

Paweł Dybowski  
AGH Kraków

## WPŁYW STOPNIA USZKODZENIA WIRNIKA NA WIDMO SKŁADOWYCH SYMETRYCZNYCH PRĄDÓW STOJANA SILNIKÓW KLATKOWYCH NIESYMETRYCZNYCH

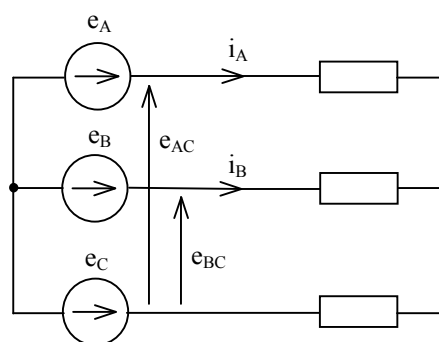
### INFLUENCE OF BAR DAMAGE LEVEL ON SYMMETRIC COMPONENTS HARMONIC SPECTRUM OF STATOR CURRENTS OF INDUCTION MOTORS

**Abstract:** Asymmetry of induction motor, as eccentricity or fracture of bars or end-ring segments of a cage has an effect on harmonic spectrum of stator currents. In this paper I'm going to present comparison of symmetric component harmonic spectrums of induction machines stator currents with harmonic spectrums stator currents. I'm going to answer a question: can I use symmetric component harmonic spectrums of stator currents in diagnostics of induction machines. Dynamical model of this machine calculates harmonics of stator, rotor and stator-rotor inductances accounting for only global saturation of the air-gap region. The model considered various rotational speeds of the rotor.

#### 1. Wstęp

Niesymetrie silnika indukcyjnego, takie jak ekscentryczność dynamiczna, uszkodzenie prętów lub segmentów klatki wirnika, prowadzą do zmiany widma prądów stojana. Dysponując bazą danych 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 składowych symetrycznych prądów stojana można wykorzystać w diagnostyce uszkodzeń wirnika? W artykule przedstawiono wyniki obliczeń widm składowych symetrycznych prądów stojana silnika indukcyjnego, klatkowego. Uszkodzenie wirnika symulowane było poprzez dwudziestokrotne powiększenie rezystancji prętów wirnika. Symulacje przeprowadzono dla zasilania symetrycznego i niesymetrycznego. Obliczenia wykonane zostały dla czterobiegunowego silnika o mocy 7,5 kW, posiadającego 36 żłobków na stojanie i 28 na wirniku, o klatce odlewanej, aluminiowej. Uzwojenie stojana nie posiadało gałęzi równoległych, a żłobki wirnika były proste (bez skosu). Użyty do obliczeń model dynamiczny maszyny uwzględniał wyższe harmoniczne indukcyjności stojana, wirnika i indukcyjności stojan-wirnik. Model maszyny uwzględniał również zmienną prędkość obrotową wirnika. Indukcyjności wyznaczono metodą numeryczną dla 400 położenia kątowych wirnika. Indukcyjności i ich pochodne względem kąta obrotu wirnika  $\varphi$ , dla

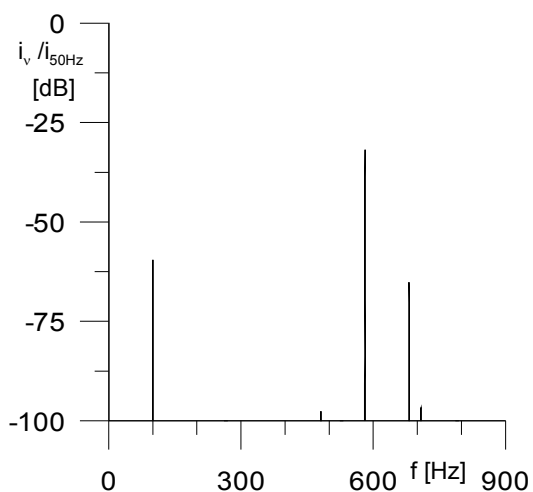
dwóch liniowo niezależnych obwodów stojana, dla wszystkich oczek wirnika plus oczko jednego pierścienia zwierającego klatki, zostały zapisane w postaci plików. Indukcyjności te i ich pochodne były następnie wykorzystywane przy całkowaniu równań różniczkowych opisujących maszynę. Obliczenia dotyczyły stanu ustalonego przy obciążeniu momentem znamionowym 50 N·m. Silnik był zasilany napięciem trójfazowym o wartości skutecznej 380V. Fazy silnika skojarzono w gwiazdę bez przewodu neutralnego. Przedstawiane wyniki były uzyskane dla zasilania symetrycznego.



