

Maciej BOGUMIŁ
Konrad DĄBAŁA

METODA I PROGRAM DO PROJEKTOWANIA OPTYMALNYCH SILNIKÓW INDUKCYJNYCH

STRESZCZENIE *Artykuł zawiera opis metody projektowania oraz programu Osin-Eta służącego do projektowania silników indukcyjnych klatkowych małej mocy. Przedstawiono genezę powstania programu, opis interfejsu użytkownika oraz podstawowe możliwości obliczeniowe programu. Zwrócono też uwagę na wpływ dokładności obliczeń cyfrowych na proces optymalizacji.*

Słowa kluczowe: *projektowanie silników indukcyjnych, optymalizacja silników indukcyjnych, komputerowe wspomaganie projektowania silników indukcyjnych, programy do projektowania silników*

1. WSTĘP

Pierwsze próby wykonywania optymalnych obliczeń projektowych silników indukcyjnych podjęto w Zakładzie Maszyn Elektrycznych Instytutu Elektrotechniki w 1975 roku. Wykorzystywane wówczas do obliczeń maszyny cyfrowe miały niewystarczającą prędkość działania, aby sprostać zagadnieniom projektowym. Wraz z rozwojem komputerów osobistych i coraz większą ich mocą

Dr inż. Maciej BOGUMIŁ
e-mail: m.bogumil@iel.waw.pl

Dr inż. Konrad DĄBAŁA
e-mail: k.dabala@iel.waw.pl

Zakład Maszyn Elektrycznych, Instytut Elektrotechniki

PRACE INSTYTUTU ELEKTROTECHNIKI, zeszyt 258, 2012

obliczeniową, w Zakładzie Maszyn Elektrycznych opracowywano programy obliczeniowe dostosowane do możliwości nowych maszyn cyfrowych.

Pierwsza użytkowa wersja programu Osin-2 powstała w 1995 roku, a w roku 2000 opracowano nową wersję programu Osin-4, która została znacznie rozbudowana i uzupełniona o nowe elementy. Twórcą metody oraz algorytmu optymalnych obliczeń jest Tadeusz Śliwiński, który prowadził prace dotyczące deterministycznych metod optymalizacji silników indukcyjnych [4, 5] oraz rozwijał opracowaną metodę obliczeń.

Obecna, dziesiąta wersja programu Osin-Eta używana w Zakładzie Maszyn Elektrycznych jest dostosowana do komputerów klasy PC z oprogramowaniem DOS lub Windows pracującym w trybie MS-DOS. Powstała zatem potrzeba przystosowania programu Osin-Eta do pracy we współczesnych systemach operacyjnych Windows XP/Vista/7.

W artykule przedstawiono nowe oprogramowanie do projektowania optymalnych silników indukcyjnych klatkowych, oparte na metodzie wykorzystywanej dotychczas w programie Osin-Eta.

Zaimplementowanie nowej wersji programu Osin-Eta w środowisku przystosowanym do pracy w systemie Windows XP/Vista/7 umożliwi znacznie łatwiejsze wprowadzanie danych, intuicyjne posługiwanie się programem oraz bezpośredni dostęp do danych opisanych w przystępny sposób bezpośrednio w programie. Nowa wersja programu znacznie przyspiesza przygotowanie danych wejściowych do obliczeń optymalizacyjnych oraz umożliwi posługiwanie się programem przez użytkowników nie znających dokładnie algorytmu programu.

2. OPIS METODY PROJEKTOWANIA

Z punktu widzenia metod programowania, opisywana metoda optymalizacji przedstawiona w [5, 6, 7] jest metodą optymalizacji nieliniowej, wielowymiarowej z ograniczeniami.

Określono 4 ograniczenia dla silnika jednoklatkowego i 5 ograniczeń dla silnika dwuklatkowego:

1. maksymalna wartość przyrostu temperatury uzwojenia stojana;
2. maksymalna wartość początkowej mocy pozornej rozruchowej;
3. minimalna wartość początkowego momentu rozruchowego;
4. maksymalny skok przyrostu temperatury uzwojenia stojana przy rozruchu w stanie nagrzanym;
5. maksymalny dopuszczalny przyrost temperatury klatki rozruchowej przy rozruchu.

