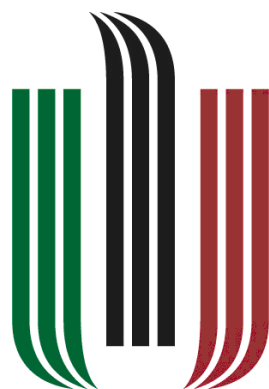


Akademia Górniczo-Hutnicza
im. Stanisława Staszica w Krakowie
Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki
i Inżynierii Biomedycznej



AGH

**METODY ANALIZY I ROZPOZNAWANIA
INFORMACJI ZAWARTEJ W SYGNAŁACH
PRĄDOWYCH I NAPIĘCIOWYCH SILNIKÓW
ELEKTRYCZNYCH DLA DIAGNOSTYKI
STANÓW PRZEDAWARYJNYCH**

Witold Głowacz

Autoreferat rozprawy doktorskiej
Promotor: Prof. zw. dr hab. inż. Ryszard Tadeusiewicz
Kraków, 2017

1. Cel i zakres pracy

W wielu ośrodkach naukowych na świecie prowadzone są aktualnie badania różnych sygnałów pomiarowo dostępnych, które mogą być użyte w diagnostyce technicznej i medycznej. W badaniach tych odnaleźć można wiele cech wspólnych, na przykład ogólny schemat rozpoznawania jest taki sam, niezależnie od tego co się rozpoznaje, natomiast prace te są bardzo zróżnicowane, gdy skupimy uwagę na szczegółach. Ale właśnie te szczegóły decydują zwykle o przydatności i użyteczności różnych metod do poszczególnych celów, dlatego niniejsza praca skoncentrowana jest właśnie na przebadaniu i dopracowaniu szczegółów. W pracy ograniczymy się do zagadnienia rozpoznawania uszkodzeń silników elektrycznych, a badania opisane w pracy skupiają się na dobieraniu metod przetwarzania danych w zależności od rozpatrywanego sygnału. Prowadzone prace oparte zostały mocno na danych literaturowych. Z prac badaczy wynika, że informacje o uszkodzeniach silników elektrycznych zawarte są w sygnałach: prądowych, akustycznych, termowizyjnych, mocy elektrycznej, siły elektromagnetycznej, naprężeń mechanicznych [2].

Dla klasy układów elektromechanicznych, jakimi są rozważane tu silniki elektryczne, metodyczne podstawy analizy stanowi teoria obwodów oraz teoria systemów elektromechanicznych. Większość prac w literaturze dotyczy stanów bezawaryjnych i awaryjnych [5], [7], [8], [9], [10], [12], a tylko w nielicznych opracowaniach przedmiotem zainteresowania autorów są **stany przedawaryjne** [6], [13]. Tymczasem właśnie te stany są ważne dla osób odpowiedzialnych za eksploatację silników i metody automatycznej identyfikacji tych stanów mają duże znaczenie praktyczne, jak również są ważne z punktu widzenia kompletności wiedzy naukowej na temat możliwości automatyzacji diagnostyki technicznej rozważanej klasy maszyn elektrycznych. Eksperymenty wykorzystujące sygnały prądowe i napięciowe do rozpoznawania stanów przedawaryjnych powinny być wykonane w celu diagnozowania tych stanów ponieważ naprawa maszyny kosztuje mniej, gdy uszkodzenie zostanie wykryte wcześniej. W przyjętym tu rozumowaniu powstanie stanu przedawaryjnego interpretowane jest jako zagrożenie uszkodzenia maszyny, do którego można nie dopuścić.

Celem niniejszej rozprawy było udowodnienie tezy, że zastosowanie algorytmów rozpoznawania umożliwia użycie metod analizy sygnałów prądowych lub napięciowych do efektywnej diagnostyki stanów przedawaryjnych silników elektrycznych. Aby osiągnąć ten cel w pracy zrealizowano następujące zadania badawcze: omówiono problemy rozpoznawania stanów przedawaryjnych silników elektrycznych, przedstawiono wybrane metody

przetwarzania, analizy i rozpoznawania sygnału prądowego/napięciowego [1], [3], [4], [11], [14], [15] dokonano implementacji poszczególnych metod, opracowano projekt stanowiska diagnostycznego do badania sygnałów prądowych i napięciowych maszyn elektrycznych, przeprowadzono badania sygnałów prądowych i napięciowych zmierzające do skonfigurowania metod przetwarzania, analizy i rozpoznawania dla danego silnika elektrycznego, przeprowadzono weryfikację wyników rozpoznawania sygnałów prądowych i napięciowych oraz przedstawiono projekt urządzenia monitorującego silnik elektryczny w ruchu.