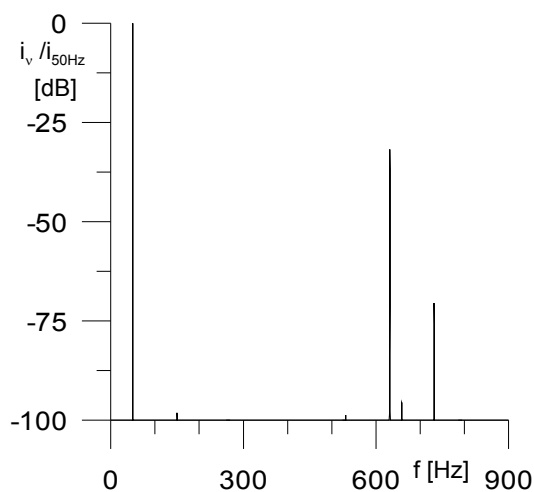
Rys. 1. Schemat zasilania badanego silnika.

#### 2. Silnik nieuszkodzony

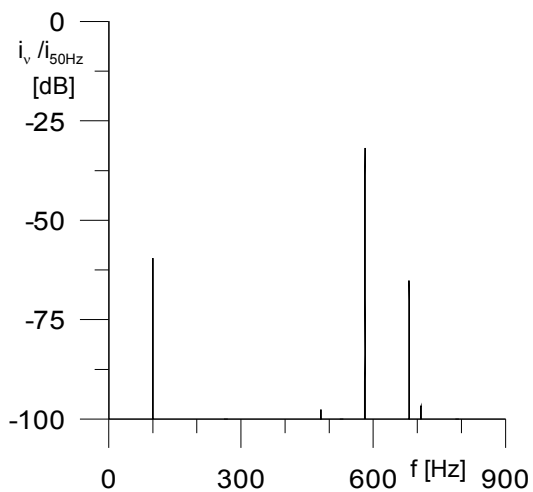
Poniższe rysunki prezentują wyniki obliczeń dla nieuszkodzonego silnika.



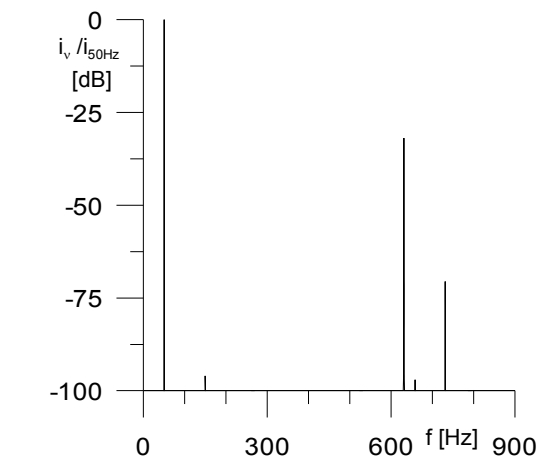
Rys. 2. Widmo składowej zgodnej prądu stojana.



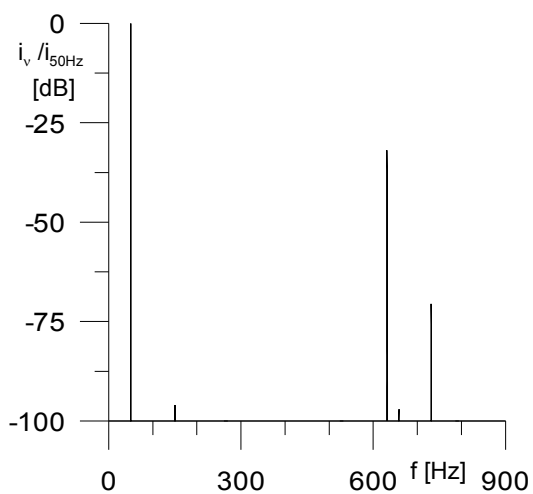
Rys. 5. Widmo części urojonej składowej zgodnej prądu stojana.



