

Implementacja FFT w systemie monitorowania pracy napędu mieszarki krążnikowej

E. Ziółkowski ^{*a}, K. Smyksy^a, A. Fedoryszyn^a, M. Brzeziński^a

^a AGH Akademia Górniczo- Hutnicza im. S. Staszica w Krakowie,
Wydział Odlewnictwa, Katedra Inżynierii Procesów Odlewniczych
ul. Reymonta 23, 30-059 Kraków, Polska

*Kontakt korespondencyjny: e-mail: ez@agh.edu.pl

Otrzymano 20.11.2014; zaakceptowano do druku 12.12.2014

Streszczenie

W artykule przedstawiono zagadnienie wyposażenia prototypowego, mikroprocesorowego systemu monitorowania elektrycznych układów zasilania maszyn i urządzeń odlewniczych w moduł analizy harmonicznej (bazujący na szybkiej transformacji Fouriera FFT). W zarysie omówiono zagadnienie analizy harmonicznej jako narzędzia do oceny pracy napędów elektrycznych oraz wpływ występowania harmonicznych na pracę sieci elektroenergetycznej. Przedstawiono przykładową analizę harmoniczną sygnałów zarejestrowanych podczas pracy laboratoryjnej mieszarki krążnikowej w dwóch wariantach układu zasilania: bez kompensacji i z kompensacją mocy biernej.

Słowa kluczowe: analiza harmonicznych, mieszarka krążnikowa laboratoryjna, kompensacja mocy biernej

1. Wstęp

Zagadnieniom jakości energii elektrycznej poświęca się obecnie bardzo dużo uwagi [1, 2]. Rozwój nowoczesnych systemów pomiarowych umożliwia obecnie znacznie łatwiejszą identyfikację przyczyn zaburzeń występujących w sieci elektroenergetycznej związanych z użytkowaniem urządzeń o napędzie elektrycznym [3]. Dotyczy to również odlewni, w których użytkuje się szczególnie dużo różnorodnych urządzeń technologicznych o napędzie elektrycznym. Problemy w tym zakresie mogą być związane z użytkowaniem starszych urządzeń, ale również mogą być generowane przez zastosowanie nowoczesnych urządzeń energoelektroniki. W celu analizy pracy elektrycznych układów zasilania maszyn i urządzeń odlewniczych zaprojektowano i wykonano prototypowy system mikroprocesorowy, opisany we wcześniejszych publikacjach [m. in. 4-6]. System umożliwia rejestrację

szeregu parametrów charakteryzujących pobór mocy, w tym wartości chwilowe napięć i prądów. Wykorzystanie sygnałów pomiarowych w celu wyznaczenia składników mocy napędu mieszarki do oceny stanu masy formierskiej i sterowania procesem sporządzania masy przedstawiono we wcześniejszych publikacjach autorów [m. in. 4, 5, 7]. Obecnie w fazie opracowania jest moduł analizy harmonicznej z wykorzystaniem szybkiej transformacji Fouriera FFT (ang. Fast Fourier Transform), który będzie wzbogacał możliwości prototypowego systemu pomiarowego.

W artykule przedstawiono przykładowe wyniki wykorzystania analizy harmonicznej w ocenie pracy napędu laboratoryjnej mieszarki krążnikowej. Zwrócono uwagę na zagadnienie występowania wyższych harmonicznych w systemach zasilania maszyn i urządzeń.

Pojawienie się zaburzeń w systemie elektroenergetycznym w postaci wyższych harmonicznych napięć i prądów wiązane jest ze wzrostem liczby odbiorników nieliniowych oraz malejącym

udziałem odbiorników rezystancyjnych [2]. Jako podstawowe źródła wyższych harmonicznych wymienia się [2]: urządzenia z rdzeniami magnetycznymi (np. transformatory), urządzenia łukowe (np. piece łukowe), wyładowcze źródła światła, urządzenia spawalnicze, urządzenia elektroniczne i energoelektroniczne (np. przekształtniki statyczne: prostowniki, sterowniki prądu przemiennego, falowniki, kompensatory, urządzenia informatyczne). Szkodliwe skutki działania wyższych harmonicznych oraz ich klasyfikacja została szeroko omówiona w pracach [2, 8]. Przykładowo w maszynach wirujących obecność harmonicznych powoduje wzrost temperatury pracy spowodowany stratami mocy, możliwość zmniejszenia czasu pracy izolacji, dodatkowe momenty harmoniczne, możliwość wystąpienia oscylacji mechanicznych oraz zwiększonego poziomu emisji akustycznej, możliwe jest utrudnienie łagodnego rozruchu silnika [2].

