

**Paweł Dybowski**  
AGH, Kraków

## DIAGNOSTYKA SILNIKA INDUKCYJNEGO Z ZASTOSOWANIEM SYGNAŁU SKUTECZNEJ WARTOŚCI RUCHOMEJ PRĄDU

### DIAGNOSTICS OF INDUCTION MOTOR WITH EMPLOYMENT OF THE MOVING RMS CURRENT SIGNAL

**Abstract:** It is possible to execute diagnostics of induction motor on the basis of the moving rms stator current signal in cases of non-sinusoidal supplying. The results of using of this signal in diagnostics of induction motor supplied by symmetrical, sinusoidal 3-phase voltage have been presented in this paper. It has been used the moving rpm for analysis different damages of induction motor and perform review of results to use this signal in diagnostics in those conditions of supplying. 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

Diagnostykę maszyn indukcyjnych w oparciu o sygnał skutecznej wartości ruchomej można prowadzić w przypadkach zasilania badanego obiektu ze źródła o napięciu odkształconym [6]. W artykule przedstawione zostały wyniki zastosowania sygnału skutecznej wartości ruchomej prądu stojana w diagnostyce maszyny indukcyjnej zasilanej sinusoidalnym, symetrycznym napięciem trójfazowym. Prądy stojana dla różnych uszkodzeń maszyny poddano analizie za pomocą wartości skutecznej ruchomej i dokonano przeglądu wyników pod kątem przydatności tego sygnału do diagnostyki maszyny indukcyjnej w zadanych warunkach zasilania. Model dynamiczny silnika użyty do obliczeń uwzględniał wyższe harmoniczne indukcyjności stojana, wirnika i indukcyjności stojan-wirnik oraz zmienną prędkość obrotową wirnika. Uszkodzenie wirnika symulowane było poprzez dwudziestokrotne powiększenie rezystancji prętów wirnika. 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). Obliczenia dotyczyły stanu ustalonego przy obciążeniu momentem znamionowym 50Nm. Fazy silnika skojarzono w gwiazdę bez przewodu neutralnego. Sygnał wartości skutecznej prądu stojana zdefiniowano jako [6]:

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{t-T}^t i^2(\tau) d\tau} \quad (1)$$

gdzie:

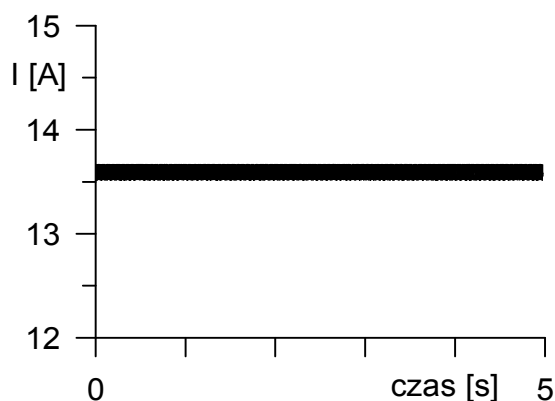
t – czas

i – wartość chwilowa prądu

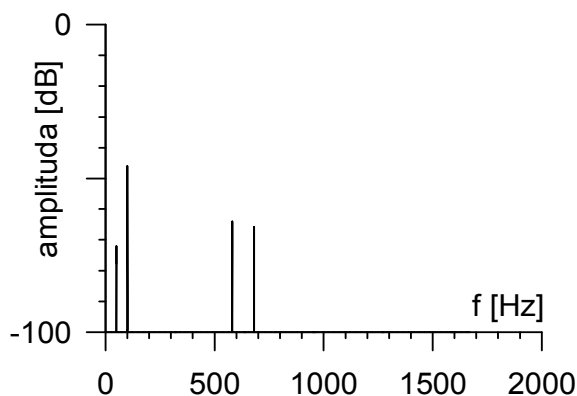
T – okres podstawowej harmonicznnej napięcia zasilającego.

