



dr hab. Irena Wasiak, prof. nadzw.

Politechnika Łódzka

Instytut Elektroenergetyki

Łódź, 5.06.2019

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Tomasza Biernacika p.t. „Metoda wyznaczania maksymalnej wartości wybranej harmonicznej prądu filtra pasywnego w przemysłowej sieci elektroenergetycznej”

- opracowana na zlecenie Przewodniczącego Komisji ds. Stopni Naukowych w Dyscyplinie Naukowej Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika Politechniki Wrocławskiej, w piśmie z dnia 25.03.2020 r.

1. Przedmiot oceny

Przedmiotem recenzji jest poprawiona wersja rozprawy doktorskiej mgr inż. Tomasza Biernacika, o tytule jw., której pierwsza wersja została złożona do Rady Wydziału Elektrycznego Politechniki Wrocławskiej i przekazana do oceny w roku 2019 r. W mojej ocenie praca w brzmieniu z 2019 roku nie spełniała wymagań stawianych pracom doktorskim i wymagała poprawy w zakresie *uzupełnienia opisu proponowanej metody w sposób pozwalający na jednoznaczne stwierdzenie jej poprawności (założenia, algorytm i weryfikacja) oraz przedstawienia sposobu wykorzystania proponowanej metody do projektowania filtrów pasywnych i poprawy błędów merytorycznych i językowych.*

W niniejszej opinii odnoszę się do zmian i uzupełnień wprowadzonych do pracy, zgodnie z zaleceniami Rady Wydziału Elektrycznego Politechniki Wrocławskiej, wyrażonymi w Uchwale nr 512/36/2016-2020 z dnia 30.09.2019 r. Pomijam ocenę tych fragmentów pracy, które nie zostały zmienione w stosunku do jej pierwszej wersji.

2. Ogólna charakterystyka rozprawy

Recenzowana praca dotyczy zagadnień kompensacji wyższych harmonicznych prądów pojawiających się w układach elektroenergetycznych z odbiornikami nieliniowymi. Problem zniekształcenia prądów i napięć jest znany w elektroenergetyce od dawna i występuje przede wszystkim w sieciach przemysłowych, w których udział odbiorników nieliniowych jest szczególnie duży. Znane są różne metody kompensacji harmonicznych, ale w praktyce najszerszej stosowane są filtry pasywne. Z doświadczeń Autora pracy wynika, że w zmiennych warunkach eksploatacyjnych oraz przy braku informacji na temat parametrów sieci, stosowane w praktyce metody nie zapewniają właściwego doboru filtrów i ich bezpiecznego użytkowania. Często obserwowane są awarie tych urządzeń, a ich prawdopodobną przyczyną są przeciążenia prądowe. Dlatego też Doktorant zaproponował własną metodę, pozwalającą na wyznaczenie maksymalnej wartości harmonicznej prądu filtra bez znajomości parametrów sieci i charakterystyki częstotliwościowej odbiorów, na podstawie pomiarów wykonanych w sieci przemysłowej. Cel i teza pracy pozostały niezmienione.

Rozprawa doktorska po poprawie jest bardziej obszerna i obejmuje 238 stron. Podobnie jak poprzednio została zredagowana w 12 rozdziałach i uzupełniona spisem ilustracji i tabel, bibliografią liczącą 141 pozycji oraz dwoma dodatkami, które w pierwszej wersji pracy znajdowały się w tekście głównym. Treść pracy zawarta w rozdziałach 1-5



(poprzednio 1-6) w zasadzie pozostała niezmienną. Poprawiony został natomiast rozdział 6, w którym Autor opisał własną metodę wyznaczania wartości maksymalnej harmonicznej filtra. Wprowadzono też zmiany w dalszej części pracy, tj. w rozdziałach 7-9, poświęconych weryfikacji opracowanej metody. W tej części pracy mieszczą się w większości odpowiedzi na pytania i wątpliwości przedstawione w poprzedniej recenzji, dotyczące uzupełnienia opisu proponowanej metody. Zakres pracy został rozszerzony przez umieszczenie rozdziału 10, dotyczącego możliwości wykorzystania opracowanej metody w praktyce projektowej.

Poniżej przedstawiam omówienie i ocenę merytoryczną pracy w odniesieniu do jej poszczególnych rozdziałów, ze szczególnym uwzględnieniem uwag podanych w pierwszej recenzji i wprowadzonych przez Autora zmian.

3. Ocena merytoryczna pracy

Rozdziały 1 i 2 zawierają uzasadnienie podjęcia tematu oraz cel, zakres i tezę pracy. Teza została przeniesiona (z rozdziału 4 w poprzedniej wersji pracy) w niezmiennym brzmieniu, pozostało w niej nieprawidłowe sformułowanie dotyczące „...rejestracji parametrów sieci” w odniesieniu do mierzonych prądów i napięć, które nie są parametrami sieci.

