

**Paweł Dybowski**  
Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

## DIAGNOSTYKA SILNIKA INDUKCYJNEGO Z ZASTOSOWANIEM SYGNAŁU SKUTECZNEJ WARTOŚCI RUCHOMEJ PRĄDU – CZĘŚĆ 2 – ZASILANIE NIESYMETRYCZNE

### DIAGNOSTICS OF INDUCTION MOTOR WITH EMPLOYMENT OF THE MOVING RMS CURRENT SIGNAL – part 2 – NON-SYMMETRICAL SUPPLYING

**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 non-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. 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, niesymetrycznym napięciem trójfazowym. Niesymetria napięć była wynikiem obniżenia amplitudy napięcia jednej z faz o 10%. Prądy stojana dla różnych uszkodzeń maszyny poddano analizie za pomocą wartości skutecznej ruchomej i dokonano przeglądu wyników pod kątem przydatności takiego sygnału do diagnostyki maszyny indukcyjnej podczas niesymetrii zasilania. Model dynamiczny silnika indukcyjnego 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 dwóch sąsiednich prętów klatki 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 bez skosu. Obliczenia dotyczyły stanu ustalonego przy obciążeniu momentem znamionowym 50Nm. Fazy silnika skojarzono w gwiazdę bez

przewodu neutralnego. Sygnał skutecznej wartości ruchomej prądu stojana zdefiniowano jako [6]:

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

gdzie:

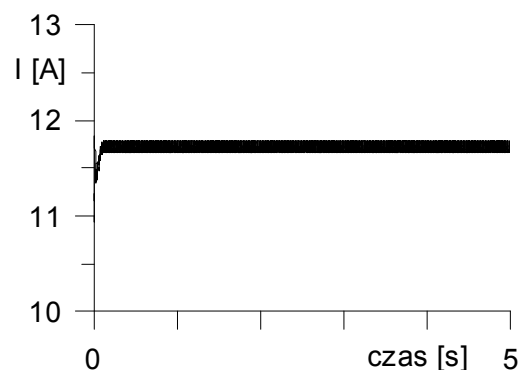
t – czas

i – wartość chwilowa prądu

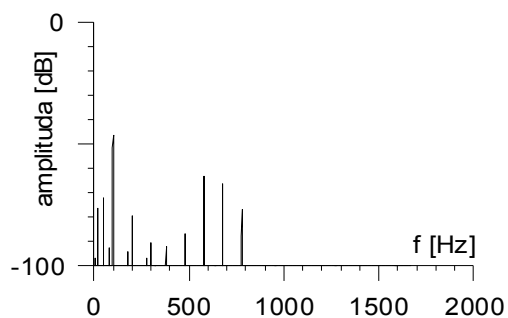
T – okres podstawowej harmoniczej napięcia zasilającego.

#### 2. Silnik nieuszkodzony

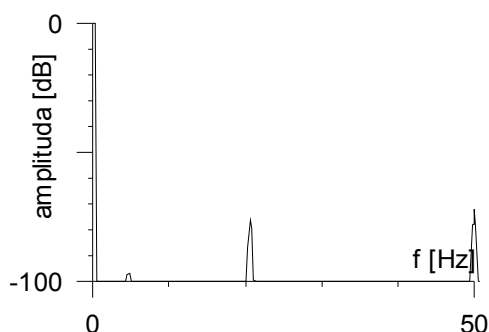
Poniżej zostały przedstawione wyniki obliczeń wartości skutecznej ruchomej prądu jednej fazy stojana dla silnika indukcyjnego bez uszkodzeń.



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



Rys. 2. Widmo sygnału wartości skutecznej ruchomej dla silnika bez uszkodzeń oraz niecentryczności – zasilanie niesymetryczne

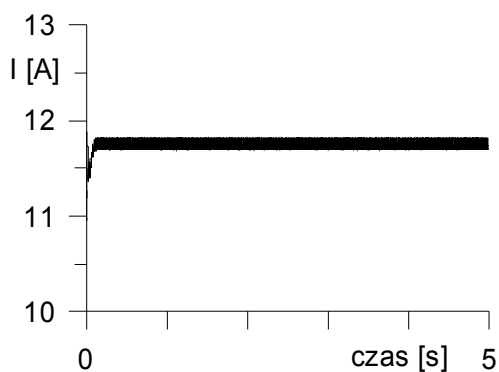


Rys. 3. Widmo sygnału wartości skutecznej ruchomej dla silnika bez uszkodzeń oraz niecentryczności – zasilanie niesymetryczne – powiększenie w zakresie 0 do 50Hz

