

## MOŻLIWOŚĆ WYKORZYSTANIA SKŁADOWYCH SYMETRYCZNYCH PRĄDÓW STOJANA W DIAGNOSTYCE WIRNIKA SILNIKA INDUKCYJNEGO KLATKOWEGO\*\*

### STRESZCZENIE

*W artykule zostały przedstawione wyniki obliczeń widm składowych symetrycznych prądów stojana silnika indukcyjnego oraz ich analiza pod kątem przydatności tych widm w diagnostyce uszkodzeń silnika. Przedstawione wyniki uzyskano dla różnych przypadków uszkodzeń silnika lub wystąpienia niecentryczności statycznej lub dynamicznej. W prezentowanych widmach składowej zgodnej można zauważyć przypadki wystąpienia niecentryczności statycznej lub niecentryczności dynamicznej dodatkowe prążki w stosunku do widma prądu fazowego. Można przypuszczać, że na podstawie pojawienia się tych dodatkowych częstotliwości istnieje możliwość detekcji niecentryczności wirnika. Symulacje przeprowadzono dla zasilania symetrycznego i niesymetrycznego.*

**Słowa kluczowe:** silniki indukcyjne, diagnostyka, prąd stojana, składowe symetryczne

### CAPABILITY OF UTILIZATION OF SYMMETRICAL COMPONENTS IN DIAGNOSTICS OF INDUCTION MOTOR

*Results of calculations of spectra of symmetric components of induction motor stator currents have been presented in article. There was made analysis of usefulness of those spectrums in diagnostics of engine faults. It presented results for different cases of damages of induction motor with or without static or dynamic eccentricity. It is possible to notice additional frequencies in presented spectra when a static or dynamic eccentricity exists. It is possible to assume, that it is a capability of detection of eccentricity of rotor. Simulations were made for symmetric and asymmetrical supplying.*

**Keywords:** induction motors, diagnostics, stator current, symmetrical component

### 1. WSTĘP

Niesymetrie silnika indukcyjnego, takie jak niecentryczność dynamiczna, statyczna czy uszkodzenie prętów lub segmentów klatki wirnika, prowadzą do zmiany widma prądów stojana. Dysponując bazą widm prądów stojana dla różnych uszkodzeń wirnika, autor chciałby przedstawić porównanie widm prądów stojana z widmami składowych symetrycznych tych prądów oraz odpowiedzieć na pytanie, czy widma składowe symetrycznych prądów stojana można wykorzystać w diagnostyce uszkodzeń wirnika. W artykule zostaną przedstawione wyniki obliczeń widm składowych symetrycznych prądów stojana silnika indukcyjnego, klatkowego. Symulacje przeprowadzono dla zasilania symetrycznego i niesymetrycznego. Uszkodzenie wirnika symulowane było poprzez dwudziestokrotne powiększenie rezystancji prętów klatki wirnika. Obliczenia wykonano dla czterobiegunowego silnika o mocy 7,5 kW o aluminiowej klatce odlewanej, mającego 36 żłobków na stojanie i 28 na wirniku. Uzwojenie stojana nie miało gałęzi równoległych, a żłobki wirnika były proste (bez skosu). Dynamiczny model maszyny uwzględniał wyższe harmoniczne indukcyjności stojana, wirnika i indukcyjności stojan-wirnik, jak również zmienną prędkość obrotową wirnika. Obliczenia dotyczyły stanu ustalonego przy obciążeniu momentem znamionowym. Indukcyjności wyznaczono metodą nume-

