

Adam GŁOWACZ

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza,
Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej,
Katedra Automatyki i Inżynierii Biomedycznej,
al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków,
e-mail: adglow@agh.edu.pl

Witold GŁOWACZ

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza,
Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej,
Katedra Automatyki i Inżynierii Biomedycznej,
al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków,
e-mail: wglowacz@agh.edu.pl

Zygfryd GŁOWACZ

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza,
Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej,
Katedra Energoelektroniki i Automatyki Systemów Przetwarzania Energii,
al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków,
e-mail: glowacz@agh.edu.pl

Rozpoznawanie sygnałów prądu twornika generatora prądu stałego w zależności od prędkości obrotowej wirnika z zastosowaniem FFT, MSAF-1 i LDA

Słowa kluczowe: *Detekcja uszkodzenia, rozpoznawanie wzorców, prąd twornika, generator prądu stałego*

Streszczenie: Rozpoznawanie stanów układów elektrycznych jest bardzo ważne w zakładach przemysłowych. W artykule opisano metodę rozpoznawania stanów przedawaryjnych generatora prądu stałego. Proponowane podejście jest oparte na badaniu wzorców. Wzorce te są prądami twornika wybranej maszyny elektrycznej. Informacja zawarta w sygnałach prądu twornika jest zależna od stanu generatora. Przeprowadzono badania dla czterech stanów generatora z zastosowaniem szybkiej transformaty Fouriera (FFT), metody wyboru amplitud częstotliwości (MSAF-1) i liniowej analizy dyskryminacyjnej (LDA). Wyniki analizy pokazują, że metoda jest skuteczna i może być stosowana do ochrony generatorów prądu stałego. Metoda została zweryfikowana za pomocą metody rozpoznawania sygnałów akustycznych.

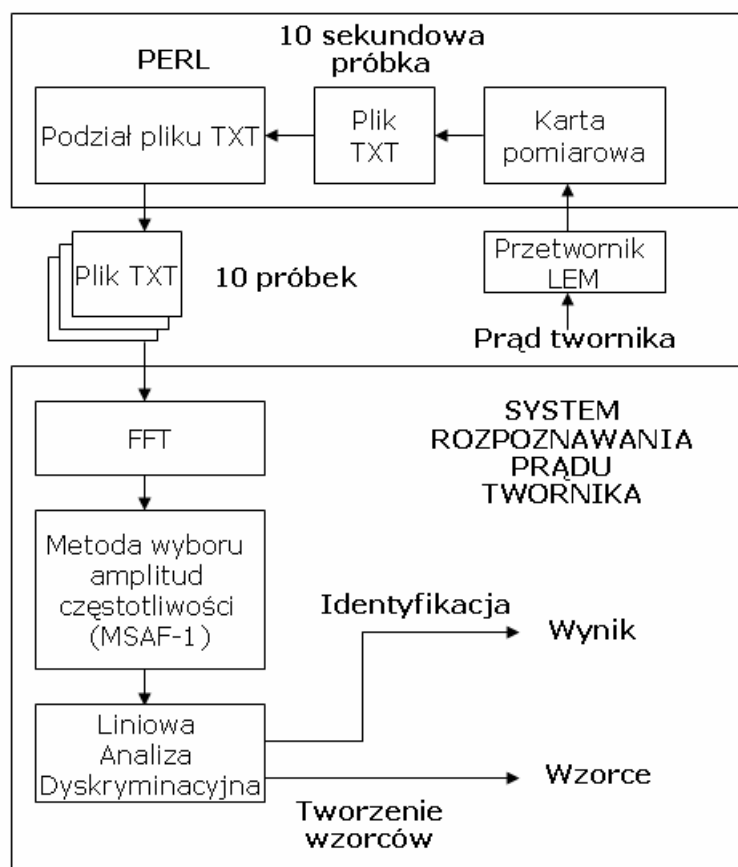
1. Wstęp

Obecnie maszyny wirujące są bardziej złożone niż 20 lat temu. Generatory elektryczne ulegają z czasem stopniowo degradacji. Stan maszyn może być przywrócony do poprzedniego za pomocą odpowiednich czynności odnowy. W ostatnich latach wiele metod przetwarzania sygnału zastosowano do diagnozowania urządzeń i maszyn elektrycznych [6, 7, 10, 11, 41]. Większość z nich opiera się na rozpoznawaniu wzorców. Rozwój systemów diagnostycznych jest ważny dla zapewnienia jakości maszyn i materiałów [2, 8, 11-14, 27, 29, 30, 33, 35, 36, 40, 44]. Diagnostyka maszyn elektrycznych może być oparta na różnych sygnałach, takich jak: elektryczne, akustyczne, cieplne, magnetyczne lub wibroakustyczne [6, 8-11, 15, 16, 42,

43]. Prąd twornika jest sygnałem diagnostycznym. Może być zmierzony przez przetwornik LEM i kartę pomiarową. Prąd twornika może być używany do diagnozowania rodzaju uszkodzenia. Analiza prądu twornika generatora prądu stałego może zmniejszyć koszty utrzymania tego typu generatorów w zakładach przemysłowych i elektrowniach wiatrowych. To może również prowadzić do bardziej nowoczesnych systemów diagnostycznych. W tym artykule autorzy proponują technikę detekcji stanów przedawaryjnych. Technika ta używa metody wyboru amplitud częstotliwości (MSAF-1) i wykorzystuje Liniową Analizę Dyskryminacyjną, aby sklasyfikować wektor cech.

