

Dr inż. Mateusz Dybkowski
Politechnika Wroclawska
Instytut Maszyn, Napędów i Pomiarów Elektrycznych
Zakład Napędu Elektrycznego, Mechatroniki i Automatyki Przemysłowej
ul. Smoluchowskiego 19
50-372 Wrocław

Załącznik nr 3

do wniosku z dnia 17.10.2013
o przeprowadzenie postępowania habilitacyjnego w dziedzinie
Nauki Techniczne w dyscyplinie Elektrotechnika

Autoreferat w języku polskim przedstawiający opis dorobku i osiągnięć naukowych

AUTOREFERAT

1. Imię i Nazwisko

Mateusz Dybkowski

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej

- Mgr inż. Politechnika Wrocławska, Wydział Elektryczny, kierunek Automatyka i Robotyka, specjalność Automatykacja Maszyn Pojazdów i Urządzeń Elektrycznych, rok 2004
- Dr nauk technicznych w dyscyplinie Elektrotechnika, Politechnika Wrocławska, Wydział Elektryczny, Instytut Maszyn, Napędów i Pomiarów Elektrycznych, rok 2008, tytuł rozprawy: „*Analiza układu wektorowego sterowania silnikiem indukcyjnym z adaptacyjnymi estymatorami prędkości kątowej*”, promotor prof. dr hab. inż. Teresa Orłowska – Kowalska (recenzenci prof. dr hab. inż. Marian P. Kaźmierkowski - Politechnika Warszawska, prof. dr hab. inż. Jacek Kabziński – Politechnika Łódzka)

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

- 2009 – obecnie adiunkt w Instytucie Maszyn Napędów i Pomiarów Elektrycznych Politechniki Wrocławskiej
- 2008 – 2009 asystent w Instytucie Maszyn Napędów i Pomiarów Elektrycznych Politechniki Wrocławskiej

4. Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 ze zm.)

a) tytuł osiągnięcia naukowego

Estymacja prędkości kątowej w złożonych układach napędowych – zagadnienia wybrane

b) autor/autorzy, tytuły publikacji, rok wydania

Podstawą o ubieganie się o nadanie stopnia dr hab. w dziedzinie elektrotechnika jest monografia:

M. Dybkowski, *Estymacja prędkości kątowej w złożonych układach napędowych – zagadnienia wybrane*, Prace Naukowe Instytutu Maszyn, Napędów i Pomiarów Elektrycznych Politechniki Wrocławskiej nr 67, seria Monografie nr 20, Wrocław 2013, ISSN 1733-0696,

w której przedstawiłem nowe niepublikowane dotąd zagadnienia związane z estymacją zmiennych stanu oraz zebrałem i znacząco rozszerzyłem wyniki badań

opublikowanych między innymi w następujących artykułach (spis prac w porządku chronologicznym):

