumowaniu rozdziału przedstawił analizę porównawczą skuteczności redukcji negatywnego oddziaływania mikroinstalacji fotowoltaicznych na sieć zasilającą.

W podsumującym rozdziale 8.1. przedstawiony jest opis wykonanych prac i osiągnięć naukowych, a w tym osiągnięcia, które Autor uważa za swoje oryginalne dokonania naukowe. Osiągnięcia te są spójne z postawionymi na wstępie celami pracy i szkoda tylko, że Autor sam nie sformułował stwierdzenia, że cele zostały zrealizowane.

W drugiej części podsumowania, w rozdziale 8.2. pt. wnioski końcowe, Doktorant przytaczając wyniki z poprzednich rozdziałów uzasadnił, że przez odpowiedni wybór urządzeń poprawiających jakość zasilania, konfigurację falowników oraz zastosowanie kondycjonerów jakości dostawy energii elektrycznej, można uzyskać poprawę wybranych wskaźników napięcia zasilającego. Przytoczone uzasadnienia potwierdzają więc słuszność przyjętej tezy, dla której podobnie jak w przypadku celów rozprawy, Doktorant nie napisał konkluzji, że teza rozprawy została udowodniona.

3. Ocena zastosowanego piśmiennictwa

Wykaz literatury jest dość specyficzny. W bardzo dużej liczbie występują w nim pozycje o charakterze przepisów, norm i dokumentacji technicznych. Wydawnictwa naukowe obejmują nie więcej niż połowę wykazu literatury, w tym zaledwie kilkanaście z najbardziej cenionego kwartyłu Q1 nauk inżyneryjno-technicznych, a większość publikacji naukowych to artykuły konferencyjne.

Duża liczba przepisów, norm i dokumentacji technicznych skłania do zastanowienia się, czy Doktorant nie powinien podzielić wykazu literatury przynajmniej na dwie grupy, publikacje naukowe oraz przepisy, normy i opisy techniczne. Tym niemniej przedstawiony wykaz bibliografii spełnia podstawowe wymagania prac doktorskich.

4. Wskazanie oraz ocena celu i tezy pracy

Cel pracy sformułowany został przez Doktoranta jako: „... zbadanie wpływu jednofazowych mikroinstalacji fotowoltaicznych na wybrane parametry jakości dostawy energii elektrycznej oraz ocena skuteczności działania technicznych sposobów ich poprawy w obwodach niskiego napięcia z dużą koncentracją jednofazowych mikroinstalacji fotowoltaicznych”. Cel pracy budzi zastrzeżenia ze względu na użyte określenie „zbadanie wpływu”. Badanie określa tylko pracę a nie definiuje spodziewanego wyniku. W zamian można by użyć słów „określenie wpływu”, które wskazują przewidywany efekt pracy autora, a nie tylko proces badania.

Teza naukowa „Poprawę wybranych wskaźników jakości napięcia zasilającego w sieci dystrybucyjnej niskiego napięcia można osiągnąć poprzez odpowiedni wybór (spośród urządzeń jedno- lub trójfazowych) oraz konfigurację falowników fotowoltaicznych, aktywną regulację napięcia w sieciach SN oraz zastosowanie kondycjonerów jakości dostawy energii elektrycznej” wyraża twierdzenie, które Doktorant w treści pracy zamierza udowodnić. Tak sformułowana teza nie budzi zastrzeżeń i wiąże się z wymaganym przez obowiązującą Ustawę 2.0 rozwiązaniem problemu naukowego.

5. Wskazanie oraz ocena zastosowanych metod badawczych

W rozprawie Doktorant niezbyt precyzyjnie określił użyte przez siebie metody badawcze. Niezależnie więc od tego, co Doktorant napisał w rozdziale 1.3. pt. „Metoda badawcza” stwierdzam, że zastosowanymi metodami badawczymi są:

- a) Studia literaturowe obejmujące zarówno literaturę naukową jak i przepisy, normy oraz opisy techniczne;
- b) Analiza rzeczywistych warunków w kontekście obowiązujących przepisów i istniejących problemów w analizowanej sieci elektroenergetycznej;
- c) Badania modelowe i symulacyjne;
- d) Planowanie badań eksperymentalnych i ich przeprowadzenie;
- e) Analiza, interpretacja i dyskusja uzyskanych rezultatów oraz formułowanie wniosków w zakresie spełnienia oraz osiągnięcia celów naukowych.

Studia literaturowe prowadzono głównie w rozdziałach wstępnych 2, 3 i 4, przy czym dla realizacji celów pracy rozdział drugi nie ma istotnego znaczenia i można by go pominąć z korzyścią dla czytelności całej rozprawy. We wspomnianym już rozdziale czwartym sporządzona jest analiza rzeczywistych warunków w kontekście obowiązujących przepisów i istniejących problemów w analizowanej sieci elektroenergetycznej.