Rozwój energoelektroniki stworzył nowe możliwości w układach sterowania pracą napędów maszyn i urządzeń odlewniczych. Przykładowo, celowość regulacji prędkości obrotowej miazarek masy formierskiej wykazano w szeregu publikacjach [9÷11]. Obecnie dzięki przemiennikom częstotliwości regulacja prędkości jest stosunkowo łatwa. W tradycyjnych przemiennikach częstotliwości stosuje się najczęściej prostowniki diodowe lub tyrystorowe [12]. Cechuje je niski koszt, wysoka sprawność i niezawodność. Zapewnienie odpowiednich parametrów energii wyjściowej odbywa się jednak kosztem jakości energii wejściowej (pobieranej z sieci zasilającej), gdyż zazwyczaj powoduje występowanie wyższych harmonicznych w prądach linii zasilającej [12].

Problem prawidłowej kompensacji mocy biernej, jest jednym z podstawowych problemów dla służb eksploatacji sieci w zakładach przemysłowych [13, 14]. Dotyczy to również zakładów odlewniczych, w których eksploatowane są nadal urządzenia o stosunkowo niskich wartościach współczynnika mocy [4, 15]. Brak prawidłowego doboru urządzeń kompensujących moc bierną w sieci elektroenergetycznej, powoduje poważne problemy w aspekcie techniczno-ekonomicznym [13]. Wprowadzenie

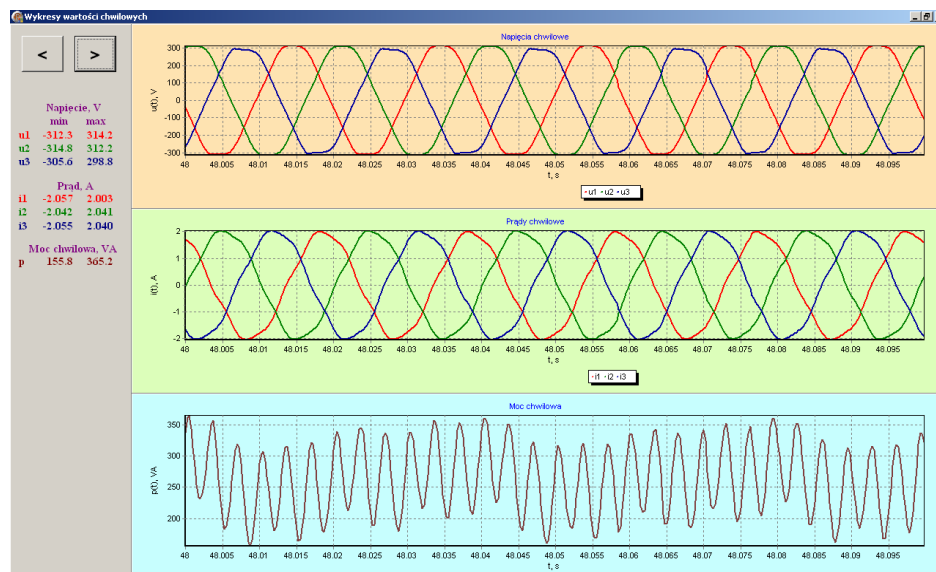
układów kompensacji powinno być jednak poprzedzone wnikliwą analizą pracy napędu. Układy tego typu mogą bowiem również powodować zakłócenia związane z występowaniem wyższych harmonicznych w sygnałach elektrycznych. Poniżej przedstawiono przykładowe wyniki pomiarów uzasadniających powyższą tezę.

