

Michał Rad

Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

AUTOMATYCZNA DIAGNOSTYKA KLATKI WIRNIKA NA PODSTAWIE PRĄDU ROZRUCHU SILNIKA INDUKCYJNEGO

SQUIRREL CAGE MOTORS AUTOMATIC BAR DIAGNOSTICS BASED ON STARTUP CURRENT

Abstract: This paper shows algorithm of automatic rotor bar diagnostics. Algorithm is based on convolution of measured startup current waveform and a special signal. This signal is called „wavelet”. „Wavelet” is generated for each startup (basing on startup time) and should be similar to searched diagnostic signal. When startup current contains diagnostic signal - “wavelet” match well this component - and returned waveform (which is a product of convolution) has clear maximum in second half of startup. Height of this maximum could be measure of rotor asymmetry. Article shows results of measurements and calculations made on a few laboratory engines with different level of rotor asymmetry. To obtain different times of startups machines were supplied by different voltage level. There is also short comparison with older diagnostic method based on low pass filtering. Algorithm appear to be more useful for automatic diagnosis and especially for machines with short startup.

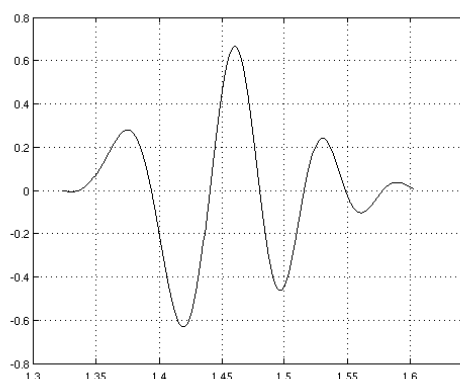
1. Wstęp

Problem diagnostyki klatki silników indukcyjnych jest znany i szeroko opisywany w literaturze. Można przyjąć, że dla rozruchów dłuższych niż ok. 3 sekundy wyodrębnienie sygnału diagnostycznego nie stanowi problemu. Dokonać tego można za pomocą filtracji dolnoprzepustowej, a otrzymany wynik jest dość łatwy w interpretacji. Dla takich przypadków nie trudno również wymyślić algorytm automatycznego diagnozowania. Zagadnienie komplikuje się wraz ze skróceniem czasu rozruchu, a dość często nawet relatywnie duże silniki mają niewielkie czasy rozruchu. Artykuł ten opisuje metodę automatycznej diagnostyki, która działa dobrze zarówno dla krótkich rozruchów (ok. 1sek.) jak i dla rozruchów długich.

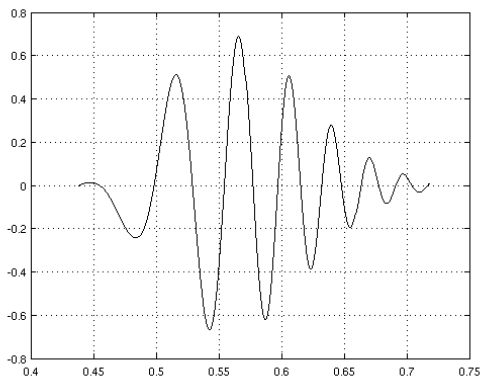
2. Idea metody

W diagnostyce na podstawie analizy prądu rozruchu poszukiwany sygnał diagnostyczny ma dość dobrze określone właściwości. Pomysł polega na tym, aby zamiast filtracji – której wynik pokaże wszystkie zjawiska zachodzące w prądzie o częstotliwości mniejszej niż próg filtra – poszukiwać od razu sygnału o określonych właściwościach. W tym przypadku najważniejsza własność tego sygnału to fakt zmiany częstotliwości wraz ze zmianą prędkości silnika. Opisuje to dobrze znany wzór: $(1-2s)f_0$ gdzie s – to poślizg, a f_0 – to częstotliwość napięcia zasilania. Z dość dobrym

przybliżeniem można przyjąć, że $s=0.5$ (czyli połowa prędkości) przypada mniej więcej w połowie czasu trwania rozruchu. Co za tym idzie poszukiwany sygnał diagnostyczny zmienia częstotliwość od zera do około 50 Hz w drugiej części rozruchu. Przedstawiony tutaj algorytm polega na generacji możliwie zbliżonego przebiegu do sygnału diagnostycznego w drugiej części rozruchu, a następnie obliczeniu splotu tego sygnału z przebiegiem prądu (ten wygenerowany sygnał dalej nazywany będzie „falką” choć w sensie formalnej definicji matematycznej falką on nie jest (Rys. 1, Rys. 2).