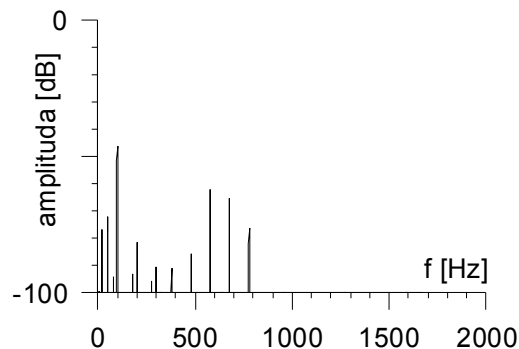
### 3. Silnik z niecentrycznym położeniem wirnika

#### 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.



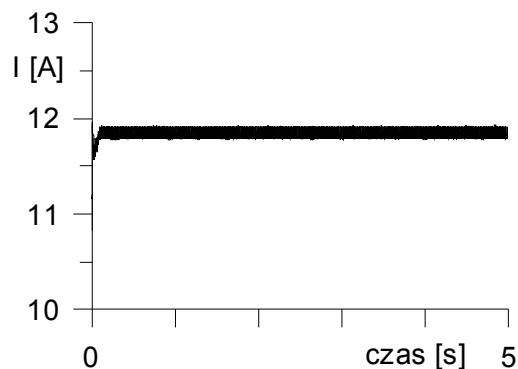
Rys. 4. Sygnał wartości skutecznej ruchomej dla silnika bez uszkodzeń, niecentryczność statyczna 30% - zasilanie niesymetryczne



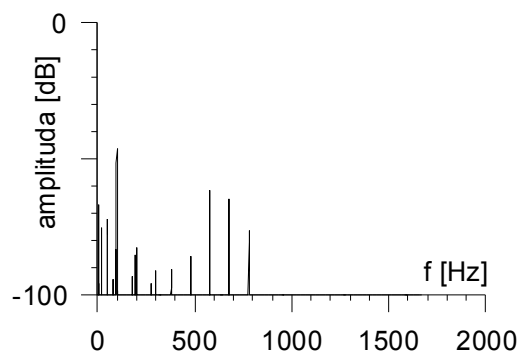
Rys. 5. Widmo sygnału wartości skutecznej ruchomej dla silnika bez uszkodzeń, niecentryczność statyczna 30% - zasilanie niesymetryczne

#### 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.



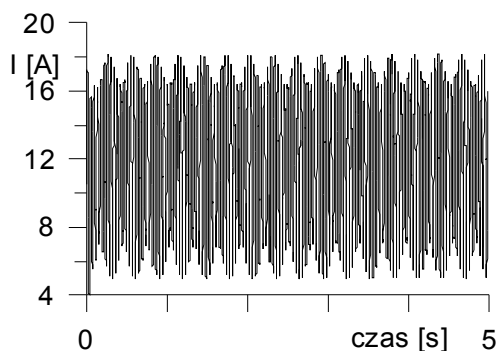
Rys. 6. Sygnał wartości skutecznej ruchomej dla silnika bez uszkodzeń, niecentryczność dynamiczna 30% - zasilanie niesymetryczne.



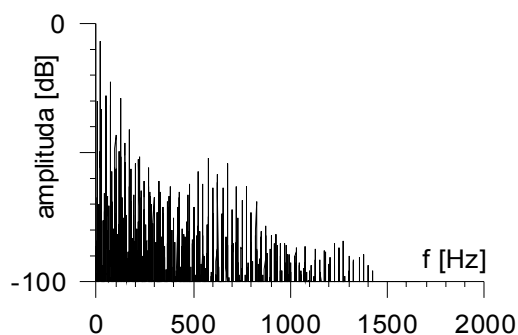
Rys. 7. Widmo sygnału wartości skutecznej ruchomej dla silnika bez uszkodzeń, niecentryczność dynamiczna 50% - zasilanie niesymetryczne

