

dr hab. inż. Mirosław Szmajda, prof. uczelni
Politechnika Opolska
Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki
Katedra Automatyki
ul. Prószkowska 76, 45-758 Opole

Opole, 20 kwietnia 2022 r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Mariusza Górniaka

Promotor: prof. dr hab. inż. Tomasz Tarasiuk

Dyscyplina naukowa: automatyka, elektronika i elektrotechnika

1. WSTĘP I PODSTAWA PRAWNA

Recenzja została zlecona przez Dziekana Wydziału Elektrycznego UMG, w oparciu o uchwałę Rady Naukowej Wydziału Elektrycznego Uniwersytetu Morskiego w Gdyni w piśmie z dnia 17.02.2022 r. w oparciu o dokumentację, w skład której wchodzi:

- rozprawa doktorska pt.: „Zarządzanie jakością napięcia w okrętowym systemie elektroenergetycznym w stanach awaryjnych”, której promotorem jest prof. dr hab. inż. Tomasz Tarasiuk.

2. OCENA FORMALNA PRACY

Praca doktorska pt.: „Zarządzanie jakością napięcia w okrętowym systemie elektroenergetycznym w stanach awaryjnych” obejmuje 109 stron i składa się z 7 zasadniczych rozdziałów oraz bibliografii z wykazem 102 prac. Praca jest napisana w języku polskim.

Rozdział 1 stanowi wstęp do pracy, uzasadniający wagę zagadnienia oraz wstępny przegląd literaturowy.

W rozdziale 2 zdefiniowano cel pracy, tezę oraz zawartość pracy.

W rozdziale 3 przedstawiono zagadnienia jakości energii elektrycznej w świetle dokumentów prawnych i normatywnych, stosowanych na statkach.

W rozdziale 4 przedstawiono ideę algorytmu zarządzania jakością napięcia w okrętowym systemie energetycznym.

W rozdziale 5 podano trzy przykłady modeli prądnicy jawnobiegunowej, będącej źródłem zasilania statku, środowisko do modelowania systemów elektroenergetycznych a następnie zweryfikowano zaproponowane modele, porównując otrzymane wyniki z rezultatami pomiarów oraz ostatecznie zweryfikowano cały algorytm zarządzania jakością napięcia na statku szkolno-badawczym „Horyzont II”.



W rozdziale 6 przedstawiono zachowanie się algorytmu zarządzania jakością napięcia w stanach awaryjnych oraz zaproponowano kierunki dalszego rozwoju.

Ostatecznie rozdział 9 jest podsumowaniem dysertacji, w którym przedstawiono wątek naukowy oraz cel i tezę pracy, zestawiono wyniki zrealizowanych prac, uwypuklono autorskie podejście do rozwiązywanych problemów badawczych oraz zarysowano tematykę dalszych prac naukowych.

Uwagi na temat poprawności językowej i redakcyjnej rozprawy.

- Generalnie praca napisana jest językiem poprawnym bez większych defektów stylistycznych czy gramatycznych.
- Struktura pracy jest logiczna i czytelna.
- Cel, zakres oraz teza pracy zostały poprawnie zaprezentowane.
- Brak wykazu skrótów i oznaczeń.
- Brak streszczenia.
- Definicje zmiennych we wzorze powinny być skomentowane bezpośrednio przed zacytowaniem wzoru w tekście, bądź po nim. Np. we wzorze 4.1 parametr S_{THD} zdefiniowany jest dopiero 5 linijek pod wzorem, co utrudnia interpretację wzoru.

3. OCENA MERYTORYCZNA PRACY

3.1. Istotność zagadnienia.

Doktorant we wprowadzającym rozdziale 1 przedstawił potrzebę zajęcia się zagadnieniem. Szczególnie interesujące jest zaprezentowanie przyczyny podjęcia wyzwania badawczego jakim była awaria statku „Queen Mary II”, mogąca być potencjalną przyczyną katastrofy morskiej. Przykład ten, związany z awarią filtra harmonicznego napięcia w elektrowni okrętowej, jednoznacznie identyfikuje wagę zagadnienia. W szczególności potwierdzają to konkluzje wynikię w ramach dochodzenia, przeprowadzonego przez brytyjską agencję rządową MAIB (Marine Accident Investigation Branch), które stwierdzają iż.:

„należy regularnie monitorować sieć elektroenergetyczną statku w celu wczesnego wykrycia pogorszenia jakości napięcia”,

oraz

„należy ustanowić procedury zarządzania poziomami zniekształceń w przypadku awarii przekształtników energoelektronicznych i/lub filtrów harmonicznych”.

