

dr hab. inż. Karol Aniserowicz, emerytowany prof. uczelni  
Politechnika Białostocka  
Wydział Elektryczny  
ul. Wiejska 45D  
15-351 Białystok

Białystok, 12. listopada 2024

## RECENZJA

### rozprawy doktorskiej mgr inż. Jolanty Sadury pt. „Kompatybilność elektromagnetyczna aparatury sterującej badaniami w środowisku laboratoriów wielkoprądowych”

#### I. Podstawa formalna wykonania recenzji

Niniejsza recenzja została wykonana na podstawie uchwały nr 809/II/2024 Rady Naukowej Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Warszawskiej z dnia 17.09.2024 w sprawie wyznaczenia recenzentów rozprawy mgr inż. Jolanty Sadury.

#### II. Omówienie rozprawy

Praca aparatury elektronicznej w różnych warunkach środowiska elektromagnetycznego jest zagadnieniem występującym powszechnie, z którym związane są wymagania techniczne i zasady konstruowania urządzeń i systemów, badania naukowe oraz uregulowania normalizacyjno-prawne. Liczne problemy kompatybilności elektromagnetycznej (EMC) nie są wystarczająco zbadane i znormalizowane. Jednym z takich problemów, związanym z poprawnym i bezpiecznym działaniem aparatury sterującej przebiegiem badań w warunkach silnych zakłóceń towarzyszących pracy w laboratorium wielkoprądowym, zajęła się Autorka opiniowanej rozprawy. Środowisko elektromagnetyczne takiego laboratorium nie jest typowe, co jest przyczyną braku uregulowań normalizacyjnych i wymaga przeprowadzenia odpowiednich badań, gdyż występujące w nim zaburzenia mogą znacząco różnić się od środowisk zdefiniowanych w normach opisujących wymagania dotyczące EMC. Wiele takich laboratoriów powstało dawno, przed pojawieniem się w literaturze pojęcia „kompatybilność elektromagnetyczna”, co w Polsce można datować na lata siedemdziesiąte XX w.

Recenzowana rozprawa obejmuje 113 stron bogato ilustrowanego tekstu oraz kilkanaście stron wstępnych, zawierających m.in. tytuł, streszczenie, spis treści, wykaz oznaczeń i skrótów. We wprowadzeniu Autorka sformułowała cel i tezy pracy oraz opisała swoje oryginalne osiągnięcia. W rozdziałach 2 i 3 opisano laboratorium, w którym były prowadzone badania, oraz wyniki pomiarów natężeń pola elektrycznego i magnetycznego w wybranych miejscach. Krótki rozdział 4 poświęcony jest badaniu zaburzeń towarzyszących niejednoczesnemu załączaniu styków wyłącznika próżniowego w obwodzie średniego napięcia. W rozdziale 5 zawarte są wyniki symulacji numerycznej, które miały potwierdzić słuszność przypuszczenia, że nierównoczesność zwierania styków wyłącznika w obwodzie średniego napięcia była przyczyną powstawania zaburzeń w postaci tłumionych oscylacji. W rozdziale 6 opisane są

badania odporności obwodów kontrolno-sterujących na szybkozmienne zaburzenia typu BURST. Na podstawie przeprowadzonych badań, w rozdziale 7 sformułowano zalecenia dla badań EMC aparatury kontrolno-sterującej w laboratorium wielkopiędowym, które zawierają specyfikacje różniące się od wymagań znanych z norm dla stacji elektroenergetycznych, podstacji oraz elektrowni. Rozdziały 8 i 9 dotyczą opracowania, budowy i badań EMC nowego nastawnika czasowo-fazowego, odpornego na obecne w laboratorium zaburzenia elektromagnetyczne. W ostatnim, dziesiątym rozdziale, zawarto podsumowanie, wnioski oraz wytyczne dotyczące konstruowania aparatury sterującej i rozplanowania laboratorium.

### III. Opinia o zawartości rozprawy

#### 1. Zagadnienie badawcze rozpatrywane w pracy (cel i teza rozprawy)

Cel rozprawy jest ściśle powiązany z jej treścią i został sformułowany na stronie 4 jako „zaprojektowanie, budowa i walidacja kompatybilnego elektromagnetycznie nastawnika czasowo-fazowego, przeznaczonego do sterowania badaniami w laboratorium wielkopiędowym”.