Rozdziały 3 i 4, opracowane na podstawie literatury, pozostawiono bez zmian. Zawierają one opis zaburzenia, zasadę filtracji oraz przegląd metod stosowanych do obliczania wyższych harmonicznych w sieciach elektroenergetycznych. Ta część pracy jest nadmiernie rozbudowana, co nie jest potrzebne z punktu widzenia udowodnienia tezy rozprawy.

Rozdział 5. poświęcony został pomiarom wielkości elektrycznych w sieciach wybranych zakładów przemysłowych, które przeprowadził Autor w 2019 roku do nowej wersji pracy. Pomiar dotyczył tych samych obiektów co poprzednio (oznaczonych ZP1, ZP2, ZP3), które jednak od czasu poprzednich pomiarów wykonanych w 2016 roku, w wyniku rozbudowy, istotnie się zmieniły. Opis przyrządów pomiarowych z podaniem szczegółowych danych został przeniesiony do załącznika. Podobnie, do załącznika przeniesiono opis wyboru przyrządów do testów. Potrzebne wielkości prądów i napięć dla różnych stanów baterii mierzono z krokiem czasowym 1 s. W pomiarach wprowadzono sterowanie czasowe baterią kondensatorów, dla identyfikacji stanu baterii. To działanie ułatwiło analizę otrzymanych przebiegów. Przedstawione wyniki są starannie przedstawione i są bardziej czytelne.

Rozdział 6. jest ważnym fragmentem pracy, gdyż przedstawia proponowaną przez Autora metodę wyznaczania maksymalnej wartości wybranej harmonicznej prądu filtra. Sam opis metody niewiele odbiega od pierwotnej wersji. Podstawą metody jest schemat zastępczy i opisujący go model matematyczny rozważanego układu dla wybranej h-tej harmonicznej. Z rozwiązania równań modelu wynikają zależności umożliwiające wyznaczenie maksymalnego prądu filtra na podstawie pomierzonych wielkości napięć i prądów dla dwóch różnych stanów baterii kondensatorów. W poprawionej wersji pracy sprecyzowano założenia przyjęte do modelu. Jednym z nich jest pominięcie wpływu zniekształcenia napięcia sieci zasilającej. Przy takim założeniu, przedstawiony na rys. 6.3 i 6.4 schemat zastępczy dla h-tej harmonicznej nie jest poprawny, gdyż źródło napięciowe nie powinno w nim występować, a zwrot h-tej harmonicznej prądu sieci powinien być przeciwny. Ponadto, przy braku źródła napięciowego dla h-tej harmonicznej trudno mówić o zastosowaniu twierdzenia Nortona w celu wyznaczenia prądu filtra. Ponieważ w tekście pracy Autor wyjaśnia, że napięcie zasilające zawiera tylko pierwszą harmoniczną i nie uwzględnia istnienia źródła h-tej

harmonicznej przy wyprowadzaniu wzorów, więc można uznać, że obecność źródła napięcia na schemacie wynika z braku korekty rysunku z poprzedniej wersji pracy.

Autor dokonuje analizy obwodu w celu wyznaczenia admitancji odbiorników dla h-tej harmonicznej oraz prądu h-tej harmonicznej źródła na podstawie znanych (zmierzonych) wartości prądów i napięć. Równania wyjściowe są identyczne jak w poprzedniej wersji pracy, ale postać końcowa rozwiązania jest nieco inna. Pomijając nieścisłość schematu zastępczego, zastosowane podejście i sposób wyprowadzenia równań można uznać za poprawne.

W rozdziale 7. Autor opisał aplikację komputerową, która umożliwia zautomatyzowanie obliczeń prądu filtra przy wykorzystaniu zbioru zarejestrowanych pomiarów. Opis w dużej mierze pozostał niezmienny w stosunku do poprzedniej wersji pracy, natomiast zmianie uległ schemat blokowy zastosowanego algorytmu. Wprowadzono słuszne kryterium porównania stanów baterii oraz kryterium sprawdzania niezmienności obciążenia, konieczne do prawidłowego wyboru próbek do obliczeń, ale brakuje wyjaśnień w jaki sposób sprawdzane są te kryteria. Sposobu doboru próbek nie wyjaśnia też zestawienie danych pokazane na rys. 7.4.

Rozdział 8. dotyczy weryfikacji opracowanej metody. Zamieszczono w nim porównanie wyników obliczeń 5. harmonicznej filtra pasywnego w układzie z wyłączonym filtrem, według opracowanej metody, z pomiarami tej harmonicznej wykonanymi po załączeniu filtra w wybranych obiektach przemysłowych. Wyniki porównania wskazują na akceptowalne różnice pomiędzy obliczonymi i pomierzonymi wartościami maksymalnymi prądu filtra. Interesujące byłoby porównanie 5-tej harmonicznej prądów zmierzonych w polu baterii i polu zasilającym oraz napięć 5-tej harmonicznej w układzie z zainstalowanym filtrem i bez filtra.