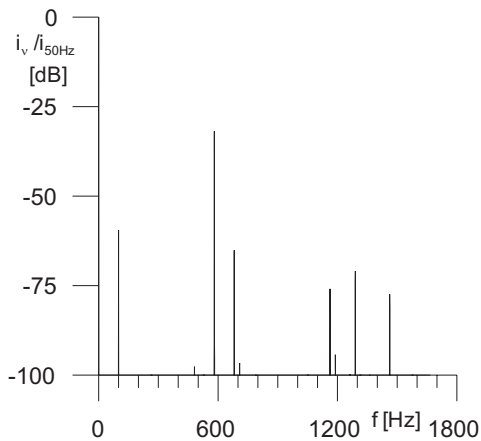
ryczną dla 400 położenia kątownych wirnika. Indukcyjności i ich pochodne względem kąta obrotu wirnika  $\varphi$ , dla dwóch liniowo niezależnych obwodów stojana, dla wszystkich oczek wirnika plus oczko jednego pierścienia zwierającego klatki, zostały zapisane w postaci plików. Indukcyjności te i ich pochodne były następnie wykorzystywane przy całkowaniu równań różniczkowych opisujących maszynę. Silnik był zasilany napięciem trójfazowym o wartości skutecznej 380 V. Fazy silnika skojarzono w gwiazdę bez przewodu neutralnego. Uszkodzenie klatki wirnika symulowano poprzez dwudziestokrotne powiększenie rezystancji dwóch prętów umiejscowionych obok siebie. Z uzyskanych przebiegów prądów stojana wyznaczone zostały składowe symetryczne tych prądów, które zostały poddane analizie harmonicznej FFT.

### 2. WIDMA SKŁADOWYCH SYMETRYCZNYCH SILNIKA INDUKCYJNEGO

Na rysunkach 1–7 przedstawione są widma składowych symetrycznych uzyskanych z obliczeń dla silnika indukcyjnego dla różnych przypadków uszkodzeń i niecentryczności. Amplitudy prążków widm składowych symetrycznych prądów stojana w osi  $Y$  przedstawiono w skali decybelowej, a na osi  $X$  jest częstotliwość.

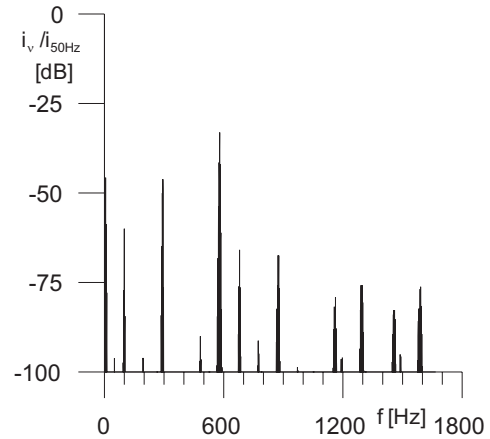
\* Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Katedra Maszyn Elektrycznych

\*\* Artykuł uzyskał pozytywne recenzje i był prezentowany podczas Międzynarodowego Sympozjum Maszyn Elektrycznych SME 2006 w Krakowie



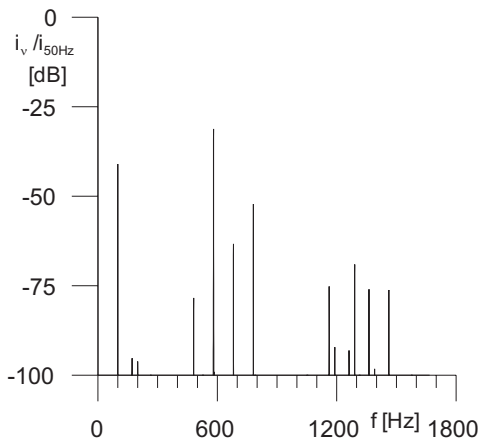
**Rys. 1.** Widmo składowej zgodnej prądu stojana – silnik nieuszkodzony, bez niecentryczności

**Fig.1.** Harmonic spectrum of symmetrical component, no damages, no eccentricity



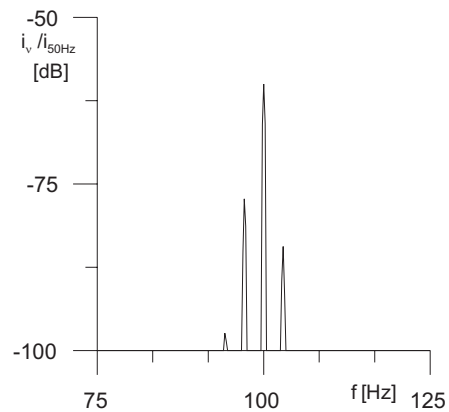
**Rys. 4.** Widmo składowej zgodnej prądu stojana – uszkodzenie klatki wirnika, bez niecentryczności

