

R e c e n z j a

rozprawy doktorskiej mgr inż. **MARTY ŻUREK-MORTKI**

Pt.: „**INTEGRACJA STACJI SZYBKIEGO ŁADOWANIA POJAZDÓW
SAMOCHODOWYCH Z SYSTEMEM ELEKTROENERGETYCZNYM**”

TYT.ORYG.: „**INTEGRATION OF FAST CHARGING STATION FOR MOTOR VEHICLES
WITH THE POWER SYSTEM**”

wykonanej w Katedrze Napędu Elektrycznego i Elektroniki Przemysłowej
Uniwersytetu Technologiczno-Humanistycznego im Kazimierza Pułaskiego
w Radomiu

pod kierunkiem dr hab. inż. JERZEGO RYSZARDA SZYMAŃSKIEGO

1. Podstawa formalno-prawna opracowania recenzji

Podstawę formalno-prawną opracowania niniejszej recenzji rozprawy doktorskiej mgr inż. Marty Żurek-Mortki na temat: „Integracja stacji szybkiego ładowania pojazdów samochodowych z systemem elektroenergetycznym” stanowi pismo nr PK-042/31/31-1/st.dr-r/2020 z dnia 06 lipca 2020 roku Rektora Uniwersytetu Technologiczno-Humanistycznego im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu Prof. Dr hab. inż. Zbigniewa Łukasika zgodnie z Uchwałą Nr 00-4/6/2020 z dnia 02 lipca 2020 tejże Uczelni.

2. Ocena merytoryczna rozprawy

2.1. Wprowadzenie

Konieczność ograniczenia zanieczyszczenia środowiska przyczynia się do gwałtownego wzrostu zastosowania transportu elektrycznego tak publicznego, jak i samochodów osobowych. Stwarza to jednak istotne obawy odnośnie do zagrożenia stabilności pracy systemu energetycznego z uwagi na spełnienie potrzeb w zakresie ładowania baterii samochodowych na każdym w zasadzie etapie podróży. Problem jakości energii w sieci elektroenergetycznej narasta wraz ze wzrostem liczby stacji ładowania, a wskutek tego coraz istotniejszy staje się problem efektywnej integracji stacji ładowania pojazdów elektrycznych z systemem elektroenergetycznym.

SEKRETARIAT IA i T

Wpłynęło dnia 9.09.2020

L.dz. 250

Autorka w rozprawie postawiła sobie za cel realizację ciekawego tematu naukowego z istotnym aspektem praktycznym, a mianowicie efektywnego zintegrowania stacji szybkiego ładowania baterii elektrycznych pojazdów i maszyn roboczych z systemem elektroenergetycznym i z lokalnymi mikrosieciami prądu stałego DC współpracującymi z dostępnymi odnawialnymi źródłami energii oraz akumulatorowymi zasobnikami energii.

Rozprawa doktorska mająca charakter teoretyczno-eksperymentalny, zredagowana została w języku angielskim i obejmuje 129 stron wraz z wykazem literatury zawierającym 175 pozycji. Składa się ze: spisu treści, wykazu rysunków i tabel, wykazu ważniejszych skrótów i oznaczeń, streszczenia oraz 5-ciu głównych rozdziałów. Dalszą część stanowi wprowadzenie, sformułowanie problemu i analiza stanu wiedzy. W załączniku przedstawiono modele do badań symulacyjnych wraz z wybranymi wynikami analiz.

W rozdziale I „Wstęp” podano wyjaśnienie podstawowych określeń i definicji przyjętych w niniejszej rozprawie, analizę stanu wiedzy wraz z celem i tezą naukową. Autorka sformułowała tezę naukową, która stwierdza, że „*istnieje możliwość zintegrowania szybkiej, hybrydowej stacji ładowania pojazdów samochodowych z systemem elektroenergetycznym bez jego przeciążania podczas ładowania przy równoczesnej poprawie wskaźników jakości energii systemu*”. Podano również przyjęte założenia i uproszczenia do przeprowadzonych analiz.

W rozdziale II na podstawie dostępnego w literaturze przedmiotu stanu wiedzy dokonano przeglądu topologii stacji ładowania baterii pojazdów elektrycznych wraz z opisem właściwości przekształtników energoelektronicznych stosowanych w tych stacjach. Przedstawiono także strukturę lokalnych mikrosieci prądu przemiennego AC i prądu stałego DC wraz z wyjaśnieniem kryterium wyboru mikrosieci prądu stałego DC oraz istoty użycia napędowych przemienników częstotliwości i napięcia do ładowania baterii pojazdów elektrycznych. Specjalny nacisk położono na mikrosieci zasilanych z rozproszonych odnawialnych źródeł energii porównując ich zalety i wady.