2. Rozpoznawanie prądu twornika generatora prądu stałego

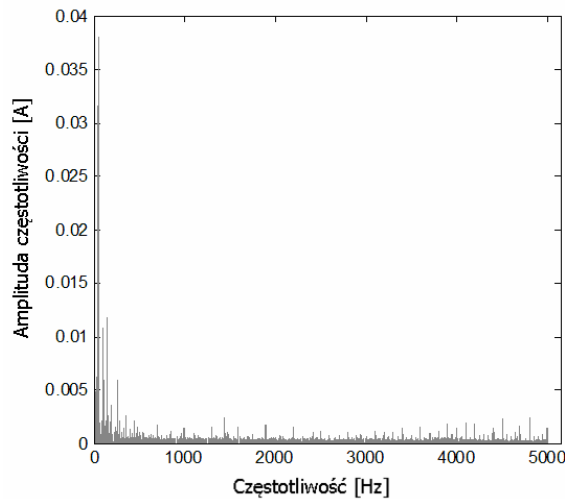
Rozpoznawanie prądu twornika nie jest łatwym problemem. Baza wzorców jest potrzebna, aby rozwiązać ten problem. Ta baza danych jest stosowana w procesie tworzenia wzorca. Druga baza danych próbek testowych jest potrzebna w procesie identyfikacji. Bazy te powinny być przygotowane właściwie. Proces rozpoznawania prądu twornika może być zdefiniowany jako dwa procesy: proces tworzenia wzorca i proces identyfikacji. Pierwszy z nich rozpoczyna się rejestracją prądu twornika. Sygnał prądu twornika jest przekształcany w plik tekstowy z danymi. Po tym plik tekstowy jest dzielony na małe próbki prądu. Następnym krokiem jest wybór amplitud częstotliwości. W tym celu autorzy proponują nową metodę opisaną w podrozdziale 2.2. Metoda daje nam 1 wektor cech z 1 próbki. Na koniec procesu tworzenia wzorca Liniowa Analiza Dyskryminacyjna jest stosowana do tworzenia wzorców (rys. 1). Proces identyfikacji oparty jest na tych samych metodach jak proces poprzedni. Wektory cech są obliczane przez te same metody przetwarzania. Następnie wektory cech są porównywane przez Liniową Analizę Dyskryminacyjną.



Rys.1. Proces rozpoznawania prądu twornika generatora prądu stałego z użyciem metody wyboru amplitud częstotliwości i Liniowej Analizy Dyskryminacyjnej

2.1. Pomiar prądu twornika

Generator prądu stałego obciążono rezystancją zewnętrzną. Prąd twornika był mierzony przez przetwornik prądowy LEM i kartę pomiarową. Następnie sygnał prądu twornika został przekształcony w plik tekstowy. Kolejny plik TXT został podzielony na małe próbki prądu. Każda próbka miała czas trwania 1 sekundę. Częstotliwość próbkowania karty pomiarowej wynosiła 20000 Hz, więc próbka zawierała 20000 wartości. Widmo częstotliwości prądu twornika zostało przedstawione na rysunku 2.



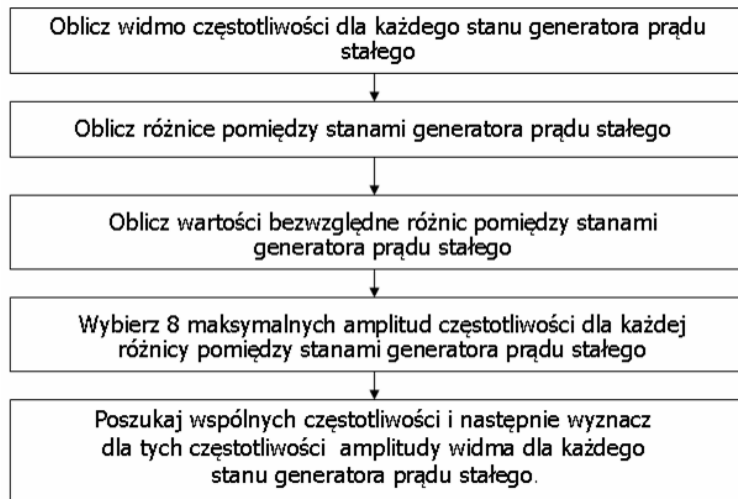
Rys. 2. Amplitudy częstotliwości prądu twornika zależnie od częstotliwości generatora prądu stałego bez uszkodzeń z prędkością obrotową wirnika 600 obrotów na minutę

