

Instytut Mechatroniki i Systemów Informatycznych
Politechnika Łódzka
ul. Stefanowskiego 18/22
90-924 Łódź

R E C E N Z J A

rozprawy doktorskiej pt.: „**OBLICZANIE POLA I REGULACJA PRĄDU W TRANSFORMATORZE ROZPROSZENIOWYM**” autorstwa mgr inż. Dawida Webera

Recenzja została wykonana na zlecenie Rady Naukowej Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Opolskiej. Praca promocyjna została dostarczona w dniu 12 lipca 2023. Liczy łącznie 155 stron, zawierających wstęp, 10 rozdziałów, wnioski końcowe, bibliografię zawierającą 96 pozycji, 9 załączników i streszczenie.

- 1. Jakie zagadnienie naukowe jest rozpatrzone w pracy (teza rozprawy) i czy zostało ono dostatecznie jasno sformułowane przez Autora? Jaki charakter ma rozprawa (teoretyczny, doświadczalny, inny)?**

Praca doktorska mgr inż. Dawida Webera dotyczy projektu transformatorów o podwyższonej reaktancji rozproszenia, które charakteryzują się ograniczaniem prądu uzwojenia wtórnego przy obciążeniach nieliniowych. Są to transformatory specjalne. Ze względu na duże rozproszenie pola magnetycznego, są stosowane do zasilania układów pracujących w stanie bliskim zwarcia.

Transformatory rozproszeniowe różnią się konstrukcyjnie zależnie od kierunku rozchodzenia się części głównej strumienia magnetycznego. Wykonane w ramach pracy badania obejmowały zarówno część obliczeniową, jak również eksperymentalną na obiektach fizycznych o rozproszeniu radialnym i rozproszeniu osiowym. W części obliczeniowej Autor w oparciu o równania Maxwella rozwiązał zagadnienie rozpoznania rozkładów pola magnetycznego przy różnych położeniach boczników przy zastosowaniu trójwymiarowej metody elementów skończonych.

W rozdziale 2 Autor formułuje tezę:

Rozwiązanie trójwymiarowego zagadnienia brzegowego pozwala na symulację pola magnetycznego transformatora rozproszeniowego z uwzględnieniem różnych położzeń bocznika magnetycznego i określenie parametrów całkowych niezbędnych do wyznaczenia charakterystyk statycznych i dynamicznych transformatorów rozproszeniowych w całym zakresie położzeń ich boczników.

Teza ma charakter jasny i klarowny.

Przedstawiona do oceny praca ma charakter projektowo-konstrukcyjny.

- 2. Czy w rozprawie przeprowadzono w sposób właściwy analizę źródeł (tym literatury Światowej, stanu wiedzy i zastosowań w przemyśle) świadczący o dostatecznej wiedzy Autora? Czy wnioski z przeglądu źródeł sformułowano w sposób jasny i przekonujący?**

E. Leśniewska

We wstępie Autor przeprowadza analizę stanu wiedzy na temat transformatorów rozproszeniowych przedstawioną w literaturze. Praca zawiera odnośniki do 96 pozycji literatury (z czego 54 to czasopism i konferencje zagraniczne) w zakresie obecnego stanu wiedzy. Również bierze pod uwagę rozporządzenia wydawane przez Unię Europejską dotyczących podnoszenia efektywności pracy transformatorów (pozycje X1-X3), które prowadzą do permanentnych badań mających na celu podwyższenie sprawności transformatorów, a szczególnie transformatorów specjalnych.

Transformatory rozproszeniowe są wykorzystywane jako niezawodne źródła zasilania w branży samochodowej, morskiej, medycynie oraz górnictwie, ze względu na duże rozproszenie pola magnetycznego, zasilają układy pracujące w stanie bliskim zwarcia, czyli transformatory do rozruchu samochodów, zgrzewarki, lutownice i transformatory spawalnicze.

Wnioski z przeglądu źródeł są sformułowane w sposób jasny i Autor je wykorzystał w swojej pracy. Sądzę, że to świadczą o dostatecznej wiedzy Autora.

Natomiast brakuje w spisie literatury kilku pozycji związanych bezpośrednio z obliczaniem reaktancji rozproszenia transformatorów, przykładowo:

Autorzy Kamran Dawood, M. Çınar, B. Alboyaci, Olus Sonmez "Modelling and analysis of transformer using numerical and analytical methods" stosują podobną metodę jak Doktorant do obliczania reaktancji rozproszenia, a także gęstości strumienia magnetycznego, strat w żelazie, energii, siły promieniowej i osiowej, ale dla 3fazowego transformatora mocy za pomocą tego samego oprogramowania ANSYS Maxwell® i metody analitycznej.

3. Czy Autor rozwiązał postawione zagadnienie i czy użył właściwej do tego metody i czy przyjęte założenia są uzasadnione?