- [M1.] Orłowska-Kowalska T., **Dybkowski M.**, Analiza właściwości dynamicznych estymatora prędkości silnika indukcyjnego MRAS^{CC} z jednoczesnym odtwarzaniem parametrów uzwojenia stojana., *Przegląd Elektrotechniczny*, R 84 nr 12, 2008, str. 79-83, **IF=0.242**
- [M2.] **Dybkowski M.**, Estymatory MRAS strumienia i prędkości w beczujnikowym napędzie indukcyjnym – analiza stabilności i wrażliwości, Materiały VIII Krajowej Konferencji Naukowej Sterowanie w Energoelektronice i Napędzie Elektrycznym *SENE 2009*, CD
- [M3.] Orłowska-Kowalska T., **Dybkowski M.**, Sensorless field oriented control of the induction motor drive using classical MRAS speed estimator with modified adaptation algorithm, *Electromotion*. 2008 vol. 15, nr 3, str. 154-160
- [M4.] Szabat K., Orłowska-Kowalska T., **Dybkowski M.**, Indirect Adaptive Control of Induction Motor Drive System with Elastic Coupling, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Volume 56, Issue 10, Oct. 2009 pp. 4038 – 4042 **IF=4.678**
- [M5.] Orłowska-Kowalska T., **Dybkowski M.**, Szabat K., Adaptive Sliding Mode Neuro-Fuzzy Control of the Two-Mass Induction Motor Drive without Mechanical Sensors, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2010, vol. 57, nr 2, pp. 553-564, **IF=3.481**
- [M6.] Orłowska-Kowalska T., **Dybkowski M.**, Stator Current-based MRAS Estimator for Wide Range Speed-sensorless Induction Motor Drive, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2010 vol. 57, nr 4, pp. 1296-1308, **IF=3.481**
- [M7.] Orłowska-Kowalska T., **Dybkowski M.**, Kowalski Cz., Rotor fault analysis in the sensorless field oriented controlled induction motor drive, *Automatika*, 2010, vol. 51, nr 2, pp. 149-156, **IF=0.108**
- [M8.] Orłowska-Kowalska T., **Dybkowski M.**, Analiza indukcyjnego napędu beczujnikowego z estymatorem MRAS^{CC} w wybranych stanach pracy, *Przegląd Elektrotechniczny*, 2010, R. 86, nr 2, pp. 136-141, **IF=0.242**
- [M9.] Orłowska-Kowalska T., **Dybkowski M.**, Tarchała G., Performance analysis of the sliding-mode speed observer with magnetizing reactance estimation for the sensorless induction motor drive. *Compel*. 2011, vol. 30, nr 3, pp. 968-978, **IF=0.301**
- [M10.] **Dybkowski M.**, Orłowska-Kowalska T., Tarchała G., Analiza porównawcza wybranych struktur estymacji prędkości i strumienia wirnika silnika indukcyjnego w szerokim zakresie zmian prędkości kątowej. *Przegląd Elektrotechniczny* 2012, R. 88, nr 4b, str. 59-63, **IF=0.244** (podano jak za rok 2011)
- [M11.] **Dybkowski M.**, Orłowska-Kowalska T., Estymacja prędkości i wybranych parametrów schematu zastępczego silnika indukcyjnego w beczujnikowym układzie napędowym. *Przegląd Elektrotechniczny*. 2012, R. 88, nr 4b, str. 64-69, **IF=0.244** (podano jak za rok 2011)
- [M12.] Kamiński M., **Dybkowski M.** Analiza układu beczujnikowego wektorowego sterowania silnikiem indukcyjnym z estymatorem MRAS^{CC} z neuronowym mechanizmem wyznaczania prędkości kątowej. *Przegląd Elektrotechniczny*. 2012, R. 88, nr 4b, str. 116-121, **IF=0.244** (podano jak za rok 2011)
- [M13.] Orłowska-Kowalska T., **Dybkowski M.**, Performance analysis of the sensorless adaptive sliding-mode neuro-fuzzy control of the induction motor drive with MRAS-type speed estimator, *Bulletin of the Polish Academy of Sciences*, vol. 60, no.1, 2012, pp. 61-70, **IF=0.980**

[M14.] **Dybkowski M.**, Tarchała G., Orłowska-Kowalska T., Experimental analysis of the sensorless traction drive system with DTC-SVM algorithm and MRAS^{CC} estimator, *Przegląd Elektrotechniczny*. 2012, R. 88, nr 12a, pp. 62-65, **IF=0.244** (podano jak za rok 2011)

(Indywidualny wkład w autorstwo prac przedstawionych w punktach **M1-M14** wraz z podpisami współautorów przedstawiono w załączniku 8)

Sumaryczny impact factor (IF) wybranych publikacji (M1-M14) według listy JCR: **14.733**

Łączna liczba cytowań wszystkich publikacji według Google Scholar: **251**

Łączna liczba cytowań wszystkich publikacji według Web of Science: **101**

Łączna liczba cytowań wszystkich publikacji według Scopus: **167**

Indeks Hirscha według Google Scholar: **7**

Indeks Hirscha według Web of Science: **3**

Indeks Hirscha według Scopus: **4**

Wyniki swoich badań prezentowałem także w czasopiśmie znajdujących się na liście ministerialnej, w rozdziałach książek oraz na liczących się konferencjach krajowych i międzynarodowych (szczegółowo przedstawionych w załączniku nr 5 pkt 1 - *Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo – badawczych po uzyskaniu stopnia doktora*).