2.2. Metoda wyboru amplitud częstotliwości

Proponowana metoda wyboru amplitud częstotliwości (MSAF-1) została oparta na różnicach pomiędzy amplitudami różnych stanów generatora prądu stałego. Prąd twornika był zależny od stanu, prędkości obrotowej wirnika i budowy generatora. Kroki MSAF-1 są następujące:

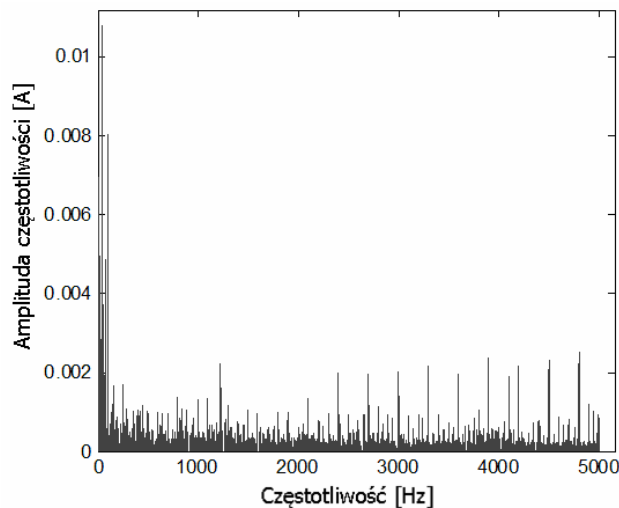
- 1) Oblicz widmo częstotliwości dla każdego stanu generatora prądu stałego.
- 2) Oblicz różnice pomiędzy stanami generatora prądu stałego: **a-b**, **a-c**, **a-d**, **b-c**, **b-d**, **c-d**, gdzie **a** oznacza widmo prądu twornika generatora prądu stałego bez uszkodzeń, **b** oznacza widmo prądu twornika generatora prądu stałego z 3 zwartymi zezwojami, **c** oznacza widmo prądu twornika generatora prądu stałego z 6 zwartymi zezwojami, **d** oznacza widmo prądu twornika generatora prądu stałego z 1 przerwą.
- 3) Oblicz wartości bezwzględne różnic pomiędzy stanami generatora prądu stałego: **|a-b|**, **|a-c|**, **|a-d|**, **|b-c|**, **|b-d|**, **|c-d|**.
- 4) Wybierz 8 maksymalnych amplitud częstotliwości dla każdej różnicy pomiędzy stanami generatora prądu stałego: $\max_1|a-b|$, ..., $\max_8|a-b|$, ..., $\max_1|c-d|$, ..., $\max_8|c-d|$ i wyznacz odpowiadające częstotliwości.
- 5) Poszukaj wspólnych częstotliwości (1-8) i następnie wyznacz dla tych częstotliwości amplitudy widma dla każdego stanu generatora prądu stałego.

Metoda wyboru amplitud częstotliwości generatora prądu stałego została przedstawiona w postaci schematu blokowego na rys. 3.

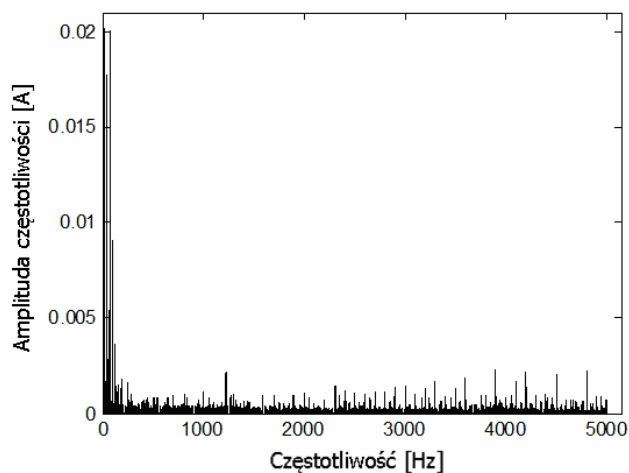


Rys. 3. Schemat blokowy MSAF-1

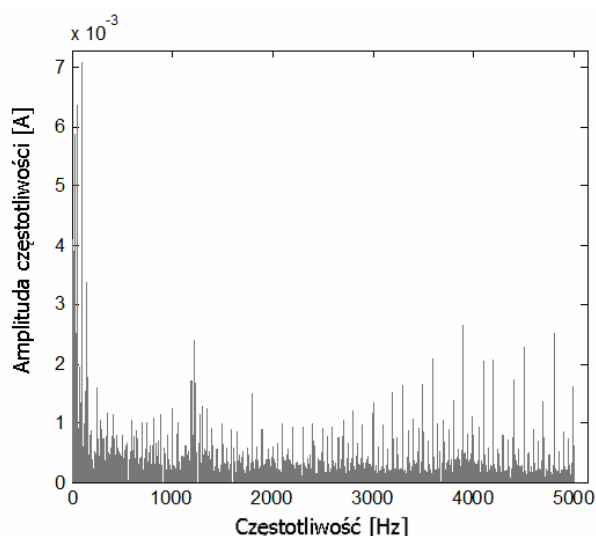
Różnice pomiędzy widmami dla 4 stanów generatora prądu stałego z prędkością obrotową wirnika 600 obrotów na minutę zostały przedstawione na rysunkach 4-6.