### 3.3 Niecentryczność statyczna i dynamiczna

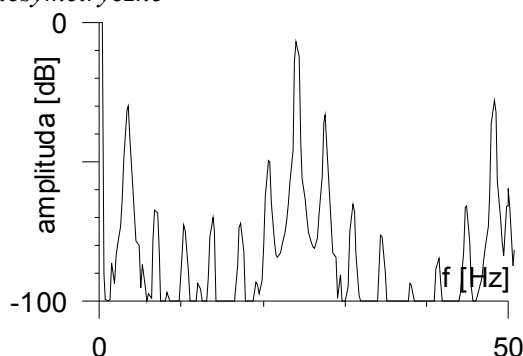
Poniżej zostały przedstawione wyniki obliczeń wartości skutecznej ruchomej prądu jednej fazy stojana dla silnika indukcyjnego bez uszkodzeń z niecentrycznością statyczną i dynamiczną wirnika.



Rys. 8. Sygnał wartości skutecznej ruchomej dla silnika bez uszkodzeń, niecentryczność statyczna 30% i niecentryczność dynamiczna 50% - zasilanie niesymetryczne



Rys. 9. Widmo sygnału wartości skutecznej ruchomej dla silnika bez uszkodzeń, niecentryczność statyczna 30% i niecentryczność dynamiczna 50% - zasilanie niesymetryczne

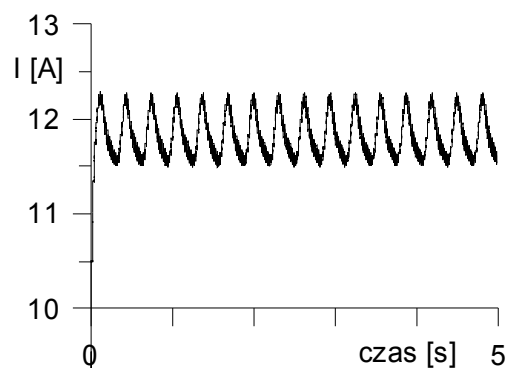


Rys. 10. Widmo sygnału wartości skutecznej ruchomej dla silnika bez uszkodzeń, niecentryczność statyczna 30% i niecentryczność dynamiczna 50% - zasilanie niesymetryczne – powiększenie od 0 do 50Hz

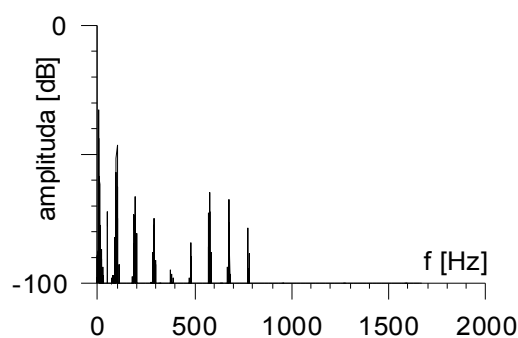
### 4. Silnik uszkodzony

#### 4.1 Bez niecentryczności

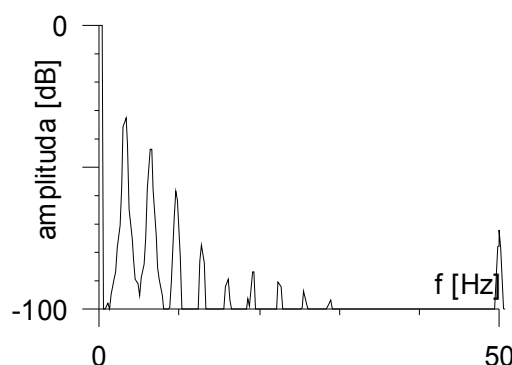
Poniżej zostały przedstawione wyniki obliczeń wartości skutecznej ruchomej prądu jednej fazy stojana dla silnika indukcyjnego z uszkodzoną klatką wirnika, bez niecentryczności.