Jednakże, tytuł rozprawy „Kompatybilność elektromagnetyczna aparatury sterującej (...)” oraz jej teza „Środowisko elektromagnetyczne wielkopiędowego laboratorium zwarciowego ma specyfikę odbiegającą od środowisk zdefiniowanych w normach (...)” nie są w pełni zbieżne z określeniem celu pracy.

Z tytułu i tezy wynika, że rozprawa dotyczy głównie nader ogólnej analizy zagadnień EMC w specyficznym środowisku laboratoriów wielkopiędowych, co stanowi większą część treści opracowania, aż do strony 75, natomiast jako cel rozprawy określono rozwiązanie bardziej szczegółowego zadania konstrukcyjnego – zbudowania nastawnika czasowo-fazowego spełniającego wymagania EMC. Oczywiście jest, że do realizacji tak postawionego celu konieczne jest uprzednie zbadanie specyficznego środowiska pracy nastawnika. Z takim rozumowaniem jest zgodny logiczny układ treści rozprawy, jednak wydaje się, że należało tak przemyśleć sformułowania tytułu pracy, jej celu i tezy, żeby widoczna dwutorowość przeprowadzonych badań została odzwierciedlona w sposób bardziej spójny.

Wydaje się ponadto, że sformułowanie celu i tezy pracy jest nadmiernie rozbudowane poprzez podzielenie celu na główny i poboczny, a tezy na główną i pomocniczą.

#### 2. Analiza źródeł, w tym literatury światowej, stanu wiedzy i zastosowań w przemyśle

Wykaz literatury, zamieszczony na końcu rozprawy, liczy 77 pozycji, polskich i zagranicznych. W analizowanej rozprawie nie ma dość typowego dla prac doktorskich rozdziału poświęconego analizie literatury przedmiotu, jednak może to być spowodowane użytkarnym charakterem pracy, ściśle związanym z wymaganiami opisanymi w przywoływanych normach, które są powszechnie znane wśród badaczy zagadnień EMC, w związku z czym można uznać, że nie jest potrzebne przywoływanie ich treści.

Na początku rozprawy celnie wskazano brak wymagań normatywnych dotyczących analizowanego środowiska elektromagnetycznego laboratoriów wielkopiędowych, a w dalszej

treści pracy w odpowiednich miejscach cytowano pozycje literaturowe i wymagania norm, co wskazuje, że Autorka zna w tym zakresie stan aktualnej wiedzy, literatury i zastosowań, a szczególnie wymagania określone we właściwych normach.

Wykaz literatury jest w zasadzie kompletny, choć wskazane byłoby dopisanie dokumentacji technicznej oprogramowania używanego do obliczeń: Ansys i Matlab.

### 3. Rozwiązanie postawionych zagadnień, użyte metody, uzasadnienie przyjętych założeń

Wykonane prace można podzielić na dwie grupy powiązanych ze sobą zagadnień: zbadanie środowiska elektromagnetycznego laboratorium wieloprądowego oraz zbudowanie i zbadanie parametrów eksploatacyjnych nowego nastawnika czasowo-fazowego przeznaczonego do pracy w tym środowisku. Obie grupy zagadnień zostały rozwiązane: po określeniu właściwości elektromagnetycznego środowiska pracy zbudowano nastawnik, który pomyślnie przeszedł testy EMC. Istotny jest przy tym fakt, że dzięki wykonaniu nowego nastawnika zostało zwiększone bezpieczeństwo personelu laboratorium, dzięki eliminacji samoczynnych, niekontrolowanych załączeń układu.

Przyjęty plan pracy i metody pomiarowe są właściwe, uzasadnione i pozwalają osiągnąć wyznaczony cel, w szczególności dotyczy to szczegółowego opisu aparatury i metod pomiarowych. Trudno jest jednak znaleźć tekst uzasadniający wybór miejsc, w których wykonywano pomiary, w szczególności dotyczy to pomiarów natężeń pól w rozdziale 3.