Badania modelowe odgrywają w pracach doktorskich szczególną rolę, a towarzyszy im zwykle przegląd literatury. W przypadku ocenianej pracy przegląd taki jest bardzo ograniczony, a Doktorant badania modelowe zrealizował w oparciu o proste równania liniowe odpowiadające analizowanym problemom. Dla równań tych wykonał modele symulacyjne stworzone w programie Matlab-Simulink. W dużej mierze znajdują się one w rozdziale szóstym i załącznikach.

Planowanie badań eksperymentalnych i ich przeprowadzenie zostało przedstawione głównie w rozdziale siódmym. Niektóre elementy związane z przygotowaniem, a więc planowaniem, pojawiają się wcześniej w rozprawie, np. w rozdziale piątym obejmującym testy falowników.

Metoda badawcza dotycząca analizy, interpretacji i dyskusji uzyskanych rezultatów to kluczowa metoda, której umiejętnością stosowania powinien charakteryzować się każdy naukowiec. W rozdziale siódmym, gdzie znajduje się interpretacja uzyskanych wyników, Doktorant wykazał się zdolnością jej stosowania. W rozdziale tym opracował wnioski, które w zwartej postaci przedstawił w podsumowującym pracę rozdziale ósmym. Szkoda tylko, że przedstawione wnioski są często niejednoznaczne i kłopotliwe do wykorzystania. Z pewnością można opracować odpowiednią wieloparametrową funkcję celu w postaci algorytmu wykonanego np. z uwzględnieniem logiki rozmytej. Opracowanie takiej funkcji może stanowić jednak zagadnienia dla kolejnego doktoranta lub tematykę przyszłych badań.

6. Ocena części rozprawy dotyczącej omówienia wyników badań

Części rozprawy, w których omówiono wyniki badań, znajdują się bezpośrednio po wykonaniu poszczególnych analiz oraz w formie zbiorczej na końcu rozprawy w rozdziale ósmym. Taka organizacja pracy pozwala zachować układ logiczny, a żadne badania nie pozostają bez komentarzy. Przykładowo, w rozdziale 7.4.1.2.2. wyniki symulacji zilustrowano na przebiegach wartości skutecznych napięć fazowych oraz współczynników

asymetrii dla kolejności zerowej i przeciwnej napięcia. Badania przedstawiono dla trybów pracy bez aktywacji mocy biernej i czynnej oraz z aktywacją takich sposobów regulacji. Odczytane charakterystyczne wartości Doktorant zapisał w zbiorczej tabeli wyników. Bardzo ważne jest przy tym, że poniżej tabeli Doktorant przedstawił również obszerną interpretację wyników, w której uwypuklił zarówno pozytywne jak i negatywne rezultaty. Do wyników tych powrócił ponownie w rozdziale podsumowującym, w którym sformułował końcowe wnioski uwzględniające badania na obiektach rzeczywistych w terenie oraz badania obliczeniowo-symulacyjne. Taki układ opracowania wniosków dotyczy wszystkich zagadnień badawczych w rozprawie i jest jak najbardziej poprawny.

7. Informacje dotyczące praktycznego zastosowania uzyskanych wyników badań

Uzyskane w pracy wyniki mają bardzo duży potencjał aplikacyjny. Badania realizowane były z uwzględnieniem przepisów i norm, stąd zalecenia odnośnie urządzeń i ich nastaw są jak najbardziej poprawne pod względem technicznym i formalnym. Testy realizowane były w środowisku rzeczywistym, stąd konkluzje zawarte we wnioskach powinny wpłynąć na zwiększenie potencjału aplikacyjnego. Istnieją jednak okoliczności, które znacząco utrudniają zastosowanie rezultatów pracy. Przykładowo Tabela 7.21. o tytule „*Podsumowanie wyników pomiarów oraz symulacji badania skuteczności stabilizacji oraz symetryzacji napięć fazowych w obwodzie niskiego napięcia z dużą koncentracją jednofazowych mikroinstalacji fotowoltaicznych*” daje niewielką możliwość zaprojektowania proponowanych rozwiązań bez udziału doświadczonego specjalisty. Dzieje się tak, gdyż charakteryzowanie przez Doktoranta cech określeniami: *TAK, NIE* lub *może przyczynić się do eliminacji...*, albo *istnieje możliwość ograniczenia ...*, nie daje projektantowi konkretnych wskazówek. Jeżeli więc zamiarem Doktoranta będzie zastosowanie wyników badań w praktyce, sugeruje się opracowanie przez Niego specjalnego narzędzia numerycznego umożliwiającego proste zastosowanie praktycznych rezultatów pracy, które pozwoli określić obiektywną ocenę porównywanych rozwiązań.

8. Informacja o ewentualnych nieprawidłowościach, które pojawiły się w ocenianej rozprawie

Przedstawione uwagi wskazują na ważniejsze nieprawidłowości lub istotne problemy wymagające wyjaśnienia. Część z tych uwag pojawiła się już treści recenzji, a ich powtórzenie w tej części opinii wynika z potrzeby ustosunkowania się do nich Doktoranta.