Rys. 11. Sygnał wartości skutecznej ruchomej dla silnika z uszkodzoną klatką wirnika, bez niecentryczności – zasilanie niesymetryczne



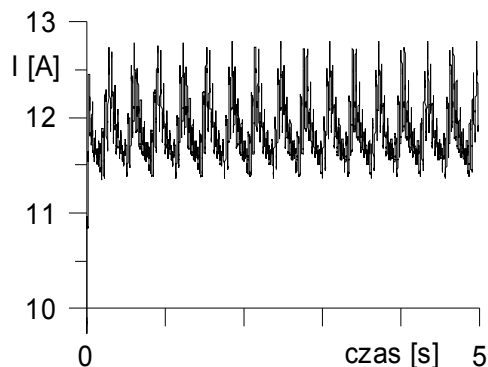
Rys. 12. Widmo sygnału wartości skutecznej ruchomej dla silnika z uszkodzoną klatką wirnika, bez niecentryczności – zasilanie niesymetryczne



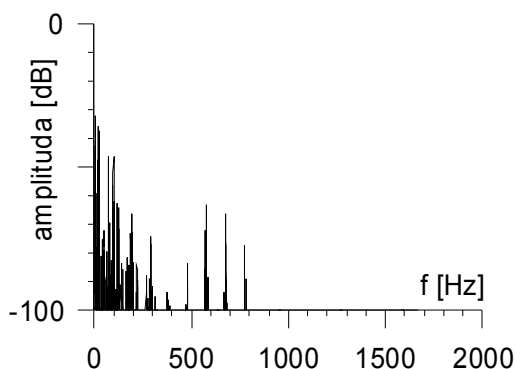
Rys. 13. Widmo sygnału wartości skutecznej ruchomej dla silnika z uszkodzoną klatką wirnika, bez niecentryczności – zasilanie niesymetryczne – powiększenie w zakresie 0 do 50Hz

#### 4.2 Niecentryczność statyczna

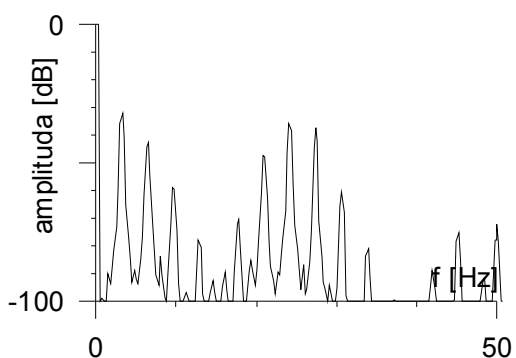
Poniżej zostały przedstawione wyniki dla silnika indukcyjnego z uszkodzoną klatką wirnika, oraz z niecentrycznością statyczną wirnika.



Rys. 14. Sygnał wartości skutecznej ruchomej dla silnika z uszkodzoną klatką wirnika, niecentryczność statyczna 30% - zasilanie niesymetryczne



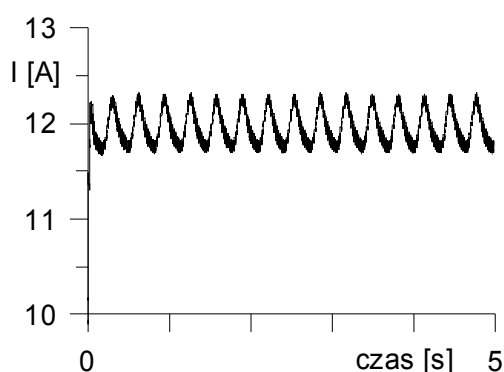
Rys. 15. Widmo sygnału wartości skutecznej ruchomej dla silnika z uszkodzoną klatką wirnika, niecentryczność statyczna 30% - zasilanie niesymetryczne



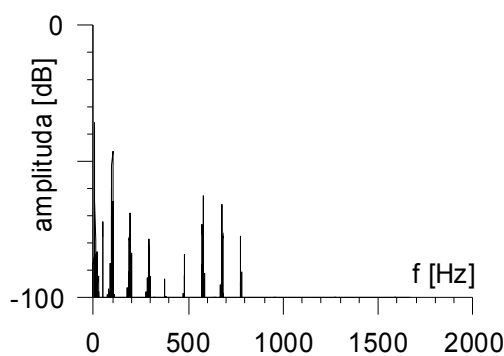
Rys. 16. Widmo sygnału wartości skutecznej ruchomej dla silnika z uszkodzoną klatką wirnika, niecentryczność statyczna 30% - zasilanie niesymetryczne – powiększenie od 0 do 50Hz

#### 4.3 Niecentryczność dynamiczna

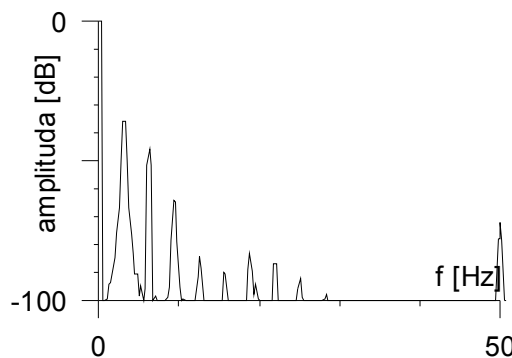
Poniżej zostały przedstawione wyniki dla silnika indukcyjnego z uszkodzoną klatką wirnika oraz z niecentrycznością dynamiczną wirnika.