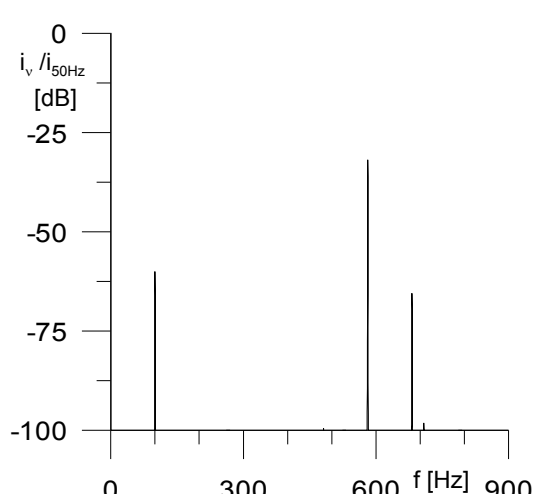
Rys. 3. Widmo składowej przeciwnej prądu stojana.



Rys. 6. Widmo fazy A prądu stojana.

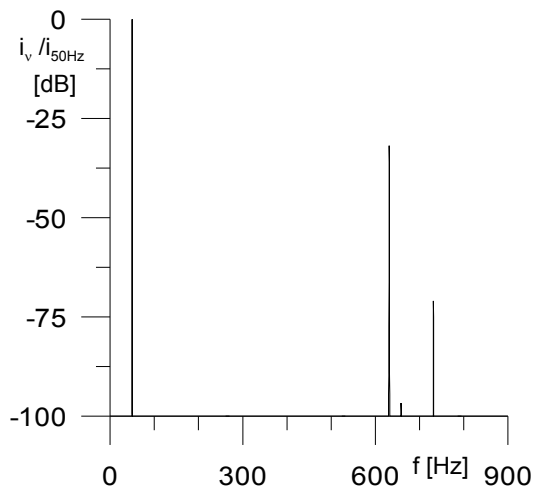


Rys. 4. Widmo części rzeczywistej składowej zgodnej prądu stojana.

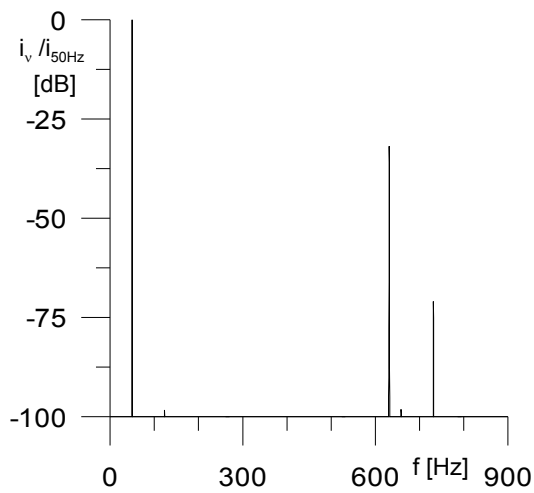


Rys. 7. Widmo składowej zgodnej prądu stojana.

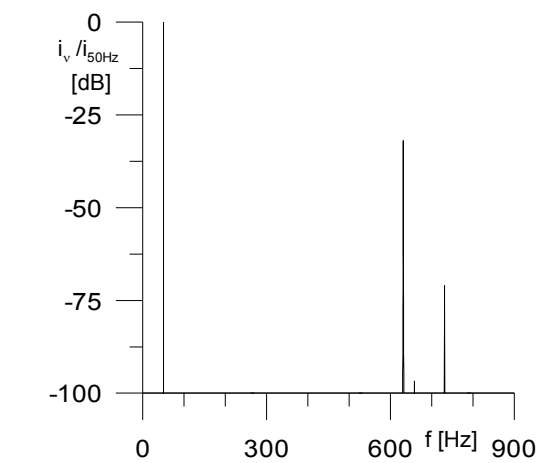
### 3. Silnik z niecentrycznością dynamiczną 20%



Rys. 8. Widmo części rzeczywistej składowej zgodnej prądu stojana.

