

Grzegorz Badowski, Jerzy Hickiewicz, Krystyna Macek-Kamińska, Marcin Kamiński
 Politechnika Opolska, Opole
 Wojciech Herman, PGE Elektrownia Opole SA, Brzeziny

POŚREDNI POMIAR ELEKTROMAGNETYCZNEGO MOMENTU SILNIKA INDUKCYJNEGO

INDIRECT MEASUREMENT OF ELECTROMAGNETIC INDUCTION MOTOR TORQUE

Abstract: The principle assign of slow variable induction motor torque based on power measurement taken by motor was briefly presented in the paper. Sample waveforms of motor load torque received of based on registered waveform input power were shown. It seems that in case of high-power driver, which continuously registration electrical quantity such as power or current input is currently often applying, registration of slow variable load torque can be comfortable to assessment of motor work.

1. Wstęp

W niektórych zakładach przemysłowych dokonywana jest rejestracja mocy pobranej przez większe napędy. Zakładając wolne zmiany momentu obciążenia i warunków zasilania istnieje możliwość określenia momentu użytecznego wytwarzanego przez silnik indukcyjny zastosowany w tym napędzie. Może to być dogodny sposób do oceny stopnia obciążenia dużej maszyny.

2. Pośrednie określenie momentu użytecznego maszyny indukcyjnej

Na podstawie prowadzonej ciągłej rejestracji dysponować można mocą pobraną P_1 oraz prądem pobranym I_1 , bądź jedną z tych wielkości. Od producenta można otrzymać informację o wartościach:

- R_s - rezystancji stojana,
- ΔP_{Fe} - strat w rdzeniu stojana,
- ΔP_m - strat mechanicznych.

Jeśli dysponuje się rejestracją tylko jednego zarejestrowanego przebiegu P_1 , bądź I_1 , to na podstawie charakterystyk obciążenia, które można uzyskać od producenta $I_1(P_m)$ oraz $P_1(P_m)$ można określić zależność $I_1(P_1)$, albo jeśli zachodzi taka potrzeba, zależność odwrotną $P_1(I_1)$.

Dysponując powyższymi danymi można określić moc pola wirującego:

$$P_\psi = P_1 - 3I_1^2 R_s - \Delta P_{Fe} \quad (1)$$

następnie moment elektromagnetyczny:

$$M_e = \frac{P_\psi}{\omega_1} \quad (2)$$

gdzie:

ω_1 – synchroniczna prędkość kątowna,

Moment strat mechanicznych:

$$\Delta M_m = \frac{\Delta P_m}{\omega} \quad (3)$$

gdzie:

ω – prędkość kątowna wirnika,

Moment użyteczny można wyznaczyć jako:

$$M_{uz} = M_e - \Delta M_m \quad (4)$$

3. Ocena wiarygodności pośredniego pomiaru momentu użytecznego

W maszynach indukcyjnych dużej mocy (od 100kW do kilku MW), na napięcie 6kV składniki poszczególnych strat są stosunkowo niewielkie w porównaniu z mocą pobraną przez silnik. Szczególnie małe są składniki strat w przypadku silników energooszczędnych. Można przykładowo szacować, że znamionowe straty w uzwojeniu stojana dużych maszyn nie przekraczają 3% mocy znamionowej. Wartości strat w rdzeniu stojana, nie przekraczają 2% mocy znamionowej. Natomiast wartości strat mechanicznych jedynie w silnikach wysokoobrotowych mogą dochodzić maksymalnie do 2% mocy znamionowej.

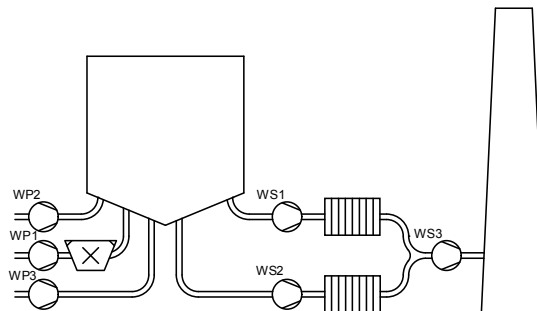
Wartości wszystkich danych dostarczonych przez producenta mogą nieco zmienić się w warunkach eksploatacji:

- Znamionowe straty w uzwojeniu stojana podawane są dla stanu nagrzanego maszyny. Natomiast wartość rezystancji uzwojenia stojana zależy od jego temperatury, a więc od stopnia obciążenia silnika. W silniku mniej obciążonym rezystancja uzwojenia stojana, w wyniku mniejszego nagrzania, może być zatem mniejsza. Takie zmniejszenie rezystancji może dochodzić do najwyżej do 0,7 - 0,6 jej wartości w stanie nagrzanym i w takim stopniu wpływać na zmniejszenie strat w uzwojeniu, stanowiących mały procent mocy pobranej, a więc w takim samym stopniu może to wpływać na błędne zmniejszenie wyznaczonej wartości momentu użytecznego. Jednak przy małym obciążeniu maszyny wpływ ten może być znaczący.
- Znamionowe straty w rdzeniu stojana wyznaczone są przy biegu jałowym. Straty w rdzeniu zależą bezpośrednio od kwadratu wartości indukcji strumienia głównego. Różnica między siłą elektromotoryczną, wytworzoną przez główny strumień magnetyczny, a napięciem zasilania, wynika ze spadku napięcia na rezystancjach i reaktancjach rozproszenia stojana. Zależy ona od prądu stojana, a więc od stopnia obciążenia maszyny. Jednak zmniejszenie wartości strumienia głównego przy obciążeniu jest nieznaczne, może on o kilka procent być mniejszy w stosunku do strumienia przy biegu jałowym i wpływać na zmniejszenie wartości strat w rdzeniu, ale z uwagi na niedużą wartość tych strat, tylko nieznacznie zaniżać wartość wyznaczonego momentu przy dużym obciążeniu. Na wartości strat w rdzeniu mogą wpływać też różne od znamionowych warunki zasilania (napięcie, częstotliwość). Jeśli układ zasilania silnika posiada duże moce zwarcia, to zasilanie obniżoną wartością napięcia jest mało prawdopodobne.
- Znamionowe straty mechaniczne wyznaczone są przez producenta w warunkach biegu jałowego. Moment strat mechanicznych (wentylacyjnych) zależy w przybliżeniu od prędkości wirnika w drugiej potęgze, zatem zmniejszenie prędkości przy obciążeniu może powodować, że wartość strat mechanicznych w maszynie obciążonej jest mniejsza niż uwzględniana w algorytmie obliczeniowym. Z uwagi na małą wartość strat mechanicznych w stosunku do mocy pobranej i bardzo małą różnicę prędkości, może to

zaniżać, wyznaczaną wartość momentu przy dużym obciążeniu, w części procenta.

Podsumowując, można ostrożnie szacować, że wpływ zmian obciążenia silnika w granicach od 0,4 do 1,0 momentu znamionowego nie powinien powodować rozbieżności pomiędzy wartością rzeczywistą, a zmierzoną momentu użytecznego większych niż kilka procent.

4. Przebiegi momentu użytecznego wybranych napędów

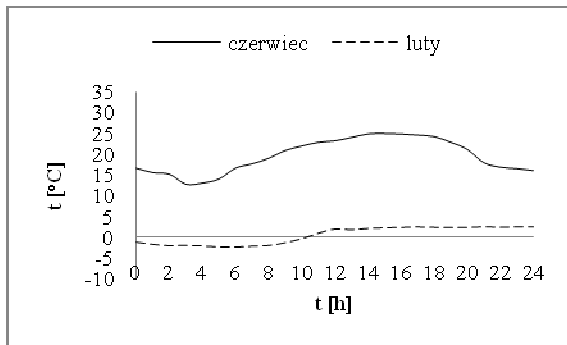


Rys. 1. Schemat układu wentylacyjnego powietrze - spaliny

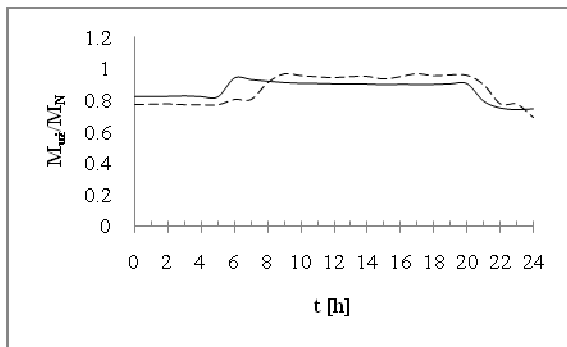
Na rysunku 1 podano schemat układu wentylacyjnego. Wykresy momentu użytecznego silników wentylatorowych wyznaczono poprzednio podaną metodą. Przebiegi te uzyskano z uśrednieniem godzinowym. Wykonane one zostały na podstawie zarejestrowanych w 2008 roku przebiegów wielkości elektrycznych takich jak moc pobrana i prąd pobrany. Dobowe wykresy sporządzono dla przykładowo wybranych dni miesiąca czerwca i lutego. Na rysunkach od 2 do 8 przedstawiono dobowe przebiegi momentu użytecznego poszczególnych silników wentylatorów.