Uważam, że odpowiedź na powyższe wyzwania, jest zagadnieniem istotnym oraz posiadającym charakter badawczy.

3.2. Zawartość merytoryczna pracy

W rozdziale 1, po zaprezentowaniu motywacji podjęcia zagadnienia badawczego, Doktorant identyfikuje problemy pojawiające się w sieciach elektrycznych statków, w których występują przekształtniki energoelektroniczne podczas awarii kluczowych podsystemów sieci. Wskazuje nadmierne zniekształcenia napięcia na szynach rozdzielni głównej, jako potencjalny powód wadliwej

pracy prądnic oraz całkowitego zaniku zasilania. Ponadto identyfikuje przyczyny powstawania odkształceń w przebiegu napięcia, do których należą awarie: prądnic, przekształtników energoelektronicznych lub filtrów harmoniczných oraz asymetria napięcia zasilającego. Doktorant następnie popiera swoje obserwacje za pomocą przeprowadzonych z Jego udziałem badań na statku „Horyzont II”.

Ostatecznie proponuje rozszerzenie funkcjonalności standardowych okrętowych układów PMS (Power Management System) o możliwość ograniczania harmoniczných napięcia zasilającego oraz parametru THD, która to ma być elementem nowatorskim pracy. W rozdziale tym Doktorant nie definiuje jakie metody miałyby zostać zastosowane w celu osiągnięcia założonego wyzwania.

W rozdziale 2 Doktorant przedstawił cel i zakres pracy.

Celem pracy jest ogólnie rzecz biorąc: zaproponowanie algorytmu zarządzania jakością napięcia w okrętowych sieciach elektroenergetycznych w stanach awaryjnych. Algorytm ma uwzględniać wykorzystanie typowych funkcji układów zarządzania mocą, w których możliwa jest regulacja częstotliwości generowanych przebiegów napięciowych oraz sterowanie obciążeniami dużej mocy.

Na podstawie celu pracy postawiono następującą tezę:

„Możliwe jest zmniejszenie poziomu zniekształceń napięcia w okrętowym systemie elektroenergetycznym w stanach awaryjnych za pomocą prostych środków, takich jak:

- **zmniejszenie częstotliwości napięcia zasilającego**
- **zwiększenie mocy pobieranej przez odbiorniki liniowe,**
- **załączenie dodatkowych zespołów prądowórczych do pracy równoległej**
- **oraz kontrola mocy odbiornika nieliniowego**

a tym samym zmniejszenie ryzyka zakłóceń w funkcjonowaniu okrętowego systemu elektroenergetycznego”.

Jako zakres pracy przedstawiono 7-punktowe zestawienie, które można podzielić na główne zagadnienia badawcze jak następuje:

- zbadanie możliwości ograniczenia parametru THD oraz harmoniczných wykorzystując typowe układy okrętowe PMS, a także opracowanie stosownego algorytmu,
- zaproponowanie modelu okrętowej prądnicy synchronicznej, będącej głównym źródłem zasilania w siłowniach okrętowych,
- zaproponowanie modelu całego okrętowego systemu elektroenergetycznego na przykładzie układu laboratoryjnego oraz rzeczywistego statku „Horyzont II”,
- wykonanie badań weryfikacyjnych zaproponowanego algorytmu redukcji THD i harmoniczných na obiekcie rzeczywistym,
- analizę możliwości implementacji kontroli obciążenia odbiorników nieliniowych w celu dodatkowego poprawienia osiągniętych wskaźników.

Cel pracy jest sformułowany jasno, choć pod pojęciem „jakość napięcia” Doktorant rozumie tylko parametry widmowe, zdefiniowane w normach jakości energii elektrycznej typu THD oraz wybrane harmoniczne i ewentualnie jakość częstotliwości. Być może odpowiedniejsze byłoby zasygnalizowanie tego faktu przez uwzględnienie zwrotu: „zarządzanie wybranymi parametrami jakości energii”. W każdym razie Doktorant w rozdziale 4.1 precyzuje: „Ostatecznie w proponowanym algorytmie



poprawy jakości napięcia zasilającego, rozumianym jako algorytm ograniczenia poziomu jego zniekształceń wyrażonych **wartością współczynnika THD i zawartością harmonicznymi**." Podanie tej informacji w celu pracy byłoby bardziej odpowiednie.

Teza prac została jasno zdefiniowana i nosi znamiona osiągnięcia naukowego. Zakres pracy zawiera elementy nowości.

