

Rzeszów, 23.07.2018r

dr hab. inż. Mariusz Korkosz

Wydział Elektrotechniki i Informatyki

Politechnika Rzeszowska

Recenzja pracy doktorskiej

Pana mgr inż. Marcina Barańskiego

nt. „**Diagnostyka drgań w maszynach elektrycznych z magnesami trwałymi wykorzystująca sygnały własne**”

1. Podstawa formalna opracowania recenzji

Podstawą formalną opracowania niniejszej recenzji jest pismo Dziekana Wydziału Elektrycznego Politechniki Śląskiej RE 277/BD/17/18 z dnia 30.05.2018r. oraz umowa numer UMC/2963/2018 zawarta 07.06.2018r pomiędzy Politechniką Śląską, reprezentowaną przez prof. dr hab. inż. Paweł Sowa, a dr hab. inż. Mariuszem Korkoszem.

2. Ocena wyboru tematu i celu pracy

Problem diagnostyki maszyn elektrycznych jest ciągle aktualny. Pojawiające się nowe rozwiązania konstrukcyjne przetworników elektromechanicznych wymagają rozwijania dotychczasowych metod diagnostyki. Recenzowana praca dotyczy przetworników elektromechanicznych, które są w ostatnim czasie bardzo intensywnie badane z uwagi na istotny wzrost zainteresowania np. elektromobilnością. Z tego też powodu, analizowana w pracy tematyka dotycząca maszyn z magnesami trwałymi idealnie wpisuje się w aktualną tematykę badawczą powiązaną z ich diagnostyką. Autor pracy postawił tezę, że „**badania diagnostyczne drgań napędów z maszynami elektrycznymi ze wzbudzeniem od magnesów trwałych metodą sygnałów własnych, wykorzystują ich specyficzne właściwości pozwalające użyć maszynę jako czujnik drgań**”.

Z tego też powodu należy uznać, że tematyka rozprawy jest jak najbardziej uzasadniona, zarówno z naukowego oraz może nawet bardziej z praktycznego punktu widzenia.

3. Redakcja i zakres rozprawy

Praca liczy 135 stron, zawiera 9 rozdziałów oraz dodatkowo spis oznaczeń, 222 rysunki, 86 tabel oraz bibliografię. Spis literatury zawiera 32 pozycje w tym 6 pozycji współautorskich oraz 4 autorskie. Rozdział pierwszy pracy omawia potencjalne źródła drgań w maszynach elektrycznych. Następnie uzasadniono podjęcie analizowanej tematyki badawczej. Omówiono również aktualny stan wiedzy dotyczący analizowanego problemu, sformułowano cel oraz tezę pracy, określono zakres pracy. W rozdziale drugim pracy autor pracy omówił maszyny z magnesami trwałymi które były obiektem badań, określił cel badań oraz sposób przeprowadzania badań laboratoryjnych.

Model matematyczny maszyny z magnesami trwałymi oraz środowisko do obliczeń numerycznych zostały przez autora omówione w rozdziale trzecim pracy.

W rozdziale czwartym zostały przedstawione wyniki badań wybranego generatora z magnesami trwałymi na stole wibracyjnym. Na bazie wybranych testów autor pracy porównał uzyskane przebiegi czasowe sygnału prędkości z czujnika drgań w osiach X, Y, Z z zarejestrowanymi przebiegami czasowymi indukowanych napięć fazowych i przewodowych maszyny (przy otwartych zaciskach) oraz dodatkowo prądu fazowego dla przypadku dołączenia zewnętrznego obciążenia o charakterze rezystancyjnym. Wskazano na analogię zachowania się maszyny elektrycznej z magnesami trwałymi do działania czujnika drgań. Tym samym autor wykazał, że samą maszynę z magnesami trwałymi można traktować jako czujnik drgań.

