

Prof. dr hab. inż. Bronisław Z. TOMCZUK, prof. Zw. PO
Katedra Elektrotechniki i Mechatroniki
Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki
Politechnika Opolska
ul. Prószkowska 76, 45-758 Opole
tel.: (77) 4498029, fax.: (77) 4498016
e-mail: b.tomczuk@po.opole.pl

Opole, 30.01.2017

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Aleksandra LEICHTA
pt. „**Analiza stanów dynamicznych i ustalonych jednofazowego samowzbudnego generatora indukcyjnego**”, wykonanej pod kierunkiem dr hab. inż. Krzysztofa Makowskiego, profesora Politechniki Wrocławskiej

Podstawa prawna: Pismo W-5/ 31 72 /2016, DZIEKANA Wydziału Elektrycznego Politechniki Wrocławskiej, prof. dr hab. inż. Waldemara REBIZANTA z dnia 1.12.2016

1. Krótki opis zawartości recenzowanej rozprawy

150-stronicowa praca doktorska, składa się z 7 rozdziałów i liczącego 98 pozycji spisu literatury. Liczący 15 stron wstęp obszernie opisuje stan zagadnienia na tle przeglądu literatury.

Pierwszy rozdział zawiera wprowadzenie ogólne dotyczące generatorów indukcyjnych (trójfazowych i jednofazowych), które przedstawia obecny stan zagadnienia modelowania tych generatorów oraz formułuje cel i zakres pracy doktorskiej.

W drugim rozdziale opisano: obiekt i zakres badań oraz stanowisko do weryfikacji pomiarowej symulowanych charakterystyk generatora.

W rozdziale trzecim opisano model obwodowy i polowo-obwodowy do wyznaczania charakterystyk jednofazowego samowzbudnego generatora jednofazowego (JSGI).

Rozdział czwarty zawiera analizę samowzbudzenia generatora indukcyjnego i wpływ otwarcia żłobków wirnika na charakterystyki biegu jałowego generatora.

Rozdział piąty dotyczy analizy polowo-obwodowej stanów ustalonych generatora oraz weryfikacji pomiarowej tych charakterystyk.

Rozdział szósty dotyczy symulacji przebiegów prądu i napięcia oraz wyniki badań eksperymentalnych w stanie zwarcia generatora.

Rozdział siódmy obejmuje wnioski oraz plan dalszych badań w celu optymalizacji konstrukcji jednofazowych generatorów indukcyjnych.

2. Ocena tematu i tez naukowych rozprawy

2.1 Dobór tematu i celowość podjęcia pracy

Dobór tematu:

Tematyka rozprawy dotyczy modelowania matematycznego i weryfikacji pomiarowej maszyn indukcyjnych. Stanowią one liczną klasę maszyn elektrycznych i dlatego były przedmiotem wielu prac zwartych. Z krajowych prac można wymienić książki profesorów: W. Paszka, A. Puchały, T. Sobczyka, P. Wacha. Większość publikacji naukowych dotyczy pracy silnikowej tych maszyn. Dlatego też opiniowana rozprawa doktorska, traktująca o pracy prądnicowej jednofazowej maszyny indukcyjnej z

kondensatorową fazą rozruchową, stanowi rozwinięcie możliwości zastosowania tej stosunkowo prostej w budowie maszyny klatkowej.

Ocena tematu pracy:

Pierścieniowe maszyny indukcyjne, w latach osiemdziesiątych i 90tych XX wieku, były analizowane pod kątem wykorzystania ich w małych elektrowniach pracujących autonomicznie na sieć wyspową lub jako generatory energii oddające moc do sieci sztywnej.

Maszyna klatkowa, którą rozważa Autor w rozprawie, jest stosunkowo tania i niezawodna. Jednakże, brak oddzielnego uzwojenia do generowania pola magnetycznego powoduje, że moc bierna musi być dostarczona z sieci lub z kondensatorów. Nie stanowi to większego problemu w przypadku elektronicznego systemu przełączającego dodatkowe kondensatory.

Prostota konstrukcji jednofazowych generatorów indukcyjnych (JSGI) oraz łatwość ich wytwarzania, na bazie oprzyrządowania do produkcji silników indukcyjnych, mogą zachęcać do dalszego ich rozwoju. Autor rozprawy podejmuje tematykę polepszenia samowzbudzenia (poprzez otwarcie żłobków wirnika) oraz ulepszenia charakterystyk obciążenia.