Oryginalnymi elementami w pracy doktorskiej są:

- 1) Opracowanie technik analizy informacji zawartej w sygnałach prądowych i napięciowych silników elektrycznych dla stanów przedawaryjnych. Techniki te zostały zrealizowane w następujących etapach: rejestracji sygnału prądowego/napięciowego, filtracji, normalizacji amplitudy, segmentacji, okienkowania, ekstrakcji cech i klasyfikacji .
- 2) Opracowanie i implementacja metody wyboru amplitud dla częstotliwości, klasyfikatora opartego na sieci neuronowej z algorytmem wstecznej propagacji błędów, na metodzie najbliższego sąsiada NN, Bayesa i liniowej analizie dyskryminacyjnej LDA.
- 3) Zbudowanie stanowiska diagnostycznego do badania sygnałów prądowych i napięciowych maszyn elektrycznych. Opracowane zostały: warunki zastosowania stanowiska, projekt stanowiska, diagramy UML (diagramy wdrożenia, diagramy przypadków użycia, diagram pakietów, diagramy czynności, diagramy sekwencji). Zaprojektowano wyposażenie techniczne i informatyczne stanowiska. Zaimplementowano system automatycznego rozpoznawania sygnałów prądowych i napięciowych (SARSP/SARSN), który zawierał wybrane algorytmy przetwarzania danych. Przygotowane zostały odpowiednie stany przedawaryjne wybranych maszyn elektrycznych. Przeprowadzono rejestrację sygnałów prądowych i napięciowych dla stanów przedawaryjnych silnika indukcyjnego i silnika prądu stałego. Omówione zostały stosowane algorytmy oraz łączenie sprzętu z oprogramowaniem. Parametry i strukturę algorytmów dostosowano do charakteru rozważanych sygnałów prądowych i napięciowych. Wprowadzona została możliwość podglądu danych w kolejnych krokach przetwarzania i analizy sygnału prądowego/napięciowego. Uwzględniona została możliwość porównywania wyników rozpoznawania sygnałów prądowych i napięciowych z innymi metodami, np. opartymi na analizie sygnałów

akustycznych.

- 4) Przeprowadzenie analizy sygnałów prądowych i napięciowych zmierzającej do skonfigurowania metod przetwarzania i analizy w celu uzyskania jak najlepszej metody rozpoznawania dla danej maszyny elektrycznej. Przeprowadzone badania potwierdziły skuteczność proponowanego podejścia (działania systemu i algorytmów). Badania potwierdziły również, że stanowisko zostało zbudowane właściwie.
- 5) Przedstawienie projektu urządzenia monitorującego maszynę elektryczną w ruchu. Projekt zawiera propozycję powiązania opracowanych algorytmów ze sprzętem właściwym do prowadzenia diagnostyki maszyny w ruchu.

Rozważania prowadzone w rozprawie doktorskiej dotyczyły dwóch wybranych maszyn elektrycznych, które generowały sygnały prądowe i napięciowe. Po przeprowadzonych badaniach można było stwierdzić, że stany pracy wybranych maszyn elektrycznych wpływały na generowane przez nie sygnały. Istotnym czynnikiem wpływającym na uzyskanie wysokiej skuteczności rozpoznawania sygnału prądowego/napięciowego była długość próbki prądu/napięcia do rozpoznawania. Analiza opracowanych algorytmów wskazuje, iż klasyfikator LDA najlepiej rozpoznawał sygnały prądowe i napięciowe maszyn elektrycznych. Podobnie bardzo dobre wyniki zostały otrzymane z zastosowaniem klasyfikatora NN. Klasyfikator oparty na sieci neuronowej z algorytmem wstecznej propagacji błędów i klasyfikator Bayesa miały niższą skuteczność rozpoznawania sygnału prądowego/napięciowego, niż pozostałe klasyfikatory. Spośród algorytmów FFT, LPC, LPCC najlepszą skuteczność rozpoznawania sygnału prądowego/napięciowego miały FFT, szczególnie MSAF, następnie LPCC. Na podstawie przedstawionych technik i ich wyników otrzymanych dla wybranych maszyn elektrycznych można stwierdzić, że teza naukowa rozprawy doktorskiej została udowodniona.

Należy zauważyć, że proponowane techniki są ograniczone warunkami zastosowania. Istotnym ograniczeniem jest to, że maszyny elektryczne muszą mieć wymiary, konstrukcje, masę, materiały, z których są wykonane, parametry znamionowe takie same jak te, na których przeprowadzany został proces tworzenia wzorców do rozpoznawania. Skutkuje to tym, że proponowane techniki dla pewnej grupy maszyn mogą dawać dobre wyniki, a dla innej grupy już nie. Z drugiej strony różnorodność maszyn elektrycznych jest tak duża, że prowadzenie badań nad wszystkimi rodzajami maszyn i rodzajami stanów przedawaryjnych może trwać latami. Innym problemem, który został poruszony w warunkach zastosowania stanowiska jest posiadanie takiego samego środowiska do rejestracji sygnału prądowego/napięciowego. W praktyce użytkownika proponowanego stanowiska szumy spowodowane pracą wielu

maszyn elektrycznych mogą doprowadzić do znacznego utrudnienia diagnostyki. Taką sytuację można jednak częściowo rozwiązać weryfikując metody oparte na badaniu sygnałów prądowych i napięciowych za pomocą innych metod.