W rozdziale 3 przedstawiono zagadnienia jakości energii elektrycznej w świetle dokumentów prawnych i normatywnych, stosowanych na statkach. Jednym z kluczowych elementów, związanych z występowaniem wyższych harmonicznymi jest współczynnik zawartości wyższych harmonicznymi, a który w zastosowaniach okrętowych obliczany na kilka różnych sposobów, które zostały przytoczone przez Autora pracy. Ostatecznie przedstawiono przykładowe pole sterowania zespołem prądotwórczym (rys. 3.1), za pomocą którego Autor podejmie próbę ograniczenia emisji wyższych harmonicznymi, unikając podłączenia dodatkowych specjalistycznych urządzeń regulujących poziom zakłóceń.

W rozdziale 4 zaprezentowano uproszczony model mikrosieci elektrycznej statku oraz ustalono dwa możliwe sposoby na obniżenie emisji harmonicznymi „generowanych” przez obciążenia nieliniowe oraz zmniejszenie parametru THD: zmiana częstotliwości przebiegu napięciowego oraz sterowanie odbiornikami liniowymi.

Pierwsza z metod polega na sterowaniu prędkością obrotową jednostek napędowych prądnic. Przeanalizowano możliwy zakres zmian częstotliwości napięcia, w stosunku do odpowiednich uwarunkowań prawnych. Następnie na stanowisku badawczym, wykorzystując rzeczywiste źródła zasilania, obciążono odbiornik nieliniowy i w funkcji wzrastającego obciążenia zarejestrowano zwiększające się odkształcenia przebiegu napięciowego, a w konsekwencji parametru THD. Badanie to powtórzono na statku „Dar Młodzieży”. Ostatecznie ustalono, iż obniżenie częstotliwości napięcia prądnicy – zmniejszenie prędkości obrotowej napędu – ma pozytywny wpływ na obniżenie parametru THD.

Druga metoda, polegająca na załączaniu, bądź odłączaniu od sieci odbiorników liniowych, wprowadza dodatkowe impedancje, ustalając impedancję wypadkową bardziej liniową, w stosunku do pierwotnej. Zaproponowano grupę urządzeń o liniowym charakterze obciążenia, które można w razie potrzeby załączyć lub odłączyć bez wpływu na bezpieczeństwo statku. Ustalono również, iż w sytuacjach awaryjnych, zgodnie ze stosownymi dokumentami, możliwe jest czasowe przeciążenie prądnicy.

Oprócz wymienionych metod, rozważano również równoległe załączenie dodatkowych zespołów prądotwórczych. Jako przykład wpływu zwiększonej liczby prądnic na parametr THD zaprezentowano wyniki pomiarów na statku „Horyzont II”, wyposażonego w 3 prądnice. Ostatecznie pomiary wskazują na znaczącą redukcję wartości tego parametru z ponad 8% do 3,8% dla pracujących odpowiednio jednej i trzech prądnic. Jednocześnie również przedstawiono wady tego rozwiązania, w postaci zwiększonego zużycia paliwa oraz ryzyka przepływu prądu wyrównawczego w obecności dużej różnicy parametrów THD załączanej prądnicy oraz systemu elektroenergetycznego statku. To z kolei, zdaniem Doktoranta, warunkuje konieczność ograniczenia poziomów THD „w czasie niezbędnym do uruchomienia dodatkowego zespołu prądotwórczego”. Ostatecznie rozdział podsumowuje wniosek, iż potrzebne jest wypracowanie kompromisu, biorącego pod uwagę: obniżenie poziomu THD, zwiększenie odchylenia chwilowej częstotliwości przebiegu napięciowego, zezwolenie na chwilowe przeciążenie prądnicy.



W dalszym ciągu rozdziału zostały przeanalizowane systemy zarządzania mocą na statkach PMS, oraz przedstawiono modyfikację takich systemów z wykorzystaniem dodatkowych sygnałów wejściowych: THD_{us} (wskaźnik THD na szynach rozdzielnicy) oraz U_{sh} (harmoniczne napięcia na szynach rozdzielnicy). W zależności od bieżących wartości tych parametrów Doktorant identyfikuje konieczność rozszerzenia funkcjonalności standardowych PMS o możliwość:

- załączania i wyłączania odbiorników liniowych z możliwością przeciążania prądnicy,
- zmiana częstotliwości w zakresie $\pm 10\%$ wartości nominalnej,
- załączania dodatkowych prądnic,
- sygnalizacji alarmu w przypadku przekroczenia zakłóceń.