Rys. 4. Różnice pomiędzy widmem częstotliwości prądu twornika generatora prądu stałego bez uszkodzeń i generatora prądu stałego z 3 zwartymi zezwojami wirnika (a-b) z prędkością obrotową wirnika 600 obrotów na minutę

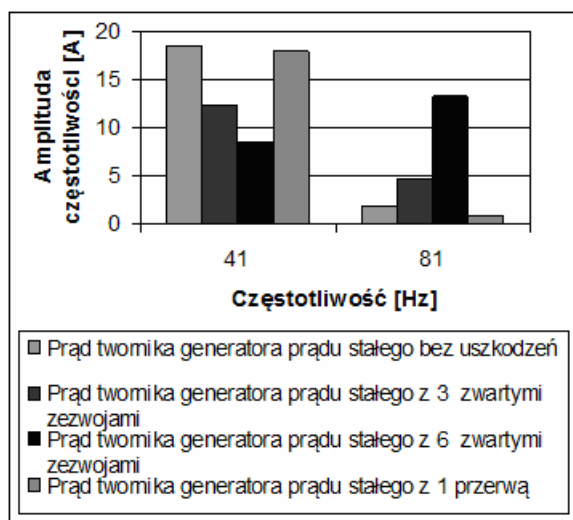


Rys. 5. Różnice pomiędzy widmem częstotliwości prądu twornika generatora prądu stałego bez uszkodzeń i generatora prądu stałego z 6 zwartymi zezwojami wirnika (a-c) z prędkością obrotową wirnika 600 obrotów na minutę



Rys. 6. Różnice pomiędzy widmem częstotliwości prądu twornika generatora prądu stałego bez uszkodzeń i generatora prądu stałego z 1 przerwą (a-d) z prędkością obrotową wirnika 600 obrotów na minutę

Wybór wspólnych amplitud częstotliwości dla 4 stanów generatora prądu stałego z 600 obrotami wirnika na minutę przedstawiony został na rysunku 7.



Rys.7. Wybór wspólnych amplitud częstotliwości dla 4 stanów generatora prądu stałego z prędkością obrotową wirnika 600 obrotów na minutę (41 i 81 Hz)

Wybrane amplitudy częstotliwości tworzyły wektor cech używany przez Liniową Analizę Dyskryminacyjną.

2.3. Liniowa Analiza Dyskryminacyjna

Istnieje wiele metod przetwarzania danych i klasyfikacji wektorów cech [3-5, 17-26, 28, 31, 32, 34, 37-39, 41, 45-48]. Wektory cech są przetwarzane przez Liniową Analizę Dyskryminacyjną (LDA). LDA maksymalizuje współczynnik (iloraz) wariacji międzyklasowej do wariacji wewnątrzklasowej. Maksymalny współczynnik gwarantuje rozdzielność między klasami. Zbiory uczące i testowe powinny być określone odpowiednio na początku klasyfikacji. Zbiory trenujące są zdefiniowane jako set_1, \dots, set_k . Następnie średnia dla każdego zbioru trenującego i średnia wszystkich zbiorów uczących są obliczane.

Średnie zbiorów set_1, \dots, set_k są zdefiniowane jako μ_1, \dots, μ_k . Podczas gdy średnia wszystkich zbiorów uczących nazwana jest μ . Średnia ta zdefiniowana jest przez równanie 1.

$$\mu = p_1 \times \mu_1 + \dots + p_k \times \mu_k \quad (1)$$

gdzie p_1, \dots, p_k są prawdopodobieństwami a priori klas.

Następnie liniowa kombinacja cech jest utworzona przez Liniową Analizę Dyskryminacyjną. Liniowa Analiza Dyskryminacyjna używa macierzy rozproszonej wewnątrzklasowej i macierzy rozproszonej międzyklasowej [1, 32]. Obie macierze są używane do formułowania kryterium rozdzielnosci klas. Macierz rozproszona wewnątrzklasowa jest zdefiniowana następująco:

$$W = \sum_{k=1}^c \sum_{i=1}^{N_k} (x_i^k - \mu_k)(x_i^k - \mu_k)^T \quad (2)$$

gdzie μ_k oznacza średnią klasy k , x_i^k jest próbką z indeksem i klasy k , c oznacza liczbę klas zbiorów trenujących i N_k jest liczbą próbek klasy k [1, 31].

Macierz rozproszona międzyklasowa jest wyrażona wzorem:

$$B = \sum_{k=1}^c (\mu_k - \mu)(\mu_k - \mu)^T \quad (3)$$

gdzie μ oznacza średnią wszystkich zbiorów uczących, \mathbf{x} , $\boldsymbol{\mu}$ to wektory o wymiarze równym liczbie wybranych wspólnych częstotliwości.