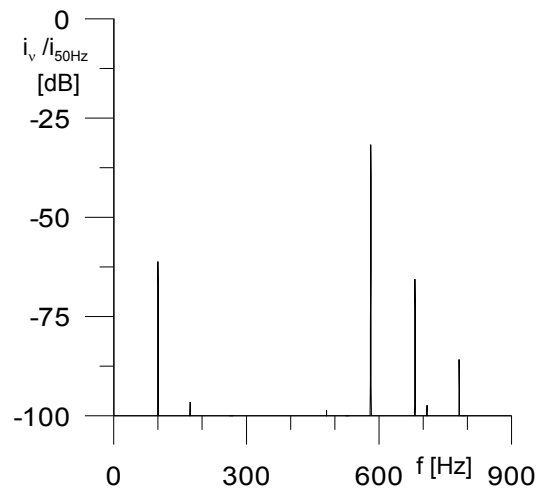


Rys. 9. Widmo części urojonej składowej zgodnej prądu stojana.

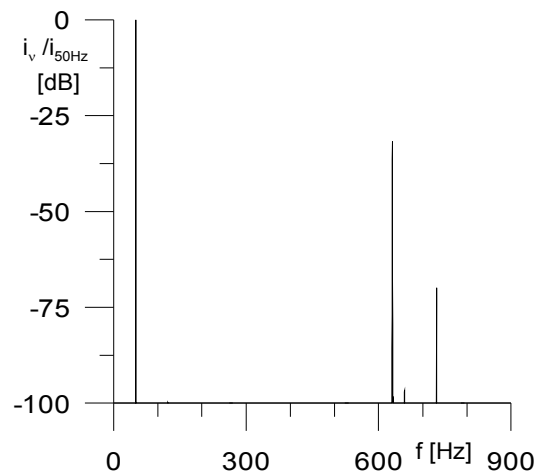


Rys. 10. Widmo fazy A prądu stojana.

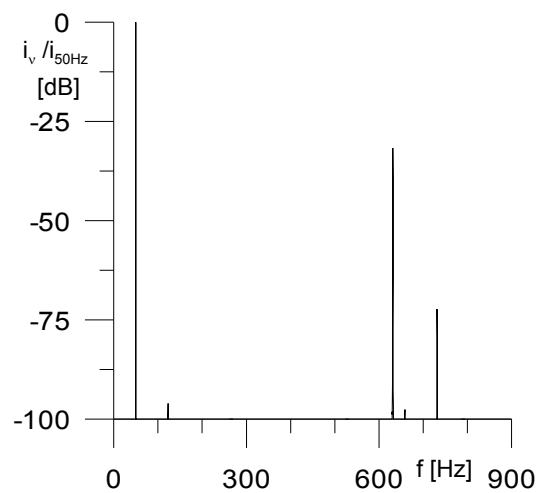
#### 4. Silnik z niecentrycznością statyczną 20%



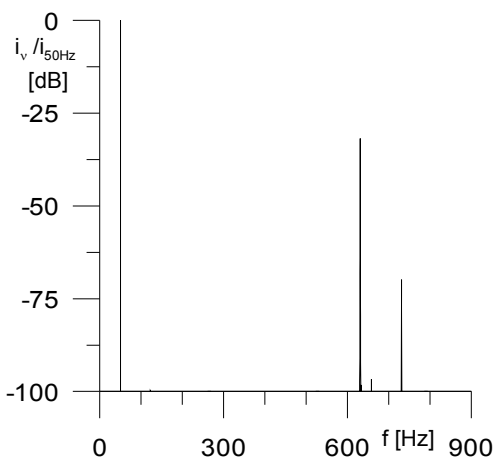
Rys. 11. Widmo składowej zgodnej prądu stojana.