W rozdziale piątym autor rozprawy dokonał analizy wpływu asymetrii obciążenia generatora z magnesami trwałymi. Dla wybranego modelu generatora przeprowadzono badania symulacyjne oraz laboratoryjne dla przypadku symetrii oraz niesymetrii obciążenia. Uzyskano zgodność co do charakteru analizowanych przebiegów prądów oraz napięć oraz pojawiających się dodatkowych harmonicznym.

Rozdział szósty dotyczy asymetrii zasilania silnika z magnesami trwałymi. Rozpatrzono dwa przypadki tj. silnika pracującego na biegu jałowym oraz z obciążeniem przy założeniu symetrii zasilania oraz jego asymetrii. Badania przeprowadzono tylko w warunkach laboratoryjnych dla wybranej konfiguracji silnika. Wyznaczono dodatkowe częstotliwości charakterystyczne dla przypadku asymetrii obciążenia. W rozdziale siódmym dokonano analizy wpływu asymetrii szczeliny powietrznej na sygnały własne badanych maszyn w zakresie pracy generatorowej jak i silnikowej. Maszyna wzorcowa posiadała 48 żłobków stojana, cztery magnesy trwałe montowane powierzchniowo oraz szczelinę powietrzną równą $\delta=1,5$ mm. Przeprowadzono badania symulacyjne dla asymetrii statycznej tj. przesunięciu wirnika o 1 mm w wybranym kierunku oraz asymetrii dynamicznej. W przypadku asymetrii dynamicznej przyjęto, że środek geometryczny wirnika umownej płaszczyzny XY będzie przesunięty o 1 mm i będzie poruszał się po okręgu o tym promieniu. Obliczenia numeryczne przeprowadzono dla stanu jałowego pracy generatora i silnikowej. Drugim analizowanym przypadkiem była praca z obciążeniem. W warunkach laboratoryjnych dokonano weryfikacji dla pracy generatorowej i silnikowej. Wyciągnięto wnioski i podano zależności określające pojawianie się dodatkowych harmonicznym w sygnałach własnych wywołanych stanem asymetrii szczeliny powietrznej.

Wpływ niewyważenia wirnika analizowano w rozdziale ósmym w odniesieniu do konstrukcji o 36 żłobkach stojana oraz czterech magnesach trwałych montowanych powierzchniowo. Analizę problemu ograniczono tylko do badań laboratoryjnych w zakresie pracy silnikowej i generatorowej dla jednego przypadku niewyważenia. Wykazano, że niewyważenie wirnika wpływa na wzrost poziomu generowanych drgań. Efektem niewyważenia jest pojawienie się dodatkowych harmonicznym których częstotliwości można obliczyć z zależności podanych przez autora.

Podsumowanie i ocena przeprowadzonych wyników badań oraz wnioski końcowe zawarto w rozdziale dziewiątym pracy.

Podsumowując można stwierdzić, że treść i zakres rozprawy odpowiadają jej tytułowi. Redakcja pracy jest na poprawnym poziomie. Większość wniosków z przeprowadzonych badań jest wyciągnięta poprawnie, chociaż można mieć pewne zastrzeżenia co do zakresu przeprowadzania niektórych badań. Praktycznie wszystkie rysunki przygotowane przez Autora są bardzo czytelne co ułatwia interpretację wyników badań. Najłabszymi punktami rozprawy są rozdział trzeci zawierający opis modelu matematycznego i numerycznego oraz spis literatury. Zdaniem recenzenta w spisie literatury, a tym samym w początkowych rozdziałach pracy pominięto wiele

pozycji literaturowych powiązanych wprost lub pośrednio z diagnostyką maszyn elektrycznych. Pomimo zastrzeżeń, Autor rozpoczął badania które wpisują się w aktualną tematykę badawczą dotyczącą diagnostyki maszyn elektrycznych z magnesami trwałymi. Jest to ciągle bardzo aktualne zagadnienie i które zdaniem recenzenta nabiera coraz to większego znaczenia z uwagi na istotny wzrost zainteresowania bezszczotkowymi maszynami elektrycznymi z magnesami trwałymi.