#### 2. Silnik nieuszkodzony

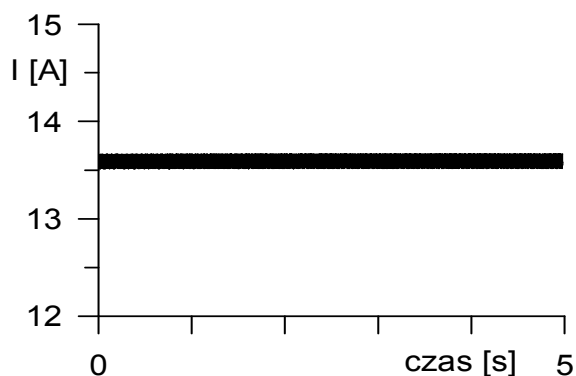
Poniżej zostały przedstawione wyniki obliczeń wartości skutecznej ruchomej prądu jednej fazy stojana dla silnika indukcyjnego bez uszkodzeń. Wyniki przedstawiono dla silnika o małym i dużym momencie bezwładności wirnika.



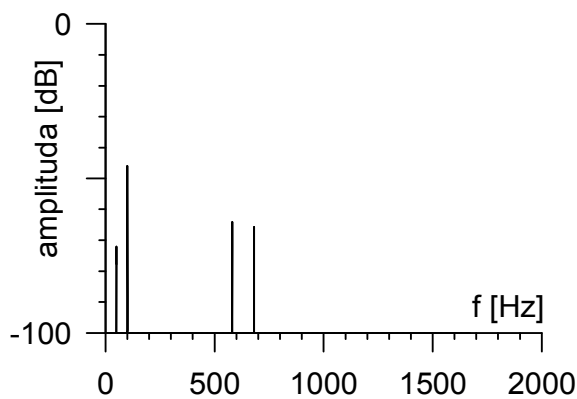
Rys. 1. Sygnał wartości skutecznej ruchomej dla silnika bez uszkodzeń i niecentryczności – mały moment bezwładności wirnika



Rys. 2. Widmo sygnału wartości skutecznej ruchomej dla silnika bez uszkodzeń i niecentryczności – mały moment bezwładności wirnika



Rys. 3. Sygnał wartości skutecznej ruchomej dla silnika bez uszkodzeń i niecentryczności – duży moment bezwładności wirnika



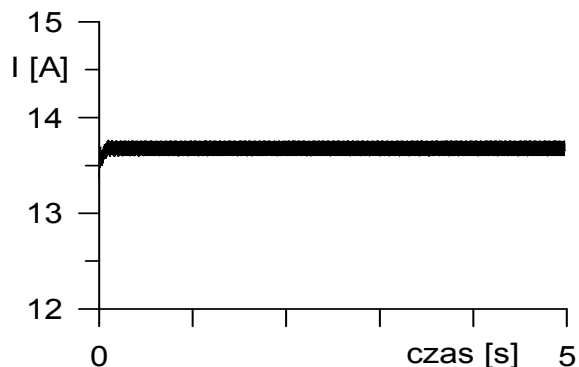
Rys. 4. Widmo sygnału wartości skutecznej ruchomej dla silnika bez uszkodzeń i niecentryczności – duży moment bezwładności wirnika

### 3. Silnik z niecentrycznym położeniem wirnika

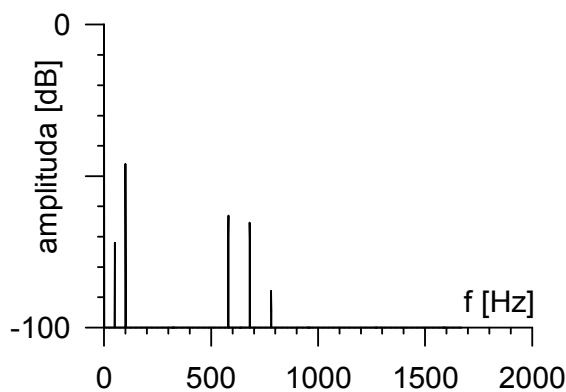
#### 3.1 Niecentryczność statyczna

Poniżej zostały przedstawione wyniki obliczeń wartości skutecznej ruchomej prądu jednej fazy

stojana dla silnika indukcyjnego bez uszkodzeń z niecentrycznością statyczną wirnika.