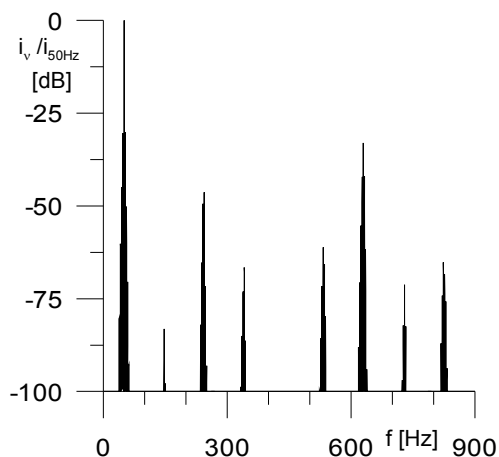
Rys. 12. Widmo części rzeczywistej składowej zgodnej prądu stojana.



Rys. 13. Widmo części urojonej składowej zgodnej prądu stojana.

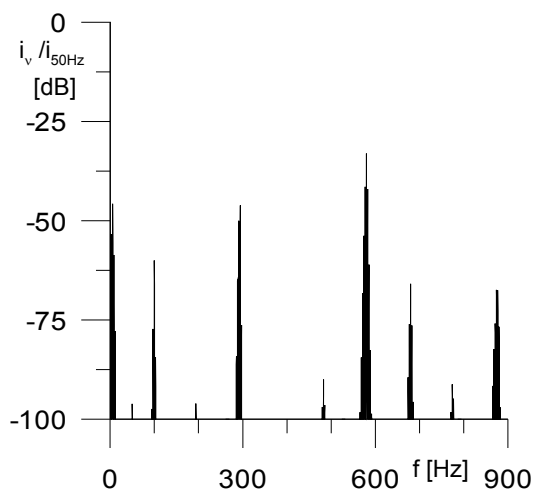


Rys. 14. Widmo fazy A prądu stojana.



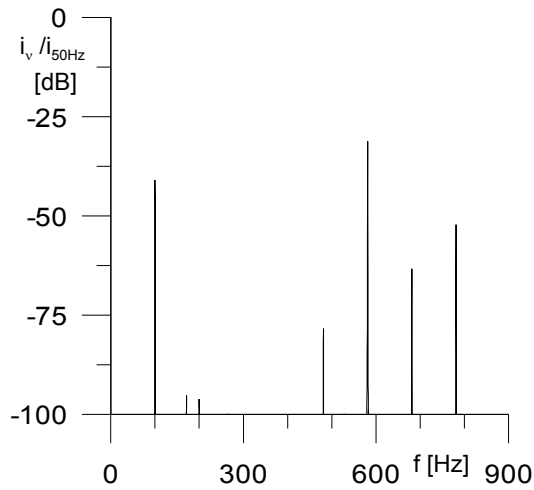
Rys. 17. Widmo fazy A prądu stojana.

### 5. Silnik z uszkodzoną klatką wirnika

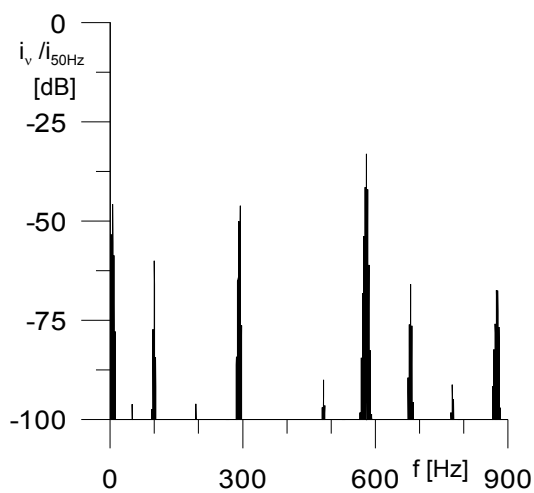


Rys. 15. Widmo składowej zgodnej prądu stojana.

### 6. Silnik z niecentrycznością statyczną 50%, zasilanie symetryczne

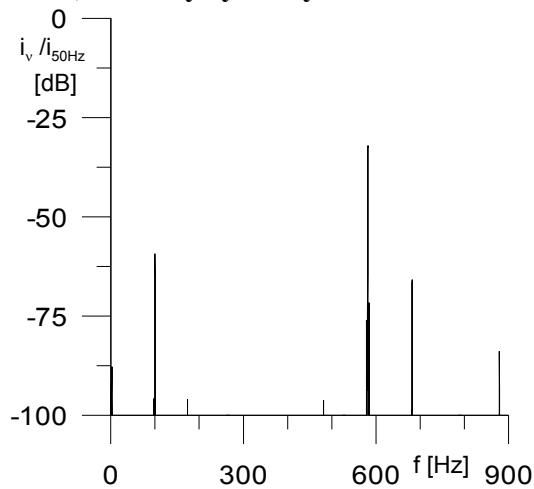


Rys. 18. Widmo składowej zgodnej prądu stojana.