4. Ocena wartości naukowej

Przeprowadzone przez Autora badania w rozdziale czwartym udowodniły słuszność założenia, że maszynę elektryczną z magnesami trwałymi można potraktować jako czujnik do monitorowania poziomu jej drgań. Jest to oryginalne osiągnięcie Autora. Jednocześnie jest to jedyny rozdział pracy w którym pokazano „czyste” sygnały własne przykładowej konstrukcji uzyskane jako odpowiedź na określone wymuszenie podczas badań laboratoryjnych na stole wibracyjnym. W pozostałych rozdziałach pracy przeprowadzone badania symulacyjne i laboratoryjne potwierdzają tezę Autora o możliwości diagnostyki drgań maszyny na podstawie jej sygnałów własnych. Autor pracy zaproponował dla określonych nietypowych stanów pracy maszyny zależności pozwalające wyznaczyć dodatkowe częstotliwości, które je charakteryzują. Jest to bardzo istotne z punktu widzenia diagnostyki drgań maszyn elektrycznych. Pojawianie się dodatkowych harmonicznych w prądach i napięciach maszyny związane jest z wystąpieniem stanu pracy odbiegającego od typowych warunków pracy. Autor wykazał, że dodatkowe harmoniczne w prądach i napięciach pojawiają się niezależnie od rodzaju pracy maszyny (silnikowa czy też generatorowa). W takim przypadku występował również wzrost poziomu drgań maszyny co wykazano na podstawie badań laboratoryjnych.

Większość testów nietypowych stanów pracy maszyny elektrycznej z magnesami trwałymi została przeprowadzona zarówno w oparciu o badania symulacyjne jak i weryfikację laboratoryjną. Należy zauważyć, że problem diagnostyki jest niezwykle złożony. Jest on problematyczny zarówno na poziomie badań symulacyjnych jak i laboratoryjnych. Wyciąganie poprawnych wniosków jest czasami niezwykle trudne. Autor rozprawy zastosował pewne uproszczenie w analizie problemu diagnostyki drgań maszyn z magnesami trwałymi. Na obecnym etapie badań wyeliminował np. układ energoelektroniczny który zazwyczaj towarzyszy tego typu maszynie. To istotnie uprościło interpretację uzyskanych wyników z uwagi na wyeliminowanie wpływu układu energoelektronicznego na sygnały własne maszyny z magnesami trwałymi.

Rozprawa cechuje się zadawalającym poziomem naukowym. Do najistotniejszych osiągnięć Autora zaliczam:

- przyjęcie założenia i udowodnienie, że maszyna z magnesami trwałymi może pełnić rolę czujnika drgań,
- przeprowadzenie obliczeń numerycznych i badań laboratoryjnych dla wybranych nietypowych warunków pracy maszyny elektrycznej z magnesami trwałymi wpływających na wzrost poziomu generowanych drgań,
- opracowanie zależności pozwalających na wyznaczenie dodatkowych częstotliwości na podstawie sygnałów własnych maszyny elektrycznych dla analizowanych nietypowych stanów pracy.

Recenzowana praca uzupełnia aktualną wiedzę dotyczącą możliwości diagnozowania poziomu drgań maszyn elektrycznych z magnesami trwałymi na bazie sygnałów własnych.

5. Uwagi dyskusyjne

Po zapoznaniu się z treścią rozprawy nasuwają się pewne uwagi o charakterze dyskusyjnym:

1. Jako najczęstsze czynniki mające wpływ na wibracje maszyny (str.7) wymieniono: luźne lub uszkodzone łożyska, naciąg magnetyczny, niewyważenie, konstrukcja kadłuba. To bardzo ogólna klasyfikacja. Niesymetria magnetyczna maszyny może być spowodowana np. niewspółosiowym zamontowaniem wirnika, ale nie tylko. To tylko jeden z przykładów. W moim odczuciu ten fragment pracy powinien być znacznie bardziej rozbudowany.