Rozdział III stanowiący istotną z punktu widzenia koncepcyjnego i naukowego część pracy szczegółowo opisuje i analizuje zaproponowaną strukturę autorskiej hybrydowej stacji szybkiego ładowania pojazdów elektrycznych. Proponowana modernizacja najogólniej polega na doposażeniu napędowego przemiennika napięciowo-częstotliwościowego w wyjściowy prostownik diodowy. Poszczególne podrozdziały zawierają bardzo interesujący materiał badawczy obejmujący matematyczny opis głównych komponentów systemu hybrydowej stacji ładowania. Przyjęto założenie, że elementy elektryczne są liniowe, skupione i stacjonarne (SLS), a zawory półprzewodnikowe mają linearyzowane charakterystyki prądowo-napięciowe. Bardzo interesujące są dane wynikające z analizy pracy falownika z zastosowaną modulacją szerokości impulsu (PWM). Dotyczą one zarówno wartości napięć podczas pracy w trybie różnicowym (DM) jak i trybie wspólnym (CM). Zwracają również uwagę na efekty uboczne (zakłócenia wysokiej częstotliwości) związane z zastosowaniem modulacji PWM i na praktyczne możliwości ograniczenia wyższych harmonicznych prądu przy wykorzystaniu stacjonarnych (rezonansowych) i aktywnych filtrów. Analizy symulacyjne wykonano przy wykorzystaniu bardzo zaawansowanego programu ANSYS korzystając z różnych dostępnych jego modułów. Biorąc pod uwagę fakt

konieczności wykorzystania również odpowiednich bateryjnych zasobników energii w zaproponowanym rozwiązaniu autorskim przeprowadzono odpowiednie uproszczone rozważania teoretyczne w oparciu o znany z literatury model przepływu energii. Do oceny zaś parametrów baterii (głównie litowo-jonowych), stosowanych w pojazdach samochodowych, niezbędnym jest korzystanie z danych producenta. Dotyczy to zarówno przebiegów ładowania/rozładowania, jak i wartości impedancji wewnętrznej analizowanych kondensatorów.

Rozdział IV opisuje sposób integracji przedstawionej w autorskiej koncepcji hybrydowej stacji szybkiego ładowania z systemem elektroenergetycznym, polegający na użyciu napędowych przemienników częstotliwości i napięcia do budowy przekształtnika DC/DC zasilanego mikrosiecią napięcia DC, z dołączonymi odnawialnymi źródłami energii (analizowano wykorzystanie elektrowni słonecznej) i zasobnikiem energii. Realizację integracji w zakładzie przemysłowym zaproponowano w trzech następujących po sobie etapach, a mianowicie: w etapie pierwszym proponuje się dokonanie wyboru topologii systemu lokalnego zasilającego stację biorąc pod uwagę ładowanie z wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii. W drugim przeprowadza się dobór rodzaju i parametrów układów ładowania korzystając z napędowych przetworników częstotliwości. Określa się liczbę i lokalizację punktów równoczesnego ładowania baterii samochodowych oraz ich moc. Trzeci etap polega na opracowaniu algorytmu i doborze urządzeń sterownika (sterowników) mikroprocesorowego dla danej przyjętej strategii ładowania baterii biorąc pod uwagę możliwość maksymalnego wykorzystania energii odnawialnej oraz obciążenia systemu elektroenergetycznego w szczycie w celu poprawy parametrów jakości energii elektrycznej w sieci przemysłowej.

Rozdział V zawiera wyniki badań symulacyjnych i eksperymentalnych modeli wybranych przekształtników AC/DC i DC/DC, które zostały wykorzystane przez Autorkę do budowy mikrosieci napięcia DC 600V. Szczególnie interesujące są wyniki analizy harmonicznych tak w domenie czasu, jak i częstotliwości (w zakresie 50Hz do 12 kHz) napięć wzdłużnych falownika z zastosowaną modulacją PWM. Wpływają bowiem one na prądy płynące w łożyskach silników. Na podkreślenie zasługują również uzyskane wyniki dotyczące badania skuteczności ograniczania pasożytniczych prądów upływu do ziemi. Ma to istotne znaczenie tak z punktu widzenia ochrony przeciwporażeniowej, jak i zakłócającego ich wpływu na pracę innych odbiorników energii elektrycznej.