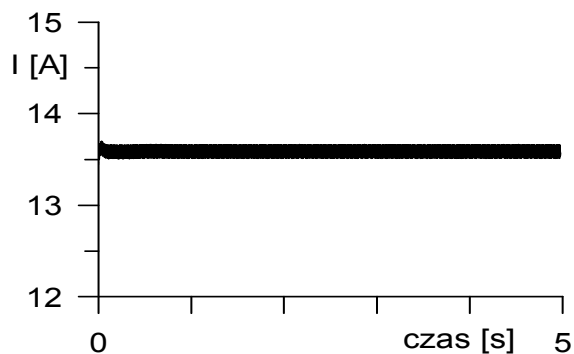
Rys. 5. Sygnał wartości skutecznej ruchomej dla silnika bez uszkodzeń, niecentryczność statyczna 50%



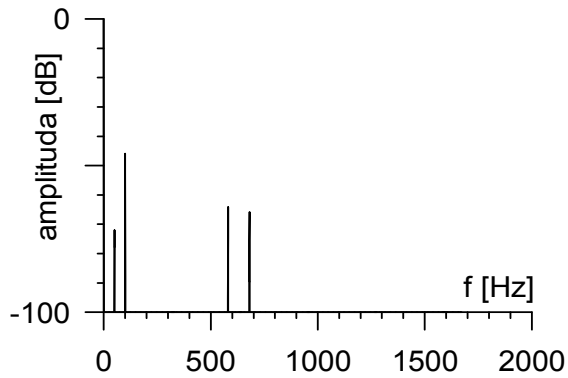
Rys. 6. Widmo sygnału wartości skutecznej ruchomej dla silnika bez uszkodzeń, niecentryczność statyczna 50%

#### 3.2 Niecentryczność dynamiczna

Poniżej zostały przedstawione wyniki obliczeń wartości skutecznej ruchomej prądu jednej fazy stojana dla silnika indukcyjnego bez uszkodzeń z niecentrycznością dynamiczną wirnika.



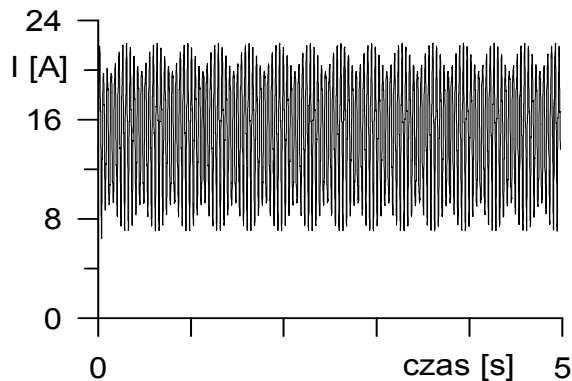
Rys. 7. Sygnał wartości skutecznej ruchomej dla silnika bez uszkodzeń, niecentryczność dynamiczna 30%



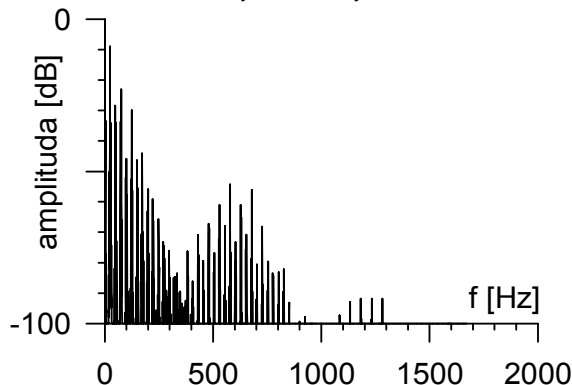
Rys. 8. Widmo sygnału wartości skutecznej ruchomej dla silnika bez uszkodzeń, niecentryczność dynamiczna 50%

### 3.3 Niecentryczność statyczna i dynamiczna

Poniżej zostały przedstawione wyniki obliczeń wartości skutecznej ruchomej prądu jednej fazy stojana dla silnika indukcyjnego bez uszkodzeń z niecentrycznością statyczną i dynamiczną wirnika.



