



Prof. dr hab. inż. Yuriy Varetskyy, prof. AGH
Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica
Katedra Podstawowych Problemów Energetyki
30-059 Kraków, al. Mickiewicza 30
tel.: (12) 617 26 85, e-mail: jwarecki@agh.edu.pl



Kraków, 8 czerwca 2020 r.

Powtórna recenzja rozprawy doktorskiej

Wykonana na zlecenie prof. dr hab. inż. Waldemara Rebizanta, dziekana Wydziału Elektrycznego Politechniki Wrocławskiej w piśmie z dnia 25.03.2020 r.

Autor: **mgr inż. Tomasz Biernacik**

Tytuł: **Metoda wyznaczania maksymalnej wartości wybranej harmonicznej prądu filtra pasywnego w przemysłowej sieci elektroenergetycznej**

Niniejsza recenzja przedstawia uwagi dotyczące poprawionej wersji rozprawy. Pierwsza wersja rozprawy została złożona do Rady Wydziału Elektrycznego Politechniki Wrocławskiej i przekazana do oceny w roku 2019. W mojej poprzedniej recenzji doszedłem do wniosku, że pierwsza wersja pracy nie spełniała wymagań stawianych pracom doktorskim i wymagała wyjaśnień i uzupełnienia, które przedstawiłem w podsumowaniu tej recenzji.

1. Dane bibliograficzne poprawionej rozprawy (dalej rozprawy)

Rozprawa zawiera 238 stron. Składa się z 12 rozdziałów w tym spisu literatury obejmującego 141 pozycji oraz spisu tabel i ilustracji.

2. Ogólny pogląd na treść rozprawy oraz jej wartość naukową

Struktura rozprawy uległa zmianie ze względu na układ rozdziałów. Rozdziały 1-4 merytorycznie powtarzają poprzednią wersję pracy.

Rozdział 5 przedstawia wyniki badań w systemach zasilania, które określone w pracy jako ZP1, ZP2, ZP3. Porównując ten rozdział z rozdziałem 6 poprzedniej wersji rozprawy i poświęconym analizie wyników pomiarów w tychże systemach zasilania, należy zwrócić uwagę, że zostały przedstawione nowe wyniki pomiarów w układach systemów zasilania poddanych modernizacji. Jak wskazuje Autor, spowodowano to wymianą transformatorów zasilających oraz zwiększeniem i modernizacją parku maszynowego wytypowanych do badań zakładów przemysłowych. Charakterystyka analizatorów przeniesiona została do dodatków. Wyniki pomiarów są dokładnie opisane i czytelnie charakteryzują problem harmonicznych w badanych zakładach.

Rozdział 6, który przedstawia proponowaną przez Autora metodę wyznaczania maksymalnej wartości wybranej harmonicznej prądu filtra, został znacznie polepszony merytorycznie. Czytelnie podano zasadnicze założenia, poprawiono niedokładności i błędy poprzedniej wersji.

Rozdział 7 daje opis implementacji opracowanego przez Autora modelu i powtarza zasadniczo rozdział 8 poprzedniej wersji rozprawy. Dane arkusza pomiarów, wykorzystywane

do modelu sporządzono w bardziej racjonalny sposób. Jak widać z przedstawionego na rysunku 7.2 widoku okna głównego, program, w porównaniu z poprzednią wersją, daje możliwość dodatkowego uwzględnienia w obliczeniach parametrów sieci i filtru.

W rozdziałach 8 i 9 przedstawiono wyniki weryfikacji opracowanej metody oraz analiza statystyczna wyników.

Potwierdzam, że zagadnienia podjęte w pracy są aktualne, mają naukowe i praktyczne uzasadnienie.

3. Charakterystyka rozprawy

Zgadza się z poprzednią oceną pracy.

4. Uwagi merytoryczne i szczegółowe

Rozdział 3:

Str. 14,16: Powtarzanie ostatniego zdania 1 akapitu ze str.14 na str. 16, 1 akapit

Str. 14: Błędne twierdzenie „Jeżeli $f_1(x)$ to funkcja odpowiadająca napięciu, a $f_2(x)$ to funkcja odpowiadająca prądowi, to w przypadku gdy $f_1(x) = f_2(x)$, wzór (3.2) określa moc czynną ...”?!