Rozdziały VI i VII prezentują odpowiednie wnioski i zalecenia praktyczne uzyskane z przeprowadzonych analiz teoretycznych i badań eksperymentalnych oraz formułują przyszłe zamierzenia związane z rozwijaniem tematu rozprawy doktorskiej.

2.2. Wybór tematu i poprawność jego sformułowania

Biorąc pod uwagę znaczenie przedstawionego wyżej problemu, wybór tematu recenzowanej rozprawy doktorskiej jest trafny i aktualny. Poruszone zagadnienie jest istotne nie tylko ze względów naukowych, ale przede wszystkim ze względów praktycznych. Temat rozprawy jest sformułowany jasno i precyzyjnie. Przeprowadzone przez Autorkę badania w ramach jej przewodu doktorskiego, wskazują na oryginalne podejście do sposobu integracji stacji ładowania baterii pojazdów elektrycznych z systemem elektroenergetycznym, na poziomie

doboru odpowiednich przekształtników. Zastosowanie napędowych przemienników częstotliwości i napięcia jako elementów infrastruktury ładowania baterii nie zostało dotychczas przedstawione w żadnej literaturze krajowej i zagranicznej. Recenzowana rozprawa doktorska dobrze więc wpisuje się w nurt prac badawczych dotyczących zagadnień aktualnych oraz ważnych, czego dowodem mogą być np. liczne publikacje na ten temat w światowej literaturze przedmiotu i na organizowanych cyklicznie krajowych i międzynarodowych seminariach oraz konferencjach naukowych. Na podstawie uzyskanych wyników analiz teoretycznych oraz wyników odpowiednich badań eksperymentalnych Autorka udowodniła prawidłowość rozumowania i praktyczną przydatność własnych koncepcji, wykazując tym samym słuszność postawionej tezy.

2.3 Określenie celów i ich realizacja

Recenzowana rozprawa doktorska ma charakter naukowy i aplikacyjny. Autorka w rozprawie doktorskiej postawiła sobie jako cel opracowanie hybrydowego systemu zasilania stacji szybkiego ładowania elektrycznych pojazdów samochodowych zintegrowanego z systemem elektroenergetycznym niepowodującym zwiększania obciążenia systemu energią ładowania pojazdów i zapewniającym energię ze źródeł odnawialnych (OZE). Swoje badania prowadziła głównie wykorzystując rozbudowaną infrastrukturę elektroenergetyczną w zakładach przemysłowych stosujących przekształtniki napędowe dużych mocy. Zapewnia to możliwość wykorzystania istniejących systemów zasilania przekształtników i zabezpieczeń dla potrzeb stacji ładowania dla mobilnych przemysłowych maszyn roboczych zasilanych z baterii np. litowo-jonowych.

2.4 Oryginalny dorobek Autora rozprawy

Zastosowanie zestawu prostowniczego dołączonego do falownika napędowej przetwornicy częstotliwości w celu uzyskania źródła napięcia stałego do ładowania baterii pojazdu elektrycznego jest niewątpliwie oryginalnym dorobkiem Autorki rozprawy. Przedstawiona koncepcja hybrydowego systemu zasilania w przedsiębiorstwie stanowi wyjście naprzeciw dylematom i problemom decyzyjnym, sprowadzającymi się do poszukiwania rozwiązań szybkiego zastępowania pojazdów silnikowych pojazdami elektrycznymi. Opracowanie modele matematyczne przekształtników energoelektronicznych zapisane symbolicznie w postaci schematów elektrycznych do badań komputerowych są oryginalnym dorobkiem Doktorantki i mogą być wykorzystywane w dalszych pogłębionych badaniach. Zagadnienia zawarte w rozprawie doktorskiej zostały przedstawione także w postaci 12 tematycznie powiązanych publikacji krajowych i zagranicznych – 2 z nich są indeksowane w bazach WoS, Scopus i IEEE, 3 zgłoszenia patentowe (nie uwzględnione w wykazie dołączonym do pracy), udział w 3 konferencjach międzynarodowych z przyjętym do wygłoszenia referatem naukowym: Palanga – Litwa - The 23rd International Conference Electronics'2019, Kalkuta – Indie ESDA'2019 oraz 2nd International Conference on Energy Systems, Drives and Automations, Delhi – Indie Micro2020: 7th International Conference on Microelectronics, Circuits and Systems'. Na podkreślenie aktywności badawczej zasługuje fakt zgłoszenia (w 2020r.) do druku dalszych 4-ech artykułów w renomowanych czasopismach światowych.