Ze względu na powyższe oraz tematykę rozprawy, która jest ukierunkowana na problematykę symulacji i weryfikacji pomiarowej charakterystyk JSGI, w celu ich wykorzystania w projektowaniu tego typu generatorów jednofazowych **uważam, że temat pracy jest ważny zarówno pod względem naukowym, jak również poznawczym i konstrukcyjnym.**

2.2 Cel i tezy pracy

We wstępie (rozdział 1) Autor opisał zawartość rozprawy (rozdział 1.1), dokonał przeglądu zagadnienia modelowania generatorów indukcyjnych (rozdział 1.2) oraz sformułował cele i zakres pracy (rozdział 1.3).

W rozdziale 1.3 podano **cel pracy**. Celem jest „*analiza możliwości zastosowania jednofazowej maszyny indukcyjnej, zaprojektowanej jako jednofazowy silnik indukcyjny z pomocniczym uzwojeniem kondensatorowym silnika indukcyjnego do autonomicznej pracy generatorowej*”. Uważam, że dodanie informacji że „*maszyna została zaprojektowana jako silnik*” jest tutaj zbędne. Wprawdzie Autor przeprowadza badania na rzeczywistym egzemplarzu silnika SEhR 90-4S produkcji „Besel” w Brzegu, lecz podaje wiele możliwości zmian konstrukcyjnych w celu wykorzystania tej maszyny w charakterze prądnicy.

Autor rozprawy **postawił dwie tezy**. **Pierwsza dotyczy ułatwienia samowzbudzenia poprzez zastosowanie półzamkniętych żłobków wirnika. Druga dotyczy zastosowania szeregowo - równoległego połączenia kondensatorów z uzwojeniem głównym stojana JSGI**, w celu wykorzystania maszyny w pełnym zakresie mocy obciążenia. Słowo „*mocy*”, jest tutaj zbędne, bowiem pełny zakres obciążenia już tu uwzględnia.

Udowodnienie w/w tez wymagało **osiągnięcia celów pośrednich**, które Autor słusznie nazywa zagadnieniami, jakie rozwiązał. Dotyczy to **implementacji modelu „d q”** do symulacji stanów przejściowych i ustalonych generatora oraz **zastosowania teorii pól wirujących** do analizy jego stanów ustalonych. Bardzo istotne jest **opracowanie modelu polowo-obwodowego** JSGI za pomocą, którego Autor analizował stany przejściowe maszyny.

3. Uwagi ogólne na tle charakterystyki rozprawy

We wprowadzeniu (rozdział 1) Autor przybliży czytelnika do tematyki pracy oraz opisuje bardzo zwięźle jej zawartość. Pozytywnie znajduję również podrozdział 1.2

dotyczący przeglądu literaturowego w zakresie modelowania charakterystyk pracy generatora (JSGI), a w tym charakterystyk samowzbudzenia. **Wykazuje on celowość podjęcia pracy.**

Własności dynamiczne silników indukcyjnych zależą od przestrzennego rozkładu pola magnetycznego w szczelinie powietrznej maszyny, na co ma bezpośredni wpływ sposób uzłobkowania. Dlatego też Autor stawia **1szą tezę pracy: zastosowanie żłobków półzamkniętych ułatwia samowzbudzenie generatora.** Biorąc pod uwagę możliwość różnego połączenia kondensatorów z uzw. głównym, **w drugiej tezie stwierdzono, że połączenie szeregowo-równoległe kondensatorów pozwala wykorzystać maszynę w pełnym zakresie obciążenia.**

Autor niezbyt precyzyjnie sformułował **cele pośrednie pracy** (podrozdział 1.3), a w nich opis założeń do aplikacji modeli matematycznych. Dotyczy to zastosowania modelu „dq” do analizy stanów nieustalonych. Zwykle, zastosowanie modelu „dq” dotyczy stanu ustalonego, przy założeniu pola pulsującego. Jak podkreślono na stronie 33 rozprawy, pominięto wyższe harmoniczne pola. Dotyczy to również stosowania teorii pól wirujących do analizy stanów przejściowych. Pominięto odmiennosć obwodów magnetycznych dotyczących uzwojenia głównego i uzwojenia pomocniczego, wynikającą głównie z różnej liczby żłobków, które zajmują te uzwojenia. Chociaż krzywe magnesowania w osiach d i q mogą być odmienne, to przyjęcie tej samej charakterystyki magnesowania nie powoduje znaczących błędów.

