

# Diagnostyka klatki we współczesnych zabezpieczeniach silników indukcyjnych

Michał Rad

## 1. Wstęp

Jednym z powodów awarii silników indukcyjnych są uszkodzenia wirnika. Nie jest to co prawda główny powód niesprawności, w literaturze przyjmuje się, że 5–15% wszystkich defektów związanych jest z wirnikiem [1, 2, 8]. Dla pewnych rodzajów silników i w pewnych zastosowaniach procentowy udział awarii związanych z uszkodzeniem wirnika może być znacznie większy. Do silników szczególnie narażonych na defekty wirnika należą silniki, które wykonują dużą liczbę rozruchów, silniki należące do napędów o ciężkim rozruchu, pracujące z dużym poślizgiem. Obecnie coraz większą uwagę przywiązuje się do ekonomicznych aspektów awarii, związanych nie tyle z koniecznością poniesienia kosztów naprawy, ile z kosztami wynikającymi z przestoju, zapewnieniem maszyny zastępczej, wznowieniem produkcji. Jak wiadomo, nawet najprostsze zabezpieczenia silników indukcyjnych muszą uwzględniać analizę aktualnego stanu silnika, to znaczy: szacować lub mierzyć aktualny stan termiczny silnika, wykrywać początek i koniec rozruchu, poprawnie wykrywać utknięcie wirnika. Poza tym układ zabezpieczeniowy powinien prawidłowo wykrywać przekroczenie lub niedotrzymanie podstawowych wartości prądów i napięć, których wartości graniczne zależą od aktualnego stanu maszyny. Ocenie podlega również symetria zasilania.

W związku z takim, dość rozbudowanym algorytmem działania obecnie najczęściej stosuje się układy o sterowaniu mikroprocesorowym, które mogą być podobne w działaniu do układów PLC. W literaturze można nawet znaleźć propozycje adaptacji sterowników PLC do układów zabezpieczeń i monitoringu maszyn elektrycznych [4, 5], choć aktualnie raczej stosuje się rozwiązania dedykowane.

## 2. Funkcje diagnostyczne w układach zabezpieczających

Pomysł wzbogacenia układów zabezpieczających o funkcje diagnostyczne można znaleźć w światowej literaturze na ten temat. Jeśli chodzi o diagnostykę opartą na analizie prądu, to najczęściej opisywanymi metodami są metody związane z analizą Fouriera [1, 3, 6]. Są to sposoby znane od dawna i szeroko opisywane, mają jednak szereg wad, jeśli chodzi o zastosowanie automatyczne. Do najważniejszych można by zaliczyć: ogólnie trudność w ekstrakcji składowych świadczących o uszkodzeniu, trudność w rozróżnieniu składowych pochodzących od innych zjawisk niż uszkodzenie, dość duże wymagania sprzętowe (np.: dość duża częstotliwość próbkowania). Oczywiście autorzy różnych algorytmów diagnostycznych starają się pokonywać wszystkie te trudności, ale może się to odbić na stopniu skom-

**Streszczenie:** Obecne systemy zabezpieczeń silników indukcyjnych realizują coraz bardziej złożone algorytmy ochrony. Układy mikroprocesorowe, które sterują pracą zabezpieczeń, mają względnie duże możliwości obliczeniowe. Zastosowanie w nich funkcji diagnostycznych nie pociąga za sobą istotnych zmian w konstrukcji takich układów. Artykuł opisuje procedurę diagnostyki klatki wirnika maszyn indukcyjnych, którą można zastosować wprost w układach zabezpieczeń, oraz uzasadnia celowość takiego zastosowania.

Słowa kluczowe: silniki indukcyjne, diagnostyka, zabezpieczenia, monitoring

## 🇬🇧 CAGE DIAGNOSTIC FUNCTIONS OF INDUCTION MOTOR PROTECTION RELAYS

**Abstract:** Protection relays of induction motors employ more and more sophisticated protective algorithms. Microprocessor units used in protective relays, have nowadays quite high computational power. Application of diagnostic functions in them does not involve significant changes in the design of such systems. The article describes the procedure of the induction machines rotor cage diagnosis. Such procedure can be used directly in protection relay systems. Paper also discuss the benefits of such a solution.