Taki uzupełniony system o powyższe funkcjonalności Doktorant nazwał „PQMS”. Ponadto podnosi on, iż: „do obsługi nowej funkcji nie będzie konieczne instalowanie kolejnego urządzenia w polu prądnicy” i dalej „wystarczy modyfikacja oprogramowania wewnętrznego i wykorzystanie standardowe implementowanych bloków sterujących PMS”. Mam tu pewną wątpliwość, ponieważ konieczny jest dodatkowy czujnik THD_{us} oraz U_{sh}. Wątpliwość tę wyraziłem w sekcji „Uwagi dyskusyjne” niniejszej recenzji.

Ostatecznie w ostatniej części rozdziału 4 - rozdziale 4.6 - Doktorant prezentuje algorytm zarządzania jakością napięcia w stanach awaryjnych. Na rys. 4.8 przedstawiono strukturę „podstawowej wersji algorytmu zarządzania jakością napięcia w stanach awaryjnych”. Algorytm ten, choć nie jest bezpośrednio zaznaczone na rys. 4.8, oparty jest o wykorzystanie, zdefiniowanej przez Doktoranta tzw. „modelu (funkcji) stanu systemu S_{THD} ”. W modelu tym zawarte są informacje o: liczbie pracujących prądnic G_n , aktualnej wartości obciążenia P , częstotliwości f oraz współczynnika THD. Analizując równanie 4.1 trudno jest określić, czy to jest zależność funkcyjna, czy też tylko opis stanu systemu, ponieważ w wyżej wymienionym opisie Doktorant posługuje się terminem „model” oraz „funkcja”, a bezpośrednio pod wzorem określa, iż parametry G_n , P , F , THD tworzą zbiór wielkości, opisujący strukturę – bieżący stan systemu. Ostatecznie opis ten jest dosyć niejasny. W dalszej części rozdziału Doktorant pisze, iż „na bazie danego modelu określone są wartości sygnałów wyjściowych f_z i P_{linz} ”, po ustawieniu których powinno się już otrzymać nowy poziom parametru THD – THD_0 niższego od założonego. Tutaj również nie wiadomo o który model chodzi, czy o model (funkcję) stanu, czy o model zachowania się całego systemu elektroenergetycznego w kontekście wyznaczenia THD, biorąc pod uwagę załączenia dodatkowych odbiorników liniowych P_{linz} , nową częstotliwość generatora f_z oraz w szczególności model stanu (rozumianą jako stan systemu S_{THD}). Po wnikliwej analizie tekstu Doktorant miał na myśli zapewne tę drugą sytuację. Na rys. 4.9 zaprezentowano graficzną koncepcję działania algorytmu zarządzania jakością napięcia, choć sam Doktorant zatytułował rysunek jako „przykładowy przebieg THD napięcia w funkcji obciążenia i częstotliwości dla wybranego stanu systemu S_{THD} ”. Samo słowo „przebieg” jest w tym przypadku niefortunne, sugerując fluktuację THD w czasie, tymczasem zmiany te są uzależnione od częstotliwości oraz obciążenia. Wydaje się, że zwrot: „przykładowe zmiany THD” byłby bardziej odpowiedni. Doktorant, z wykorzystaniem rys. 4.9 zaleca zmiany (zwiększenie) obciążenia generatora, załączając dodatkowe odbiory liniowe, a następnie obniżać częstotliwość generatora. Taka propozycja, zadaniem Doktoranta, podyktowana jest szybszym załączaniem obciążenia, aniżeli regulacja częstotliwości. Wartości zmian zarówno mocy obciążenia jak i częstotliwości musi być dobrana dla konkretnej siłowni okrętowej oraz dla konkretnych stanów systemu S_{THD} . Dobór ten powinien nastąpić na etapie projektowania systemów. Uważam że sama koncepcja sterowania jest interesująca i **wnosi wkład naukowy**. Pragnę jednak zaznaczyć, że proponowana koncepcja będzie wymagała od projektanta dużego nakładu pracy. Odrębną rzeczą jest sterowanie całym procesem w celu minimalizacji tylko współczynnika THD. Doktorant zaznacza,

iż „*tylko ten parametr występuje w przepisach IACS'u*”. Interesujące byłoby jednak, w przypadku uzupełnienia przepisów o monitoring harmonicznych, które z parametrów: THD czy harmoniczne będą miały priorytet w określonym doborze mocy obciążenia generatora i częstotliwości napięcia.

Ostatecznie w podrozdziale 4.6 przedstawiono kluczową kwestię z punktu widzenia tematyki oraz tezy rozprawy.