Model obwodowy (podrozdział 3.1) do symulacji charakterystyk JSGI **daje stosunkowo niezłe wyniki.** Autor w przyszłych badaniach **mógłby go uzupełnić uwzględniając wyższe harmoniczne przestrzennego rozkładu siły magnetomotorycznej i tym samym rozkładu indukcji.** Przykładowo, na rys.3.3 do 3.5 a) widoczne jest skokowe przejście napięcia od samowzbudzenia do obciążenia, co może być nie tylko wynikiem zgrubnej dyskretyzacji czasu, lecz także niezbyt dokładnym obliczaniem strumieni magnetycznych. W modelowaniu z wykorzystaniem osi „d q” Autor wyznacza jednoznacznie krzywą magnesowania w postaci zależności strumienia głównego Ψ i prądu magnesowania i_m . Jednakże, charakterystykę $U_g = f(X_m)$ silnika SEhR 90-4S (rys.3.9) trudno nazwać charakterystyką magnesowania, chociaż wygodniej ją stosować. Należałoby wyjaśnić, dlaczego nie przyjęto często stosowanej w obliczeniach połowych charakterystyki B/H .

Charakterystyki zewnętrzne generatora (rys. 3.10 do 3.13), wyznaczone z wykorzystaniem modelu obwodowego, podanego w autorskich artykułach doktoranta [46, 47], opisano w języku angielskim bez dodatkowych wyjaśnień, co utrudnia zrozumienie istoty obliczeń. Natomiast sformułowania „with series capacitor”, lub „with shunt capacitor” użyto nieprecyzyjnie językowo. Określają one sposób połączenia dodatkowych pojemności. Czy w 1szym przypadku chodzi o „capacitors connected in series”?

Opracowaną przez Autora, analizę połowo-obwodową (podrozdział 3.3) **można wykorzystywać zarówno do symulacji zjawiska samowzbudzenia generatora jednofazowego jak też innych stanów przejściowych.** Autor niezbyt precyzyjnie stwierdza że: *„Dwuwymiarowe modelowanie połowo-obwodowe może być wykorzystane podczas procesu projektowania maszyn elektrycznych o nowych, nietypowych konstrukcjach, dla których nie istnieją jeszcze zweryfikowane wzory projektowe, w celu uzyskania żądanych parametrów. Może być także wykorzystane do optymalizacji kształtu...”*. Może warto było dokonać oceny geometrii rozważanego obiektu i opisać jej uwzględnianie np. czół silnika.

Autor słusznie stwierdza że *„Dwuwymiarowe modelowanie... uwzględniające połączenia czołowe, jako stałe parametry zewnętrzne w części obwodowej, zostało wielokrotnie zweryfikowane dla różnych typów maszyn elektrycznych.”* Jednakże, w treści pracy nie podano szczegółów dotyczących uwzględnienia połączeń czołowych uzwojeń. Autor wspomina również o modelowaniu trójwymiarowym (3D), które ze względu na trudności obliczeniowe nie aplikowano w celu porównania z modelem 2D rozważanego

obiektu (JSGI). Dotyczy to nie tylko optymalizacji konstrukcji, lecz przede wszystkim lepszej symulacji charakterystyk.

Opracowanie modelu polowo-obwodowego (rozdz. 3.3) jednofazowego samowzbudnego generatora indukcyjnego (JSGI) z wykorzystaniem środowiska programowego Cedrat Flux2D jest oryginalnym osiągnięciem Autora rozprawy. Pakiety obliczeniowe dotyczące symulacji charakterystyk maszyn elektrycznych umożliwiają połączenie modeli polowych i obwodowych z oprogramowaniem uwzględniającym zasilanie i energoelektroniczne układy sterowania. **Autorskie modelowanie charakterystyk uwzględniło zjawisko remanentu oraz wpływ otwarcia żłobków i układu połączeń kondensatorów w obwodzie stojana** na proces samowzbudzenia, a także badanie stanu ustalonego i zwarcia JSGI, (rozdział 4).