**Fig. 4.** Harmonic spectrum of symmetrical component, rotor with broken bars, no eccentricity



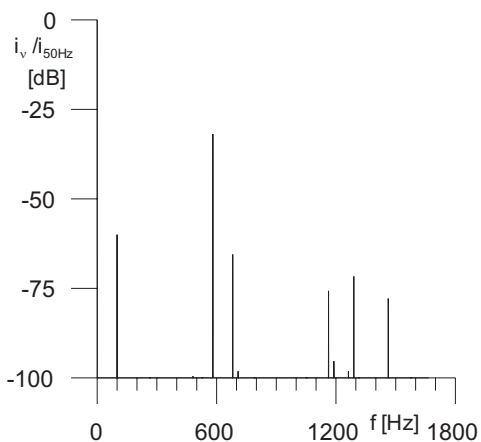
**Rys. 2.** Widmo składowej zgodnej prądu stojana – silnik nieuszkodzony, niecentryczność statyczna 50%

**Fig. 2.** Harmonic spectrum of symmetrical component, no damages, static eccentricity 50%



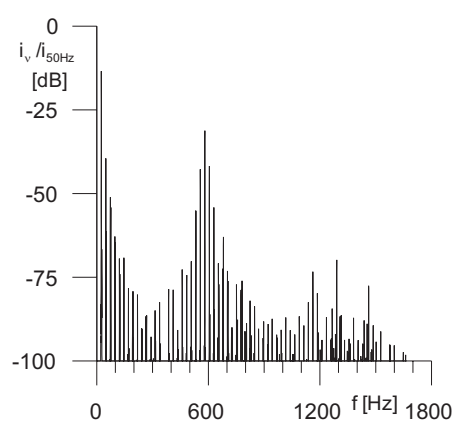
**Rys. 5.** Widmo składowej zgodnej prądu stojana – uszkodzenie klatki wirnika, bez niecentryczności – powiększenie od 75 Hz do 125 Hz

**Fig. 5.** Harmonic spectrum of symmetrical component, rotor with broken bars, no eccentricity – zoom 75–125 Hz



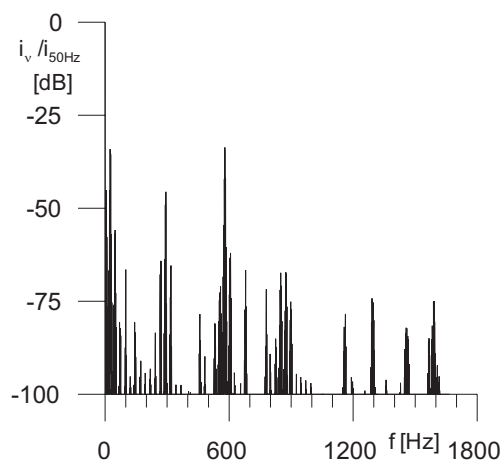
**Rys. 3.** Widmo składowej zgodnej prądu stojana – silnik nieuszkodzony, niecentryczność dynamiczna 20%

**Fig. 3.** Harmonic spectrum of symmetrical component, no damages, dynamical eccentricity 20%



**Rys. 6.** Widmo składowej zgodnej prądu stojana – silnik nieuszkodzony, niecentryczności: statyczna 25% i dynamiczna 25%