Rozdział 5 w początkowych podrozdziałach stanowi propozycję matematycznego modelowania prądnicy jawnobiegunowej (modele: RL, Dinh'a, model wg. Standardu IEEE1110). Po zamodelowaniu prądnicy wyniki zostały zestawione z rzeczywistymi pomiarami, przeprowadzonymi na statku „Horyzont II”. Ostatecznie Doktorant skonstatował iż, modelem, dostarczającym zadowalające wyniki dla częstotliwości nominalnej jest model standardu IEEE1110. Natomiast błędy, występujące przy zmianach częstotliwości można skorygować poprzez kalibrację modelu z wykorzystaniem modelu Dinh'a. **To podejście również uważam za wkład naukowy Doktoranta.**

W podrozdziale 5.3 została przedstawiona rzeczywista laboratoryjna sieć elektroenergetyczna, znajdująca się w laboratorium Elektroenergetyki Okrętowej UMG, a zawierająca: trzy prądnice synchroniczne przeznaczone do pracy równoległej, odbiory liniowe oraz odbiory nieliniowe. Sieć została zamodelowana również w środowisku komputerowym PLECS i przedstawiona na rys. 5.11. Następnie przeprowadzono proces kalibracji modelu komputerowego z laboratoryjnym modelem rzeczywistym. W tym celu Doktorant zbudował system pomiarowy rejestrujący przebiegi napięciowe oraz prądowe i obliczający w programie LabView oraz Mathcad stosowne parametry widmowe jakości energii elektrycznej – podgrupy harmonicznych oraz THD (obliczana na podstawie dwóch definicji). Struktura sytemu została przedstawiona na rys. 5.12. Podczas procesu kalibracji Doktorant wykazał, iż model IEEE1110 spełniał oczekiwania przy częstotliwości nominalnej, natomiast nie odzwierciedlał rzeczywistych pomiarów w przypadku zmian częstotliwości. Z tego względu, w takich przypadkach zaproponowano zastosowanie modelu Dinh'a, jak już to wspominałem powyżej. W tym celu zostały wyznaczone względne zmiany reaktancji podprzejściowej na podstawie pomiarów, a wyniki przedstawiono na rys. 5.13. Takie hybrydowe podejście umożliwiło zamodelowanie parametru THD, w którym przy obniżeniu częstotliwości o 4 Hz, spadek jego wartości wyniósł ponad 2%. Wynik być może nie jest przełomowy, natomiast sama idea hybrydowego modelu prądnicy, umożliwiająca śledzenie zmian parametru THD w funkcji zmian obciążenia oraz częstotliwości jest niewątpliwie interesująca i oceniam ją jako wkład naukowy Doktoranta.

Wyznaczony model umożliwił skonstruowanie funkcji zmian THD dla zadanych zmian obciążenia i częstotliwości, który zaprezentowano na rys. 5.14. Analiza funkcji określa, iż w dozwolonych przez producentów oraz stosownych uwarunkowań prawnych oraz dla wybranego obciążenia, możliwa jest regulacja parametru THD w zakresie 12,52% do 8,75%, co jest już wartością znaczącą.

Porównano również przebiegi napięciowe, zamodelowanego systemu z pomiarami rzeczywistymi w laboratorium UMG. Pod uwagę wzięto zarówno zmiany obciążenia prądnicy oraz zmiany częstotliwości. Porównywano zamodelowane i zmierzone parametry THD oraz 5. harmoniczną. Największa różnica pomiędzy wartościami zmierzonymi i zamodelowanymi nie przekraczała 4,5% (4,32%), co jest wartością w mojej opinii bardzo dobrą.

Ostatecznie w rozdziale 5.4 przeprowadzono weryfikację uzyskanych wyników w rzeczywistej sieci okrętowej statku „Horyzont II”. W tym celu przeanalizowano sieć elektroenergetyczną statku oraz określono parametry prądnic, następnie sieć zamodelowano w środowisku PLECS, przeprowadzono kalibrację i wyznaczono funkcje zmian THD przy zmianach częstotliwości i obciążenia liniowego (rys. 5.26). Redukcję współczynnika THD dla zmian częstotliwości w zakresie 52 Hz - 45 Hz wynosiła około

1,8%, natomiast dla zmian obciążenia liniowego od 0 do 77% wartości nominalnej obciążenia prądnicy 1,4%. W sumie, na podstawie sterowania częstotliwością oraz obciążeniem możliwa była redukcja THD o ponad 2,5%, przy początkowej wartości THD na poziomie 7,8%.