Proponowane stanowisko diagnostyczne do badania sygnałów prądowych i napięciowych, techniki oraz ich wyniki eksperymentalne są istotne dla nauk technicznych, w tym informatyki. Wyniki badań potwierdzają, że stanowisko może być przydatne do wykrywania uszkodzeń i zabezpieczania maszyn elektrycznych. Maszyny te występowały tutaj jako obiekty. Zatem zastosowane podejście może być stosowane w innych obiektach generujących sygnały elektryczne. Kierunki dalszych prac będą związane z opracowywaniem nowych technik analizy informacji zawartej w sygnałach prądowych i napięciowych maszyn. Badania będą prowadzone w kierunku integracji technik rozpoznawania sygnałów prądowych i napięciowych, elektrycznych i cieplnych. Połączenie takich badań może przyczynić się do rozwoju bardziej niezawodnych systemów diagnostycznych.

Innym kierunkiem badań będzie zbudowanie prototypu zaproponowanego w rozdziale 5 urządzenia monitorującego maszynę elektryczną w stanie pracy.

Bibliografia

- [1] Augustyniak P., Czopek K.: Wykorzystanie sieci neuronowych do przetwarzania sygnałów bioelektrycznych na przykładzie EKG. *Wyd. Inżynieria biomedyczna - podstawy i zastosowania*. T. 9, Sieci neuronowe w inżynierii biomedycznej, Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa 2013, s. 53–93.
- [2] Cempel C.: *Diagnostyka wibroakustyczna maszyn*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa, 1989.
- [3] Dudek-Dyduch E., Tadeusiewicz R., Horzyk A.: Neural network adaptation process effectiveness dependent of constant training data availability. *Neurocomputing*, Vol. 72, 2009, 3138–3149.
- [4] Flasiński M.: *Wstęp do sztucznej inteligencji*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2011.
- [5] Glinka T.: *Badania diagnostyczne maszyn elektrycznych w przemyśle*. Wyd. BOBRME KOMEL, Katowice. Wyd. I 1998, wyd. II 2002.
- [6] Głowacz A.: *Komputerowe techniki analizy informacji zawartej w sygnałach akustycznych maszyn elektrycznych dla celów diagnostyki stanów przedawaryjnych*. Rozprawa doktorska, Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki

- i Inżynierii Biomedycznej, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica, Kraków, 2013.
- [7] Głowacz A., Głowacz W.: New approach to diagnostics of DC machines by sound recognition using Linear Predictive Coding. *Human-computer systems interaction: backgrounds and applications. Advances in Intelligent and Soft Computing*. Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg, Vol. 60, 2009, pp. 529–540.
- [8] Głowacz W.: Diagnostics of induction motor based on Spectral Analysis of Stator Current with Application of Backpropagation Neural Network. *Archives of Metallurgy and Materials*, Vol. 58, No. 2, 2013, pp. 561-564.
- [9] Kowalski Cz.T.: Monitorowanie i diagnostyka uszkodzeń silników indukcyjnych z wykorzystaniem sieci neuronowych. *Prace Naukowe Instytutu Maszyn, Napędów i Pomiarów Elektrycznych Politechniki Wrocławskiej nr 57, Seria: Monografie nr 18*, Wrocław 2005.
- [10] Rad M.: *Diagnostyka wirnika maszyn indukcyjnych z wykorzystaniem analizy falkowej i układów uczących się*. Rozprawa doktorska, Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Elektroniki, Kraków, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica, 2009.
- [11] Tadeusiewicz R.: *Sieci Neuronowe*. Akademicka Oficyna Wydawnicza. Warszawa 1993.
- [12] Uhl T.: Współczesne metody monitorowania i diagnozowania konstrukcji. *Wyd. Fundacja im. Wojciecha Świątosławskiego na Rzecz Wspierania Nauki i Rozwoju Potencjału Naukowego w Polsce*, Gliwice, 2010, 193–254.
- [13] Zdrojewski A.: *Diagnostyka maszyny komutatorowej prądu stałego bazująca na analizie spektralnej pomiarowo dostępnych sygnałów*. Rozprawa doktorska, Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Elektroniki, Kraków, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica, 2007.
- [14] Zieliński T. P.: *Od teorii do cyfrowego przetwarzania sygnałów*. Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Elektroniki, Kraków, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica, 2002.
- [15] MathWorks – *MATLAB and SimuLink for Technical Computing*, 2016; www.mathworks.com.