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



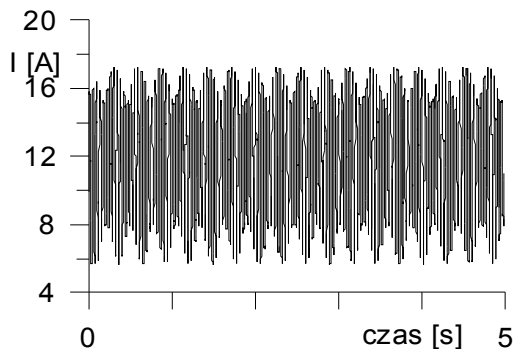
Rys. 18. Widmo sygnału wartości skutecznej ruchomej dla silnika z uszkodzoną klatką wirnika, niecentryczność dynamiczna 30% - zasilanie niesymetryczne



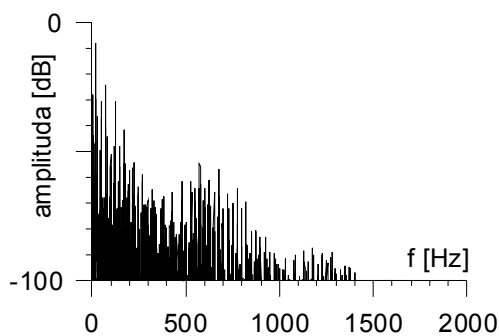
Rys. 19. Widmo sygnału wartości skutecznej ruchomej dla silnika z uszkodzoną klatką wirnika, niecentryczność dynamiczna 30% - zasilanie niesymetryczne – powiększenie w zakresie od 0 do 50Hz

#### 4.4 Niecentryczność statyczna i dynamiczna

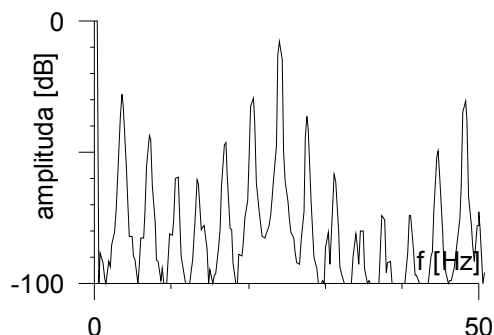
Poniżej zostały przedstawione wyniki obliczeń dla silnika indukcyjnego z uszkodzoną klatką wirnika oraz z niecentrycznością statyczną i dynamiczną wirnika.



Rys. 20. Sygnał wartości skutecznej ruchomej dla silnika z uszkodzoną klatką wirnika, niecentryczność statyczna 30% oraz niecentryczność dynamiczna 50% - zasilanie niesymetryczne



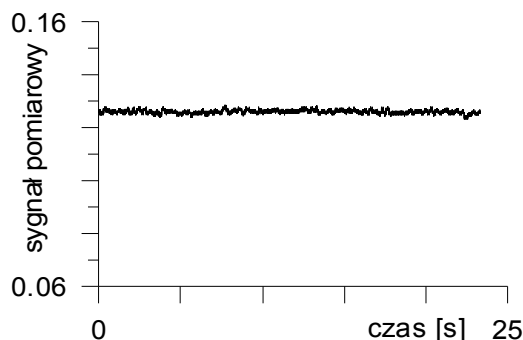
Rys. 21. Widmo sygnału wartości skutecznej ruchomej dla silnika z uszkodzoną klatką wirnika, niecentryczność statyczna 30% i niecentryczność dynamiczna 50% - zasilanie niesymetryczne