Następnie przeprowadzono badania z włączeniem odbiorów liniowych o dwóch stopniach obciążenia (0,1 oraz 0,08 obciążenia nominalnego) przy obciążeniu nieliniowym 0,24 oraz regulacji częstotliwości w zakresie 51,5 Hz – 47,5 Hz. Ostatecznie zredukowano poziom THD o około 20% wartości początkowej, co jest wartością dobrą. Ponadto różnica pomiędzy wartościami zamodelowanymi i zmierzonymi dla parametru THD wyniosła maksymalnie 2,13% co jest wartością bardzo dobrą, a dla 5. harmonicznej 7,32% co jest wartością dopuszczalną. Dodatkowo wykonano pomiary oraz modelowanie dla konfiguracji statku, w przypadku wykrycia 5. harmonicznej większej od 5% i ostateczne wyniki również utrzymywały się na podobnym poziomie.

Doktorant w ostatniej części badań wykonał pomiary przy załączonych dwóch równolegle pracujących prądnicach, potwierdzając przewidywany spadek parametru THD o około 2% (max różnica pomiędzy modelem poniżej 5%).

Uważam, iż zaprezentowane badania do tego etapu udawadniają w całości postawioną przez Doktoranta tezę.

W rozdziale 6 Doktorant zaprezentował kierunki dalszego rozwoju proponowanej przez niego metody. Byłyby one uzupełnieniem dotychczas prowadzonych prac o sterowanie mocą odbiorników nieliniowych, w tym napędem steru strumieniowego, stanowiącym główne obciążenie nieliniowe na statku „Horyzont II”. Pierwsze badania zostały wykonane przez Doktoranta i obrazowały one wpływ obciążenia nieliniowego na parametr THD oraz poszczególne harmoniczne. Interesującym wnioskiem było określenie dla jakich wartości pobieranej mocy przez ster strumieniowy parametr THD oraz dominujące harmoniczne (5. i 7.) mieściły się poniżej założonego poziomu (Rys. 6.6).

Rozdział 7 stanowi podsumowanie dysertacji oraz wskazuje na udowodnienie postawionej tezy. Doktorant przytacza swoje oryginalne osiągnięcia naukowe i wskazuje na dalsze rozwojowe tematy, którymi planuje się zająć po zakończeniu pracy doktorskiej.

3.3. Uwagi dyskusyjne

1. Rozdział 1, rys. 1.1 dolna część rysunku, pod napisem „*Nadmierne zniekształcenia napięcia!*”. Fragment rysunku nie do końca jasny. Rysunek ma zapewne wskazywać które z bloków, zasilanych z szyny głównej zostały awaryjnie odłączone w wyniku uszkodzenia filtra harmonicznego. Nie jest jasne, dlaczego część z przekreślonych bloków jest w kolorze czerwonym, a jedno z nich w kolorze żółtym. Brak wyjaśnienia w tekście powyższego. Rysunek ten zdaje się być kluczowym z punktu widzenia zdefiniowania celu pracy.
2. Rozdział 3, rys. 3.1. Na zdjęciu przedstawiono przykładowe pole sterowania zespołem prądotwórczym wraz z układem PMS. Przydatna byłby poszerzona charakterystyka urządzenia, która wyjaśniałaby jakimi podsystemami Autor zamierza sterować w celu obniżenia wartości współczynnika THD.
3. Rozdział 4.1. Według opisu ze str. 18, Autor definiuje „*algorytm poprawy jakości napięcia zasilającego*” jako „*algorytmu ograniczenia poziomu jego zniekształceń wyrażonych wartością współczynnika THD i zawartością harmoniczną*”. Objasnienie przyczyny zawężenia zagadnień