Autor wykorzystał znajomość zjawisk fizycznych, w celu przyjęcia założeń upraszczających koniecznych do rozwiązywania zagadnień polowych w możliwym do przyjęcia czasie obliczeń. Wpływ liczby zwojów uzwojenia pomocniczego stojana na charakterystyki obciążenia JSGI jest łatwy do przewidzenia również bez modelu polowego. Szczególnie w przypadku, gdy uzwojenie rozłożone jest aproksymowane skupionym. **Autor uwzględnił specyfikę obwodu magnetycznego w całym jego przekroju, co udoładniło obliczenia.** Chociaż ujęcie magnetyzmu szczątkowego wymaga uwzględnienia histerezy, to aby ją uwzględnić, Autor przyjmuje niezerowe warunki początkowe dla obydwu składowych strumienia wirnika Ψ_{dr}' , Ψ_{qr}' . Jednakże nie podano konkretnych wartości początkowych, ani sposobu ich wyznaczania. Oczekuję w tym zakresie pewnych wyjaśnień.

Trzon pracy stanowią rozdziały 4,5,6. Pierwszy z nich dotyczy analizy stanu nieustalonego, czyli samowzbudzenia maszyny. Na stronach 82-93 opisano wpływ otwarcia żłobka na samowzbudzenie. Jednakże, Autor nie podaje precyzyjnie, jakiej maszyny prezentowane wyniki dotyczą. Należy dodać, że w tabelach 2.1 i 3.1 podane są parametry dwóch różnych maszyn i można się jedynie domyślać, o którą z nich chodzi.

Rozdziały 5 i 6 dotyczą analizy polowo-obwodowej stanów nieustalonych JSGI. W rozdziale 5 **Autor słusznie zamieszcza na tych samych wykresach wartości zmierzone i obliczone, co daje możliwość łatwiejszego porównania** (rys. 5.5 do 5.27). Autor w wielu miejscach pisze o odwzorowaniu „kolana” charakterystyki magnesowania, jako głównym źródle błędów obliczeniowych. Duże błędy mogą być również spowodowane innymi czynnikami, o których Autor nie pisze, np. niezbyt dokładne obliczenie parametrów równań polowych (3.26) (3.31), lub równań różniczkowych zwyczajnych.

Rozdziały 5 i 6 dotyczą również stanów ustalonych dla różnych układów połączeń kondensatorów i uzwojeń. Jednakże, na stronie 37 Autor pisze, że przy stałej prędkości maszyny, równanie ruchu (3.6) dotyczące momentu elektromagnetycznego można pominąć. Należało zatem wyjaśnić uwzględnienie równania (3.29) w polowo-obwodowych obliczeniach opisanych w tych rozdziałach.

4. Merytoryczna ocena wartości naukowej rozprawy

4.1 Podstawowe założenia i wybór metod analizy

Symulacja charakterystyk jednofazowego samowzbudnego generatora indukcyjnego (JSGI) musi obejmować analizę dynamiki z uwzględnieniem układu połączeń kondensatorów z uzwojeniami. **Jak wykazał Autor, w niektórych przypadkach wystarczające jest podejście obwodowe.** Podejście polowe wiąże się z kłopotliwym wielokrotnym rozwiązywaniem trudnego równania różniczkowego cząstkowego typu eliptyczno-parabolicznego. **Podejście polowo-obwodowe z uwzględnieniem remanentu i nieliniowości obwodu magnetycznego jest bardziej ekonomiczne i takie prawidłowo wybrał Autor.**

4.2 Ocena sposobu rozwiązania zagadnienia

Opracowanie i wykorzystanie przez Autora polowo-obwodowego modelu zjawisk nieustalonych pozwoliło na efektywną analizę charakterystyk JSGL. W celu określenia niezbędnych parametrów elektromagnetycznych, Autor rozprawy przeprowadził 2-wymiarową analizę pola silnika z uwzględnieniem nieliniowej charakterystyki rdzenia. Model wykorzystujący MES oraz opis matematyczny z wykorzystaniem równań różniczkowych zwyczajnych opisujących obwody generatora, pozwala na wielowariantowe obliczenia w stosunkowo krótkim czasie. Opracowane modele symulacyjne pozwalają na analizę charakterystyk generatora JSGL, już na etapie projektowania. **Stanowi to oryginalny wkład Autora w dziedzinie algorytmów rozwiązywania sprzężonych zjawisk.**

4.3 Osiągnięcia Autora i ocena wyników rozprawy

Do najważniejszych osiągnięć Autora zaliczam:

- a) Weryfikację doświadczalną wyników symulacji komputerowych charakterystyk jednofazowego samowzbudnego generatora indukcyjnego (JSGL) z wykorzystaniem zaprojektowanych przez doktoranta modeli fizycznych,
- b) Opracowanie aplikacji do modelowania obwodowego stanów ustalonych JSGL,
- c) Symulację pola magnetycznego z wykorzystaniem MES, do wyznaczenia strumieni i indukcyjności oraz innych parametrów modelu polowo-obwodowego,
- d) Opracowanie i aplikację modelu polowo-obwodowego do analizy zjawisk w stanach nieustalonych JSGL,
- e) Analizę samowzbudzenia i stanu zwarcia JSGL, a szczególnie zaproponowanie zmian konstrukcyjnych w celu polepszenia charakterystyk,
- f) Opracowanie i wykorzystanie przez Autora polowo-obwodowego modelu zjawisk nieustalonych pozwoliło na efektywną analizę charakterystyk,

Wyniki badań upoważniają do stwierdzenia, że **tezy rozprawy zostały udowodnione oraz osiągnięto założone cele pracy**. Badania przedstawione w pracy przyczyniły się do opracowania nowoczesnych metod analizy dynamicznych stanów pracy JSGL. Wnoszą one istotny wkład w opracowanie wskazówek do projektowania generatorów indukcyjnych.

Z treści rozprawy wynika, że była ona głęboko przemyślana. Opisano stan zagadnienia, wyznaczono cele i zdefiniowano tezy pracy. Przedstawiono modele obliczeniowe oraz wyniki symulacji komputerowej dla różnych konstrukcji wyrzutni. Opisano modele fizyczne wykonane dla weryfikacji pomiarowej obliczeń oraz układy pomiarowe. Podano wnioski z przeprowadzonych badań.

Rozprawa jest napisana komunikatywnie i zwięźle oraz charakteryzuje się dobrym stylem. Układ pracy, jej podział na rozdziały i podrozdziały jest logiczny i spójny. Rysunki są, poza nielicznymi wyjątkami, opisane czytelnie i zrozumiale. Poza kilkoma drobnymi uchybieniami redakcyjnymi i niezręcznymi sformułowaniami, nie zauważyłem zbyt wielu błędów. **Wybór literatury i odwołania do niej wskazują na kompetencje doktoranta.**

5. Ocena kompetencji doktoranta

O kompetencjach doktoranta świadczą przede wszystkim jego liczne (12 prac) publikacje w renomowanych czasopismach i na konferencjach naukowych. Dotyczy to pozycji [46] do [52] oraz [55] do [59] wykazu literatury opiniowanej rozprawy. Przedstawiona rozprawa dowodzi, że doktorant umie korzystać z najnowszej literatury w

obranej dziedzinie wiedzy, podchodzi do niej krytycznie i potrafi twórczo rozwijać osiągnięcia innych autorów.

W zakresie poznawania dyscypliny naukowej, której dotyczy temat rozprawy, **Autor wykazał się dużą pracowitością**. Realizacja postawionych zadań wymagała wykorzystania rozległej wiedzy ogólnej z zakresu modelowania charakterystyk maszyn elektrycznych. Autor wykazał się **dobrą znajomością wiedzy teoretycznej** z elektrotechniki i numerycznych metod obliczeniowych. **Bardzo pozytywnie oceniam umiejętności Doktoranta w zakresie weryfikacji doświadczalnych wyników uzyskanych z symulacji komputerowych**. Autor rozprawy wykazał dużo kompetencji w konstruowaniu układu pomiarowego.