c) omówienie celu naukowego monografii i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania

Celem naukowym monografii pt. *Estymacja prędkości kątowej w złożonych układach napędowych – zagadnienia wybrane* było opracowanie uniwersalnego estymatora dla napędów z silnikami indukcyjnymi oraz sprawdzenie jego działania w różnych warunkach pracy. Dodatkowym celem była analiza możliwości estymacji prędkości kątowej w beczujnikowych układach wektorowego sterowania silnikiem indukcyjnym przy wykorzystaniu stosunkowo prostych metod algorytmicznych.

Większość znanych z literatury rozwiązań estymacji strumienia i prędkości kątowej jest badana w bardzo wąskim przedziale zmian prędkości zadanej [M8], [M9]. Dlatego też rozwiązania, które wykorzystywane są w układach o niskich zakresach prędkości kątowych (prędkości pełne i prędkość zerowa) nie mogą być bezpośrednio stosowane w układach, które muszą pracować przy prędkościach znacznie większych od znamionowej (przy osłabianiu pola) i odwrotnie [M14]. Ponadto parametry silnika, w otoczeniu prędkości bliskich zeru i większych od znamionowej, ulegają dużym zmianom, które powodują, że klasyczne rozwiązania estymacji prędkości zawodzą [M9], [M11].

Kolejnym problemem związanym z napędami elektrycznymi oraz z estymacją zmiennych stanu, na które zwrócono uwagę w monografii, jest zagadnienie napędów o zwiększonym stopniu bezpieczeństwa lub inaczej napędów odpornych na uszkodzenia (*ang. fault tolerant drives*).

Duża liczba niezbędnych zmiennych stanu potrzebna do prawidłowego działania struktur sterowania silnikami indukcyjnymi powoduje, że układy te nie są niezawodne, a duża liczba czujników znacznie podraża cenę całego układu napędowego. Aby zapewnić bezpieczeństwo

pracy tak złożonych układów napędowych w aplikacjach przemysłowych (np. w trakcji), konieczne jest wprowadzanie redundancji informacji o najważniejszych sygnałach decydujących o stabilnej pracy napędu. W układach napędowych z silnikami indukcyjnymi sygnałami, które gwarantują stabilną pracę napędu są: napięcie i prąd stojana, strumień stojana bądź wirnika, prędkość kątowna [M1]-[M14].

W ostatniej dekadzie zarysowała się tendencja do poszukiwania metod eliminujących pomiary wielkości mechanicznych i/lub elektromagnetycznych i opracowywania estymatorów tych zmiennych stanu. Zmniejszenie liczby czujników pomiarowych, w tym czujnika prędkości, prowadzi do zwiększenia niezawodności układu napędowego. Ale nawet w przypadku układów, w których stosowany jest bezpośredni pomiar prędkości kątownej konieczne jest, ze względów bezpieczeństwa, dodatkowe stosowanie estymatorów. Dlatego niezbędne jest równoległe przeprowadzanie procesu pomiaru i estymacji sygnałów wykorzystywanych w wewnętrznych sprzężeniach zwrotnych. W razie wykrycia uszkodzenia jakiegokolwiek czujnika, konieczne jest doprowadzenie napędu do takiego stanu, który nie zagraża bezpieczeństwu jego użytkowników i pozwala na przejście do pracy w trybie awaryjnym lub bezpiecznego zatrzymania napędu. Zmiennymi, które w układach wektorowego sterowania silnika indukcyjnego są najczęściej estymowane i mogą gwarantować bezpieczeństwo napędu, są strumień skojarzony z uzwojeniem wirnika i/lub stojana, moment elektromagnetyczny, prędkość lub/i położenie wału maszyny. Przejście układu napędowego z trybu pracy wykorzystującego informację z czujnika prędkości do pracy bezczujnikowej powinno odbywać się w sposób praktycznie niezauważalny dla użytkownika. W zakresie prędkości granicznych, przy których napędy bezczujnikowe nie mogą zagwarantować stabilnej pracy, musi nastąpić zatrzymanie napędu lub przejście do metody sterowania skalarnego.