2. Autor rozprawy stwierdza (rozdział 1.4 oraz ostatni akapit na stronie 126), że nie ma publikacji dotyczących diagnostyki drganiowej maszyn elektrycznych bazujących na sygnałach własnych. Tymczasem typowymi sygnałami diagnostycznymi w maszynie elektrycznej są np. jej prądy. Rozumiem, że Autorowi rozprawy bardziej chodziło w tym przypadku o bezszczotkowe maszyny z magnesami trwałymi.

3. Przegląd literatury należy uznać za bardzo skromny. Nie odzwierciedla on w pełni aktualnego stanu wiedzy. Konsekwencją skromnego przeglądu literaturowego jest bardzo oszczędne wprowadzenie w problematykę drgań i diagnostyki w maszynach elektrycznych. Ten fragment pracy powinien być bardziej rozbudowany w oparciu o poszerzony przegląd literaturowy.

4. W rozdziale drugim zaprezentowano dostępne konstrukcje stojanów oraz wirników (cztery stojany oraz pięć wirników). Natomiast wszystkie konfiguracje bez podania wymiarów geometrycznych wymieniono w tabeli 2.1 (16 generatorów) oraz 2.2 (16 silników). Po analizie parametrów można się domyślić, że jest to w sumie 16 konstrukcji. Jak zatem należy rozumieć stwierdzenie Autora, że wszystkie konstrukcje z tabel 2.1 i 2.2 zostały przebadane skoro w samej pracy wykorzystano tylko cztery rozwiązania konstrukcyjne (4 generatory i 3 silniki). Po dogłębnej analizie pracy nie znalazłem żadnego odniesienia jakie badania przeprowadzono na pozostałych rozwiązaniach konstrukcyjnych.

5. W odniesieniu do rozdziału 4.3.1 i 4.3.2 nie podano informacji o wartości czy też kierunku wymuszenia na stole wibracyjnym.

6. Aby w uzwojeniach stojana maszyny z magnesami trwałymi poddanej testom na stole wibracyjnym pojawiło się napięcie musi nastąpić zmiana strumienia magnetycznego (pochodzącego od magnesów trwałych) w czasie. Powstaje zatem pytanie co wpływa na zmianę strumienia magnetycznego w czasie badanej maszyny z magnesami trwałymi w trakcie pojawiającego się wymuszenia na stole wibracyjnym? W pracy nie zostało to wyjaśnione.

7. Do badań testowych na stole wibracyjnym zastosowano maszynę o 36 żłobkach oraz 12 magnesach montowanych powierzchniowo. Jaka była minimalna szczelina powietrzna w konstrukcji poddanej testom na stole wibracyjnym? Czy przeprowadzano testy na innych rozwiązaniach konstrukcyjnych posiadających np. 4 magnesy czy też zupełnie inne dane nawojowe?

8. Czy na stole wibracyjnym przeprowadzano testy przy innej częstotliwości wibracyjnej niż 40 Hz np. 30 Hz czy też 50 Hz? Czy testowano również przypadek kiedy częstotliwość wibracyjna odpowiadała częstotliwości wynikającej z prędkości obrotowej wirnika?

9. Jak wytłumaczyć różnice w rozkładzie harmonicznego testu z rozdziału 4.3.3 pomiędzy sygnałem prędkości drgań z czujnika a napięciami indukowanymi? W pracy nie odniesiono się do tego problemu.