- jakości energii elektrycznej do badania parametrów widmowych przebiegów elektrycznych, zawarto na str. 35 „w obecnym stanie prawnym (...) obniżenie poziomu zniekształceń oznacza w praktyce tylko obniżenie THD” oraz dalej na tejże stronie „tylko ten parametr występuje w przepisach IACS’u”. Nie mniej jednak, czy jest możliwe rozszerzenie tej tematyki o badania dodatkowych parametrów jak: flicker, zapady napięcia i przerwy w zasilaniu, czy też przebiegi przejściowe. Ta ostatnia grupa, w sposób szczególny związana z udarami napięciowymi, mogącymi powstać w wyniku przelączania pojemności mogłaby być interesująca z punktu widzenia wykrycia anomalii w działaniu filtra harmonicznego, który stanowił przyczynek do podjęcia tematyki niniejszej pracy.
4. Rozdział 4.2. Autor stwierdził iż.: „odbiorniki nieliniowe, wprowadzając do systemu prąd harmonicznego, powodują zniekształcenia napięcia sieci (...) poprzez spadki napięć na impedancji prądnic”. Sugerowałbym tutaj posługiwanie się stwierdzeniem „pobierając prąd odkształcony”, ponieważ odbiorniki nieliniowe same z siebie nie generują prądu, tylko pobierając prąd odkształcony zawierający harmoniczne, a te z kolei powodują zniekształcenia przebiegu napięciowego. Co prawda model na rys. 4.1 zawiera źródło harmonicznego prądu i analiza modelu jest poprawna, natomiast natura zjawiska nie polega na generowaniu harmonicznego prądu, a nie na ich pobieraniu. Na to należałoby zwrócić uwagę.
 5. Rozdział 4.3. Autor stwierdza iż.: „czas, konieczny do uzyskania pożądanego efektu w postaci obniżenia poziomu zniekształceń wymaga uruchomienia i załączenia dodatkowej prądnicy do pracy równoległej, natomiast nie jest konieczne wyrównanie obciążeń”. Zdanie nie do końca zrozumiałe. Mowa jest tutaj o czasie. Jakie są rzędy czasów, po którym uzyskuje się ustalone parametry THD? Jeżeli chodzi o „wyrównanie obciążeń”, to prawdopodobnie chodzi o równomierne obciążenie każdej z faz. Jeżeli byłaby jednak konieczna taka operacja, to czy jest to możliwe w typowej sieci elektroenergetycznej statku? Jeżeli tak, to na jakiej zasadzie mogłyby zostać wyrównane obciążenia?
 6. Rozdział 4.3 Tabela 4.4. Podana jest słowna definicja wskaźnika rozdziału mocy czynnej δP . Proponuję podanie zależności matematycznej. Ponadto, oprócz definicji w tytule tabeli 4.4 oraz zacytowania jej w tekście, brak jest pogłębionego komentarza odnośnie tego parametru oraz jego istotności w kontekście celu pracy.
 7. Rozdział 4.5. Doktorant stwierdza, iż System PQMS nie wymaga instalowania „kolejnego urządzenia w polu prądnicy” oraz „wystarczy modyfikacja oprogramowania wewnętrznego i wykorzystanie standardowe implementowanych bloków sterujących PMS”. Moim zdaniem, zgodnie z rys. 4.7 powinno dodać się dodatkowy system/czujnik pomiarowy parametrów widmowych THDus ora Ush. Chyba, że urządzenia w standardowych PMS umożliwiają eksport tych informacji na zewnątrz w czasie rzeczywistym. Jeżeli nie, konieczna jest jednak ingerencja sprzętowa.
 8. Rozdział 4.6. Analizując równanie 4.1 trudno jest określić, czy to jest zależność funkcyjna, czy też tylko opis stanu systemu, ponieważ w wyżej wymienionym opisie Doktorant posługuje się terminem model oraz funkcja, a bezpośrednio pod wzorem określa, iż parametry G_n , P , F , THD tworzą zbiór wielkości, opisujący strukturę – bieżący stan systemu. Ostatecznie opis ten jest dosyć niejasny. W dalszej części rozdziału Doktorant pisze, iż „na bazie danego modelu określone są wartości sygnałów wyjściowych f_z i P_{linz} ”, po ustawieniu których powinno się już otrzymać nowy poziom parametru THD – THD_0 niższego od założonego. Tutaj również nie wiadomo o który model chodzi, czy o model (funkcję) stanu, czy o model zachowania się całego systemu elektroenergetycznego w kontekście wyznaczenia THD , biorąc pod uwagę załączenia dodatkowych odbiorników liniowych P_{linz} , nową częstotliwość generatora f_z oraz w szczególności model stanu (rozumianą jako stan systemu $STHD$). Proszę o komentarz.



9. Rozdział 4.6. Doktorant zaznacza, iż „*tylko ten parametr (THD) występuje w przepisach IACS'u*”. Interesujące byłoby jednak, w przypadku uzupełnienia przepisów o monitoring harmonicznych, które z parametrów: THD czy harmoniczne będą miały priorytet w określonym doborze mocy obciążenia generatora i częstotliwości napięcia. Czy też należałoby uznać jakieś złożenie tych parametrów?
10. Rozdział 5.3. Rys. 5.11. Opis jest dosyć pobieżny. Np. w którym miejscu obwodu elektrycznego podłączony jest blok „*PROBE ig*”?
11. Rozdział 5.3. Rys. 5.12. Na schemacie zaznaczono kilka generatorów. Czy podczas badań wykonane były pomiary prądów we wszystkich prądnicach osobno (co sugeruje schemat), czy też tylko na szynach głównych? Nieczytelne skany/zrzuty ekranu po prawej stronie rysunku.
12. Rozdział 5.3. Rys. 5.12. Doktorant przeprowadził wstępną filtrację dolnoprzepustową w celu umożliwienia pomiaru częstotliwości metodą zero-crossing. Jakie były parametry filtracji: rząd, typ charakterystyki, częstotliwość odcięcia? Czym się kierowano podczas wyboru tych parametrów?
13. Rozdział 5.3. Doktorant do modelowania prądnicy wykorzystał model IEEE1110 dla częstotliwości nominalnych oraz przy zmianach częstotliwości model Dinh'a. W jaki sposób w praktyce zostało to wprowadzone do modelu w środowisku PLECS? Czy symulacja wykrywa zmianę częstotliwości napięcia i automatycznie przełącza się z modelu IEEE1110 na model Dinh'a, czy realizowane jest to w jakiś inny sposób?
14. Rozdział 5.4.3. W tabeli 5.15 Doktorant przeprowadził badania dla parametru THD. Pytanie, czy wykonał badania również dla 5. harmonicznej, tak jak to miało miejsce w poprzednich analizach.
15. Rozdział 6. Rys. 6.6. W legendzie Doktorant podał parametr „*TWD*”. Prawdopodobnie chodziło o THD, zgodnie z podpisem pod rysunkiem.