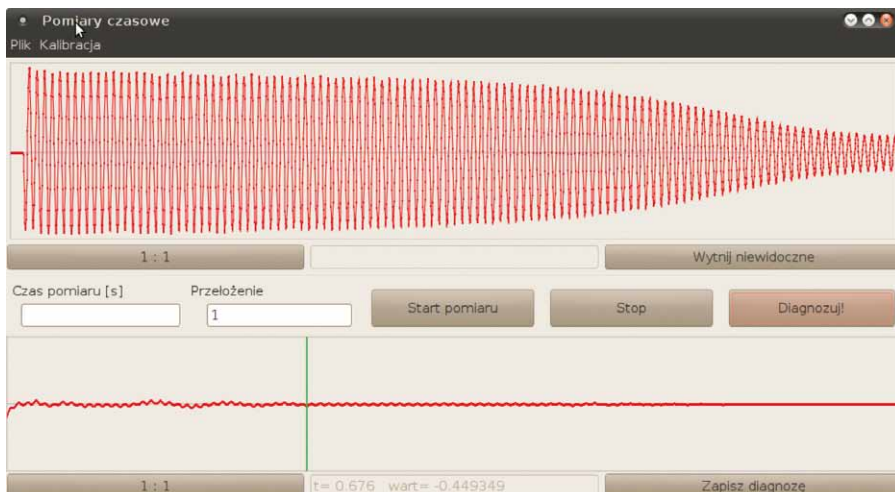
Keywords: induction machines, motor protection relays, diagnostic

plikowania układów i pewności ich działania. Dużo łatwiejsza do zastosowania jest opisana poniżej metoda diagnostyki klatki wirnika silników indukcyjnych.

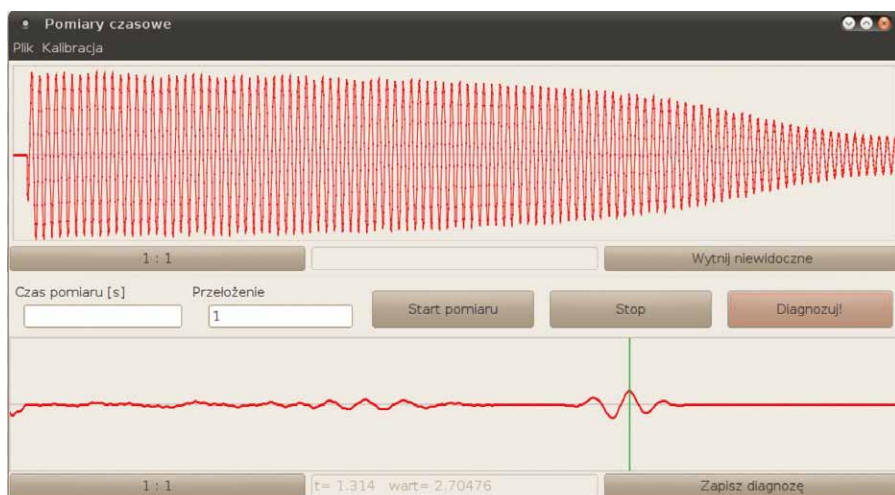
## 3. Automatyczna procedura diagnostyki klatki

Procedura diagnostyki klatki oparta na przekształceniach fal-kowych opisana była w artykule [7]. Od tamtego czasu algorytm został nieco udoskonalony, a także zaimplementowany w postaci niezależnie działającego programu. Poza tym opracowano program kompletnego układu zabezpieczającego, w którym procedura ta znalazła zastosowanie [9]. Cechy opisywanego sposobu automatycznej diagnostyki:

- dość prosty obliczeniowo algorytm (jedynie mnożenie i sumowanie);
- wynikiem jest jedna liczba, będąca miarą asymetrii;



Rys. 1. Okno programu z zaimplementowaną procedurą diagnostyczną – wynik dla zdrowego silnika



Rys. 2. Okno programu z zaimplementowaną procedurą diagnostyczną – wynik dla silnika uszkodzonego

- wystarczająca częstotliwość próbkowania, podczas rejestracji prądu to około 1 kHz;
- potrzebna informacja o początku i końcu rozruchu zwykle i tak jest dostępna w układach zabezpieczających;
- nie jest potrzebna wiedza o typie, budowie, a nawet parametrach silnika.

#### 4. Zasada działania procedury

Podstawy teoretyczne i idea, na której opiera się samo diagnozowanie, były już opisywane [7], tutaj pokrótce zostanie opisany algorytm postępowania, który jest następujący:

1. Rejestracja rozruchu wraz z określeniem jego początku i końca (proce-

dura realizowana zwykle w zabezpieczeniach).

2. Wygenerowanie odpowiedniej falki (kształt falki analizującej zależy od czasu rozruchu, ale falki mogą być wygenerowane wcześniej i zapisane w pamięci urządzenia).
3. Obliczenie splotu i wyznaczenie jego maksimum, które równe jest współczynnikowi asymetrii.