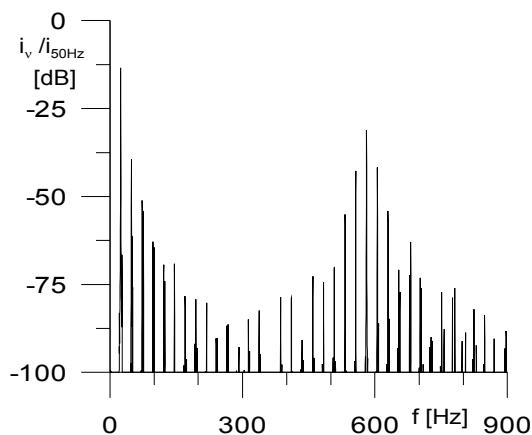
Rys. 16. Widmo składowej przeciwnej prądu stojana.

### 7. Silnik z niecentrycznością dynamiczną 50%, zasilany symetrycznie



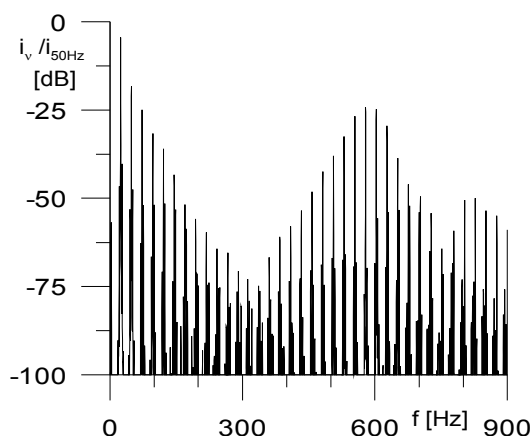
Rys. 19. Widmo składowej zgodnej prądu stojana.

### 8. Silnik z niecentrycznością statyczną 25% i dynamiczną 25%



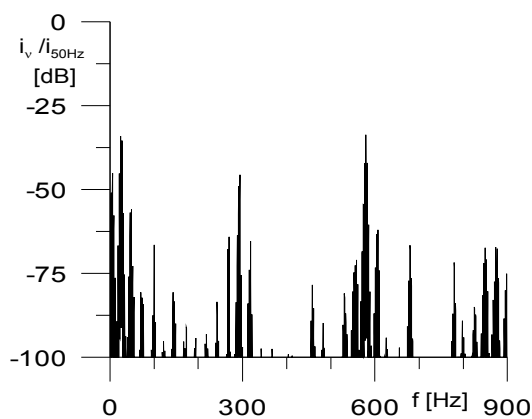
Rys.20. Widmo składowej zgodnej prądu stojana.

### 9. Silnik z niecentrycznością statyczną 30% i dynamiczną 50%



Rys.21. Widmo składowej zgodnej prądu stojana.

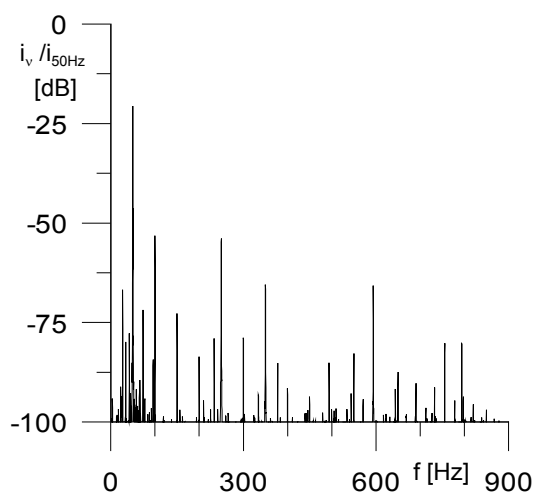
### 10. Silnik z uszkodzoną kłatką wirnika i niecentrycznością statyczną 30%