Do modyfikacji funkcji celu zastosowano metodę kar zewnętrznych. Liczba zmiennych niezależnych dla silnika jednoklatkowego wynosi 7, a dla silnika dwuklatkowego wynosi 8. Są one następujące:

1. maksymalna indukcja w zębach stojana;
2. wewnętrzna średnica jarzma stojana;
3. stosunek wewnętrznej średnicy stojana do wewnętrznej średnicy jarzma stojana;
4. stosunek długości rdzenia do wewnętrznej średnicy jarzma stojana;
5. stosunek szerokości zęba do podziałki żłobkowej w stojanie;
6. stosunek szerokości zęba do podziałki żłobkowej w wirniku;
7. stosunek wysokości jarzma stojana do wewnętrznej średnicy jarzma stojana;
8. stosunek wysokości żłobków klatki rozruchowej do wysokości żłobków klatki pracy.

Do znajdowania ekstremum funkcji celu w analizowanej przestrzeni wielowymiarowej przewidziano dwa algorytmy: pierwszy z zastosowaniem aproksymacji parabolicznej, która jest wariantem metody Newtona, i drugi z wykorzystaniem metody bezpośredniej. Obydwa algorytmy mogą być stosowane szeregowo w podanej kolejności.

W dotychczasowych pracach nad optymalizacją silników przyjmowano jako funkcję celu koszt użytkowania, obejmujący zarówno koszt silnika lub w przybliżeniu koszt głównych materiałów, jak i strat energii przy jego pracy w ciągu całego okresu amortyzacji. W 2010 roku, biorąc pod uwagę narzucone wartości sprawności w określonej klasie sprawności (IE2-IE4), przyjęto nową funkcję celu jako koszt silnika lub w uproszczeniu koszt głównych materiałów i opracowano zmodyfikowane algorytmy już uwzględniające nową funkcję celu. Zadaniem optymalizacji jest więc teraz znalezienie takiego rozwiązania konstrukcyjnego i materiałowego silnika, które minimalizuje koszt materiałów przy narzuconej normie wartości sprawności.

Metody deterministyczne dają jednoznaczne i powtarzalne wyniki obliczeń optymalizacyjnych. Wadą tych metod jest mała skuteczność przy dużej liczbie zmiennych niezależnych (zwykle powyżej 10). Wymusza to konieczność ograniczania tej liczby, co prowadzi do uproszczeń w metodzie obliczeń funkcji celu i ograniczeń.

2.1. Opis programu

Nowy program Osin-Eta służy do obliczeń projektowych silników indukcyjnych klatkowych małej mocy – do 100 kW.

Menu główne programu (rys. 1a) umożliwia wybór sposobu obliczeń w różnych wariantach danych wejściowych z optymalizacją lub bez.

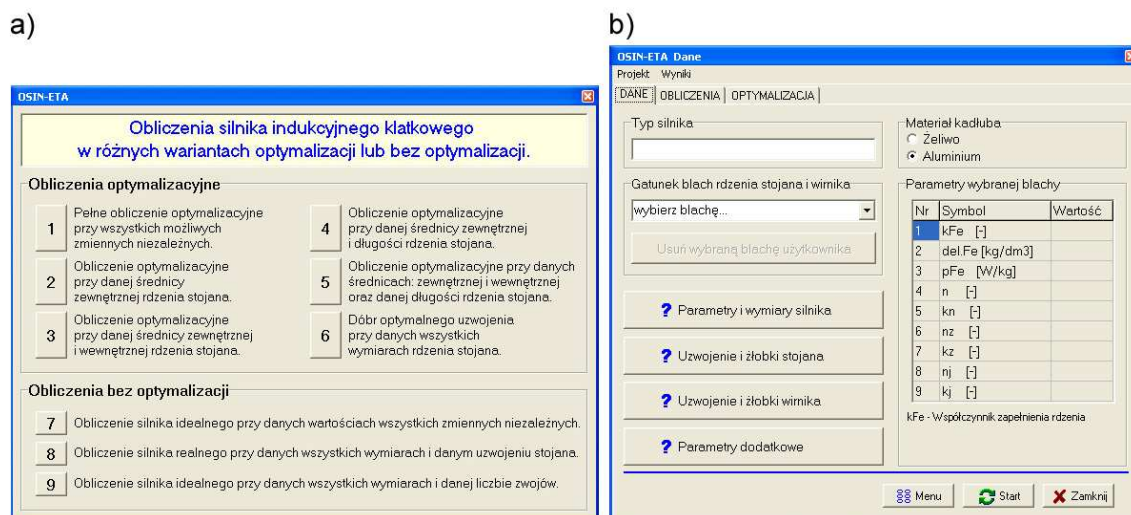
Można wykonać obliczenia spośród dziewięciu wariantów:

I. Obliczenia optymalizacyjne:

1. Pełne obliczenie przy wszystkich możliwych zmiennych niezależnych;
2. Obliczenie przy danej średnicy zewnętrznej rdzenia stojana;
3. Obliczenie przy danej średnicy zewnętrznej i wewnętrznej rdzenia stojana;
4. Obliczenie przy danej średnicy zewnętrznej i długości rdzenia stojana;
5. Obliczenie przy danej średnicy zewnętrznej i wewnętrznej oraz danej długości rdzenia stojana;
6. Dóbr optymalnego uzwojenia przy danych wszystkich wymiarach rdzenia stojana.

II. Obliczenia bez optymalizacji:

1. Obliczenie silnika idealnego przy danych wartościach wszystkich zmiennych niezależnych;
2. Obliczenie silnika realnego przy danych wszystkich wymiarach i danym uzwojeniu stojana;
3. Obliczenie silnika idealnego przy danych wszystkich wymiarach i danej liczbie zwojów.



Rys. 1. Okna dialogowe programu Osin-Eta:
a) menu główne; b) główny formularz wprowadzania danych

Wybór konkretnego wariantu obliczeń określa zestaw danych wejściowych, które muszą być wprowadzone przez użytkownika.

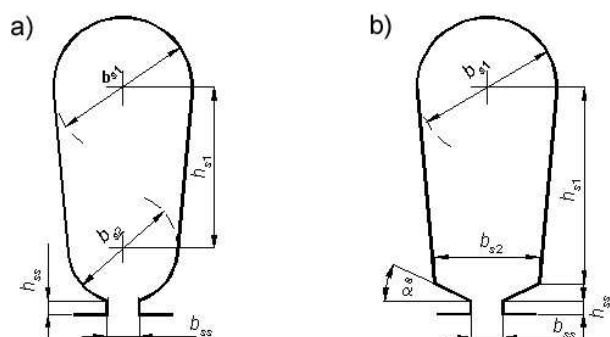
Główny formularz wprowadzania danych (rys. 1b) zawiera opis typu silnika, wybór materiału rdzenia i kadłuba stojana oraz cztery przyciski otwierające

okna dialogowe do edycji podstawowych parametrów i wymiarów silnika, jego uzwojeń, własności materiałów użytych do budowy silnika, współczynników produkcyjnych oraz proporcji wymiarów silnika.

Blachy rdzenia można wybrać w menu rozwijanym spośród 9 gatunków blach dostępnych na rynku lub zdefiniować własny gatunek blachy.

Przycisk „Uzwojenie i żłobki stojana” otwiera tabelę z parametrami uzwojenia oraz wymiarami żłobka stojana. Do wyboru są dwa żłobki stojana z półokrągłym sklepieniem przy dnie:

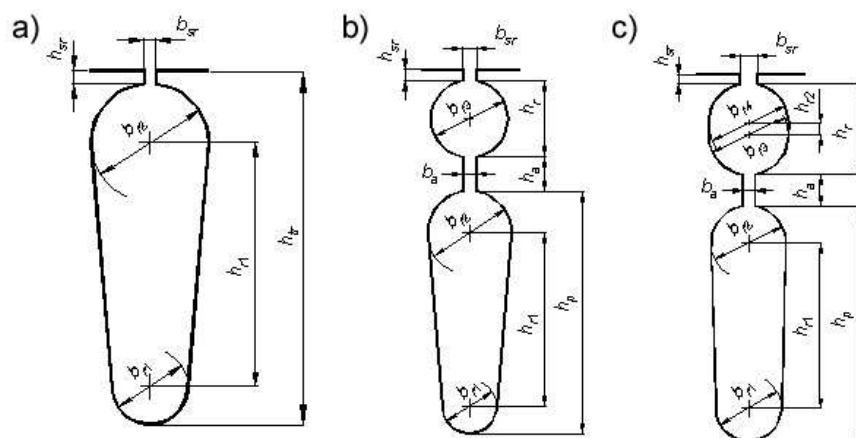
- z półokrągłym sklepieniem przy szczelinie (rys. 2a);
- z trapezowym sklepieniem przy szczelinie (rys. 2b).



Rys. 2. Kształty żłobków stojana dostępne w programie Osin-Eta:
 a) żłobek ze sklepieniem półokrągłym przy dnie i szczelinie;
 b) żłobek ze sklepieniem półokrągłym przy dnie i trapezowym przy szczelinie

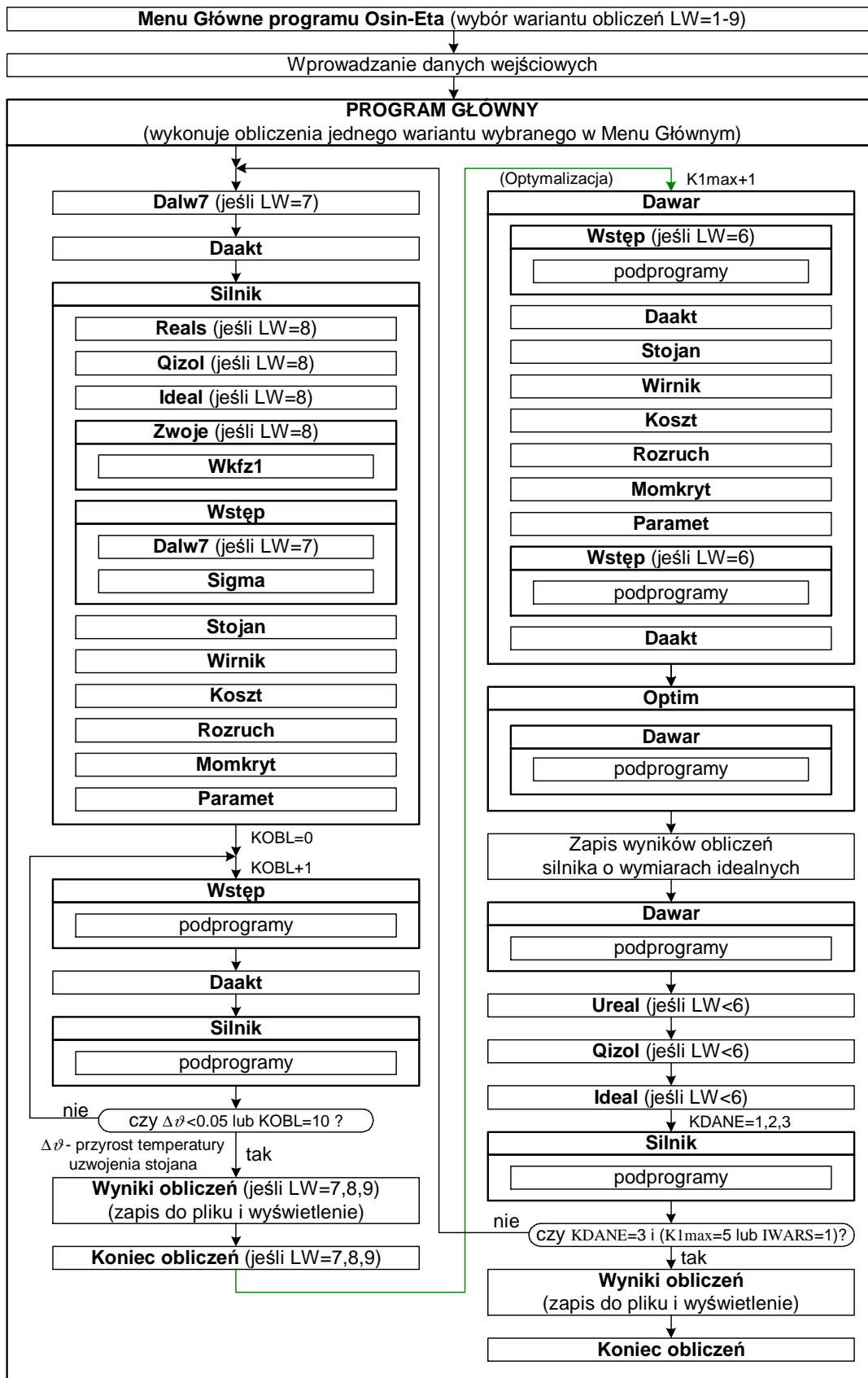
Przycisk „Uzwojenie i żłobki wirnika” otwiera tabelę z wymiarami żłobka oraz parametrami klatki wirnika. Do wyboru są trzy żłobki wirnika ze sklepieniami półokrągłymi:

- jednokłatkowy (rys. 3a);
- dwukłatkowy z okrągłą klatką rozruchową (rys. 3b);
- dwukłatkowy z owalną klatką rozruchową (rys. 3c).



Rys. 3. Kształty żłobków wirnika dostępne w programie Osin-Eta:

- żłobek jednokłatkowy ze sklepieniami półokrągłymi;
- żłobek dwukłatkowy ze sklepieniami półokrągłymi i okrągłą klatką rozruchową;
- żłobek dwukłatkowy ze sklepieniami półokrągłymi i owalną klatką rozruchową



Rys. 4. Schemat blokowy działania programu Osin-Eta

W programie Osin-Eta można określić skos żłobków wirnika, wybrać ilość pierścieni pośrednich wirnika (max. 5) oraz zaznaczyć, czy moment początkowy ma być „Normalny” czy „Zwiększony”.

Pozostałe zakładki głównego formularza zawierają tabele ze współczynnikami dokładności obliczeń, parametrami ekonomicznymi i eksploatacyjnymi, początkowymi wartościami i krokami zmiennych niezależnych oraz współczynnikami zmiany kroków obliczeń oraz ze współczynnikami funkcji kar i dokładnością obliczeń optymalizacyjnych.

Wszystkie parametry w tabelach przyjmują wartości domyślne przy uruchomieniu programu, ale mogą być zmieniane przez użytkownika.

Program Osin-Eta składa się z 34 modułów, w tym 11 modułów stanowi interfejs użytkownika oraz programy obsługi danych i plików, zaś 23 moduły to podprogramy obliczeniowe. Ogólny schemat blokowy procesu obliczeń programu przedstawiono na rysunku 4.

Program Osin-Eta wykonuje obliczenia parametrów silnika z dokładnością przyjętą przez użytkownika. Powtarzanie obliczenia danego parametru w pętli odbywa się dotąd, aż dany wynik różni się od poprzedniego nie więcej niż o dokładność założoną dla tego parametru. Dokładności obliczeń przyjmuje się od 10^{-1} do 10^{-9} . Zmiana ścieżki optymalizacji oznacza obliczenie innej indukcji, średnicy blachy, wymiarów żłobków stojana, długości rdzenia lub kształtu klatki wirnika, a w efekcie zmianę parametrów elektrycznych i mechanicznych oraz kosztu silnika.

Zależności związane z dokładnością występują zarówno w programie napisanym w języku programowania Fortran i pracującym w systemie DOS, jak i napisanym w języku programowania Delphi pracującym w systemie Windows. Jeżeli badanie różnicy wyniku bieżącego i poprzedniego odbywa się na granicy wartości dokładności, to istnieje duże prawdopodobieństwo wyboru różnych ścieżek optymalizacji zarówno przez program Osin-Eta pracujący w systemie DOS, jak i przez nowy program Osin-Eta pracujący w systemie Windows.

Zawężenie granic dokładności (np.: z 10^{-6} na 10^{-8}) wpływa nie tylko na podwyższenie dokładności obliczeń, ale także zmienia ścieżkę optymalizacji. W obu wersjach programu Osin-Eta zmiany przebiegają nieco inaczej, z uwagi na różną dokładność liczb rzeczywistych i inne algorytmy kompilacji języka Fortran i Delphi.