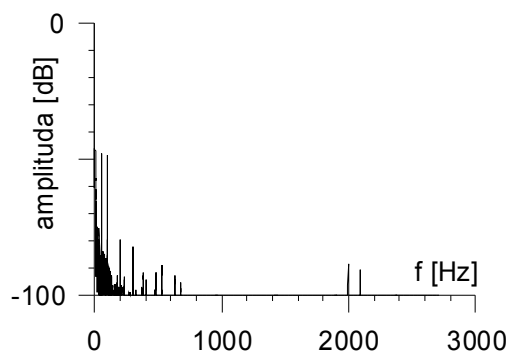
Rys. 22. Widmo sygnału wartości skutecznej ruchomej dla silnika z uszkodzoną klatką wirnika, niecentryczność statyczna 30% i niecentryczność dynamiczna 50% - zasilanie niesymetryczne – powiększenie w zakresie od 0 do 50Hz

#### 5. Pomiar

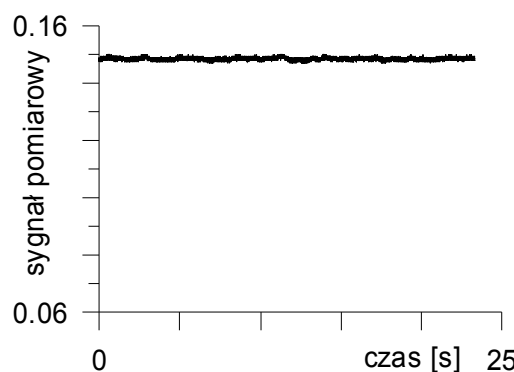
Poniżej zostały przedstawione wyniki obliczeń wartości skutecznej ruchomej prądu jednej fazy stojana silnika indukcyjnego. Pomiary prądów stojana były dokonane dla silników indukcyjnych dużej mocy wykorzystywanych do napędu pomp w zakładzie przemysłowym.



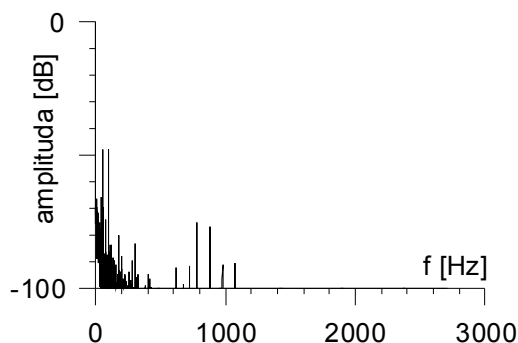
Rys. 23. Sygnał wartości skutecznej ruchomej uzyskany z pomiarów dla silnika indukcyjnego nie wykazującego symptomów niesymetrii wirnika



Rys. 24. Widmo sygnału wartości skutecznej ruchomej uzyskane z pomiarów dla silnika indukcyjnego nie wykazującego symptomów niesymetrii wirnika



Rys. 25. Sygnał wartości skutecznej ruchomej uzyskany z pomiarów dla silnika indukcyjnego z niewielką niesymetrią klatki wirnika



Rys. 26. Widmo sygnału wartości skutecznej ruchomej uzyskane z pomiarów dla silnika indukcyjnego z niewielką niesymetrią klatki wirnika.

## 6. Podsumowanie

W przedstawionych przykładach widać, że sygnał skutecznej wartości ruchomej prądu stojana może zostać z powodzeniem wykorzystany w diagnostyce silników indukcyjnych zasilanych sinusoidalnym, niesymetrycznym napięciem trójfazowym. Do wykrycia uszkodzenia klatki wirnika można zastosować zarówno analizę widmową sygnału (rysunki 13, 16, 19) jak również analizę kształtu jego przebiegu (rysunki 11, 14, 17). Obiecująco prezentują się wyniki zastosowania sygnału skutecznej wartości ruchomej do detekcji niecentryczności wirnika, a w szczególności do wykrywania niecentryczności statycznej. Jednak przy zasilaniu niesymetrycznym widmo sygnału skutecznej wartości ruchomej prądów stojana jest znacznie bogatsze, co utrudnia jego analizę pod kątem diagnostyki. 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

[7]. Dybowski P.: *Diagnostyka silnika indukcyjnego z zastosowaniem sygnału skutecznej wartości ruchomej prądu*. Zeszyty Problemowe BOBRME KOMEL Nr 77/2007, Ryto 2007, s. 27-32

## 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*