10. Dlaczego w pracy do testu wybrano napięcie przewodowe u_{UV} oraz fazowe u_U ? Jak wyglądały rozkłady harmonicznych pozostałych napięć przewodowych oraz fazowych?
11. Czy wyniki badania symulacyjne asymetrii obciążenia generatora (rozdział 5.1.1) przeprowadzono z wykorzystaniem przewodu neutralnego czy też bez niego? W pracy nie wyjaśniono tego. Czy testowano również inne przypadki niesymetrii obciążenia generatora?
12. Wykorzystywanie w warunkach laboratoryjnych sygnału z momentomierza do celów diagnostycznych czy też porównawczych w odniesieniu do badań symulacyjnych nie jest dobrym kierunkiem badań. Wyciąganie wniosków na tej podstawie jest bardzo dyskusyjne. Dotyczy to rozdziałów 5.2, 6.1, 7.2, 7.4, 8.1 i 8.2.
13. Ocena porównawcza w warunkach laboratoryjnych sygnału prędkości z czujnika drgań w odniesieniu do wartości maksymalnych jest bardzo dyskusyjna.
14. W pracy nie wykonano analizy FFT otrzymanego sygnału prędkości z czujnika drgań podczas badań laboratoryjnych. Analiza FFT sygnału prędkości z czujnika drgań mogła by być bardzo interesująca i podniosła by walory naukowe rozprawy.
15. Przedstawiony model matematyczny maszyny z magnesami trwałymi jest modelem uproszczonym. Nie jest on poprawny do analizowanych stanów nietypowej pracy czy też wszystkich rozwiązań konstrukcyjnych. Zazwyczaj model numeryczny opracowany na bazie np. komercyjnego programu uwzględnia np. nasycenie obwodu magnetycznego. Jest to istotne np. w analizie konstrukcji z magnesami umieszczonymi wewnątrz wirnika, gdzie pojawia się moment reluktancyjny np. z wirnikiem IPM (rys. 2.7) czy też IPMV (rys.2.8).
16. Problem analizy asymetrii obciążenia generatora powinien być ujęty nieco bardziej szczegółowo. W pracy dokonano analizy generatora pracującego samotnie tylko przy obciążeniu rezystancyjnym. W rzeczywistości obciążenie generatora może mieć różny charakter. Praca samotna generatora nie jest jedynym stanem pracy. Często pracują one na sieć sztywną jak np. w elektrowniach wiatrowych sprzęgnięte poprzez dedykowany układ energoelektroniczny
17. W przypadku pracy silnikowej analizowano tylko jeden przypadek asymetrii zasilania. Nie podano żadnego uzasadnienia, dlaczego wybrano tak przypadek asymetrii. Dlaczego dla tego przypadku analizę ograniczono tylko do badań laboratoryjnych?
18. W niektórych przypadkach wyniki obliczeń numerycznych i badań laboratoryjnych są rozbieżne. W pracy nie wyjaśniono w sposób zadawalający tych różnic.
19. W pracy w odniesieniu do badań numerycznych zastosowano jedynie obliczenia elektromagnetyczne 2D. W odniesieniu do rozdziału siódmego dotyczącego asymetrii szczeliny powietrznej powinno się zastosować obliczenia 3D. Tylko w takim przypadku możliwe jest uwzględnienie większości przypadków asymetrii szczeliny powietrznej.
20. Dysponując oprogramowaniem np. Ansys i Ansys Maxwell można przeprowadzić przejściową analizę sprzężoną magneto-strukturalną. Na jej podstawie można ocenić wpływ warunków pracy maszyny elektrycznej na poziom generowanych drgań.
21. Ogólnie poziom amplitud uzyskanych charakterystycznych częstotliwości harmonicznych jest bardzo mały. Wyodrębnienie tych dodatkowych harmonicznych może wymagać zmiany podejścia do procesu diagnostycznego opartego o sygnały własne.

22. Trochę się trudno zgodzić z wnioskiem Autora, że „proponowana metoda dobrze charakteryzuje stan techniczny maszyny”. W pracy nie podano kryteriów które pozwalały by na jednoznaczną ocenę stanu technicznego maszyny. Pojawianie się dodatkowych harmonicznych w sygnałach własnych sygnalizuje jedynie potencjalny problem bez określenia skali jego problemu.

23. Czy w Autor rozprawy analizował przypadki złożone nietypowych warunków pracy maszyny z magnesami trwałymi np. asymetrię szczeliny powietrznej i niewyważenie wirnika?