Z technicznego punktu widzenia, postawione zadania zostały z powodzeniem rozwiązane, jednak opis analizowanych problemów ma pewne braki. Aparatura pomiarowa i przebieg eksperymentów są opisane, wyniki pomiarów są zamieszczone, jednak analiza wyników jest skąpa i pozostawiona czytelnikowi. Wykresy i tabele są często zamieszczone bez odpowiedniej dyskusji (np. w rozdziale 3 jest osiem, a w rozdziale 5 – dziewięć kolejnych stron rysunków bez komentarzy).

Rozdziały rozprawy powinny kończyć się podrozdziałami zawierającymi podsumowanie wykonanej pracy i wnioski z niej płynące. Podrozdziały te powinny wskazywać, w jakim zakresie zamieszczone wyniki zbliżają Autorkę do realizacji założonego celu.

W rozprawie brakuje analizy błędów i niepewności pomiarowej, szczególnie dotyczy to pomiarów natężeń pól. Potrzebna byłaby również analiza błędów wprowadzonych przez upraszczające założenia obliczeniowe, która jest zaledwie wspomniana w rozdziale 5.

Niedosyt budzi zaledwie wspomnienie nazw oprogramowania Ansys i Matlab użytych do obliczeń numerycznych. Brakuje opisu sposobu ich użycia; można było na końcu rozprawy zamieścić rozdział z dodatkami, w którym byłoby miejsce np. na zestaw danych dla systemu Ansys, opis skryptów dla środowiska Matlab, a także na brakujący projekt płytki drukowanej nastawnika opisanego w rozdziale 8.

Brakuje pełnego sformułowania założeń konstrukcyjnych, które powinien spełniać wykonywany nastawnik. Opisano wymagania EMC, ale nie są wymienione pozostałe, przyjęte domyślnie parametry eksploatacyjne. W treści pracy brakuje również jednoznacznej informacji, czy nowy nastawnik został zaakceptowany przez personel laboratorium i zainstalowany w miejsce poprzedniego urządzenia i działa tam niezawodnie.

#### 4. Oryginalność rozprawy, pozycja rozprawy w stosunku do stanu wiedzy i poziomu techniki

Oryginalne osiągnięcia Autorki zostały wymienione na stronie 5 rozprawy. Najbardziej godne podkreślenia jest zbadanie parametrów środowiska elektromagnetycznego laboratoriów wielkopądowych oraz zbudowanie nastawnika czasowo-fazowego, przeznaczonego do pracy w tym środowisku.

Środowisko elektromagnetyczne laboratorium wielkopądowego nie miało dotychczas wystarczającej specyfikacji w literaturze, szczególnie w normach. Zbudowany nastawnik jest urządzeniem oryginalnym, spełniającym specyficzne wymagania do pracy w laboratorium.

Zdefiniowanie ogólnych zaleceń dotyczących projektowania i budowy aparatury elektronicznej oraz pomieszczeń laboratorium, wymienione również przez Autorkę na stronie 5 jako osiągnięcie oryginalne, jest mniej znaczące, gdyż wytyczne te nie wykraczają poza znane już, poradnikowe zalecenia konstrukcyjne. Natomiast na tej podstawie można sformułować ogólniejszy wniosek, że konsekwentne przestrzeganie zaleceń dotyczących EMC, znanych z literatury światowej, jest wystarczające dla zbudowania i poprawnej eksploatacji urządzeń i instalacji przeznaczonych do pracy w laboratoriach wielkopądowych.

Oryginalność osiągnięć Autorki jest potwierdzona przez jej kilka publikacji na konferencjach międzynarodowych i w czasopismach naukowych.

#### 5. Umiejętność poprawnego i przekonującego przedstawienia uzyskanych wyników (zwięzłość, jasność, poprawność redakcyjna rozprawy)

Plan rozprawy, układ jej rozdziałów, jest poprawny, zgodny z logiką przeprowadzonych badań. Jednakże Autorka nie uniknęła wielu błędów redakcyjnych, które wpływają na jakość tekstu i jego odbiór w trakcie lektury. Zostały one omówione poniżej.

Adekwatność tytułu i tezy rozprawy była już omówiona w punkcie II.1. Z kolei ze streszczenia czytelnik dowiadyuje się niewiele o zawartości rozprawy. Treść streszczenia byłaby po pewnych modyfikacjach odpowiednia raczej dla wstępu.

W pracy powielany jest błąd terminologiczny, niestety spotykany powszechnie, polegający na mylnym stosowaniu określenia „uziemiać” zamiast „połączenia wyrównawcze” lub „połączenia ochronne”.