W rozdziale 9. została przedstawiona analiza statystyczna zbioru wyników otrzymanych z obliczeń prądu filtra proponowaną przez Doktoranta metodą. W kolejnym rozdziale omówiono możliwości wykorzystania metody w projektowaniu filtrów. Opis jest skrótowy (rozdział zawiera tylko 3 strony) i sprowadza się do stwierdzenia, że wartość maksymalna prądu filtrowanej harmonicznej, na jaką można zaprojektować filtr jest równa wartości obliczonej za pomocą proponowanej metody pomniejszonej o 5%, ze względu na założoną 5% przeciążalność. Dodatkowo, z analizy rozkładu wartości Autor wysnuwa wniosek, czy celowy jest podział filtra na człony.

Przedstawienie sposobu wykorzystania zaprezentowanej w rozprawie metody do projektowania filtrów pasywnych pozostawia pewien niedosyt. Uważam, że jednoznaczne pokazanie procedury postępowania z podaniem danych, założeń i zależności oraz z odniesieniem do aktualnej praktyki projektowej byłoby dla czytelnika interesujące i podniosłoby wartość pracy.

Pracę zakończono podsumowaniem rozprawy (rozdział 11) i ogólnymi wnioskami (rozdział 12) w niezminionej postaci.

4. Uwagi szczegółowe

Poniżej przedstawiam główne uwagi i pytania merytoryczne, jakie nasuwają się po lekturze pracy.

1. Zgodnie z proponowaną przez Autora metodą, do obliczenia jednej wartości prądu filtra potrzebne są wartości wielkości mierzonych dla dwóch stanów baterii. Czy pary wartości prądu baterii, zestawione w tabeli 7.4, dotyczą dwóch kolejnych pomiarów w

sąsiadujących ze sobą stanach? Jeśli tak, to przy częstotliwości zmian stanu baterii pokazanej na rysunkach 5.6, 5.12 i 5.18, rezultatów obliczeń wartości prądu filtru powinno być znacznie mniej niż wynika to z rys. 7.3 (liczba tych wyników powinna odpowiadać liczbie zmian stanów baterii). Proszę Autora o wyjaśnienie.

2. W jaki sposób w algorytmie obliczeń z rys. 7.1 sprawdzane jest kryterium, czy stan baterii jest różny od poprzedniego?
3. W jaki sposób sprawdzane jest kryterium niezmienności obciążenia w schemacie blokowym z rys. 7.1?
4. Wydaje się, że wyniki uzyskane przy zastosowaniu proponowanej metody zależą w dużej mierze od sposobu wykonania pomiaru, tj. uzyskania danych wejściowych, dla których założenia przyjęte do metody można uznać za słuszne. W tym kontekście nasuwa się pytanie jakie są ograniczenia metody wynikające z przyjętych założeń i jakie warunki muszą być spełnione, aby można było uznać wyniki za wiarygodne?
5. Czy można mówić o „optymalnym” zaprojektowaniu filtra (str. 11, w 20 g), tj. bez ryzyka niedoszacowania, ale też niepotrzebnego przewymiarowania, na podstawie wyników pomiarów przeprowadzonych w ograniczonym czasie, w którym mogą nie wystąpić wszystkie możliwe stany pracy układu?

3. Strona redakcyjna pracy

Szereg moich uwag podanych w recenzji do poprzedniej wersji rozprawy doktorskiej p. Tomasza Biernacika dotyczyło strony redakcyjnej i edytorskiej pracy. Należy stwierdzić, że w poprawionej wersji większość z tych uwag została uwzględniona. Autor skorygował oznaczenia stosowane w metodzie symbolicznej, ujedynolcił oznaczenia wielkości występujących w równaniach oraz oznaczenia elementów na schematach i poprawił błędy językowe wskazane w recenzji jako „wybrane uwagi szczegółowe”. Czytając pracę po raz drugi można jednak zauważyć inne uchybienia, co może świadczyć o tym, korekta pracy pod względem edytorskim nie była dość staranna.

Autor nie skorzystał z sugestii wprowadzenia spisu oznaczeń, co jest praktykowane w opracowaniach z dużą liczbą wzorów. Pomimo wprowadzonych korekt w pracy w dalszym ciągu widoczne są różne oznaczenia tych samych wielkości (przykłady w uwagach szczegółowych zestawionych w załączniku), pozostały też niejednoznaczne oznaczenia, widoczny jest także brak precyzji językowej. Przykładowo, w rozdziale 6.2, słowo „parametry” jest używane w odniesieniu zarówno do impedancji odbioru, jak i napięcia, prądu sieci oraz prądu baterii.