3.4. Ogólna ocena merytoryczna pracy

Praca jest naukowo kompletna. Występują w niej:

- studium literaturowe na temat badanego zjawiska, zawierające dokumenty prawne oraz wytyczne stosownych organizacji morskich a także prezentację kierunków obecnie prowadzonych badań,
- elementy rejestracji rzeczywistych danych pomiarowych z wykorzystaniem stanowiska laboratoryjnego,
- modelowanie obiektu na podstawie studium literaturowego oraz programów komputerowych, wykorzystujących pozyskane dane,
- kalibrację modelu oraz jego weryfikację na podstawie symulacji komputerowych oraz stanowiska laboratoryjnego,
- zastosowanie opracowanej metody w rzeczywistym systemie elektroenergetycznym oraz komentarz uzyskanych wyników.

Poszukiwania naukowe Doktoranta zaowocowały autorskimi aspektami badawczymi, które stanowią wkład w rozwój dyscypliny automatyka, elektronika i elektrotechnika. Moim zdaniem do najważniejszych z nich należą:

- zaproponowanie algorytmu postępowania w sytuacjach niebezpiecznego zwiększenia się poziomu zawartości wyższych harmonicznych oraz parametru THD, w celu ich



- ograniczenia z wykorzystaniem dostępnych środków, znajdujących się w standardowej sieci elektroenergetycznej statku,
- stworzenie koncepcji systemu zarządzania mocą, bazującego na stosowanych obecnie powszechnie PMS; taki system został przez Doktoranta nazwany PQMS (Power & Power Quality Management System),
 - propozycja zamodelowania prądnicy jawnobiegunowej za pomocą zestawienia modeli IEEE 1110 oraz Dinh'a,
 - propozycja zamodelowania okrętowej sieci elektroenergetycznej z odbiornikiem nieliniowym dużej mocy, umożliwiającej testowanie algorytmu zarządzania jakością napięcia,
 - zaplanowanie oraz przeprowadzenie badań na stanowisku laboratoryjnym oraz w rzeczywistej sieci elektroenergetycznej wraz ze szczegółową interpretacją wyników.

Zaprezentowane badania mają charakter rozwojowy, zmierzające w kierunku opracowania rozszerzonej metody zarządzania jakością napięcia z wykorzystaniem sterowania mocą odbiorników nieliniowych.

Uważam, że Doktorant dysponuje teoretycznym oraz praktycznym warsztatem badawczym, potrafi zaplanować eksperyment naukowy oraz posiada umiejętnościami publikowania wyników badań, czego dowodzą parametry bibliometryczne: 9 publikacji (w tym 6 z listy JCR i 3 w materiałach konferencyjnych indeksowanych WoS), indeks Hirscha 4, 32 cytowania (bez autocytowań).

4. WNIOSEK KOŃCOWY

Po zapoznaniu się z pracą doktorską pt.: „Zarządzanie jakością napięcia w okrętowym systemie elektroenergetycznym w stanach awaryjnych”, oraz na podstawie art. 179 Ustawy z dnia 3 lipca 2018 r. Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce stwierdzam, iż

przedstawiona rozprawa spełnia

wymagania określone w „Ustawie o stopniach naukowych i tytułach naukowych oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki” z dnia 14 marca 2003 r. oraz w rozporządzeniu Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 1 września 2011 r.

W związku z powyższym

wnioskuję o przyjęcie rozprawy doktorskiej oraz o dopuszczenie

mgr inż. Mariusza Górniaka do publicznej obrony.

Mirosław Szmajda