**Fig. 6.** Harmonic spectrum of symmetrical component, no damages, static eccentricity 25%, dynamical eccentricity 25%

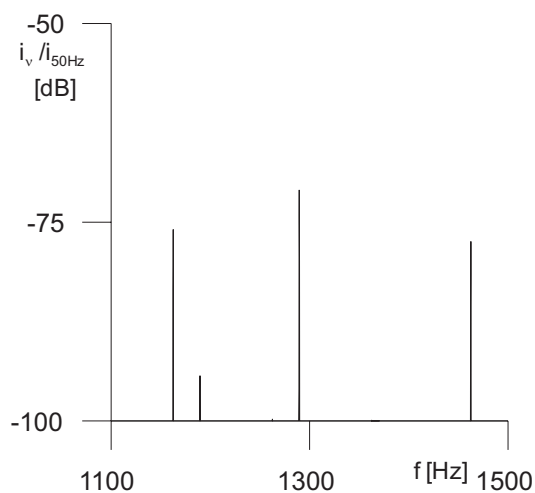


**Rys. 7.** Widmo składowej zgodnej prądu stojana – uszkodzenie klatki wirnika, niecentryczność statyczna 30%

**Fig. 7.** Harmonic spectrum of symmetrical component, rotor with broken bars, static eccentricity 30%

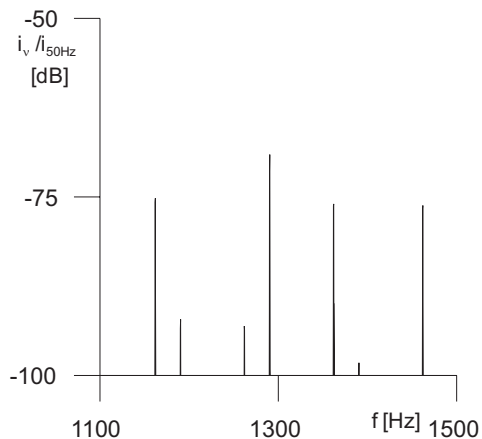
### 3. WIDMA SKŁADOWYCH ZGODNYCH PRĄDU STOJANA – POWIĘKSZENIE OD 1100 HZ DO 1500 HZ

Na rysunkach 8–13 przedstawione są powiększenia widm składowych symetrycznych uzyskanych z obliczeń dla silnika indukcyjnego dla różnych przypadków uszkodzeń i niecentryczności. Zakres powiększeń od 1100 Hz do 1500 Hz. Strzałkami zaznaczono charakterystyczne prążki widma pojawiające się przy występowaniu niecentryczności.



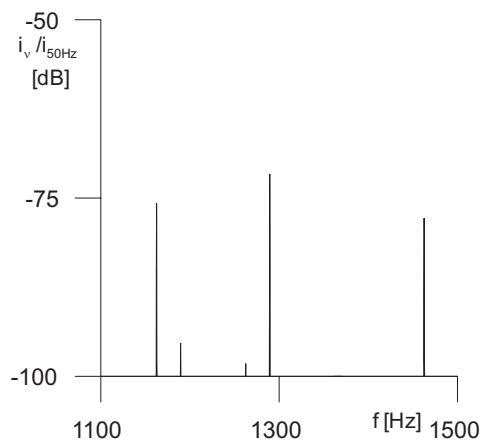
**Rys. 8.** Widmo składowej zgodnej prądu stojana – silnik nieuszkodzony, bez niecentryczności

**Fig. 8.** Harmonic spectrum of symmetrical component, no damages, no eccentricity



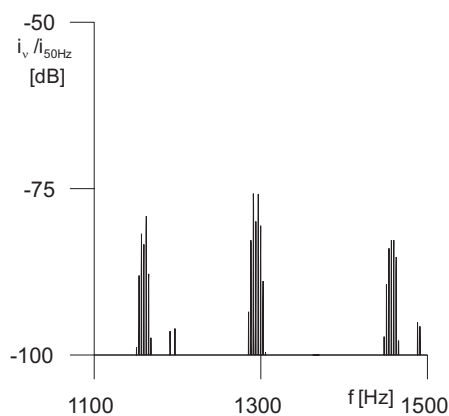
**Rys. 9.** Widmo składowej zgodnej prądu stojana – silnik nieuszkodzony, niecentryczność statyczna 50%

**Fig. 9.** Harmonic spectrum of symmetrical component, no damages, static eccentricity 50%



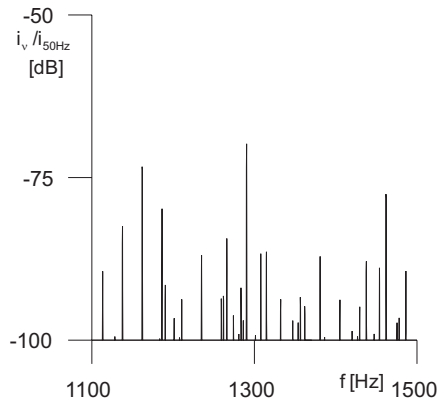
**Rys. 10.** Widmo składowej zgodnej prądu stojana – silnik nieuszkodzony, niecentryczność dynamiczna 20%

**Fig. 10.** Harmonic spectrum of symmetrical component, no damages, dynamical eccentricity 20%



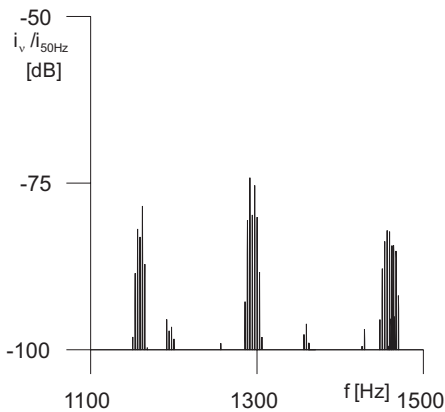
**Rys. 11.** Widmo składowej zgodnej prądu stojana – uszkodzenie klatki wirnika, bez niecentryczności