Celem przedstawionej pracy jest rozwiązanie konkretnego problemu naukowego i technicznego. Głównym celem było wykonanie modeli matematycznych dwóch konstrukcji transformatorów rozproszeniowych do symulacji podstawowych charakterystyk i ich weryfikacja pomiarowa.

Autor podjął się trudnego zadania analizy zjawisk elektromagnetycznych i wykorzystał do tego wynikające z praw Maxwella równanie dla potencjału wektorowego. Równanie zostały przez niego rozwiązane przy zastosowaniu trójwymiarowej metody elementów skończonych w połączeniu z metodą analityczną.

Autor wykorzystuje do obliczeń moduł Magnetostatic 3D programu Maxwell firmy ANSYS i równania różniczkowe transformatora jednofazowego implementowane w środowisku MATLAB/Simulink tworząc w ten sposób model polowo-obwodowy transformatora.

Do tego typu rozwiązania wymagana jest pełna trójwymiarowa analiza czasoprzestrzenna obwodu polowego. Programy np. OPERA i inne programy, a nawet Maxwell firmy ANSYS wyposażone są w moduły, które pozwalają na wyznaczenie charakterystyk pracy transformatora rozproszeniowego oraz jego dynamiki pracy.

W artykule „Analysis of Leakage Flux in Large Transformer by Using Field-Circuit Coupled Finite Element Method” autor Guohua Ding zastosował właśnie moduł programu ANSYS do rozwiązania podobnego problemu dla transformatora 3-fazowego zasilanego napięciem sinusoidalnym 20 kV. Tak, że trudno powiedzieć, że wybór metody zastosowanej przez Autora był optymalny.

Dodatkowo należy stwierdzić, że chociaż metoda wykorzystywana przez doktoranta jest w pełni prawidłowa, to jednak obecnie standardem (dostępnym również w Ansys Maxwell) są elementy krawędziowe i opis pola za pomocą magnetycznego

E. Leinert

potencjału wektorowego (co eliminuje problemy związane ze stosowaniem potencjałów skalarnych).

Natomiast Doktorant wykonał swoje zadanie i wyniku pracochłonnych obliczeń wyznaczył zarówno charakterystyki statyczne jak dynamiczne dla prądów i napięć badanych transformatorów przy zmianie położenia boczników magnetycznych.

4. Na czym polega oryginalność rozprawy, co stanowi samodzielny i oryginalny dorobek Autora, jaka jest pozycja rozprawy w stosunku do stanu wiedzy czy poziomu techniki reprezentowanych przez literaturę światową?

Oryginalność pracy polega na (nie wykonanej dotychczas pracy ani w kraju, ani za granicą) kompleksowej analizie transformatorów o wysokiej reaktancji rozproszenia z uwzględnieniem zmiany pozycji bocznika magnetycznego. Ponadto oba typy transformatora rozproszeniowego analizowane w pracy zostały zbudowane oraz przebadane pod kątem funkcjonalności.

Autor rozprawy, poprawnie wykorzystał istniejącą wiedzę w zakresie teorii pola elektromagnetycznego do analizy zjawisk elektromagnetycznych w transformatorach rozproszeniowych. Wykorzystał również własną wiedzę ekspercką na etapie tworzenia zbioru modeli urządzeń rzeczywistych, którą nabył w trakcie pracy w fabryce transformatorów Hitachi Energy Sp. z o. o.

Doktorant przeanalizował różne warianty konstrukcyjne transformatorów rozproszeniowych (o rozproszeniu osiowym i promieniowym) w dużym zakresie położenia ich boczników, aż do wysunięcia bocznika z okna transformatora (od 0 do 95 mm).

W ramach pracy zbudował oraz przebadał pod kątem funkcjonalności dwa układy udoskonalające pracę transformatorów specjalnych. Układ automatycznej regulacji prądu, który umożliwia precyzyjne i powtarzalne pozycjonowanie bocznika w oknie transformatora, a także układ automatycznie obniżający napięcie strony wtórnej transformatora.

5. Czy Autor wykazał się umiejętnością poprawnego i przekonującego przedstawienia uzyskanych przez siebie wyników (zwięzłość, jasność, poprawność redakcyjna)?

Rozdział 4 wg. Doktoranta ma zawierać „Matematyczny opis 3-wymiarowego pola magnetycznego w transformatorach”. Do tego rozdziału mam największe zastrzeżenia.