Współczynnik wyznacznika macierzy rozproszonej międzyklasowej do wyznacznika macierzy wewnątrzklasowej jest kryterium Liniowej Analizy Dyskryminacyjnej. W metodzie tej istotne jest aby maksymalizować współczynnik $(\text{Det}|B| / \text{Det}|W|)$ [31]. Osie przekształconej przestrzeni są zdefiniowane przez rozwiązanie otrzymane przez maksymalizację współczynnika $(\text{Det}|B| / \text{Det}|W|)$.

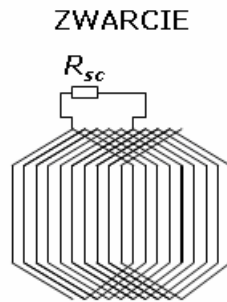
3. Wyniki rozpoznawania prądu twornika

Karta pomiarowa i przetwornik prądowy LEM były użyte do rejestracji sygnałów prądu twornika. Parametry sygnału prądu były: częstotliwość próbkowania - 20000 Hz, format - TXT. Parametry operacyjne generatora prądu stałego z prędkością obrotową wirnika 600 obrotów na minutę były następujące:

- generator prądu stałego bez uszkodzeń: $U_a = 51 \text{ V}$, $I_a = 70 \text{ A}$, $U_e = 159.1 \text{ V}$, $I_e = 2.5 \text{ A}$,
- generator prądu stałego z 3 zwartymi zezwojami: $U_a = 50.5 \text{ V}$, $I_a = 71.5 \text{ A}$, $U_e = 160.8 \text{ V}$, $I_e = 2.5 \text{ A}$, $I_{sc} = 58 \text{ A}$,
- generator prądu stałego z 6 zwartymi zezwojami: $U_a = 50 \text{ V}$, $I_a = 70.5 \text{ A}$, $U_e = 161.2 \text{ V}$, $I_e = 2.5 \text{ A}$, $I_{sc} = 138 \text{ A}$,
- generator prądu stałego z 1 przerwą: $U_a = 50.5 \text{ V}$, $I_a = 70 \text{ A}$, $U_e = 163.3 \text{ V}$, $I_e = 2.5 \text{ A}$,

gdzie U_a - napięcie twornika generatora prądu stałego, I_a - prąd twornika generatora prądu stałego, U_e - napięcie wzbudzenia generatora prądu stałego, I_e - prąd wzbudzenia generatora prądu stałego, I_{sc} - prąd zwarcia.

Grupy trzech i sześciu pętli zezwojów wirnika zostały zwarte z użyciem rezystancji $R_{sc} = 0.085 \text{ m}\Omega$. Została ona połączona z generatorem prądu stałego do ochrony uzwojeń wirnika. Badania zostały przeprowadzone dla 4 sygnałów prądu: prądu twornika generatora prądu stałego bez uszkodzeń, prądu twornika generatora z 3 zwartymi zezwojami, prądu twornika generatora z 6 zwartymi zezwojami (rys. 8), prądu twornika generatora z 1 przerwą. 32 próbki uczące o czasie trwania 1 sekundy zostało użytych w procesie tworzenia wzorca. 128 próbki testowe o czasie trwania 1 sekundy zostały użyte w procesie identyfikacji.



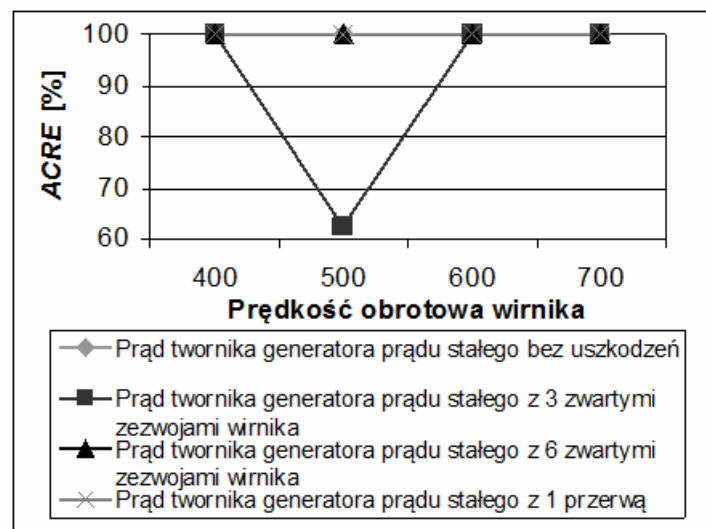
Rys. 8. Schemat uzwojeń wirnika generatora prądu stałego z 6 zwartymi zezwojami