Rys. 9. Sygnał wartości skutecznej ruchomej dla silnika bez uszkodzeń, niecentryczność statyczna 30% i niecentryczność dynamiczna 50%



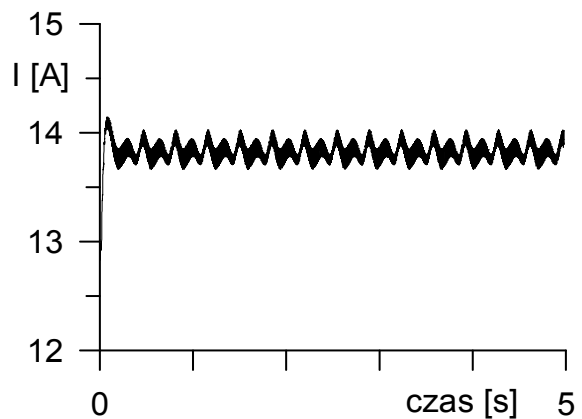
Rys. 10. Widmo sygnału wartości skutecznej ruchomej dla silnika bez uszkodzeń, niecentryczność statyczna 30% i niecentryczność dynamiczna 50%

## 4. Silnik uszkodzony

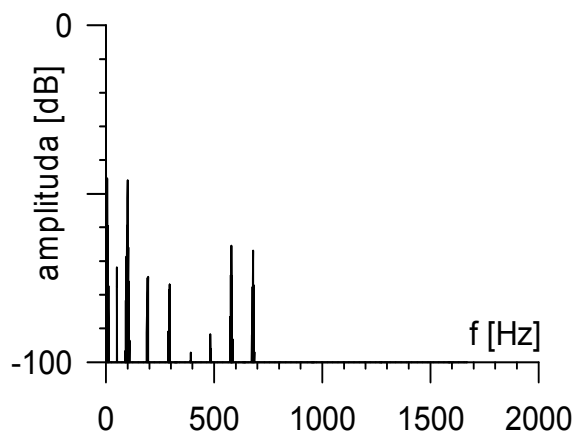
Poniżej zostały przedstawione wyniki obliczeń wartości skutecznej ruchomej prądu jednej fazy stojana dla silnika indukcyjnego z uszkodzoną klatką wirnika. Uszkodzenie polegało na dwudziestokrotnym wzroście rezystancji dwóch sąsiednich prętów klatki wirnika.

### 4.1 Bez niecentryczności

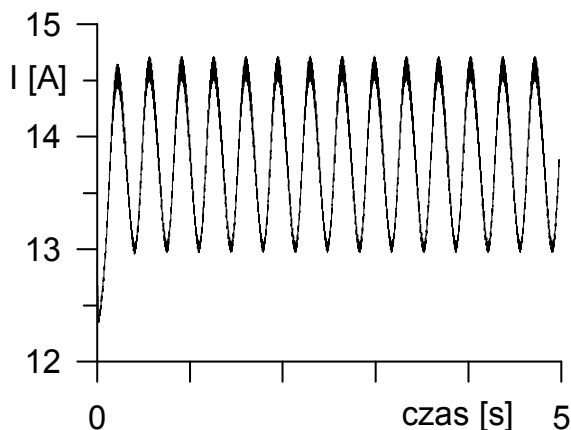
Poniżej zostały przedstawione wyniki obliczeń wartości skutecznej ruchomej prądu jednej fazy stojana dla silnika indukcyjnego z uszkodzoną klatką wirnika, bez niecentryczności. Wyniki przedstawiono dla silnika o małym i dużym momencie bezwładności wirnika.