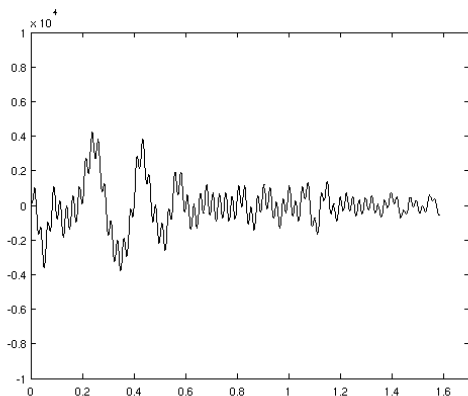


Rys. 1. Kształt falki dla rozruchu o długości 2.5s

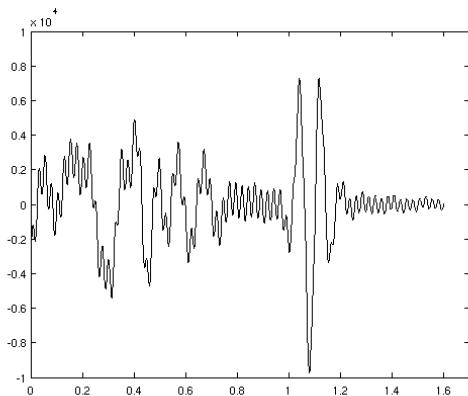


Rys. 2. Kształt falki dla rozruchu o długości 0.8s

Jeżeli w przebiegu prądu będzie zawarty sygnał podobny do „falki” to w wyniku splotu dostaniemy przebieg o wyraźnym maksimum amplitudy w miejscu gdzie „falka” i sygnał diagnostyczny najlepiej „pasują” do siebie (Rys 3). Jeżeli tego sygnału nie ma lub jest słaby to wynik wygląda jak na Rys 4.



Rys. 3. Przebieg wynikowy dla silnika nieuszkodzonego

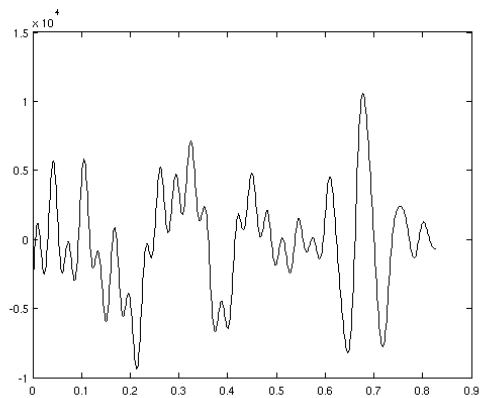


Rys. 4. Przebieg wynikowy dla silnika o jednym uszkodzonym pręcie

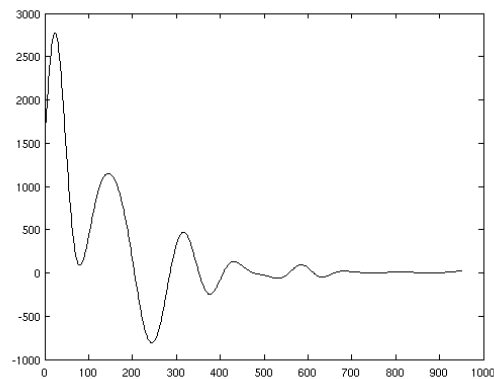
Na algorytm automatycznego diagnozowania składa się: oszacowanie czasu rozruchu, generacja odpowiedniej „falki”, obliczenie splotu „falki” i prądu rozruchu, wyznaczenie maksimum w drugiej części przebiegu wynikowego. Wartość tego maksimum można przyjąć za miarę uszkodzenia.

3. Weryfikacja metody

W celu weryfikacji metody przeprowadzono próby w laboratorium na silnikach o różnym stopniu uszkodzenia oraz dla różnych czasów rozruchu (zmieniając napięcie zasilania). Metoda prawidłowo działa już dla rozruchów o długości ok 0.8 sek. Przebieg wynikowy przedstawiono na Rys 5. Nie jest on co prawda tak wyraźny jak przebieg z Rys 3 ale nadal maksimum drugiej części przebiegu jest miarą uszkodzenia. Dla porównania na Rys 6. przedstawiono wynik filtracji dolnoprzepustowej dla tego samego silnika.