Skuteczność rozpoznawania prądu twornika określa zależność:

$$ACRE = \frac{NoWRTS}{NoATS} 100\% \quad (4)$$

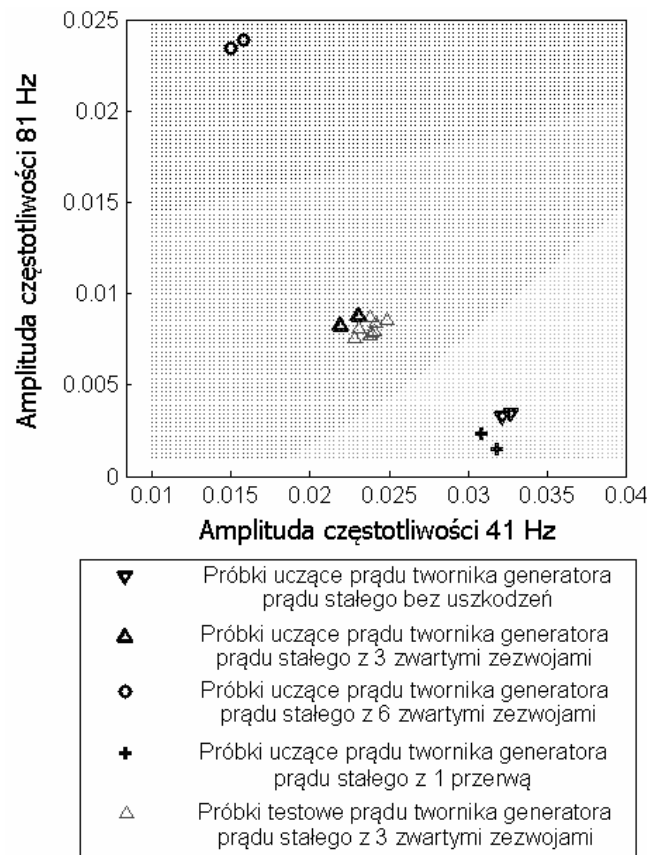
gdzie: $ACRE$ – skuteczność rozpoznawania prądu twornika, $NoWRTS$ – liczba dobrze rozpoznanych próbek testowych, $NoATS$ – liczba wszystkich próbek testowych.

Badania były przeprowadzone dla generatora prądu stałego z prędkością obrotową wirnika 400, 500, 600, 700 obrotów na minutę. Skuteczność rozpoznawania prądu twornika zależnie od prędkości obrotowej wirnika generatora została zaprezentowana na rysunkach 9 i 10.



Rys. 9. Skuteczność rozpoznawania prądu twornika zależnie od prędkości obrotowej wirnika generatora

Skuteczność rozpoznawania prądu twornika generatora bez uszkodzeń wynosiła 100%. 8 próbek testowych na 8 zostało sklasyfikowanych jako generator bez uszkodzeń. Próbki zostały przygotowane na podstawie pomiarów i autorzy wiedzieli, że te 8 próbek testowych należało do generatora bez uszkodzeń. Skuteczność rozpoznawania prądu twornika generatora z 3 zwartymi zezwojami była 62.5-100%. Skuteczność rozpoznawania prądu twornika generatora z 6 zwartymi zezwojami wynosiła 100%. Skuteczność rozpoznawania prądu twornika generatora z 1 przerwą była 100%. Wyniki dla wektorów dwu-elementowych były dobre. W przypadku gdy system wybierze liczbę wspólnych amplitud częstotliwości 1-8, to LDA będzie przetwarzać wektory 1-8 elementowe.



Rys. 10. Rozpoznawanie próbek testowych prądu twornika generatora prądu stałego z 3 zwartymi zezwojami z prędkością obrotową wirnika 600 obrotów na minutę

4. Wnioski

W artykule autorzy zaproponowali technikę i system rozpoznawania prądu twornika generatora prądu stałego. Badania dotyczące zastosowania metod przetwarzania sygnału do rozpoznawania prądu twornika zostały wykonane dla generatora prądu stałego bez uszkodzeń i generatora prądu stałego z uszkodzeniem. Eksperymenty udowodniły, że metody takie jak MSAF-1, FFT i LDA były dobre dla diagnostyki generatora prądu stałego. Skuteczność rozpoznawania prądu twornika generatora prądu stałego wynosiła 100% dla prędkości obrotowej wirnika 400, 600, 700 obrotów na minutę. Kiedy prędkość obrotowa wirnika była równa 500, wtedy skuteczność rozpoznawania prądu twornika wynosiła 62.5-100%. Zaletą tej metody w porównaniu do metody rozpoznawania sygnałów akustycznych jest to, że prąd twornika jest łatwiejszy do przetwarzania. Dalsze badania będą koncentrować się na implementacjach nowych metod przetwarzania i współpracy z różnymi sygnałami diagnostycznymi.

Podziękowania

Praca została częściowo zrealizowana ze środków AGH, umowa AGH nr 11.11.120.612 (Adam Głowacz).

Praca została częściowo zrealizowana ze środków AGH, umowa AGH nr 11.11.120.815 (Witold Głowacz).

Praca została częściowo zrealizowana ze środków AGH, umowa AGH nr 11.11.120.354 (Zygfryd Głowacz).