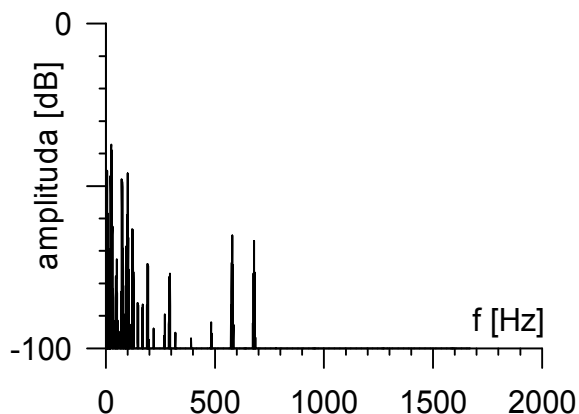
Rys. 11. Sygnał wartości skutecznej ruchomej dla silnika z uszkodzoną klatką wirnika, bez niecentryczności – mały moment bezwładności



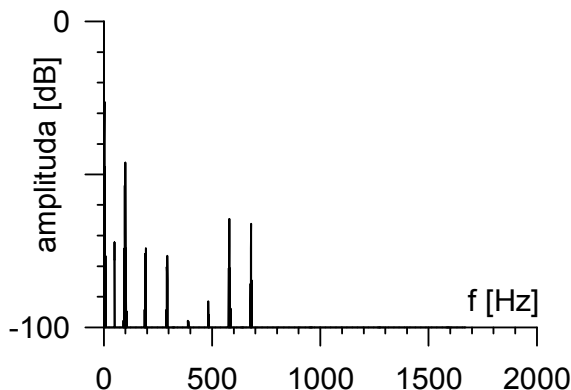
Rys. 12. Widmo sygnału wartości skutecznej ruchomej dla silnika z uszkodzoną klatką wirnika, bez niecentryczności – mały moment bezwładności



Rys. 13. Sygnał wartości skutecznej ruchomej dla silnika z uszkodzoną klatką wirnika, bez niecentryczności – duży moment bezwładności



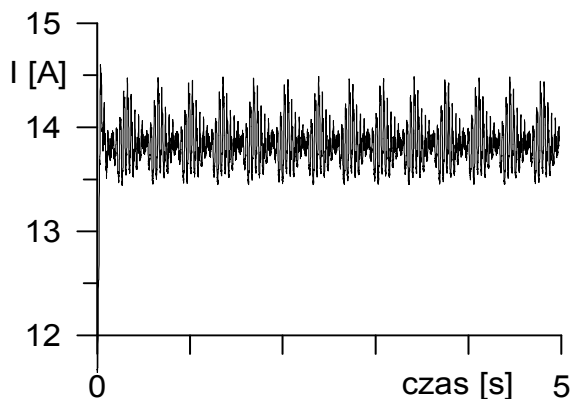
Rys. 16. Widmo sygnału wartości skutecznej ruchomej dla silnika z uszkodzoną klatką wirnika, niecentryczność statyczna 30%



Rys. 14. Widmo sygnału wartości skutecznej ruchomej dla silnika z uszkodzoną klatką wirnika, bez niecentryczności – duży moment bezwładności

#### 4.2 Niecentryczność statyczna

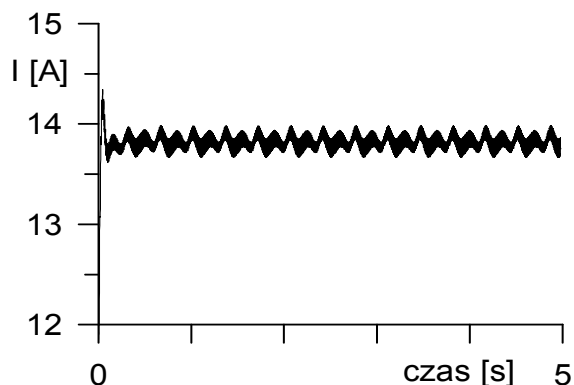
Poniżej zostały przedstawione wyniki obliczeń wartości skutecznej ruchomej prądu jednej fazy stojana dla silnika indukcyjnego bez uszkodzeń z niecentrycznością statyczną wirnika.