Str. 23: Błędne twierdzenie „Sieć jest zasilana z generatorów synchronicznych produkujących *energię sinusoidalnie zmienną*, więc *w celu zapewnienia odpowiedniego współczynnika mocy, sieć powinna być obciążona odbiornikami o prądach sinusoidalnie zmiennych, będących w fazie z przebiegami napięć*”?!

Str. 30: Nie podano wyjaśnienia dla licznika wzoru (3.60). Ponieważ we wszystkich wzorach Autor oznacza przez u wartość chwilową (funkcję czasową), to można zrozumieć, że wartość licznika jest równa wartości szczytowej U_m , jak to określił Autor (patrz str.29).

Str. 37: Absurdalny podpis do rysunku 3.2, który nie ma sensu w odniesieniu do rzeczywistych ilustracji tego rysunku.

Str.49: Błędy we wzorach (3.76), (3.77) w odniesieniu do rysunku 3.6. W poprzedniej wersji pracy nie było tego błędu! To samo dotyczy wzoru (3.74) na str.48.

Str.50: Błędne określenie wzoru (3.81).

Str.51: Co oznacza Autor przez wielkość U_f we wzorze (3.83)?

Str.52: Błąd w drugiej części wzoru (3.87).

Str.52: Błędne twierdzenie w ostatnim akapicie tej strony, które spowodowane jest błędnym tłumaczeniem wzoru (3.90):

jeśli oznaczymy moc bierną (roboczą) fazy filtru jako

$$Q_F = U \cdot I_{F1} = \frac{U^2}{X_{CF}} \cdot \frac{v_F^2}{v_F^2 - 1},$$

a moc bierną (roboczą) fazy kondensatorów filtru jako

$$Q_{C1} = U_{C1} \cdot I_{F1} = \left(U \cdot \frac{v_F^2}{v_F^2 - 1} \right) \cdot \left(\frac{U}{X_{CF}} \cdot \frac{v_F^2}{v_F^2 - 1} \right) = \frac{U^2}{X_{CF}} \cdot \left(\frac{v_F^2}{v_F^2 - 1} \right)^2,$$

to staje się oczywista błędność tego twierdzenia.

Rozdział 4:

Str. 60: Nie jest jasne, o jaką zależność (lub niezależność) od ω , i których parametrów schematu zastępczego z rys.4.1, chodzi podczas porównania przedstawionych na rys.4.2 charakterystyk częstotliwościowych impedancji wejściowej. Przecież indukcyjne i pojemnościowe impedancje są zależne od ω .

Str. 70: Błędy we wzorach (4.19), (4.20).

Rozdział 6:

Str. 151: W opracowanym modelu Autor zakłada (p.6) pomijanie odkształcenia napięcia zasilającego. Jeśli rozptyw prądów wymuszony jest wyłącznie przez źródło prądu harmonicznego, dlaczego został przyjęty niewłaściwy kierunek prądu harmonicznego sieci $i_{s,h}$? Powoduje to błędny bilans prądów we wzorach (6.4), (6.5) i dalej. Podstawiając rzeczywiste wektory prądów z pomiarów, spowoduje to następnie błędne wyniki odliczeń.

Str. 155: Po co we wzorach (6.21), (6.22) i (6.28) omawiać harmoniczną składową napięcia zasilającego, skoro w założeniach (p.6) jest ono pomijane w modelu?