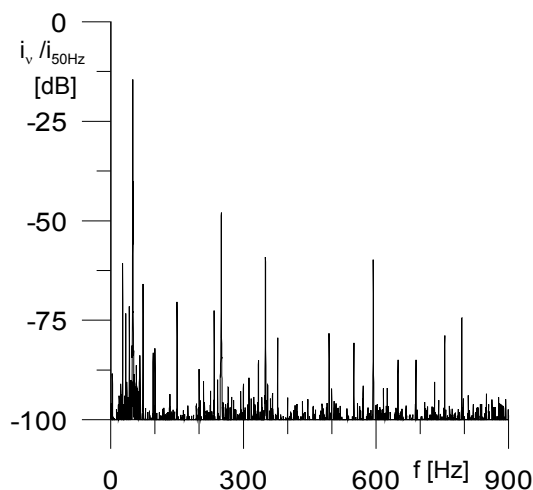
Rys.21. Widmo składowej zgodnej prądu stojana.

### 11. Silnik indukcyjny, dane z pomiarów

Przedstawione poniżej rysunki prezentują wyniki dla silnika INDUKTA, Nr 120527 Typ Sg 112 M-4, 380 V  $\Delta$ , 50 Hz, 4 kW, 8,7 A, 1435 obr/min,  $\cos \varphi = 0,82$ , S1, IP 54, M1001. Nie jest to ten sam typ silnika, który był używany do obliczeń, ale o bardzo zbliżonych parametrach.



Rys.22. Widmo składowej zgodnej prądu stojana.



Rys.23. Widmo prądu fazy A stojana.

### 12. Podsumowanie

W przedstawionych przykładach widać, że widma składowych symetrycznych zawierają w sobie podobne składowe, jak widma prądów fazowych stojana maszyny indukcyjnej. Widma części rzeczywistej oraz części urojonej składowych symetrycznych, zarówno zgodnej jak i przeciwnej są bardzo podobne do widma prądu fazowego. Wobec tego faktu można je z powodzeniem wykorzystać w diagnostyce klatki wirnika maszyny. Widma składowych zgodnej i

przeciwniej w przypadku wystąpienia niecentryczności statycznej (rozdział 4, 6, 8 i 9) zawierają dodatkowe prądkie w stosunku do widma prądu fazowego. Widać to dobrze w przypadku wystąpienia samej niecentryczności statycznej. W przypadkach, gdy niecentryczność statyczna występuje wraz z niecentrycznością dynamiczną lub uszkodzeniem pręta wirnika widmo jest zdecydowanie bogatsze, a wykrycie dodatkowych częstotliwości trudniejsze. Można przypuszczać, że na ich podstawie, pojawienie się tych dodatkowych częstotliwości istnieje możliwość detekcji niecentryczności statycznej wirnika. Jednakże jednoznaczne stwierdzenie tej możliwości wymaga dodatkowych prac w tym kierunku.

### 13. 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, s. 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 monoharmonic models*. ICEM'2000 Proceedings. Vol. II. Helsinki University of Technology. Espoo, Finland, s. 946 – 950.
- [3]. Dybowski P.: *Pomiary i modelowanie prądowych symptomów uszkodzeń maszyn indukcyjnych*. Rozprawa doktorska, AGH Kraków 2001
- [4] Rams W., Rusek J.: *Praktyczna diagnostyka maszyn indukcyjnych klatkowych*. Zeszyty Problemowe BOBRME KOMEL Nr 68/2004, Ustroń 2004, s. 1-5
- [5] Weinreb K. Węgiel T. Sułowicz M.: *Nieinwazyjna diagnostyka wirnika maszyny asynchronicznej*. Zeszyty Problemowe BOBRME KOMEL Nr 69/2004, Ustroń 2004, s. 35-40

### Autor

Dr inż. Paweł Dybowski,  
Katedra Maszyn Elektrycznych,  
Wydział Elektrotechniki Automatyki Informatyki i Elektroniki,  
Akademia Górniczo-Hutnicza,  
Al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków  
tel. (+48 12) 617-28-97  
e-mail: dybowski@agh.edu.pl

Publikację opracowano w ramach pracy statutowej nr 11.11.120.06