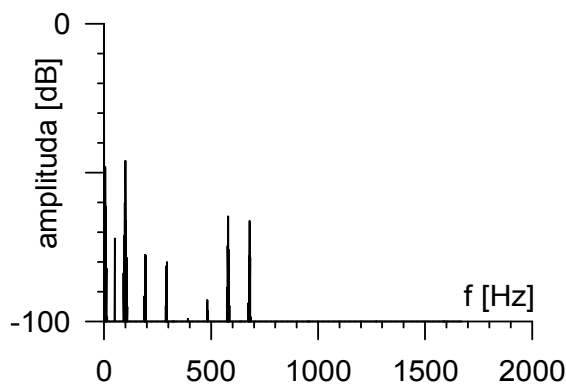
Rys. 15. Sygnał wartości skutecznej ruchomej dla silnika z uszkodzoną klatką wirnika, niecentryczność statyczna 30%

#### 4.3 Niecentryczność dynamiczna

Poniżej zostały przedstawione wyniki obliczeń wartości skutecznej ruchomej prądu jednej fazy stojana dla silnika indukcyjnego bez uszkodzeń z niecentrycznością dynamiczną wirnika.



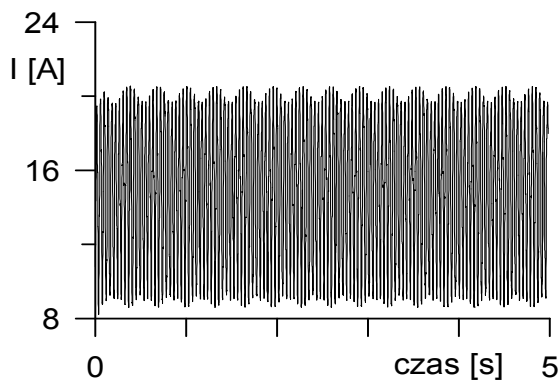
Rys. 17. Sygnał wartości skutecznej ruchomej dla silnika z uszkodzoną klatką wirnika, niecentryczność dynamiczna 30%



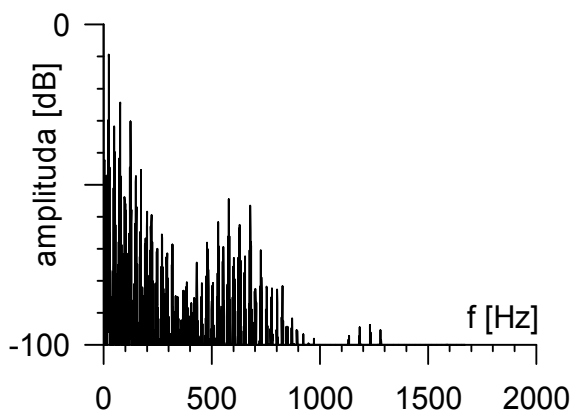
Rys. 18. Widmo sygnału wartości skutecznej ruchomej dla silnika z uszkodzoną klatką wirnika, niecentryczność dynamiczna 30%

#### 4.4 Niecentryczność statyczna i dynamiczna

Poniżej zostały przedstawione wyniki obliczeń wartości skutecznej ruchomej prądu jednej fazy stojana dla silnika indukcyjnego bez uszkodzeń z niecentrycznością statyczną i dynamiczną wirnika.



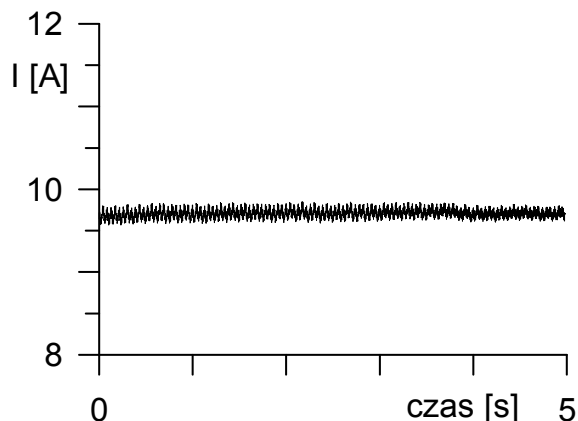
Rys. 19. Sygnał wartości skutecznej ruchomej dla silnika z uszkodzoną klatką wirnika, niecentryczność statyczna 30% i niecentryczność dynamiczna 50%