6. Uwagi szczegółowe i dyskusyjne

1. Str.23, akpt. 3, w. 5: bł. literowy powinno być „Wyindukowane...”. Autor pisze, że odbudowa napięcia następuje do wartości wynikającej z przecięcia się krzywej magnesowania z ch-tyką napięcia kondensatora. Należało przywołać rysunek, lub wyjaśnić, o jaki kondensator chodzi.
2. Str. 23, akpt. 4, w. 7: błąd rzeczowy: zamiast słowa „generatora” powinno być „kondensatora”. Autor pisze, że spadek napięcia generatora jest spowodowany koniecznością dostarczenia mocy biernej z kondensatora do generatora oraz obciążenia. Przede wszystkim jest on spowodowany spadkiem napięcia na rezystancji twornika.
3. Str. 23, akpt.5, w. 3: słowo „normalnej” w odniesieniu do pracy generatora jest nieodpowiednie. Chyba chodzi o pracę znamionową. Wymieniony akapit niezbyt jasno odzwierciedla sens wypowiedzi.
4. Str. 25, akpt.1.: warto było podać liczbę zwojów w zezwojach uzwojenia głównego i pomocniczego.
5. Str. 25, Rys. 2.3 : Stosunkowo prosty rysunek powinien być wykonany przez Autora, a nie skanowany, co umożliwiłoby zaznaczenie kierunków prądów w bokach zezwojów. Dotyczy to również rysunku 2.5 (str. 26)
6. Str. 27, akpt.1: powinno być „maszyna...zaprojektowana jako silnik”, a nie „zaprojektowany jako silnik”.
7. Str. 30, Rys. 2.10: zbyt małe i nieczytelne opisy elementów rysunku.
8. Str. 30, akpt.: Autor wymienia dedykowany program napisany w środowisku NI Lab VIEW, lecz warto było podać zwięzłą informację o tym programie. Gdy jest on autorski, to stanowi to osiągnięcie opiniowanej pracy.
9. Str. 30, akpt. 2: Sformułowanie „obciążenie elektroniczne” nie jest adekwatne dla pracy naukowej, szczególnie bez opisu urządzenia „Chroma 63802”. Dotyczy to również podpisu pod rysunkiem 2.12
10. Str. 33, akpt. 2: Autor wymienia założenia upraszczające przyjmowane przy formułowaniu równań modelu obwodowego. Traktuje je jako obligatoryjne. Lepiej byłoby napisać, że „zwykle przyjmuje się następujące założenia”, np. uzwojenie rozłożone nie musi być zastąpione skupionym.
11. Str. 34, akpt. 1: We wzorze (3.1) występują po raz pierwszy wielkości ze znakiem „prim”. Są to parametry sprowadzone do jednej ze stron. Należałoby je objaśnić.
12. Str. 34, akpt. 1: Liczbę zwojów uzwojenia głównego oznaczono indeksem „M”, a liczbę zwojów uzwojenia pomocniczego indeksem „A”. Natomiast, w dalszej treści rozprawy Autor stosuje inne indeksy dotyczące parametrów związanych z tymi uzwojeniami. Wymaga to wyjaśnienia.
13. Str. 35, wzory (3.2) i (3.3): Autor dla obwodu wirnika i stojana wprowadza kolejno indeksy „r” i „s”, Przydałby się komentarz dotyczący powiązania tych oznaczeń z indeksami „M” oraz „A” dla osi „q” oraz „d”. To samo dotyczy oznaczenia indukcyjności
14. Str. 36, akpt. 2: Sformułowanie „moment elektromagnetyczny wytwarzany przez generator” jest niezręczne, bo zwykle dotyczy silnika, ale „moment elektromagnetyczny generatora” byłby do przyjęcia.
15. Str. 37, akpt. 1: Reasumpcyjne sformułowanie, że równanie ruchu można pominąć, gdy prędkość jest stała sugeruje, że tylko taki stan będzie rozpatrywany. A przecież w rozdz. 3.1.2. Autor podejmuje badania symulacyjne dla stanów przejściowych? Ponadto, oznaczenie tarcia niekoniecznie musi dotyczyć tarcia lepkiego.
16. Str. 37, akpt. 2: Układy połączeń, dla których symulowano proces samowzbudzenia oraz załączenia obciążenia, powinny być zwięzłe i precyzyjnie opisane. Po fragmencie „...układów połączeń kondensatorów”, Autor powinien napisać krótko, że wszystkie przypadki dotyczą układów „z kondensatorem włączonym równoległe na uzwojenie pomocnicze”. Powołując się na poszczególne rysunki, Autor powinien napisać, że: pierwszy przykład dotyczy układu bez kondensatora w uzwojeniu głównym (rys. 2.8a), drugi przykład dotyczy kondensatora włączonego szeregowo w obwód tego uzwojenia (rys. 2.8b), a trzeci przypadek dotyczy kondensatora włączonego równoległe do tego uzwojenia (rys. 2.8c)
17. Str. 38÷41: Jeśli Autor podaje obliczone przebiegi napięć uzwojenia głównego i pomocniczego oraz prądu obciążenia, to powinien podać również dane, które do obliczeń przyjął. Dotyczy to warunków początkowych Ψ_{dr} oraz Ψ_{q} , kolejno dla strumienia głównego i pomocniczego, a także innych wartości początkowych.