Zauważono, że silniki wentylatorów powietrza (WP2, WP3) są niedociążone, natomiast silniki wentylatorów spalin (WS1, WS2) są nieco przeciążone.

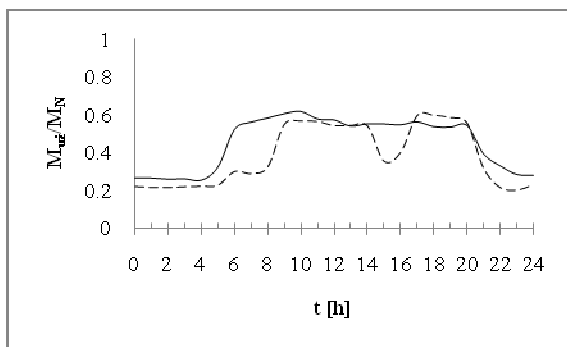
Korzystając z dynamicznych modeli matematycznych silników wykonano również obliczenia symulacyjne skokowego obciążenia silnika momentem znamionowym, a następnie zrzutu obciążenia silnika wentylatora spalin. Symulacyjne przebiegi momentu elektromagnetycznego i prądu stojana pokazano na rys. 9-12.



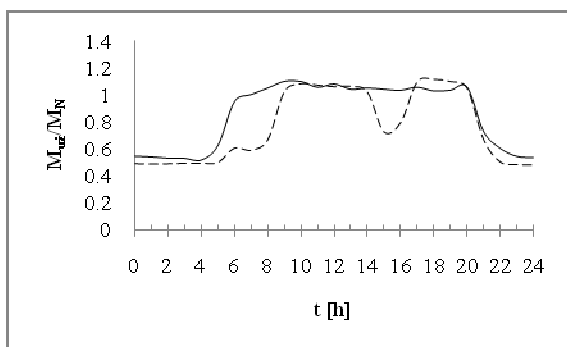
Rys. 2. Wykresy temperatury



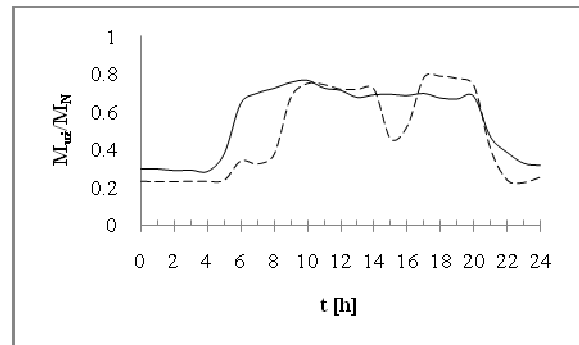
Rys. 3. Wykresy momentu użytecznego silnika wentylatora powietrza pierwotnego (WP1)



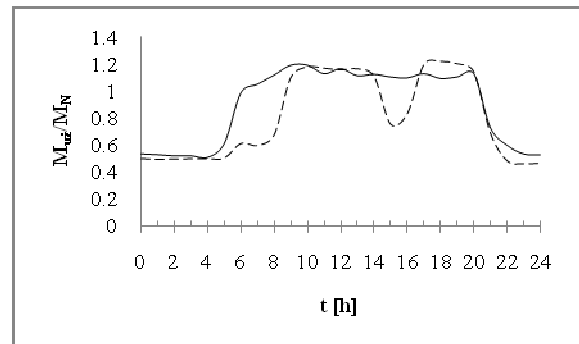
Rys. 4. Wykresy momentu użytecznego silnika wentylatora powietrza wtórnego (WP2)