Jak widać, algorytm jest dość prosty i nie ma wymagań większych niż podstawowe procedury realizowane przez system zabezpieczający. Po prawidłowym zarejestrowaniu rozruchu procedura może być obliczana w „czasie wolnym”

procesora, wtedy, kiedy jednostka nie jest obciążana innymi zadaniami. Poniżej znajdują się obrazki okna programu, w którym zastosowano opisaną procedurę. Przedstawione na nich wykresy są umieszczane jedynie jako ilustracja działania, ponieważ najważniejszy jest współczynnik asymetrii wyliczany i podawany przez program.

W przypadku zastosowania procedury w układzie zabezpieczającym wizualizacja przebiegów nie jest potrzebna.


### 5. Korzyści z zastosowania procedury w układach zabezpieczających

Jak już wspomniano, uszkodzenia prętów wirnika nie są głównym powodem awarii silników indukcyjnych. Silnik z uszkodzoną klatką zwykle pracuje nadal, co jest oczywiście zaletą silnika indukcyjnego. Niemniej jednak uszkodzenie zwykle postępuje dalej i niezauważone w porę może doprowadzić do uszkodzenia innych elementów silnika, może np. powodować przepływ prądów łożyskowych [10], które działają destrukcyjnie na łożyska. Uszkodzenie klatki nie daje wyraźnych symptomów i w wielu przypadkach, szczególnie we wczesnym stadium, może być bardzo trudne do zauważenia, nawet przez wykwalifikowany personel. Procedura wykonywana automatycznie, przez urządzenia zabezpieczające, przy każdym rozruchu na pewno zwiększyłaby niezawodność działania chronionych w ten sposób silników. Współczynnik, otrzymywany w wyniku działania procedury diagnostycznej, może być zapamiętywany, co daje dodatkowo możliwość śledzenia trendu jego zmian. Wydaje się, że implementacja diagnostyki klatki w obecnie produkowanych układach zabezpieczających powinna być rozważona przez producentów takich urządzeń.

### Literatura

- [1] OSTOJIC P., BANERJEE A., PATEL D.C., BASU W., ALI S.: *Advanced Motor Monitoring and Diagnostics*. IEEE Transactions On Industry Applications, Vol. 50, No. 5, September/October 2014.
- [2] PEZZANI C., DONOLO P., BOSSIO G., DONOLO M., GUZMAN A., ZOCHOLL S.E.: *Detecting Broken Rotor Bars With Zero-Setting Protection*. Industrial & Commercial Power Systems Technical Conference (I&CPS), 2012 IEEE/IAS 48th.

- [3] STANKOVIC D., ZHANG Z., VOLOH I., VICO J., TIVARI A., BANERJEE A., UPPULURI S., SWIGOST D.: *Enhanced algorithm for motor rotor broken bar detection*. Industrial and Commercial Power Systems Technical Conference (I&CPS), 2010 IEEE.
- [4] BAYINDIR R., SEFA I., COLAK I., BEKTAS A.: *Fault Detection and Protection of Induction Motors Using Sensors*. IEEE Transactions On Energy Conversion, Vol. 23, No. 3, September 2008.
- [5] PINEDA-SANCHEZ M., PUCHE-PANADERO R., RIERA-GUASP M., SAPENA-BAÑÓ A., ROGER-FOLCH J., PEREZ-CRUZ J.: *Motor Condition Monitoring of Induction Motor with Programmable Logic Controller and Industrial Network*. Power Electronics and Applications (EPE 2011), Proceedings of the 2011 – 14th European Conference.
- [6] JADEJA Y., NANDI S., GULLIVER T.A., ILAMPARITHI T.C.: *A Versatile Dual Sided Spectrum Analyzer for Protective Relaying and Electric Machine Condition Monitoring*. Advances in Energy Conversion Technologies (ICAECT), 2014 International Conference.
- [7] RAD M.: *Automatyczna diagnostyka klatki wirnika na podstawie prądu rozruchu silnika indukcyjnego*. „Maszyny Elektryczne – Zeszyty Problemowe” 79/2008.
- [8] DRAK B., ZIENTEK P.: *Analiza uszkodzeń silników wysokonapięciowych prądu przemiennego w elektrowniach zawodowych*. „Maszyny Elektryczne – Zeszyty Problemowe” 1(98)/2013.
- [9] CISOWSKI Ł.: *Opracowanie programu integrującego podstawowe zabezpieczenia i funkcje diagnostyczne silnika indukcyjnego*. Praca dyplomowa, AGH 2013.
- [10] ZIENTEK P., NIESTRÓJ R.: *Wpływ uszkodzeń klatki wirnika i nasycenia rdzenia na wartość napięć wałowych w silnikach indukcyjnych*. „Maszyny Elektryczne – Zeszyty Problemowe” 80/2008.

 dr inż. Michał Rad – Katedra Energoelektroniki i Automatyki Systemów Przetwarzania Energii; Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej; AGH w Krakowie; e-mail: rad@agh.edu.pl

artykuł recenzowany