Rys. 5. Przebieg wynikowy dla silnika z uszkodzonym jednym prętym o czasie rozruchu ok. 0.8s



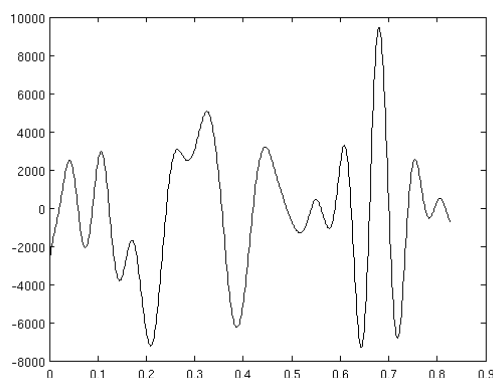
Rys. 6. Wynik filtracji dolnoprzepustowej dla silnika o jednym uszkodzonym pręcie i czasie rozruchu ok. 0.8s

Widać że sygnał diagnostyczny da się zauważyć, ale nie jest już tak prosto wyodrębnić go za pomocą jakiejś automatycznej procedury.

4. Szczegóły

W przedstawionej metodzie „falka” analizująca, jak już wcześniej pisano generowana jest specjalnie do każdego rozruchu, opierając się na czasie trwania tego rozruchu. „Falka” ma zawsze tę samą długość (na Rys 1 i Rys 2 jest to widoczne – czas ten wynosi 0.28s). Daje to pewne ograniczenia (bo długość falki nie może być większa niż połowa czasu trwania rozruchu), ale za to otrzymuje się wynik (maksimum amplitudy) niezależny od czasu trwania rozruchu. W poprzednich próbach, kiedy kształt falki był taki sam niezależnie od czasu rozruchu – końcowy wynik był zależny od długości rozruchu. Powodowało to konieczność uwzględnienia tego faktu w końcowej diagnozie.

W toku badań i prób z różnymi modyfikacjami tej metody ustalono, że najlepsze rezultaty daje falka której długość nie przekracza znacząco $\frac{1}{4}$ rozruchu, czyli ma kształt oddający zmianę częstotliwości od zera do ok. 25 Hz. Za długa „falka” skutkuje zniekształceniami powodowanymi przez zbliżanie się do częstotliwości zasilania (50 Hz). Poza tym wyniki są trochę lepsze gdy przed przystąpieniem do dalszych przekształceń przebieg prądu przefiltruje się filtrem dolnoprzepustowym o częstotliwości granicznej około 30 – 35 Hz.

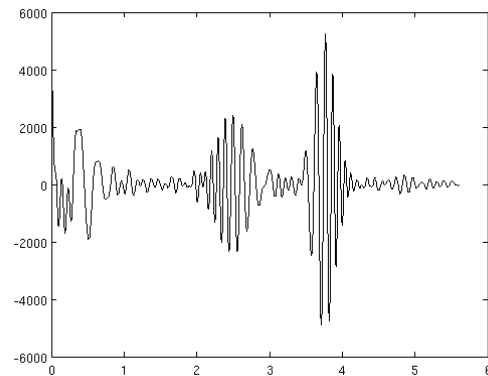


Rys. 7. Przebieg wynikowy dla uprzednio przefiltrowanego przebiegu prądu

Dla porównania na Rys 7. przedstawiono przebieg wynikowy dla tego samego prądu rozruchu co dla Rys 5. tylko uprzednio przefiltrowanego.

Dla długich prądów rozruchu wynik jest jeszcze

łatwiejszy w interpretacji. Przykładowy przebieg dla silnika o uszkodzonym jednym pręcie przedstawiony jest na Rys 8. Widać, że przypomina on wynik standardowej filtracji dolnoprzepustowej, z tym że zawsze maksimum przypada w drugiej połowie rozruchu.



Rys. 8. Przebieg wynikowy dla dłuższego czasu rozruchu

5. Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych prób można sądzić, iż opisana metoda daje dość obiecujące wyniki szczególnie w przypadku automatycznej diagnostyki silników o krótkim rozruchu. Dalsze badania będą miały na celu weryfikację metody na większej liczbie silników. Na razie metoda była testowana w środowisku Matlab, ale przeprowadzono już pierwsze próby stworzenia niezależnie działającego programu napisanego w języku C++.

6. Literatura

- [1]. T. Glinka, „Badania diagnostyczne maszyn elektrycznych w przemyśle”. Katowice 1998
- [2]. Jan T. Białasiewicz, „Falki i aproksymacje”. WNT Warszawa 2000.
- [3]. M. Rad, „Startup current analysis for Induction Motors Made by the Continuous Wavelet Transform”. International Workshop Control and Information Technology, Ostrava 2005.
- [4]. M. Rad, „Ciągła Transformata Falkowa jako narzędzie wspierające diagnostykę silników indukcyjnych”. Zeszyty Problemowe Maszyny Elektryczne nr 77, 2007, wyd. BOBRME Komel.

Autor

Michał Rad, Katedra Maszyn Elektrycznych, Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Elektroniki Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie.

E-mail: rad@agh.edu.pl