2. Implementacja analizy harmonicznej w ocenie pracy napędu laboratoryjnej miazarki krążnikowej

Badana miazarka laboratoryjna jest miazarką krążnikową (typu Simpson [16]). W miazarce możliwa jest zmiana wybranych parametrów konstrukcyjnych m.in.: szerokości krążników i ich wykorbienia. W przedstawionych pomiarach stosowano wykorbienie 20 mm. Możliwe jest również sterowanie prędkością obrotową miazarki dzięki zastosowaniu przemiennika częstotliwości. W badaniach stosowano syntetyczną masę formierską z bentonitem (8% bentonitu, wilgotność robocza masy- 3%).

Pomiary wykonywano opisanym wcześniej prototypowym systemem mikroprocesorowym [4÷6]. W systemie tym przewidziano obecnie implementację modułu FFT. Opracowane oprogramowanie umożliwia graficzne przedstawienie wyników rejestracji lub przesłanie danych do innych programów na przykład arkusza Excel.

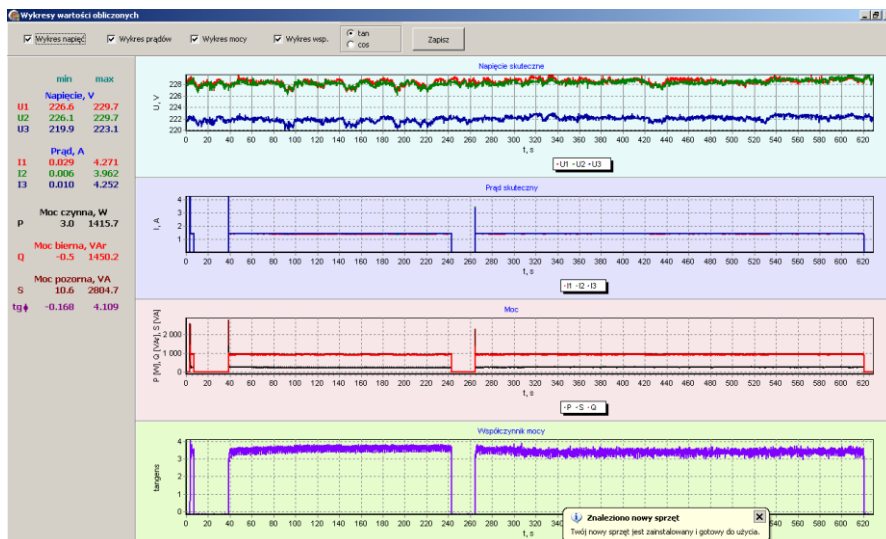
Celem pomiarów była ocena wpływu zmian w systemie zasilania układu napędowego (spowodowanych wprowadzeniem układu kompensacji mocy biernej) na występowanie harmonicznych w wybranych, zarejestrowanych sygnałach elektrycznych. Na rysunkach 1 i 2 przedstawiono przykładowe okna programu obsługującego mikroprocesorowy system pomiarowy z wartościami chwilowymi i skutecznymi wielkośćmi charakteryzującymi pracę napędu miazarki krążnikowej.



Rys. 1. Przykładowe okno programu z wynikami rejestracji dla układu zasilania napędu miazarki krążnikowej bez kompensacji

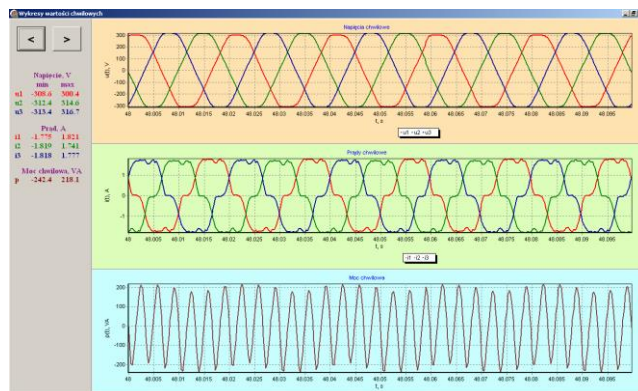
Widoczne jest stosunkowo niewielkie odkształcenie przebiegów sinusoidalnych napięcia i prądu w układzie zasilania bez kompensacji. Potwierdzają to również dane przedstawione w oknie programu związanym z analizą harmoniczną sygnałów napięcia

i prądów (rys. 3). Na rysunkach 4 i 5 przedstawiono przebiegi wartości chwilowych oraz skutecznych napięć i prądów podczas pomiarów pracy mieszarki wyposażonej w układ kompensacji mocy biernej.