Innym ważnym problemem w układach napędowych, który w sposób szczegółowy opisano w monografii, jest ich odporność na uszkodzenia zarówno części elektrycznej jak i mechanicznej. Ważne jest, aby metody estymacji zmiennych stanu silnika indukcyjnego (przede wszystkim strumienia wirnika/stojana) działały w sposób prawidłowy nawet przy wystąpieniu problemów ze źródłem zasilania, czyli układem energoelektronicznym oraz w przypadku uszkodzenia silnika napędowego [M7]. Każdy stan awaryjny powinien być wykryty i pozwolić na zatrzymanie napędu w sposób bezpieczny (automatycznie lub za wiedzą operatora).

Liczne publikacje naukowe opisujące problemy związane z napędami odpornymi na uszkodzenia skupiają się przede wszystkim na sposobie wykrywania uszkodzenia oraz na odpowiednim doborze struktur sterowania napędem w celu skompensowania jego uszkodzenia. Brak jest kompleksowych badań pokazujących wpływ wybranych uszkodzeń maszyny elektrycznej, czujników lub elementów energoelektroniki na pracę układu wektorowego sterowania oraz na jakość estymowanych zmiennych stanu, niniejsza monografia wypełnia tę lukę.

W literaturze związanej z estymacją niedostępnych zmiennych stanu brak jest z kolei rozwiązań uniwersalnych, które mogłyby być aplikowane zarówno w strukturach bezpośredniego sterowania momentem jak i w układach sterowania połowo zorientowanego bez konieczności zmian topologii tych układów i zmian nastaw w wewnętrznych ich strukturach oraz bez konieczności precyzyjnego identyfikowania parametrów schematu zastępczego silnika indukcyjnego podczas każdego uruchomienia systemu [M1].

Autor monografii podjął próbę opracowania estymatora prędkości kątownej działającego w sposób stabilny w szerokim zakresie zmian wartości prędkości kątownej i momentu obciążenia. Jednocześnie zwrócił szczególny nacisk na złożoność całego algorytmu wyznaczania niedostępnych zmiennych stanu silnika indukcyjnego. Na podstawie badań i doniesień literaturowych zdecydowano się na wykorzystanie powszechnie znanych

symulatorów zmiennych stanu jako punktu wyjściowego do opracowania nowego estymatora prędkości kątowej silnika indukcyjnego.

Punktem wyjścia do badań był opracowany w ośrodku wrocławskim estymator typu MRAS (tzw. MRAS^{CC}) [M1], [M2], [M6], [M8], [M12], [M14] charakteryzujący się dużym zapasem stabilności i stosunkowo małą wrażliwością na zmiany parametrów silnika w zakresie od prędkości znamionowej do prędkości bardzo niskich.

W monografii zaprezentowano wyniki badań Autora, które prowadzone były w ostatnich latach w Instytucie Maszyn, Napędów i Pomiarów Elektrycznych Politechniki Wrocławskiej i związane były z próbą opracowania estymatora uniwersalnego dla napędów bezczujnikowych, trakcyjnych, bezpiecznych oraz układu dwumasowego [M4], [M5], [M13]. Przedstawiono syntetyczny opis wybranych metod estymacji niedostępnych zmiennych stanu silnika indukcyjnego oraz szczegółowe badania wybranego układu wyznaczania prędkości kątowej silnika indukcyjnego. Opracowano uniwersalny estymator strumienia i prędkości kątowej, który sprawdzono zarówno w układzie bezpośredniego sterowania polowo – zorientowanego jak i w układzie bezpośredniego sterowania momentem. Wykonano badania układu trakcyjnego, układu odpornego na zakłócenia pochodzące od uszkodzeń wybranych elementów (tzw. *układu bezpiecznego*) oraz bezczujnikowego adaptacyjnego systemu z połączeniem sprzężystym.