Elementy analizy wyników z rozdziału 4, kończącego się na stronie 44, można znaleźć dopiero w rozdziale 5, na stronie 55. Odniesienia do zawartości tabel ze stron 73-75 są dopiero na stronach 97 i 99. Z kolei w rozdziale 10 zamieszczone są pewne sformułowania, które powinny znaleźć się również w odpowiednich miejscach we wcześniejszych rozdziałach, np. w opisie celu rozdziału 5.

Błędne jest zamienne używanie kropki i przecinka jako separatora dziesiętnego.

Dość duża liczba rysunków jest mało czytelnych, niektóre rysunki i tabele są niezbyt zrozumiałe, bo są niewystarczająco przedyskutowane w tekście, np. rysunki 2.8, 3.3, 6.2, 6.4-6.7, 8.6, 8.7, tabele 7.1-7.3, znaczna jest liczba małych fotografii w rozdziale 9. Trzeba się domyślać, jakie jest znaczenie pionowych odcinków na początkach wykresów 5.10-5.26.

Wykaz literatury jest sporządzony niezbyt konsekwentnie. Warto kierować się zasadami przyjętymi przez którąś redakcję pism naukowych, np. zaleceniami IEEE.

Znaczna jest liczba różnych błędów typograficznych, stylistycznych, gramatycznych, interpunkcyjnych, zdań bez orzeczenia, personifikacji, użycia mowy potocznej lub żargonu zawodowego. Błędy te nie decydują o merytorycznej wartości pracy i byłyby możliwe do uniknięcia, gdyby wykonano korektę pracy. Błędy typograficzne i błędy składu, to m.in. tzw. „literówki”, braki polskich znaków diakrytycznych, pojedyncze wiersze tekstu rozdzielane rysunkami (np. na str. 10, 20, 21, 32, 44).

Przykładami personifikacji są takie zwroty, jak: „praca opisuje” (str. 1), „środowisko elektromagnetyczne oznacza” (str. 1), „norma definiuje” (str. 2), „rysunek ilustruje” (str. 88), „rysunek przedstawia” (str. 14, 39), „analiza sugerowała” (str. 45), „zdjęcie pokazuje” (str. 98).

Przykłady użycia mowy potocznej (kolokwializmów) i żargonu zawodowego: „przykładowy »Kowalski«, który fizycznie jest »wpięty« w sieć” (str. 2), „świadomego projektowania urządzeń” (str. 3), „operator (...) wystawia z pulpitu” (str. 12), „sygnał na zamknięcie” (str. 12), „podanie (...) napięcia” (str. 12, 20), „pracują na jałowo” (str. 12), „kamienie milowe” (str. 13), „wykonanie badań na (...) aparaturze” (str. 13), „podanie sygnału na wyłącznik” (str. 20), „wystawienie sygnału na zamknięcie styków wyłącznika” (str. 21), „schodki” (str. 22), „podanie zasilania” (str. 22), „obwód posiadał obciążenie” (str. 22), „faza schodzi na dławik” (str. 46), „badania symulacyjne wykonano w Ansysie” (str. 53), „układ oparto o (...) mikrokontroler” (str. 78), „realizacji na (...) kontrolerze” (str. 78), „pierwsze dopasowanie do połowy długości fali” (str. 99), „plexi została przycięta” (str. 98), „masa odniesienia dla elektroniki” (str. 103), „zasilanie (...) musi być wyfiltrowane” (str. 104).

Zapożyczenia z języka obcego: „DOW-ów” (str. 3), „corollary” (str. 4), „wartość RMS” (str. 28), „timerów” (str. 78), „wyświetlanej na displayu” (str. 81), „Competent Body” (str. 81), anglojęzyczne napisy na rysunkach 2.9 – 2.11.

Nie jest wskazane tworzenie własnych skrótów, które nie są powszechnie używane, a w szczególności stosowanie ich w tytułach. Mogą one zmniejszać zrozumiałość tekstu, a niektóre mogą mieć różne konotacje, w szczególności LWP. Lepiej byłoby zrezygnować również ze skrótów, które zostały użyte niewiele razy, albo z takich, których stosowanie budzi dyskusje w środowisku, jak nN. Niektóre skróty znajdują się jedynie w wykazie skrótów, a nie zostały użyte w pracy, np. WAO, FAR, SWR, TEM, VNA.