Str. 161: Dlaczego w przykładzie obliczeniowym wśród danych z pomiarów (rozumiem, że układ pomiarowy jest zgodny z rys.5.1, str.118) obserwujemy pojemnościowy charakter prądu 5-j harmonicznego $I_{s,h}$ względem napięcia tej harmonicznego na szynie $U_{AB,h}$ ($U_{AB,h} = 7,61e^{j96^\circ}$ i $I_{s,h} = 173,24e^{j177,51^\circ}$)? Jest to niezgodne z fizycznymi prawami elektrotechniki, ponieważ prąd w indukcyjności musi być opóźniony w stosunku do napięcia na jej zaciskach o 90° . Jeśli w badanym układzie wykorzystano strojenie baterii poniżej 5-j harmonicznego (jak o tym w poprzednich rozdziałach wspomina Autor) to prąd 5-j harmonicznego dla tego układu musi mieć też charakter indukcyjny, co jest zgodne z prawami elektrotechniki i jak widać, potwierdzają to dane z pomiarów przytoczone dla tego przykładu ($I_{b,h} = 29,17e^{j12,04^\circ}$). Proszę autora o wyjaśnienie tej rozbieżności, ponieważ wówczas zastosowanie opracowanego własnego modelu może prowadzić do niepoprawnych wyników.

Rozdział 8:

Przedstawiając porównanie wyników symulacji i rejestracji prądów piątej harmonicznego filtru dla wytypowanych układów, Autor podaje zależności wartości tych prądów, jako funkcje różnych argumentów. Dla symulacji są to zależności od numeru iteracji, a dla pomiarów - od czasu. Wykorzystanie terminu „iteracja” w przypadku przedstawionego w programie algorytmu nie jest zupełnie odpowiednie, ponieważ „iteracja jest to powtórzenie procesu obliczeń w celu wygenerowania sekwencji wyników, gdy celem procesu jest spełnienie określonego warunku, i każde powtórzenie procesu, jako pojedynczą iteracją, wykorzystuje do następnej iteracji wynik poprzedniej iteracji”.

O ile warunki pracy urządzeń przemysłowych w porównywanych przypadkach były inne, to porównanie sprowadza się wyłącznie do oceny rozpiętości maksymalnych wartości prądów harmonicznego w wytypowanym okresie czasowym. Na podobieństwo takiego rodzaju wskazuje Autor. W związku z tym nasuwa się pytanie: „Czy ma sens porównanie w taki sposób obu wyników? Czy nie bardziej uzasadnionym podejściem byłoby porównanie statystycznych charakterystyk prądu harmonicznego filtru?”

5. Ocena ogólna i wniosek końcowy

Uważam, że w ujęciu naukowym rozprawa nie wykazuje nowych naukowych rozwiązań w dziedzinie problemu harmonicznych w sieciach elektroenergetycznych. Natomiast można stwierdzić, że rozprawa zawiera oryginalną ideę obliczania maksymalnej wartości harmonicznej prądu projektowanego filtra w systemie zasilania układu przemysłowego, bazując na wynikach analizy napięcia i prądów tej harmonicznej w układzie bez filtra. Może to posłużyć do opacowania praktycznej metody obliczeniowej w procedurach doboru i projektowania filtrów harmonicznych dla układów przemysłowych.

Zmieniona wersja rozprawy jednoznacznie w bardziej czytelny i poprawny sposób przedstawia teoretyczne zasady, założenia oraz wyniki badań terenowych i symulacji. Niektóre kwestie nie zostały w pełni wyjaśnione.

Uważam, że praca doktorska mgr inż. Tomasza Biernacika zgodnie z wymaganiem, stawianych przez Ustawę z 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dziennik Ustaw nr 65 poz. 595 wraz z późniejszymi zmianami) oraz rozporządzenie Ministra Edukacji Narodowej i Sportu z dnia 15 stycznia 2004 r. w sprawie szczegółowego trybu przeprowadzenia czynności w przewodzie doktorskim i habilitacyjnym, stanowi „...oryginalne rozwiązanie problemu w oparciu o opracowanie projektowe...”(Art.13.1).

Autor wykazał się dużą praktyczną wiedzą oraz znajomością metod badań w dziedzinie jakości energii elektrycznej, a w szczególności w kwestiach doboru aparatury pomiarowej i organizacji pomiarów. Kwalifikacje Autora podczas przeprowadzenia analizy wyników pomiarów, doboru metod obliczeniowych oraz ich praktycznej realizacji nie ulegają wątpliwości. Dlatego wnioskuję o dopuszczenie mgr inż. Tomasza Biernacika do dalszych etapów postępowania przewidzianego w przewodach doktorskich.

Prof. dr hab. inż. Y. VARETSKY