- 8.1. Celem rozprawy nie powinno być zbadanie czegoś, gdyż słowo badanie określa tylko pracę a nie spodziewany efekt pracy. Proszę o skorygowanie celu pracy tak aby wyrażało ono faktyczny cel jaki Doktorant zamierzał uzyskać.
- 8.2. W rozdziałach 5.1. oraz 7.4.2.4.5. „*Bateryjny magazyn energii elektrycznej*” Doktorant powołuje się na wcześniej opublikowane wyniki badań zespołowych. Za jaki element tych badań odpowiada Doktorant?

- 8.3. W jakich warunkach przeprowadzone zostały badania zawartości wyższych harmoniczných generowanych przez analizowane układy i urządzenia?
- 8.4. Proszę wyjaśnić jak konstruowane są symetryzatory z uzwojeniem Z? Dlaczego określa się je transformatorami, skoro mają tylko jedno uzwojenie trójfazowe? Czy budowane są one na rdzeniu trójkolumnowym czy za pomocą trzech transformatorów jednofazowych o jednostkowej przekładni napięciowej, tak jak to Doktorant przedstawił w Załączniku A.6.?
- 8.5. Uogólnienie własności czy filtry aktywne spełniają swoje zadania można zrobić dopiero po dokładnym sprawdzeniu, czy nastawy filtra były poprawne. Podczas badań nie uzyskano spodziewanych dobrych rezultatów prawdopodobnie dlatego, że filtr aktywny był nastrojony na nieodpowiednie częstotliwości. Proszę wyjaśnić, jak strojono filtry aktywne?
- 8.6. Konfiguracja analizatorów jakości dostawy energii elektrycznej wymieniona została wśród osiągnięć naukowych w rozdziale 8.1. Proszę wyjaśnić na czym polegał problem naukowy podczas konfiguracji tych analizatorów.
- 8.7. Jak już wcześniej zostało wspomniane, tabela 7.21 podsumowująca wyniki przedstawia je w sposób dość enigmatyczny i nie dający oczekiwanych wskazań dla projektanta. Czy w planach Doktoranta jest dalsze zajęcie się tym problemem, np. poprzez wykonanie odpowiedniego narzędzia numerycznego pozwalającego znaleźć optymalne rozwiązanie przy zadanych ograniczeniach?

Poza wymienionymi uwagami pragnę jeszcze zwrócić uwagę na jeden formalny błąd zapisu. We wzorach do oznaczenia mnożenia skalarnego zastosowano gwiazdkę. Najlepiej nie wstawiać żadnego znaku lub wstawić kropkę, gdyż gwiazdka oznacza spłot.

Doktoranta proszę o ustosunkowanie się do przedstawionych uwag 8.1.-8.7. formie pisemnej i przesłanie odpowiedzi z wykorzystaniem poczty elektronicznej na adres e-mail recenzenta pobrany ze strony <https://ehms.pollub.pl/standard/staff.php>.

9. Ocena, czy rozprawa stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego

Osiągnięcia, które Doktorant uważa za oryginalne, przedstawione są w rozdziale 8.1. Nie wchodząc w dyskusję nad tym wyborem uważam, że pod względem naukowym największą wartość mają osiągnięcia takie jak:

- 9.1. przeprowadzenie i interpretacja badań laboratoryjnych falowników fotowoltaicznych w zakresie ich pracy w trybach mających wpływ na redukcję wzrostów napięcia, takich jak $Q=f(U)$, $P=f(U)$ oraz OVRT;
- 9.2. organizacja badań w środowisku rzeczywistym, ich agregacja danych i interpretacja wyników;
- 9.3. wytypowanie punktów pomiarowych w środowisku rzeczywistym oraz opracowanie badań do oceny wpływu 1-fazowych mikroinstalacji PV na jakość energii elektrycznej i metod ich poprawy;

- 9.4. badania obliczeniowe, opracowanie i wizualizacja wyników z tych badań;
- 9.5. analiza i interpretacja wyników pomiarów.

Wszystkie wymienione badania spełniają cechy oryginalnych osiągnięć naukowych.

10. Ocena, czy rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną Kandydata do stopnia doktora w dyscyplinie albo dyscyplinach oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej

Na podstawie opinii przedstawionych w niniejszej recenzji stwierdzam, że rozprawa doktorska Łukasza Jerzego Topolskiego stanowi oryginalne rozwiązanie problemu badawczego. Doktorant wykazał się ogólną wiedzą teoretyczną w dyscyplinie automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne oraz szczegółową wiedzą w zakresie współpracy elektrowni fotowoltaicznych z siecią zasilającą. Realizując pracę naukową dowiódł umiejętności stosowania różnych metod badawczych, co świadczy o posiadaniu wystarczających umiejętności do samodzielnego prowadzenia prac naukowych.

Uwzględniając wymienione argumenty wnioskuję, aby rozprawę doktorską mgra inż. Łukasza J. Topolskiego uznać za istotny wkład Autora w rozwój dyscypliny naukowej automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne.

Stwierdzam więc, że opiniowana praca spełnia warunki i wymagania stawiane rozprawom doktorskim określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018r. - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce. Stawiam zatem wniosek o dopuszczenie rozprawy doktorskiej Łukasza Jerzego Topolskiego do publicznej obrony przed Radą Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie.