W szczególności zwrócono uwagę na:

- opis podstawowych struktur sterowania silnikiem indukcyjnym oraz możliwości implementacji w nich układów do wyznaczania zmiennych stanu,
- usystematyzowanie problemu estymacji niedostępnych zmiennych stanu silnika indukcyjnego,
- przegląd prostych (podstawowych) estymatorów zmiennych stanu silnika indukcyjnego,
- badania stabilności oraz wrażliwości wybranych estymatorów zmiennych stanu na błędne oszacowanie parametrów schematu zastępczego silnika indukcyjnego,
- przegląd metod pozwalających na estymację on-line parametrów schematu zastępczego silnika indukcyjnego,
- analizę pracy napędu bezczujnikowego z estymatorem prędkości i wybranych parametrów schematu zastępczego silnika indukcyjnego,
- poprawę estymatora prędkości i jego testy w szerokim zakresie zmian prędkości kątowej i momentu obciążenia, opracowanie uniwersalnego estymatora prędkości kątowej,
- sprawdzenie możliwości implementacji opracowanego estymatora prędkości w napędach trakcyjnych i dwumasowych,
- analizę możliwości pracy uniwersalnego estymatora prędkości w układach o zwiększonym stopniu bezpieczeństwa,
- ponadto przedstawione zostały możliwości opracowania detektorów uszkodzenia wirnika SI oraz czujnika prędkości kątowej.

Na podstawie przeprowadzonych badań symulacyjnych oraz testów laboratoryjnych autor monografii sformułował następujące wnioski:

- Istnieje wiele metod pozwalających w sposób efektywny wyznaczać prędkość kątową silnika indukcyjnego, jednakże brak jest rozwiązań uniwersalnych pozwalających na stabilną pracę w szerokim zakresie zmian prędkości kątowej i momentu elektromagnetycznego, w niewielkim stopniu wrażliwych na zmianę lub błędne oszacowanie parametrów schematu zastępczego silnika indukcyjnego oraz prostych w implementacji praktycznej i nie wymagających bardzo szybkich procesorów sygnałowych.

- Rozwiązaniem, które najlepiej nadaje się do opracowania uniwersalnego estymatora strumienia i prędkości kątovej jest układ adaptacyjny MRAS^{CC}. System ten wykazuje najlepsze właściwości regulacyjne, spośród analizowanych estymatorów, w szerokim zakresie zmian prędkości kątovej, jest stosunkowo mało podatny na zmiany parametrów schematu zastępczego silnika indukcyjnego oraz jest stosunkowo łatwy w parametryzacji. Bezcujnikowy układ wektorowego sterowania z tym estymatorem, przy założeniu stałych parametrów silnika indukcyjnego, działa bardzo dobrze w całym zakresie zmian prędkości, jednakże nieuwzględniona zmiana parametrów SI w estymatorze MRAS^{CC} powoduje pogorszenie działania całego układu napędowego, w szczególności podczas pracy w pobliżu prędkości zerowej oraz podczas osłabiania pola. Dodatkowa informacja o aktualnej wartości reaktancji głównej poprawia działanie układu napędowego, szczególnie w zakresie prędkości większych od wartości znamionowej. W tym przypadku stosowanie tego rozwiązania wydaje się konieczne.

Wykazano ponadto, że w bezcujnikowych układach napędowych istnieje potrzeba estymacji reaktancji rozproszenia stojana, rezystancji stojana i rezystancji wirnika. Zagadnienie to jest szczególnie istotne w napędach o ograniczonych możliwościach chłodzenia i pracujących w zmiennych warunkach środowiskowych. Wprowadzenie poszczególnych estymatorów parametrów SI do struktury sterowania poprawia działanie układu napędowego, szczególnie przy małych prędkościach kątowych.

Wykazano, że możliwa jest rozbudowa estymatora MRAS^{CC} o dodatkowe układy estymacyjne, które pozwolą na poprawę jego właściwości w otoczeniu prędkości pełnych oraz większych od wartości znamionowej.