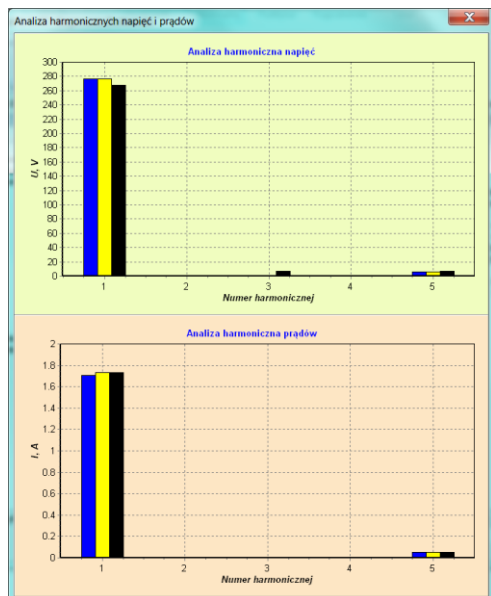


Rys. 2. Przykładowe okno programu z wynikami obliczonych wartości skutecznych napięcia, prądu, składników mocy oraz współczynnika mocy $\text{tg}\phi$ w układzie zasilania napędu mieszarki krążnikowej - układ bez kompensacji

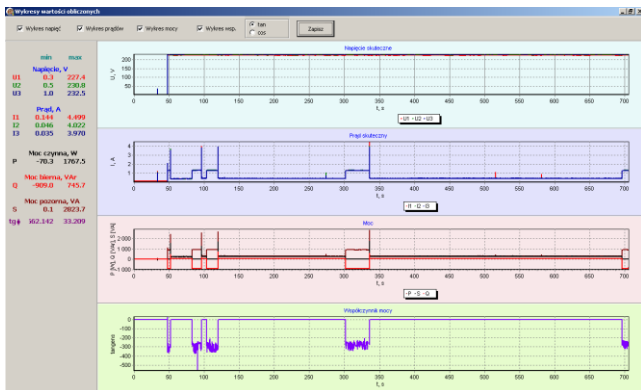
Występowanie wyższych harmonicznych w przebiegach napięcia zarówno przed jak i po kompensacji można określić jako marginalne. Natomiast odkształcenie przebiegu prądów w układzie z kompensacją jest już znaczące- potwierdzają to wyniki analizy harmonicznego (rys. 6 i 8).



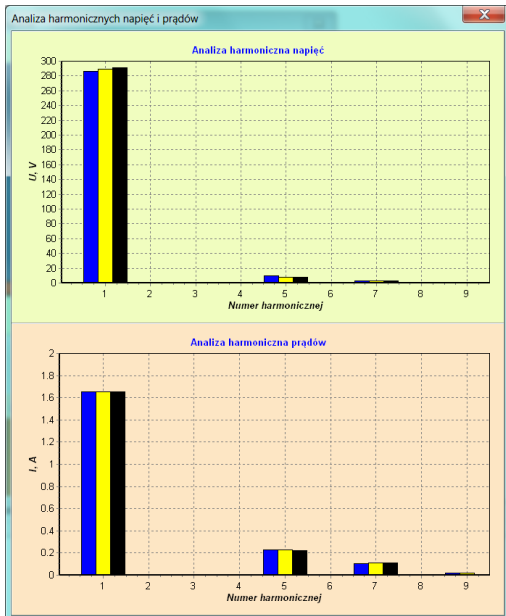
Rys. 4. Przykładowe okno programu z wynikami rejestracji dla układu zasilania napędu mieszarki krążnikowej z kompensacją mocy biernej