2.5 Ocena poziomu naukowego rozprawy oraz uwagi dyskusyjne

Skoncentrowanie się na implementacji stacji szybkiego ładowania baterii pojazdów elektrycznych w przedsiębiorstwach przemysłowych wydaje się być słuszną decyzją ze względu na rozbudowaną przemysłową sieć elektroenergetyczną, która dostarcza energię elektryczną do napędów elektrycznych i maszyn roboczych poprzez napędowe przemienniki częstotliwości. Dostosowanie natomiast tych przetwornic do dodatkowej funkcjonalności umożliwiającej ładowanie baterii sprawia, że energia elektryczna wytwarzana w czasie pracy generatorowej silników nie jest wytracana na rezystorze hamowania przekształtnika napędowego z diodowym prostownikiem wejściowym. Podczas realizacji pracy Autorka wykazała się dobrą znajomością literatury przedmiotu, umiejętnością formułowania i rozwiązywania zadań badawczych, korzystania z zaawansowanych programów komputerowych (ANSYS) oraz organizowania i przeprowadzania badań eksperymentalnych. Stwierdzam przyzwoity poziom naukowy recenzowanej rozprawy. Podczas czytania pracy nasunęły mi się jednak pewne uwagi, a mianowicie:

- w pracy proponuje się wykorzystanie filtra/filtrów aktywnych niskiego napięcia. Dobry filtr aktywny powinien nie tylko kompensować wyższe harmoniczne on-line, ale również zapewnić symetryzację układu AC oraz kompensację mocy biernej dla odkształconych przebiegów prądów i napięć. Jakiego typu filtr można byłoby zastosować tutaj, zdając sobie sprawę, że problem pomiaru mocy dla przebiegów odkształconych jak dotychczas nie znalazł odpowiedniego pełnego wyjaśnienia teoretycznego w literaturze światowej?
- w Tablicy 5.1-5.3 występują kąty fazy początkowej bliskie 360 stopni. W stosunku do jakiego punktu odniesienia (zerowego) były wykonywane pomiary?
- stosowanie obwodów prądu stałego w praktyce znajduje coraz więcej zwolenników. W literaturze proponuje się na przykład stosowanie odrębnych instalacji domowych AC oraz DC przy zasilaniu z panelu ogniw fotowoltaicznych. Eliminuje się w ten sposób koszty wynikające z konieczności stosowania przetworników częstotliwości. Występuje jednak podstawowa trudność aplikacyjna związana z trudnością komutacji prądu stałego. Czy w proponowanej koncepcji proponuje się korzystanie z łączników prądu stałego? W Tablicy 4.1 podaje się jedynie typ ręcznego łącza wtykowego 125A i 50kW. Czy dotyczy to DC czy AC?

Wyżej wymienione uwagi są natury dyskusyjnej i w niczym nie podważają oceny opiniowanej pracy doktorskiej.

2.6 Ocena doboru literatury

Zakres literatury jest szeroki, zawiera 175 pozycji i w pełni odpowiada tematyce podjętych zagadnień. Dobór i wykorzystanie źródeł jest prawidłowe. Liczba pozycji bibliograficznych, w tym 84% prac wydanych po 2010 roku oraz 86% udział aktualnych pozycji obcojęzycznych, świadczy o bardzo dobrej znajomości literatury zagranicznej i krajowej Doktorantki w tej dziedzinie. Recenzowana rozprawa doktorska porządkuje i poszerza aktualny stan wiedzy oraz wskazuje kierunki dalszych działań związanych z integracją stacji szybkiego ładowania z systemem elektroenergetycznym.

2.7 Ocena układu pracy i jej strony edytorskiej

Struktura i układ pracy jest zbliżony do powszechnie przyjętego w rozprawach doktorskich i obejmuje: wstęp, przegląd literatury, cel i tezę rozprawy, hipotezy badawcze i zakres pracy, materiały i metody badań, wyniki badań, wnioski i kierunki dalszych badań, spis literatury, oraz załącznik przedstawiający modele stosowane w badaniach symulacyjnych wraz z wybranymi wynikami badań.