**Fig. 11.** Harmonic spectrum of symmetrical component, rotor with broken bars, no eccentricity



**Rys. 12.** Widmo składowej zgodnej prądu stojana – silnik nieuszkodzony, niecentryczności: statyczna 25% i dynamiczna 25%

**Fig. 12.** Harmonic spectrum of symmetrical component, no damages, static eccentricity 25%, dynamical eccentricity 25%



**Rys. 13.** Widmo składowej zgodnej prądu stojana – uszkodzenie klatki wirnika, niecentryczność statyczna 30%

**Fig. 13.** Harmonic spectrum of symmetrical component, rotor with broken bars, static eccentricity 30%

#### 4. WNIOSKI

W przedstawionych przykładach widać, że widma składowych symetrycznych zawierają w sobie podobne składowe jak widma prądów fazowych stojana maszyny indukcyjnej. W przypadku uszkodzenia klatki wirnika pojawiają się w widmie składowej zgodnej prądu stojana dodatkowe prążki podobnie jak w widmie prądu fazowego stojana. Widma składowej zgodnej prądu stojana zawierają w przypadku wystąpienia niecentryczności statycznej lub niecen-

tryczności dynamicznej dodatkowe prążki w stosunku do widma prądu fazowego. W przypadkach gdy niecentryczność statyczna występuje wraz z niecentrycznością dynamiczną lub uszkodzeniem pręta wirnika widmo jest bogatsze, a wykrycie dodatkowych częstotliwości trudniejsze, niemniej na powiększeniach można je wskazać. Można przypuszczać, że na ich podstawie pojawienia się tych dodatkowych częstotliwości istnieje możliwość detekcji niecentryczności wirnika. Jednakże jednoznaczne stwierdzenie tej możliwości wymaga dodatkowych prac w tym kierunku.

*Publikację opracowano w ramach pracy statutowej nr 11.11.120.608*

#### Literatura

- [1] Rusek J.: *Reflection of eccentricities in spectral composition of currents of induction machines*. ICEM'96 Proceedings. Vol. 2, ETSEM – Universidade de Vigo, Spain, 1996, 470–475
- [2] Sobczyk T.J., Vas P., Tassoni C.: *A comparative study of effects due to eccentricity and external stator and rotor asymmetries by mono-harmonic models*. ICEM'2000 Proceedings. Vol. II. Helsinki University of Technology. Espoo, Finland, 2000, 946–950
- [3] Dybowski P.: *Pomiary i modelowanie prądowych symptomów uszkodzeń maszyn indukcyjnych*. Kraków, AGH, 2001 (Rozprawa doktorska)
- [4] Weinreb K., Węgiel T., Sułowicz M.: *Nieinwazyjna diagnostyka wirnika maszyny asynchronicznej*. Zeszyty Problemowe BOBRME KOMEL, nr 69/2004, Ustroń, 2004, 35–40
- [5] Rams W., Rusek J.: *Praktyczna diagnostyka maszyn indukcyjnych klatkowych*. Zeszyty Problemowe BOBRME KOMEL, nr 68/2004, Ustroń 2004, 1–5
- [6] Dybowski P.: *Wpływ stopnia uszkodzenia wirnika na widmo składowych symetrycznych prądów stojana silników klatkowych niesymetrycznych*. Zeszyty Problemowe BOBRME KOMEL, nr 72/2005, Ustroń, 2005, 107–112

Wpłynęło: 26.09.2006

Paweł DYBOWSKI



Doktor inż., urodził się w Krakowie w 1968 roku. Absolwent Akademii Górniczo-Hutniczej (1993). Tamże uzyskał stopień doktora nauk technicznych w (2001). Od 1993 roku pracuje w Katedrze Maszyn Elektrycznych AGH. Jego zainteresowania naukowe obejmują zagadnienia maszyn elektrycznych, a w szczególności diagnostykę maszyn indukcyjnych.

e-mail: dybowski@agh.edu.pl