18. Str. 37, akpt. 2: Wprowadzie w tabeli 3.1 podano parametry silnika SEg 56-2A, dla których podano wyniki symulacji napięć, lecz czytelnik nie bardzo wie, dlaczego Autor w rozdziale 2.2 opisał inny obiekt badań – silnik SEhR 90-4S. Ponadto wykresy tych samych wielkości powinny być na jednym rysunku. Byłby lepiej widoczny niezerowy prąd obciążenia w uzw. obciążenia z równolegle dołączonym kondensatorem (rys.3.4b).
19. Str. 41, akpt. 2: Przed podaniem modelu opartego na składowych symetrycznych silnika 1-fazowego z kondensatorem pracy, należało wyjaśnić oznaczenia. Przykładowo, objaśnienie, które wartości oznaczają parametry dla składowej zgodnej, a które przeciwnej, pozwoliłoby uniknąć błędów literowych jak np. we wzorach (3.9), gdzie prawa strona drugiego równania powinna zawierać $-Z_{\pm} \cdot I_{M\pm}$, a nie $-Z_{\pm} \cdot I_{M\mp}$.
20. Str. 43, akpt. 2: „F” nie jest „względna częstotliwością ...odniesioną do znamionowego napięcia maszyny”, lecz „częstotliwością napięcia indukowanego odniesioną do częstotliwości znamionowej”.
21. Str. 44, wzory (3.10): Wzory te nie odwzorowują schematu zastępczego z rys. 3.7. Nie wdając się w szczegóły można zauważyć iż nie występuje w nich wielkość R_{Fe} , która jest na w/w rysunku.
22. Str. 44, rys.3.8 oraz wzory (3.10) do (3.13): Z uwagi na brak zwrotów prądu na rys. 3.8 w w/w wzorach pojawiają się błędy. Np. we wzorze (3.13) zamiast Z_j powinno być Z_r .
23. Str. 45, wzory (3.14) do (3.17): We wzorach tych brakuje elementu Z_- . Ponadto, we wzorze (3.17) zamiast L_M powinna być wielkość L_A .
24. Str. 50, akpt. 2: W podrozdziale 3.3 Autor nie wyjaśnia jak była liczona indukcyjność związana z połączeniami czołowymi uzwojeń stojana oraz pierścieni zwierających klatkę wirnika. Na stronie 53 podaje jedynie wartości jakie przyjęto (6mH i 10,8mH)
25. Str. 50, rys.3.16: Wyjaśnienie ikony „z symbolem wiewórki” jest niepełne, bowiem Autor nie podaje jakie wartości przyjęto w schematach zastępczych prętów klatki wirnika.
26. Str. 50, rys.3.17: Schemat obwodu klatki zawiera rezystory i indukcyjności jej segmentów, jednakże nie ma wyjaśnień jak te wartości wyznaczono.
27. Str. 51, wzór (3.31): Autor podaje wyrażenie określające koenergię na jednostkę długości, a określa ją jako koenergię pewnej długości maszyny. Jaka długość czynna została przyjęta do obliczeń indukcyjności?
28. Str 61, rys. 4.4: Z uwagi na brak skali, rozkład linii sił pola nie zawiera informacji o wartościach indukcji.
29. Strony 62 do 72 zawierają badania symulacyjne samowzbudzenia generatora, natomiast strony 73 do 80 zawierają wyniki badań eksperymentalnych. W celu łatwiejszego porównania, lepiej było zamieścić przebiegi obliczone i zmierzone pod sobą.
30. Str.80 akpt. 1: Autor stwierdza, że ok. 10%-owa różnica między wynikami obliczeń i pomiarów jest spowodowana niedokładnościami odwzorowania charakterystyki magnesowania. Stwierdzenie to jest niepełne, ponieważ istnieją również inne istotne przyczyny niedokładności.

7. Konkluzja recenzji

Opiniowana rozprawa doktorska „Analiza stanów dynamicznych i ustalonych jednofazowego samowzbudnego generatora indukcyjnego”, stanowi samodzielne rozwiązanie zadania badawczego i spełnia wszystkie wymagania stawiane pracom doktorskim przez Ustawę o Tytule Naukowym i Stopniach Naukowych oraz Stopniach i Tytule w Zakresie Sztuki z 14 marca 2003 roku wraz z późniejszymi zmianami.

W związku z powyższym, **wnioskuję przyjęcie przedstawionej pracy, jako rozprawy doktorskiej i dopuszczenie mgr inż. Aleksandra LEICHTA do obrony w/w pracy.**


Bronisław TOMCZUK