Rys. 3. Widok okienka programu z wynikami analizy harmonicznego napięć i prądów dla wybranego fragmentu pracy mieszarki krążnikowej bez układu kompensacji mocy biernej



Rys. 5. Przykładowe okno programu z wynikami obliczonych wartości skutecznych napięcia, prądu, składników mocy oraz współczynnika mocy tgφ w układzie zasilania napędu mieszarki krążnikowej- układ z kompensacją mocy biernej

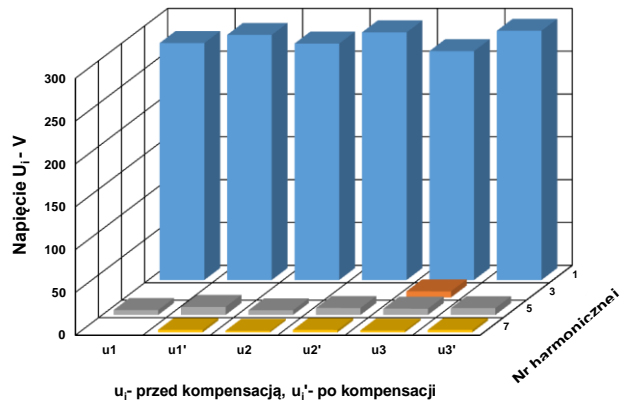


Rys. 6. Widok okienka programu z wynikami analizy harmonicznej napięć i prądów dla wybranego fragmentu pracy mieszarki krążnikowej w układzie zasilania z kompensacją mocy biernej

Wpływ kompensacji na występowanie wyższych harmonicznych (5 i 7.ej) w sygnale prądu przedstawia także rysunek 8. W celu zobrazowania wpływu kompensacji na odkształcenie przebiegu prądu (w wybranej fazie) opracowano wykres przedstawiony na rysunku 9.

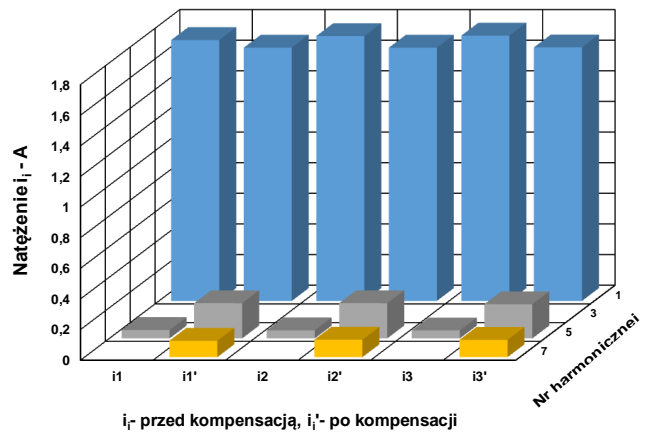
Jako wskaźnik występowania harmonicznych w analizowanym przebiegu stosowany jest często całkowity współczynnik odkształcenia napięcia THD_U [2], będący ilorazem wartości skutecznej harmonicznych do wartości skutecznej podstawowej harmonicznej U₍₁₎:

$$THD_U = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{n_i} U_{(n)}^2}}{U_{(1)}} \cdot 100\% \quad (1)$$

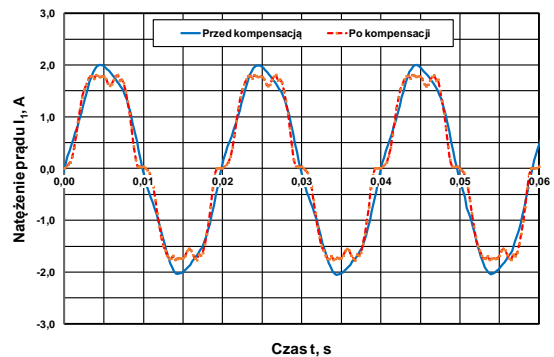


Rys. 7. Składowe harmoniczne napięcia w układzie zasilania mieszarki przed i po kompensacji

Jako górną granicę sumowania n_i przyjmuje się najczęściej n_i=50. jeżeli ryzyko dla harmonicznych wyższych rzędów jest niewielkie można przyjąć n_i=25 [2].