24. W przypadku asymetrii szczeliny powietrznej Autor rozprawy w odniesieniu do badań laboratoryjnych stosuje ogólne określenie ekscentryczność dla scharakteryzowania asymetrii szczeliny powietrznej. W pracy nie wyjaśniono jaką ekscentryczność maszyny badano w warunkach laboratoryjnych.

25. W tabeli 5.9 pokazano częstotliwości charakterystyczne dla analizowanego przypadku niesymetrycznego obciążenia generatora z magnesami trwałymi wyznaczone z zależności 11, badań laboratoryjnych, obliczeń numerycznych oraz na podstawie obliczeń analitycznych. W moim odczuciu kolumna zawierająca obliczenia analityczne jest zbędna. Wyznaczone częstotliwości metodą analityczną obliczono na bazie równania 11 podstawiając podstawową harmoniczną wyznaczoną w warunkach laboratoryjnych. Ta sama uwaga dotyczy tabel: 6.9, 6.10, 7.39, 7.40, 7.41, 7.42, 8.16, 8.17, 8.18, 8.19.

6. Uwagi redakcyjne

Poniżej przedstawiono zauważone uchybienia głównie o charakterze redakcyjnym.

- Numeracja równań powinna być zgodna rozdziałami czyli np. 1.1 a nie 1.

- Str. 8; w pracy nie występuje współczynnik C. Należało zastosować oznaczenie CV i Ca jak w równaniu 1.

- W odniesieniu do podawania jednostek po wartościach powinno się stosować tzw. twarde spacje czyli np. 32 kHz a nie 32kHz.

- Str.11; sformowanie „Naciąg magnetyczny w maszynie elektrycznej to w większości przypadków siła promieniowa, która jest wynikiem niesymetrycznego rozkładu szczeliny powietrznej” jest dość niefortunny. Naciąg magnetyczny o siły promieniowej występuje nawet przy symetrycznej konstrukcji.

- Str. 11-12; podana klasyfikacja ekscentryczności nie jest pełna. Ogranicza się ona tylko przypadku 2D. Brakuje odniesienia do modelu 3D który jest znacznie bardziej adekwatny do rzeczywistości.

- Str. 13 wiersz 12; nie podano w jakiej literaturze zostały wymienione metody wyważania.

- W pracy Autor zastosował określenie „pulsacja momentu” w odniesieniu do określenia charakteru zmian momentu elektromagnetycznego. Zadaniem recenzenta bardziej adekwatne jest określenie „tętnienia momentu”.

- Str. 19; Autor rozprawy wprowadza pojęcie skosu w odniesieniu do wirnika pokazanego na rysunku 2.5. Jest to określenie nieprecyzyjne ponieważ jest to tzw. „pseudoskos”.

- Str. 24; w równaniach 12, 13, 14, 17, 18, 19, 22, 23, 24 zamiast e_{ub} , e_{vb} , e_{wb} powinno być e_{u2} , e_{v2} , e_{w2} .

- Str. 24; w równaniach 17, 18, 19 zamiast dwukrotnie występuje amplituda E_{k2} . Jest to błędny zapis. Częstotliwości f_{k1} odpowiada amplituda E_{k1} a nie E_{k2} .

- Str.35; na rysunku 4.19 do oznaczenia przebiegu czasowego zastosowano oznaczenie U_{UV} a powinno być u_{UV} a w przypadku rysunku 4.21 powinno być u_U zamiast U_U .