## 6. Przydatność rozprawy dla nauk inżynierijno-technicznych

W rozprawie poprawnie wskazano na jej przydatność polegającą na możliwości przeniesienia wyników analizy środowiska elektromagnetycznego do innych laboratoriów wieloprądowych, szczególnie zlokalizowanych w budynkach powstałych stosunkowo dawno, w których wykorzystywane są dość stare urządzenia elektromechaniczne, a wprowadzanie zmian konstrukcyjnych w celu zapewnienia kompatybilności elektromagnetycznej jest utrudnione.

Należy podkreślić, że konsekwentne przestrzeganie zasad EMC powoduje nie tylko zapewnienie poprawnego działania aparatury elektronicznej w warunkach zakłóceń, ale może także prowadzić do poprawienia bezpieczeństwa obsługi, co opisano na stronach 12-13 rozprawy. Wydaje się, że należało o tym wspomnieć także w podsumowaniu.

#### IV. Pytania do Autorki

1. Proszę odnieść się do przedstawionej opinii o niespójności tytułu, celu i tezy rozprawy.
2. Czy na podstawie prac Autorki można sformułować takie zalecenia dotyczące EMC, które nie były wcześniej znane z norm lub zaleceń poradnikowych?
3. Proszę o uzasadnienie lokalizacji sond pomiarowych oraz przedstawienie analizy błędów pomiarowych i niepewności pomiarowej w odniesieniu do wykonanych pomiarów natężeń pól elektromagnetycznych (rozdział 3).
4. Proszę o przedstawienie analizy błędów wprowadzonych przez upraszczające założenia obliczeniowe. Czy można je ująć nie tylko jakościowo, ale także ilościowo? Dlaczego w rozdziale 5 jest najpierw mowa o modelu linii długiej, a potem analizowany jest obwód o parametrach skupionych? W jakim zakresie spełniony jest warunek quasi-stacjonarności? Jakie znaczenie ma przyjęcie idealnie przewodzącej „masy odniesienia”? Czym fizycznie jest „masa odniesienia”?
5. W jaki sposób wyznaczono parametry macierzy pojemności, indukcyjności i rezystancji na stronach 50-51? W jaki sposób wykorzystano oprogramowanie Ansys do analizy obwodu przedstawionego na rysunku 5.9 (na str. 53 jest informacja, że „badania symulacyjne wykonano w Ansysie”)? Do czego wykorzystano środowisko Matlab?
6. W jaki sposób na podstawie oscylogramów przedstawionych w rozdziale 6 można poznać, kiedy układ pracuje właściwie? Jakie przebiegi są pożądane, a jakie nie?
7. Proszę o skomentowanie dwóch ostatnich kolumn w tabelach 7.1-7.3 i przedstawienie wniosków, jakie można wysnuć na podstawie tych tabel.
8. Jakie założenia konstrukcyjne powinien spełniać wykonany nastawnik czasowo-fazowy?

#### V. Podsumowanie

Wymienione w recenzji niedostatki mają wpływ na ocenę rozprawy, nie umniejszają jednak faktu, że trudne zagadnienia eksperymentalne i konstrukcyjne postawione przed Doktorantką zostały rozwiązane. Jest to dowód na umiejętność wyciągania wniosków z przeprowadzonych badań. Mimo przedstawionych uwag nie ma wątpliwości, że cel pracy został osiągnięty, a teza rozprawy – udowodniona. Wykonanie opisanych zadań niewątpliwie prowadzi do wzbogacenia doświadczenia zawodowego Autorki.

**Stwierdzam, że rozprawa mgr inż. Jolanty Sadury pt. „Kompatybilność elektromagnetyczna aparatury sterującej badaniami w środowisku laboratoriów wieloprądowych” spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim, w szczególności prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną Autorki w dyscyplinie Automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej, a przedmiotem rozprawy jest oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, zgodnie z art. 187 ust. 1 i 2 ustawy *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* (Dz. U. 2018 poz. 1668 ze zm.). Wnioskuje o dopuszczenie tej rozprawy do publicznej obrony.**

  
Karol Anisiewicz