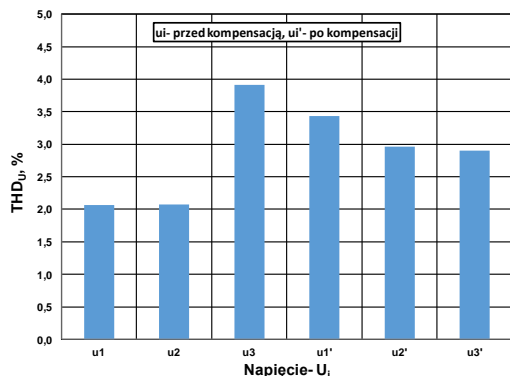


Rys. 8. Składowe harmoniczne natężenia prądu w układzie zasilania mieszarki przed i po kompensacji



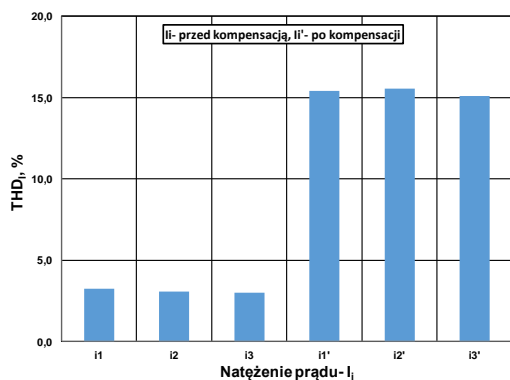
Rys. 9. Odkształcenie prądu spowodowane kompensacją w układzie napędu mieszarki krążnikowej

Na rysunku 10 przedstawiono obliczone wartości THD_U w układzie napędu mieszarki przed i po kompensacji. Są one stosunkowo niewielkie (mały udział harmonicznych), co potwierdzają również wyniki z rysunku 3 i 6.



Rys. 10. Wartości THD_U dla wartości napięcia w układzie bez kompensacji i z kompensacją mocy biernej w napędzie mieszarki krążnikowej

Analogicznie jak dla napięć można sformułować współczynnik odkształcenia THD_I dla prądów [2]. Dane z rysunku 11 wyraźnie wskazują, że odkształcenie prądów (w stosunku do przebiegu sinusoidalnego) jest znacznie większe, co jest również widoczne na rysunkach 3, 6 i 8.



Rys. 11. Wartości THD_I dla wartości prądu w układzie bez kompensacji i z kompensacją mocy biernej w napędzie mieszarki krążnikowej

3. Podsumowanie

Przedstawione przykładowe wyniki pomiarów uzasadniają celowość zastosowania analizy harmonicznej w charakterystyce parametrów pracy napędów elektrycznych maszyn i urządzeń odlewniczych. Szkodliwość występowania harmonicznych w układach zasilania nie podlega dyskusji. Wyposażenie prototypowego systemu do oceny elektrycznych układów zasilania maszyn i urządzeń odlewniczych w moduł analizy harmonicznej rozszerzy zakres jego funkcjonalności. Dobra identyfikacja problemu zakłóceń harmonicznych umożliwi prawidłowy dobór

urządzeń sterowania (np. przemienników częstotliwości) o odpowiedniej charakterystyce lub kompensacji (np. regulatorów mocy biernej [17]).

Obecnie prowadzone są prace związane z optymalizacją oprogramowania prototypowego systemu mikroprocesorowego modułu umożliwiającego analizę harmoniczną rejestrowanych przebiegów. Przewiduje się możliwość oceny stopnia odkształcenia przebiegów według różnych kryteriów opisywanych w literaturze przedmiotu [2], nie stosowanych dotychczas w klasycznych analizatorach jakości energii.

Podziękowania

Badania zrealizowano w ramach Pracy Statutowej AGH nr 11.11.170.318 – zad. nr 6.