Uchybienia formalne oczywiście nie dyskwalifikują jej osiągnięć, tym niemniej w poprawionej wersji pracy można oczekiwać bardziej starannej korekty pod tym względem.

Niektóre zauważone błędy zamieszczono w załączniku.

5. Wniosek końcowy

Praca doktorska mgr inż. Tomasza Biernacika nie wnosi nowej wiedzy w obszarze naukowym. Jej wartość odnosi się do obszaru praktyki inżynierskiej i polega na przedstawieniu oryginalnego sposobu rozwiązania problemu występującego przy projektowaniu filtrów pasywnych wyższych harmonicznych w sieciach przemysłowych. Zaproponowana przez Autora metoda wyznaczania maksymalnych wartości prądu harmonicznej filtra, na podstawie

wartości prądów i napięć pomierzonych w układzie przed zainstalowaniem filtra, może umożliwić łatwiejsze i dokładniejsze projektowanie filtrów pasywnych wyższych harmonicznych w praktyce.

W stosunku do poprzedniej wersji praca została poprawiona i ulepszona, choć nie wszystkie kwestie zostały dostatecznie dobrze wyjaśnione. Można natomiast stwierdzić, że Autor wykazał się ogólną wiedzą w zakresie filtracji wyższych harmonicznych, wiedzą praktyczną w zakresie pomiarów wielkości elektrycznych oraz umiejętnością samodzielnego prowadzenia i opracowania badań. Można też sądzić, że posiadane doświadczenie pozwoli Autorowi na praktyczne wykorzystanie opracowanej metody.

Moim zdaniem praca w dostatecznym stopniu spełnia wymagania stawiane przez Ustawę z dnia 14.03.2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym w sprawie warunków i trybu przeprowadzania przewodów doktorskich (Dziennik Ustaw nr 65 poz. 595 wraz z późniejszymi zmianami) oraz wymagania rozporządzenia Ministra Edukacji Narodowej i Sportu z dnia 15.01.2004 r. w sprawie szczegółowego trybu przeprowadzenia czynności w przewodzie doktorskim i habilitacyjnym. Wniosuję o dopuszczenie mgr inż. Tomasza Biernacika do dalszych etapów postępowania przewidzianego w przewodach doktorskich.



Załącznik

Wybrane uwagi edytorskie

(w poniższym wykazie przyjęto następujący sposób oznaczania: w – wiersz, g – góra, d – dół)

1. str.12, w 12: „metodologia procesu”?
2. str. 12, w 15: niepoprawnie skonstruowane zdanie
3. str. 15, w 12g: nieprawdą jest, że cyt. „*różnica między mocą pozorną i mocą czynną nazywa się mocą bierną*”
4. str.16, 17: indeks „0” lub „o” używa się zarówno w odniesieniu do składowej stałej - wzór (3.10), jak i prądu obciążenia – (wzór 3.14a)
5. str.25, 44: we wzorach (3.41 – 3.43) w oznaczaniu rzędu harmonicznych stosuje się indeks h, natomiast we wzorze (3.69) i opisie poniżej występuje indeks n
6. str. 23, w 5g: „... generatory produkują energię sinusoidalnie zmienną”?
7. str. 37, rys. 3.2: podpis pod rysunkiem bez sensu, przecinki zostały postawione w niewłaściwych miejscach
8. str. 40, w 7g: „po stronie wtórnej transformatora 3-fazowego otrzymuje się określoną liczbę faz, zwanych tętunami”??
9. str. 47: oznaczenia reaktancji sieci – indeks l czy s? na rys. 3.5 jest H_s , a we wzorze 3.72 jest X_l
10. Str. 52, wzór (3.87): nieprawidłowy zapis „ $IF1 > U$ ”
11. Str. 52, w 2d: moc bierna filtru nie jest większa od mocy biernej baterii kondensatorów w filtrze
12. Str. 53, wzór (3.92): jest $X_F > X_F$, powinno być $X_F > X_L$
13. Str. 54, w 1g: co to znaczy, że „Kompensacja mocy biernej przez filtr zależna jest od kwadratu wahań napięcia sieci zasilającej”. Co kompensacja mocy biernej ma wspólnego z wahaniami napięcia?
14. Str. 149, w3g: co to znaczy, że „bateria kondensatorów jest podatna na sterowanie..”?
15. Str. 150, zał. 7: sformułowanie „pomijam wpływ rezystancji.....w obliczaniu indukcyjności” jest nieprawidłowe.
16. Str. 151, oznaczenia pod rysunkiem: co to jest indukcyjność zastępcza dławika filtru pasywnego?
17. Str. 155, w3d: co to jest $U_{s,h}$? Równanie (6.21) przeczy założeniu 6.