Literatura

1. Balakrishnama S, Ganapathiraju A. Linear Discriminant Analysis - A brief tutorial. Presentation, Institute for Signal and Information Processing Department of Electrical and Computer Engineering Mississippi State University.
2. Bogucka J. Influence of Temperature of Accumulative Roll Bonding on the Microstructure and Mechanical Properties of AA5251 Aluminum Alloy. *Archives of Metallurgy and Materials* 2014; 59 (1): 127-131.
3. Carletti E. A Perception-Based Method for the Noise Control of Construction Machines. *Archives of Acoustics* 2013; 38 (2): 253-258.
4. Czopek K. Cardiac Activity Based on Acoustic Signal Properties. *Acta physica polonica A* 2012; 121 (1A): A42-A45.
5. Dudek-Dyduch E, Tadeusiewicz R, Horzyk A. Neural network adaptation process effectiveness dependent of constant training data availability. *Neurocomputing* 2009; 72 (13-15): 3138-3149.
6. Dudzikowski I, Ciurys M. Analysis of operation of a car starter with BLDC motor. *Przegląd Elektrotechniczny* 2010; 86 (4): 166-169.
7. Florkowski M, Furgal J, Kuniewski M. Impact of transformers from overvoltages transferred through windings. *Przegląd Elektrotechniczny* 2012; 88 (5A): 104-107.
8. Głowacz A, Głowacz Z. Diagnostics of DC machine based on analysis of acoustic signals with application of MFCC and classifier based on words. *Archives of Metallurgy and Materials* 2012; 57 (1): 179-183.
9. Głowacz A, Głowacz A, Korohoda P. Recognition of Monochrome Thermal Images of Synchronous Motor with the Application of Binarization and Nearest Mean Classifier. *Archives of Metallurgy and Materials* 2014; 59 (1): 31-34.
10. Głowacz Z, Kozik J. Detection of synchronous motor inter-turn faults based on spectral analysis of park's vector. *Archives of Metallurgy and Materials* 2013; 58 (1): 19-23.
11. Głowacz W. Diagnostics of Induction motor based on Spectral Analysis of Stator Current with Application of Backpropagation Neural Network. *Archives of Metallurgy and Materials* 2013; 58 (2): 559-562.
12. Gluchowski WJ, Rdzawski ZM, Stobrawa JP, Marszowski KJ. Microstructure and Properties of Cu-Nb Wire Composites. *Archives of Metallurgy and Materials* 2014; 59 (1): 35-40.
13. Gogola D, Krafcik A, Strbak O, Frollo I. Magnetic Resonance Imaging of Surgical Implants Made from Weak Magnetic Materials. *Measurement Science Review* 2013; 13 (4): 165-168.
14. Golanski G, Slania J. Effect of Different Heat Treatments on Microstructure and Mechanical Properties of the Martensitic GX12CrMoVNbN9-1 Cast Steel. *Archives of Metallurgy and Materials* 2013; 58(1): 25-30.
15. Golebiowski L, Golebiowski M, Mazur D. Unscented kalman filter in rotor diagnostic testing of the asynchronous motor. *Przegląd Elektrotechniczny* 2011; 87 (8): 48-52.
16. Golebiowski L, Golebiowski M, Mazur D. Controlling of the 1-and 3-phase power factor correction (PFC) rectifiers, *Przegląd Elektrotechniczny* 2011; 87 (8): 53-58.
17. Gorski P, Morzynski L. Active Noise Reduction Algorithm Based on NOTCH Filter and Genetic Algorithm. *Archives of Acoustics* 2013; 38 (2): 185-190.
18. Hachaj T, Ogiela MR. Application of neural networks in detection of abnormal brain perfusion regions. *Neurocomputing* 2013; 122 (Special Issue): 33-42.