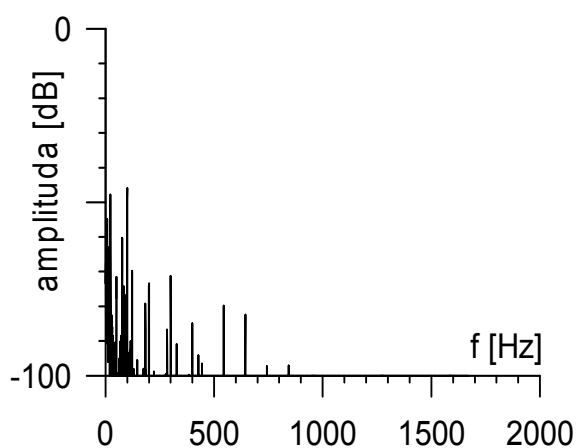
Rys. 20. Widmo sygnału wartości skutecznej ruchomej dla silnika z uszkodzoną klatką wirnika, niecentryczność statyczna 30% i niecentryczność dynamiczna 50%

#### 5. Pomiar

Poniżej zostały przedstawione wyniki obliczeń wartości skutecznej ruchomej zmierzonego prądu jednej fazy stojana dla silnika indukcyjnego. Pomiary wykonano 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. 21. Sygnał wartości skutecznej ruchomej uzyskany z pomiarów dla silnika indukcyjnego



Rys. 22. Widmo sygnału wartości skutecznej ruchomej uzyskane z pomiarów dla silnika indukcyjnego

#### 6. Podsumowanie

W przedstawionych przykładach widać, że sygnał skutecznej wartości ruchomej prądu stojana może zostać z powodzeniem wykorzystany w diagnostyce silników indukcyjnych zasilanych sinusoidalnym napięciem trójfazowym. Istnieje możliwość detekcji uszkodzeń klatki wirnika nie tylko na podstawie kształtu przebiegu sygnału, ale również na podstawie jego analizy widmowej. Obiecująco prezentują się wyniki zastosowania sygnału skutecznej wartości ruchomej do detekcji niecentryczności wirnika, a w szczególności do wykrywania niecentryczności statycznej. Pojawienie się dodatkowej częstotliwości w widmie sygnału jest widoczne na rys. 6. Sytuacja taka występuje dla niecentryczności statycznej 50%. W przypadku, gdy niecentryczność statyczna jest mniejsza, amplituda dodatkowego prążka w widmie sygnału może być zbyt mała, co zdecydowanie utrudnia diagnostykę w takim

przypadku. Również w przypadkach, gdy niecentryczność statyczna występuje wraz z niecentrycznością dynamiczną lub uszkodzeniem pręta wirnika widmo sygnału jest bogatsze, a wykrycie dodatkowej częstotliwości trudniejsze. Można przypuszczać, że na podstawie pojawienia się tej dodatkowej częstotliwości istnieje możliwość detekcji statycznej niecentryczności wirnika. Niemniej jednoznaczne stwierdzenie tej możliwości wymaga dodatkowych prac w tym kierunku. Być może w takim przypadku stwierdzenie występowania niecentryczności statycznej będzie możliwe na podstawie analizy kształtu przebiegu sygnału skutecznej wartości ruchomej prądu stojana.

## 7. 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
- [6]. Sołbut A.: *Zalety zastosowania sygnału skutecznej wartości ruchomej prądu w diagnostyce maszyny indukcyjnej zasilanej z falownika napięcia*. Zeszyty Problemowe BOBRME KOMEL Nr 74/2006, Ustroń 2006, s. 109-114

## 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. (012) 617-28-97, fax (012) 634-10-96, e-mail: dybowski@agh.edu.pl

*Publikację opracowano w ramach pracy statutowej nr 11.11.120.608*