Opracowanie zawiera 122 rysunków i schematów, 8 zestawień tabelarycznych.

Układ pracy jest logiczny, nie jest nadmiernie rozbudowany. Praca została opracowana poprzez użycie oprogramowania LaTeX do zautomatyzowanego tworzenia tekstów prac naukowych. Opracowanie rozprawy doktorskiej świadczy o umiejętności posługiwania się powszechnie wykorzystywanym i dostępnym oprogramowaniem typu Open Source, dzięki czemu estetyka pracy jest zachowana na bardzo wysokim poziomie. Nie mniej Autorka nie ustrzegła się szeregu błędów edytorskich, które przykładowo zamieszczam:

-częstym uchybieniem w języku angielskim używanie jest „while” zamiast ‘whereas’.
Zwracają na to uwagę Edytorzy prawie wszystkich wydań angielskojęzycznych

-we wzorze (2.1), brak jest wyjaśnień występujących symboli,

-zbyt małe, stąd nieczytelne opisy szeregu cytowanych z literatury rysunków np. Fig 2.16,

-nie rozumiem % na Fig 3.5, jest ponad 100%,

-oznaczenie M,m raz dotyczy modulacji, a raz czegoś innego?,

-Fig 3.1 mało czytelny,

-nie rozumiem, co oznacza termin effective voltage (np. str. 65 ostatni wiersz) Czy to chodzi o wartość skuteczną RMS?

-objaśnienia pod Fig 5.1 nie korespondują do tego rysunku?

-nie używa się terminu norm tylko standard (np. str. 94-wiersz 6 od dołu),

- na str. 103 w tekście (13 wiersz od dołu) podana jest wartość prądu 360A z odwołaniem się do Fig 5.25a-jakoś to nie koresponduje?

Pragnę w tym miejscu podkreślić, że dostrzeżone błędy edytorskie w niczym nie umniejszają wartości recenzowanej rozprawy.

Stosowana terminologia naukowa i techniczna nie budzi zastrzeżeń.

3. Wniosek końcowy

Recenzowana rozprawa doktorska pt.: „Integracja stacji szybkiego ładowania pojazdów samochodowych z systemem elektroenergetycznym”, oparta o własną koncepcję rozwiązania układu, wyniki własnych analiz teoretycznych, rozważań literaturowych oraz badań eksperymentalnych **stanowi oryginalne rozwiązanie problemu badawczego z dyscypliny naukowej automatyka, elektronika i elektrotechnika**. Zaprezentowane wyniki badań i analiz poszerzają wiedzę w ww dziedzinie, a ponadto świadczą o szerokiej wiedzy teoretycznej i praktycznej Doktorantki.

Uwzględniając duże znaczenie podjętych badań, ich nowatorski charakter, kompleksowość, wartości poznawcze i aplikacyjne pracy oraz dobrą znajomość przez Doktorantkę podjętej problematyki badawczej, umiejętności pozyskiwania oraz wykorzystania zdobytych informacji i prawidłowego wyciągania wniosków, stwierdzam, że rozprawa doktorska pt.: *„Integracja stacji szybkiego ładowania pojazdów samochodowych z systemem elektroenergetycznym”* mgr inż. Marty Żurek-Mortki **w pełni spełnia** wymogi stawiane rozprawom doktorskim określonym w ustawie z dnia 18 marca 2011r. o zmianie ustawy – prawo o szkolnictwie wyższym, ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki oraz o zmianie niektórych innych ustaw (Dz. U. 2011 nr 84, poz. 455). W związku z czym **stawiam wniosek o dopuszczenie** rozprawy doktorskiej do publicznej obrony w dyscyplinie **naukowej automatyka, elektronika i elektrotechnika**.

Jako recenzent stwierdzam ponadto, że zarówno zaprezentowane w pracy oryginalne podejście do ważnego problemu i sposób jego rozwiązania, jak i całokształt prac badawczych, podkreślony dorobkiem publikacyjnym, przekraczają przeciętne wymagania stawiane pracom doktorskim w zakresie nauk technicznych. W związku z powyższym wnioskuję do Rady Senatu Uniwersytetu Technologiczno-Humanistycznego im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu **o przyznanie wyróżnienia** przedmiotowej rozprawie doktorskiej.

Wrocław 2020-09-02

.....
[podpis Recenzenta]