Literatura

- [1] Ziółkowski, E., Wrona, R., Smyksy, K. (2008). Monitoring jakości energii elektrycznej zasilającej urządzenia odlewnicze. Archives of Foundry Engineering, vol. 8, spec. iss. 2, s. 143–148
- [2] Hanzelka, Z. Jakość energii elektrycznej. Część 4- Wyższe harmoniczne napięć i prądów. http://twelvee.com.pl/pdf/Hanzelka/cz_4_pelna.pdf
- [3] Smyksy, K., Wrona, R., Ziółkowski, E. (2010). Charakterystyka wybranych systemów pomiaru parametrów sieci elektrycznych w aspekcie oceny energochłonności maszyn i urządzeń odlewniczych. XII Konferencja odlewnicza TECHNICAL 2010, s. 175–181
- [4] Smyksy, K., Ziółkowski, E., Wrona, R., Brzeziński, M. (2013). Performance evaluation of rotary mixers through monitoring of power energy parameters. Archives of Metallurgy and Materials, vol. 58, iss. 3, pp. 911–914
- [5] Smyksy, K., Wrona, R., Ziółkowski, E. (2013). Comparative analysis of power measurement results in the testing of sand mixers. Archives of Foundry Engineering, vol. 13 iss. 3, pp. 119–122
- [6] Wrona, R., Ziółkowski, E., Smyksy, K. (2008). Relationship between power factors of mixer drive and selected technological parameters. Archives of Foundry Engineering, vol. 8, spec. iss.1, pp. 343–346
- [7] Bigaj, D., Hanzelka, Z. Metody lokalizacji źródeł wyższych harmonicznych w sieciach zasilających. <http://www.elma-energia.pl/pl/portret-firmy/referaty-naukowo-techniczne.html>
- [8] Wrona, R., Ziółkowski, E., Smyksy, K. (2008). Monitoring of power demand of foundry machinery, using the example of paddle mixers. Archives of Foundry Engineering. Vol. 8, No.1, pp. 177–182
- [9] Ziółkowski, E., Smyksy, K., Wrona, R. (2013). Pomiary poboru mocy przez mieszarki masy formierskiej. Archives of Foundry Engineering, vol. 13, spec. iss. 3, s. 191–196
- [10] Fedoryszyn, A., Rudy, C. (2007). Parameters and processes of synthetic sand rebonding in turbine mixers. Archives of Metallurgy and Materials. Vol. 52, iss. 3, pp. 415–419

- [11] Knapczyk, M. Pieńkowski, K. Polowo zorientowane układy napędowe z silnikiem indukcyjnym, falownikiem napięcia i przekształtnikiem sieciowym ac/dc o dwukierunkowym przepływie energii. Prace Naukowe Instytutu Maszyn, Napędów i Pomiarów Elektrycznych Politechniki Wrocławskiej Nr 56, Studia i materiały Nr 24
- [12] Sułkowski, M.A. Kompensacja mocy biernej – cel oraz skutki nieprawidłowego doboru urządzeń. <http://www.elma-energia.pl/pl/portret-firmy/referaty-naukowo-techniczne.html>
- [13] Ziółkowski, E. (2009). Compensation of reactive power in the power-supplying system in a roller mixer in laboratory conditions. Archives of Foundry Engineering. Vol. 9, iss. 3, pp. 227–230
- [14] Ziółkowski, E., Wrona, R., Smyksy, K. (2010). Analysis and assessment of foundry moulding sand preparing process using the dynamic power measurement method. Archives of Metallurgy and Materials, vol. 55, iss. 3, pp. 953–961
- [15] Bodzoń, L., Dańko, J., Żurawski, L. (1984). Podstawy teorii maszyn odlewniczych. Skrypt AGH nr 919, Wydawnictwo AGH, Kraków
- [16] <http://www.astat.com.pl/energetyka/kompensacja-mocy-biernej>

Implementation of the FFT in the Monitoring System of Operation of Roller Mixer Drive

Abstract

The article presents the problem of implementation of harmonic analysis module (based on FFT) in the prototype microprocessor system for monitoring electrical supply systems for foundry machines and equipment. In outline, the issue of harmonic analysis as a tool for evaluation of the electric drives and the impact of the presence of harmonics on the operation of network have been discussed. An example of harmonic analysis of the signals recorded during operation of laboratory roller mixer in two variants of supply system: without compensation and reactive power compensation has been described.