- Wykazane zostało, że konieczne jest stosowanie algorytmu sekwencyjnego załączania poszczególnych układów estymacji parametrów maszyny u układzie uniwersalnym, w taki sposób, aby w danej chwili pracował tylko jeden estymator. Takie podejście pozwala na zagwarantowanie stabilnej pracy bezcujnikowego układu napędowego w całym zakresie zmian prędkości kątovej.

Opracowany algorytm wyznaczania parametrów schematu zastępczego silnika indukcyjnego powinien być wykorzystywany wyłącznie w układach, które charakteryzują się dużą odpornością na zmiany parametrów maszyny, ze względu na fakt ich estymacji z określoną dokładnością.

- Zmodyfikowany estymator MRAS^{CC} może być z powodzeniem wykorzystany w trakcyjnych układach napędowych jako układ redundantny (napędy bezpieczne) lub w bezcujnikowych napędach sterowanych metodą DTC-SVM. Estymator MRAS^{CC} w aplikacji trakcyjnej działa stabilnie w całym zakresie zmian prędkości i momentu, jest w niewielkim stopniu wrażliwy na zmiany parametrów silnika indukcyjnego. Ponadto estymator charakteryzuje się odpornością na zmienne warunki zasilania (zaniki, zapady napięcia zasilania, przeciążenia oraz w zakresie osłabionego pola), co ma kluczowe znaczenie w układach trakcyjnych.

- Uszkodzenie wirnika silnika indukcyjnego powoduje powstanie oscylacji w przebiegach zmiennych stanu SI i ma wpływ na działanie układu napędowego. W przypadku napędu bezcujnikowego z estymatorem MRAS^{CC} możliwa jest stabilna praca nawet przy uszkodzeniu kilku prętów klatki wirnika. Sygnały z wewnętrznej struktury sterowania wektorowego mogą z powodzeniem być wykorzystane podczas detekcji uszkodzenia. Możliwe jest opracowanie detektora neuronowego wykrywającego nawet jeden uszkodzony pręt klatki wirnika w strukturze DRFOC i DTC-SVM.

- Awaria czujnika prędkości oraz łącznika tranzystorowego IGBT ma istotny wpływ na działanie struktur sterowania SI. Konieczne jest wykorzystywanie mechanizmu detekcji uszkodzenia czujnika prędkości w napędach o zwiększonym stopniu bezpieczeństwa i przełączaniu układu sterowania w tryb pracy bezcujnikowej. Niezależnie od tego, który z

kluczy tranzystorowych przemiennika częstotliwości jest uszkodzony estymator MRAS^{CC} działa w sposób prawidłowy. Możliwe jest wykrycie uszkodzenia falownika napięcia poprzez obserwację sygnałów z wewnętrznej struktury sterowania i przełączeniu układu na system redundantny.

- Możliwa jest stabilna praca adaptacyjnego układu napędowego z połączeniem sprzężystym w trybie bezczujnikowym z opracowanym estymatorem MRAS^{CC}. Dzięki temu, że estymator MRAS^{CC} działa w sposób stabilny zarówno dla prędkości małych jak i podczas osłabiania pola, jest w niewielkim stopniu wrażliwy na zmiany parametrów silnika, do estymacji prędkości obciążenia i momentu skrętnego można wykorzystać estymowaną przez ten układ wartość prędkości kątowej.

Za najważniejsze osiągnięcia przedstawione w monografii autor uważa:

1. Dokonanie analizy literatury dotyczącej zagadnień estymacji niedostępnych zmiennych stanu SI, przeprowadzenie analizy wybranych estymatorów zmiennych stanu silnika indukcyjnego, charakteryzujących się stosunkowo prostą konstrukcją i niskimi wymaganiami sprzętowymi, które potencjalnie mogłyby być wykorzystane do opracowania estymatora uniwersalnego. Wykazano przy tym, że układy wykorzystujące technikę ruchu ślizgowego oraz układy adaptacyjne nadają się do opracowania estymatora uniwersalnego. Udowodniono, że estymatory wykorzystujące do estymacji prędkości kątowej algorytm oparty o pulsację poślizgu nie mogą być stosowane w zaawansowanych układach bezczujnikowych natomiast mogą one być z powodzeniem wykorzystane w systemach z pomiarem prędkości kątowej lub pracować jako układ redundantny w napędach z innym mechanizmem wyznaczania prędkości kątowej.
2. Opracowanie oryginalnej koncepcji estymatora typu MRAS (Model Reference Adaptive System) – MRAS^{CC}, oraz jego modyfikacji SM-MRAS, novel-MRAS^{CC}.
3. Przeprowadzenie badań wrażliwości wybranych estymatorów strumienia i prędkości kątowej na zmianę parametrów schematu zastępczego silnika indukcyjnego i ich krytyczną ocenę.
4. Wykonanie poszerzonych badań wrażliwości i stabilności estymatora MRAS^{CC} na zmianę parametrów schematu zastępczego silnika indukcyjnego. Wykonanie analizy wpływu zmian parametrów regulatora PI znajdującego się w torze adaptacji prędkości kątowej na rozmieszczenie biegunów równania charakterystycznego estymatora prędkości.
5. Wykonanie korekty estymatora strumienia i prędkości kątowej MRAS^{CC} poprzez zmianę mechanizmu adaptacji prędkości kątowej i możliwości wykorzystania dodatkowych estymatorów parametrów schematu zastępczego silnika indukcyjnego.
6. Analizę możliwości estymacji on-line prędkości i parametrów schematu zastępczego silnika indukcyjnego w układach napędowych sterowanych metodami wektorowymi, w tym opracowanie układu sekwencyjnego wyznaczania parametrów schematu zastępczego silnika indukcyjnego dla napędów bezczujnikowych.
7. Opracowanie oryginalnego uniwersalnego estymatora prędkości kątowej, działającego w sposób stabilny w różnych strukturach sterowania, z silnikami małej i średniej mocy, w szerokim zakresie zmian prędkości kątowej. Wykonanie szczegółowych badań i analiz w układach laboratoryjnych.
8. Wykonanie bezczujnikowego sterowania dla systemów trakcji miejskiej w oparciu o uniwersalny estymator prędkości kątowej (szczegółowe badania na stanowisku laboratoryjnym z silnikiem 50kW) oraz analizę pracy opracowanego estymatora MRAS^{CC} w układzie napędowym z połączeniem sprzężystym.
9. Analizę możliwości wykorzystania opracowanego estymatora prędkości kątowej w układach napędowych o zwiększonym bezpieczeństwie. Opracowanie bezczujnikowego

układu wektorowego sterowania silnikiem indukcyjnym odpornego na uszkodzenia wirnika maszyny oraz wykazanie możliwości wykorzystania sygnałów z wewnętrznej struktury sterowania momentem do diagnostyki wirnika silnika indukcyjnego za pomocą detektorów neuronowych.

10. Opracowanie algorytmu wykrywania uszkodzenia czujnika prędkości kątowej i zmiany topologii systemu na układ bezczujnikowy z uniwersalnym estymatorem MRAS^{CC}.

11. Przeprowadzenie analizy wpływu uszkodzenia łączników tranzystorowych IGBT na pracę napędu bezczujnikowego z estymatorem MRAS^{CC}.

Opracowany estymator wyznaczania prędkości kątowej silnika indukcyjnego i parametrów schematu zastępczego sprawdzony został w warunkach symulacyjnych i laboratoryjnych.

W monografii przedstawiono zagadnienia, którymi autor zajmował się po zakończeniu doktoratu [M1] – [M14], a także nowe, dotąd niepublikowane tematy. W szczególności za nowe osiągnięcie można uznać opracowanie nowej koncepcji estymatora uniwersalnego współpracującego w sposób szeregowy z estymatorami parametrów schematu zastępczego silnika indukcyjnego (Rozdział 6, Rozdział 7), analizę układu o zwiększonym stopniu bezpieczeństwa z zaproponowanym estymatorem prędkości kątowej i strumienia wirnika (Rozdział 9). Przedstawiono także metodykę wykrywania uszkodzeń wirnika i czujnika prędkości w układach napędowych z silnikami indukcyjnymi.

Dyplomistka Matsum