19. Hachaj T, Ogiela MR. A system for detecting and describing pathological changes using dynamic perfusion computer tomography brain maps. *Computers in Biology and Medicine* 2011; 41 (6): 402-410.
20. Huang CW, Chen GM, Yu H, Bao YQ, Zhao L. Speech Emotion Recognition under White Noise. *Archives of Acoustics* 2013; 38 (4): 457-463.
21. Jaworek J, Augustyniak P. A cardiac telerehabilitation application for mobile devices. *IEEE Conference on Computing in Cardiology* 2011; Hangzhou, China: 241-244.
22. Jun S, Kochan O. Investigations of Thermocouple Drift Irregularity Impact on Error of their Inhomogeneity Correction. *Measurement Science Review* 2014; 14 (1): 29-34.
23. Kantoch E, Smolen M, Augustyniak P, Kowalski P. Wireless Body Area Network System based on ECG and Accelerometer Pattern. *IEEE Conference on Computing in Cardiology* 2011; Hangzhou; China: 245-248.
24. Kmiec M, Glowacz A, Dziech A. Towards robust visual knife detection in images: active appearance models initialised with shape-specific interest points. *Multimedia communications, services and security, MCSS, Book Series: Communications in Computer and Information Science* 2012, 287, 148–158.
25. Knap M, Falkus J, Rozman A, Konopka K, Lamut J. The Prediction of Hardenability using Neural Networks. *Archives of Metallurgy and Materials* 2014; 59 (1): 133-136.
26. Korohoda P, Dabrowski A. Wavelet-like decomposition stage with windowed filters defined for the Discrete Trigonometric Transforms (DTTs). *Przegląd Elektrotechniczny* 2012; 88 (6): 30-35.
27. Kulesza G, Panek P, Zieba P. Silicon Solar Cells Efficiency Improvement by the Wet Chemical Texturization in the HF/HNO₃/diluent solution. *Archives of Metallurgy and Materials* 2013; 58 (1): 291-295.
28. Lin DF, Chen PH, Williams M. Measurement and Analysis of Current Signals for Gearbox Fault Recognition of Wind Turbine. *Measurement Science Review* 2013; 13 (2): 89-93.
29. Madej M. Phase Reactions During Sintering of M3/2 Based Composites with WC Additions. *Archives of Metallurgy and Materials* 2013; 58 (3): 703-708.
30. Mamala A, Sciezor W. Evaluation of the Effect of Selected Alloying Elements on the Mechanical and Electrical Aluminium Properties. *Archives of Metallurgy and Materials* 2014; 59 (1): 413-417.
31. Martinez AM, Kak AC. PCA versus LDA *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 2001; 23 (2): 228-233.
32. MathWorks – MATLAB and SimuLink for Technical Computing 2014; www.mathworks.com.
33. Mazurkiewicz D. Problems of identification of strength properties of rubber materials for purposes of numerical analysis: a review. *Archives of Civil and Mechanical Engineering* 2010; 10 (1): 69-84.
34. Meo A, Profumo L, Rossi A, Lanzetta M. Optimum Dataset Size and Search Space for Minimum Zone Roundness Evaluation by Genetic Algorithm. *Measurement Science Review* 2013; 13 (3): 100-107.
35. Musial D. Numerical Analysis of the Process of Heating of a Bed of Steel Bars. *Archives of Metallurgy and Materials* 2013; 58 (1): 63-66.
36. Olszewski R, Trawinski Z, Wojcik J, Nowicki A. Mathematical and Ultrasonographic Model of the Left Ventricle: in Vitro Studies. *Archives of Acoustics* 2012; 37 (4): 583-595.
37. Orzechowski T, Izvorski A, Tadeusiewicz R, Chmurzynska K, Radkowski P, Gatkowska I. Processing of pathological changes in speech caused by dysarthria. *Proceedings of ISPACS 2005, IEEE International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems* ISPACS 2005: 49-52.
38. Roj J. Neural Network Based Real-time Correction of Transducer Dynamic Errors. *Measurement Science Review* 2013, 13 (6), 286-291.
39. Skrodzka EB, Linde BBJ, Krupa A. Modal Parameters of Two Violins with Different Varnish Layers and Subjective Evaluation of Their Sound Quality. *Archives of Acoustics* 2013; 38 (1): 75-81.
40. Smalcerz A. Aspects of Application of Industrial Robots in Metallurgical Processes. *Archives of Metallurgy and Materials* 2013; 58 (1): 203-209.

41. Smolen M, Kantoch E, Augustyniak P, Kowalski P. Wearable Patient Home Monitoring Based on ECG and ACC Sensors. 5th European Conference of the International Federation for Medical and Biological Engineering, IFMBE Proceedings 2012; 37: 941-944.
42. Sulowicz M, Borkowski D, Wegiel T, Weinreb K. Specialized diagnostic system for induction motors. *Przeład Elektrotechniczny* 2010; 86 (4): 285-291.
43. Szymanski Z. Application of the Magnetic Field Distribution in Diagnostic Method of Special Construction Wheel Traction Motors. *Advanced Computer Techniques in Applied Electromagnetics*, Book Series: Studies in Applied Electromagnetics and Mechanics, 2008; 30: 449-456.
44. Tokarski T, Wzorek L, Dybiec H. Microstructure and Plasticity of Hot Deformed 5083 Aluminum Alloy Produced by Rapid Solidification and Hot Extrusion. *Archives of Metallurgy and Materials* 2012; 57 (4): 1253-1259.
45. Trzuppek M, Ogiela MR, Tadeusiewicz R. Intelligent image content semantic description for cardiac 3D visualisations. *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 2011; 24 (8): 1410-1418.
46. Tu YQ, Yang HY, Zhang HT, Liu XY. CMF Signal Processing Method Based on Feedback Corrected ANF and Hilbert Transformation. *Measurement Science Review* 2014; 14 (1): 41-47.
47. Yan JJ, Wang XL, Gu WY, Ma LL. Speech Emotion Recognition Based on Sparse Representation. *Archives of Acoustics* 2013; 38 (4): 465-470.
48. Ziaran S. Low Frequency Noise and Its Assessment and Evaluation. *Archives of Acoustics* 2013; 38 (2): 265-270.