- Str.35; w tabeli 4.1 podano wartości amplitud poszczególnych harmoniczných przebiegu napięcia a nie ich wartości skuteczne jak podano w opisie tabeli. Ten błąd popełniono w również w tabelach: 4.2, 5.2, 5.3, 5.4, 5.6, 5.7, 5.8, 6.3, 6.4, 6.6, 6.7, 6.8, 7.1,7.2, 7.3, 7.4, 7.7, 7.8, 7.10, 7.11, 7.12, 7.14, 7.15, 7.17, 7.18, 7.19, 7.20, 7.21, 7.22, 7.23, 7.26, 7.27, 7.28, 7.29, 7.30, 7.32, 7.33, 7.34, 7.36, 7.37, 8.2, 8.3, 8.5, 8.6, 8.7, 8.9, 8.10, 8.11, 8.13, 8.14, 8.15.
- Str.37; jeżeli w badaniach symulacyjnych analizowano moment elektromagnetyczny to powinno się raczej stosować oznaczenie T_e zamiast T . Dotyczy to też równania 9.
- Str. 37; na rysunku 5.2 pokazano przebieg momentu przy symetrii i asymetrii obciążenia uzyskanych w wyniku symulacji dla pracy generatorowej. Na rysunku 5.2 wartość tego momentu ma wartość dodatnią co jest błędem. Dotyczy to również rysunków: 5.10 (str.41), 7.11-7.12 (str.62), 7.13 (str.63), 7.35 (str.73), 8.11 (str.108).
- W przypadku badań laboratoryjnych sygnał z momentomierza jest momentem obciążającym maszynę napędową(np. rys.5.10). Typowym oznaczeniem jest T_L a nie T .
- Str. 47; w pracy podano, że badania przeprowadzono dla asymetrii zasilania: $U_U=39.1$ V, $U_V=36.2$ V, $U_W=36.8$ V. Zatem asymetria zasilania analizowana w rozdziale 6 została określona nieprawidłowo. Nie jest możliwy wzrost napięcia zasilającego w fazie U po wpięciu dodatkowej rezystancji R_d (rys. 6.1.).
- Str. 49; na rysunku 6.6 pokazano napięcie fazowe zamiast przewodowego.
- Str. 55; czy pokazane na rysunku 6.17 przebiegi czasowe napięcia fazowego są prawidłowe?
- Str. 61; w moim odczuciu rozkład harmoniczných napięcia fazowego u_{U0} uzyskanego podczas wystąpienia ekscentryczności dynamicznej pokazany na rysunku 7.10 nie odpowiada jego przebiegowi czasowemu z rysunku 7.9. Przebiegi napięcia ze stanu symetrii ma znacznie większą amplitudę w odniesieniu do stanu pracy z ekscentrycznością dynamiczną. Przy tak dużej różnicy pomiędzy analizowanymi przebiegami powinno być to zauważalne w amplitudzie np. podstawowej harmonicznej (50 Hz). Takiej różnicy nie widać w napięcia przewodowych pokazanych na rysunku 7.5.
- Str. 62; w tabeli 7.5 błędnie podano, że w przypadku ekscentryczności statycznej nastąpił wzrost wartości średniej momentu elektromagnetycznego (5.2 %). Powinno być -5,2 %.
- Str. 92; błędnie podpisano rysunek 7.74. Jest „Przebieg prądu biegu jałowego przy asymetrycznej i asymetrycznej szczelinie powietrznej” a powinno być „Przebieg prądu biegu jałowego przy symetrycznej i asymetrycznej szczelinie powietrznej”.
- Str.93; zamieszczone widmo prądu biegu jałowego przy symetrii szczeliny powietrznej na rysunku 7.75 nie odpowiada przebiegowi prądu silnika pokazanemu na rysunku 7.74. Amplituda pierwszej harmonicznej prądu wynosi około 50 A.
- Str.94; błędnie podpisano rysunek 7.77. Jest „Przebieg napięcia międzyfazowego biegu jałowego przy asymetrii szczeliny powietrznej”, a powinno być „Przebieg napięcia międzyfazowego biegu jałowego przy symetrii i asymetrii szczeliny powietrznej”.

7. Ostateczna ocena rozprawy

Mgr inż. Marcin Barański analizuje bardzo złożone zagadnienie związane z diagnostyką maszyn elektrycznych z magnesami trwałymi. Jest to tematyka niezwykle istotna z naukowego punktu widzenia, ale również mająca duże znaczenie praktyczne. Do analizy zagadnienia mgr inż. Marcin Barański zastosował opatentowany pomysł (jest jego współautorem), którego główną ideą jest przyjęcie założenia, że maszyna elektryczna z magnesami trwałymi może pełnić również funkcję

czujnika drgań. Jest to niewątpliwie oryginalne podejście do złożonego problemu diagnostyki maszyn elektrycznych z magnesami trwałymi.