Autor pisze dużo na temat podziału obszaru na elementy, i podaje oczywiste wzory takie jak (4.29), (4.34), zajmuje się też faktem oczywistym, że obliczenia całości układu i $\frac{1}{4}$ układu zgodnie z osiami symetrii i antysymetrii dają takie same wyniki (rys. 5.6 i 6.9- błędy na poziomie setnych procenta), a nie stara się podać i wyjaśnić istotnych spraw:

- a. czy można wartości indukcyjności rozproszenia obliczyć z rozkładu pola przy prądzie stałym
- b. nie jest jasno powiedziane, jak były wykonane obliczenia połowe; przy równowadze amperozwojów czy w stanie zwarcia i dlaczego
- c. czy wartość prądu ma znaczenie, jeżeli nie to, dlaczego (zostały wykonane przy założeniu prądu stałego i nie wiadomo jakiej wartości: w tabeli jest wartość znamionowa prądu 12,5 A, a są dwie cewki po 350 zw, czyli przepływ jednej cewki 4375 Azw, tymczasem obliczenia wykonano przy 2450 Azw, a badania przy 700 Azw

g. Liniowski

- d. dlaczego pomiary wykonano w stanie zwarcia pomiarowego, a nie równowagi amperozwojów, dlaczego nie wyznaczono z pomiarów indukcyjności rozproszenia

Proszę, aby Doktorant odpowiedział na te pytania pisemnie.

6. Jakie są słabe strony rozprawy i jej główne wady?

Autor stosuje bezosobową formę narracji: zrobiono, wykonano, zbadano. Cała praca jest napisana w stronie biernej. Taka konwencja jest niezbyt dobra, ponieważ nie pokazuje istotnego wkładu Autora, czyniąc go częścią jakiegoś nieokreślonego bliżej zespołu naukowego.

A przecież Doktorant wykazał wiedzę w dziedzinie teorii pola elektromagnetycznego, obliczeń numerycznych i eksperymentalnej i można sądzić, że praca jest oryginalna i samodzielna. *Proszę jednak, aby przygotował potwierdzenie, w którym jednoznacznie opisz swój wkład do przedstawionej pracy doktorskiej.* Będzie to uzupełnienie, które jednoznacznie wskaże duży wkład Doktoranta i jego wiedzę w powyżej wskazanych dziedzinach.

Uważam, że liczby zastosowanych elementów nie są specjalnie duże, a dokładność obliczeń ściśle zależy od liczby elementów, jeżeli można było zastosować $\frac{1}{4}$ układu to należało zwiększyć liczbę równań.

Uwagi szczegółowe:

Str. 27 Literą Ω oznaczony został zarówno magnetyczny potencjał skalarny jak i podobszary obiektu

Str. 17 i 21 dane transformatorów: Doktorant w Tabeli 3.1 podał dane znamionowe transformatora o rozproszeniu osiowym, a w Tabeli 3.2 wartości maksymalne prądów transformatora o rozproszeniu promieniowym,

Str. 17, 21, 56 jednostki wielkości elektrycznych podano nieprawidłowo w nawiasach

Str. 108 tekst: „Wartość kąta w której najkorzystniej jest załączyć transformator może być obliczona przy pomocy równania (Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania.).”?

7. Jaka jest przydatność rozprawy dla nauk technicznych?

Przedstawiona rozprawa doktorska stanowi rozwiązanie interesującego dla praktyki przemysłowej problemu naukowego w dyscyplinie automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne. Wyniki badań będą wykorzystane w praktyce inżynierskiej Doktoranta, pracującego w firmie produkującej transformatory- Hitachi Energy.

Doktorant dodatkowo wykonał prototyp układu samoczynnej regulacji prądu w transformatorze o rozproszeniu radialnym i układ obniżający napięcie w transformatorach rozproszeniowych.

8. Do której z następujących kategorii Recenzent zalicza rozprawę:

- Niespełniająca wymagań stawianym rozprawom doktorskim przez obowiązujące przepisy,
- Wymagająca wprowadzenia poprawek,
- Spełniająca wymagania,
- Spełniająca wymagania z wyraźnym nadmiarem,

E. Lesniak

e) Wybitnie dobra, zasługująca na wyróżnienie.

Spełniająca wymagania

Podsumowanie

Autor rozprawy doktorskiej projektowo-konstrukcyjnej pt. „Obliczanie Pola i Regulacja Prądu w Transformatorze Rozproszonym” Pan mgr. inż. Dawid Weber wykazał się umiejętnością do prowadzenia twórczej pracy badawczej z wykorzystaniem metod naukowych. Trzeba też podkreślić, że doktorant pokazuje wysoki poziom ogólnej wiedzy teoretycznej.

Mimo uwag, stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr inż. Dawida Weber spełnia wymagania stawiane przez Ustawę z dnia 20 lipca 2018 roku Prawo o Szkolnictwie Wyższym i Nauce (Dz.U. z 2020 r. poz.85 z późn. zm.) i w związku z tym stawiam wniosek o dopuszczenie jej do publicznej dyskusji i obrony.



Łódź 21.08.2023

Elżbieta Leśniewska-Komeza