LITERATURA

1. Dems M., Komęza K.: Parametry schematu zastępczego i wybrane parametry elektromagnetyczne silnika indukcyjnego o skośnych żłobkach wirnika. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, nr 1500, Elektryka, nr 176, Gliwice 2001, s. 201-208.

2. Dems M., Rutkowski Z.: Obliczenia prądu magnesującego i parametrów rozruchowych w silnikach indukcyjnych. Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej, Elektryka, nr 40, 1992, s. 63-74.
3. Dems M.: Symulacja komputerowa przebiegów elektromechanicznych w silnikach indukcyjnych klatkowych. Zeszyty Naukowe Politechniki Łódzkiej, nr 754, Rozprawy Naukowe, zeszyt nr 229, Politechnika Łódzka, 1996.
4. Śliwiński T.: Metody obliczania silników indukcyjnych. Tom 1. Analiza. PWN, Warszawa, 2008.
5. Śliwiński T.: Metody obliczania silników indukcyjnych. Tom 2. Synteza. PWN, Warszawa, 2010.
6. Śliwiński T., Tomsia G.: Program: „OSIN-ETA”. Algorytm. Uniwersalny program optymalizacyjny obliczania silników indukcyjnych. Część 1. Instytut Elektrotechniki, dokumentacja nr 232/NME/2010. Warszawa, 2010.
7. Śliwiński T., Tomsia G.: Program: „OSIN-ETA” – 2010. A: Instrukcje programu, B: Przykłady zbiorów danych i wyników obliczeń, C: Spis tabulogramów, D: Druki tabulogramów programu „OSIN-ETA” w języku Fortran. Część 2. Instytut Elektrotechniki, dokumentacja nr 232/NME/2010. Warszawa, 2010.
8. Śliwiński T., Tomsia G.: Program optymalnej syntezy silników indukcyjnych OSIN-4. Przewodnik po programie. Instytut Elektrotechniki, dokumentacja tematu nr 500/2470/15. Warszawa, 2000.

Rękopis dostarczono dnia 13.04.2012 r.

METHOD AND SOFTWARE FOR DESIGN OF THE OPTIMAL INDUCTION MOTORS

Maciej BOGUMIŁ, Konrad DĄBAŁA

SUMMARY *The article describes the design methods and Osin-Eta computer program predestined for design of small power cage induction motors. The genesis of program, the user interface description and the program basic computing capabilities were presented. Furthermore the accuracy impact of digital computation process on the optimization process was discussed.*

Keywords: *design of induction motors, optimization of induction motors, computer aided design of induction motors, programs for the design of induction motors*



Dr inż. Maciej BOGUMIŁ urodził się w 1974 roku. Stopień magistra inżyniera uzyskał na Wydziale Elektrycznym Politechniki Warszawskiej w roku 2001. W tym samym roku rozpoczął pracę w Zakładzie Maszyn Elektrycznych Instytutu Elektrotechniki, gdzie w 2007 roku obronił stopień doktora w dziedzinie elektrotechniki. Zajmował się techniką pomiarowo-kontrolną, zagadnieniami maszyn elektrycznych, odnawialnymi źródłami energii oraz zastosowaniem technik informacyjnych do obliczeń. Autor kilku publikacji z zakresu wykonywanych badań. Wykonawca projektu badawczego promotorskiego i współpracownik w projekcie badawczym Ministerstwa Nauki i Informatyzacji.

Dr inż. Konrad DĄBAŁA ukończył Wydział Elektryczny Politechniki Warszawskiej i w roku 1982 rozpoczął pracę w Zakładzie Maszyn Elektrycznych Instytutu Elektrotechniki w Warszawie, gdzie uzyskał stopień doktora nauk technicznych. Zajmuje się przede wszystkim problematyką strat i sprawności w silnikach indukcyjnych klatkowych. Jest autorem lub współautorem ponad 40 publikacji naukowych krajowych i zagranicznych z dziedziny maszyn elektrycznych a także wykonawcą i kierownikiem projektów badawczych, rozwojowych i celowych.