Zrealizowany zakres prac badawczych obejmuje pełny cykl badawczy tj. badania symulacyjne oraz weryfikację laboratoryjną w odniesieniu do pracy generatorowej i silnikowej. Autor rozprawy wykazał, że maszyna elektryczna z magnesami trwałymi generuje sygnały napięciowe których charakter jest zbliżony do sygnałów uzyskanych z czujnika drgań. Te dodatkowe napięcia wynikające z nietypowego stanu pracy zostały ujęte w modelu matematycznym maszyny. Przeprowadzone badania numeryczne oraz laboratoryjne potwierdziły pojawianie się w przebiegach czasowych napięć oraz prądów maszyny elektrycznej z magnesami trwałymi dodatkowych częstotliwości wywołanych nietypowymi stanami pracy. Podane przez Autora zależności poprawnie identyfikują dodatkowe częstotliwości analizowanych nietypowych stanów pracy maszyny elektrycznej z magnesami trwałymi.

W uwagach dyskusyjnych zwrócono na pewne niedociągnięcia rozprawy mgra inż. Marcina Barańskiego. Jednak większość zawartych uwag dyskusyjnych nie ma wpływu na ocenę merytoryczną rozprawy. Celem części z nich jest zwrócenie uwagi Autorowi rozprawy, że być może do pewnych zagadnień badawczych należało podejść inaczej. Można odnieść wrażenie, że zakres rozprawy jest zbyt szeroki. Z uwagi na przyjęty zakres tematyczny rozprawy Autor ograniczył analizę problemu do zagadnień najprostszych. Jest to oczywiście zrozumiałe w takim przypadku. Gdyby jednak rozprawa skoncentrowała się tylko np. na pracy generatorowej maszyny i uwzględniła pracę z układem energoelektronicznym to uzyskane wyniki w znacznie większym stopniu powiększyłyby aktualny stan wiedzy. Rozprawę mgra inż. Marcina Barańskiego należy traktować jako rozpoczęcie pracy nad złożonym i skomplikowanym problemem diagnostyki maszyn elektrycznych z magnesami trwałymi. Jestem przekonany, że Autor będzie kontynuował prace badawcze które pozwolą na uzyskanie dalszych efektów badawczych. Sugeruję jednak w przyszłości istotne ograniczenie liczby modeli maszyn z magnesami trwałymi będących obiektami badawczymi. Jednoczesne badania nad kilkoma modelami najczęściej wpływają negatywnie na efektywność prowadzonych prac badawczych.

Po zapoznaniu się z treścią rozprawy stwierdzam, że Autor udowodnił postawioną tezę, a cel rozprawy został osiągnięty. Po uwzględnieniu wkładu pracy Autora, oryginalności założeń oraz sposobu realizacji analizowanego problemu oraz uwzględnieniu wszystkich uwag dyskusyjnych oceniam pracę pozytywnie. Stwierdzam również, że opiniowana rozprawa spełnia wszystkie wymagania stawiane pracom doktorskim przez Ustawę o Tytule Naukowym i Stopniach Naukowych oraz o stopniach i Tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003r. (Dz. U. Nr. 65, poz. 595, z późniejszymi zmianami). Tryb i warunki przeprowadzania czynności w przewodzie doktorskim określa Rozporządzenie Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 19 stycznia 2018 roku (Dz. U., poz. 261).

8. Wniosek końcowy

Stawiam wniosek o przyjęcie przedstawionej pracy Pana mgra inż. Marcina Barańskiego zatytułowanej „Diagnostyka drgań w maszynach elektrycznych z magnesami trwałymi wykorzystująca sygnały własne” jako rozprawy doktorskiej oraz dopuszczenie jej Autora Pana mgra inż. Marcina Barańskiego do publicznej obrony.