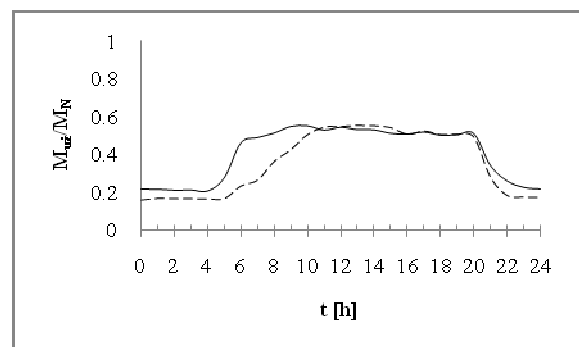
Rys. 5. Wykresy momentu użytecznego silnika wentylatora spalin (WS1)



Rys. 6. Wykresy momentu użytecznego silnika wentylatora powietrza wtórnego (WP3)

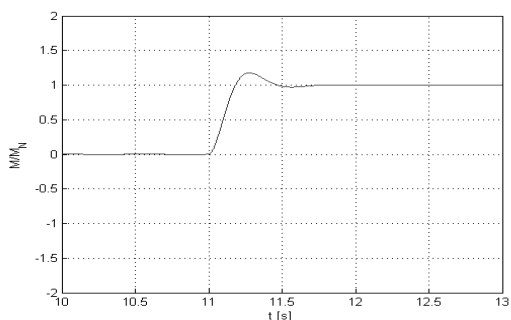


Rys. 7. Wykresy momentu użytecznego silnika wentylatora spalin (WS2)

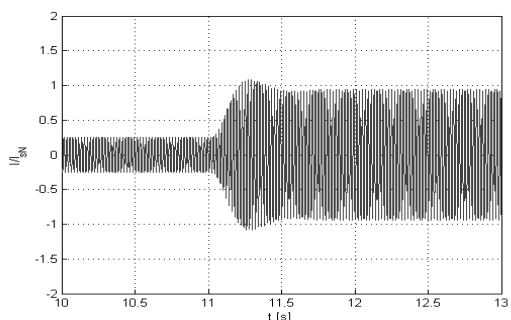


Rys. 8. Wykresy momentu użytecznego silnika wentylatora spalin (WS3)

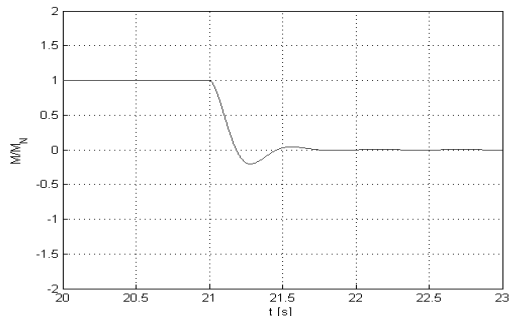
Przebieg ustala się po czasie 0,7s. Rejestrator dokonuje odczytu w odcinkach 10 sekundowych natomiast uśrednienia wyników dokonywane są w odcinkach 10 minutowych, godzinowych i dłuższych. Na wykresach otrzymywanych z rejestratora przedstawiane są jedynie przebiegi wolnozmiennie.



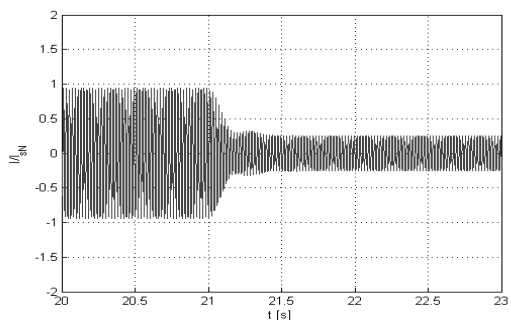
Rys. 9. Przebieg momentu elektro-magnetycznego podczas załączenia skokowego obciążenia momentem znamionowym



Rys. 10. Przebieg prądu stojana podczas załączenia skokowego obciążenia momentem znamionowym



Rys. 11. Przebieg momentu elektro-magnetycznego podczas zrzutu skokowego obciążenia momentem znamionowym



Rys. 12. Przebieg prądu stojana podczas zrzutu skokowego obciążenia momentem znamionowym

5. Wnioski

Dzięki rejestracji prądu i mocy pobranej istnieje możliwość pośredniego pomiaru wolnozmiennego momentu użytecznego silników wentylatorów powietrza oraz spalin. Pozwala to na jednoznaczne określenie jak obciążają się poszczególne silniki w układzie wentylacyjnym powietrze – spaliny w wybranych cyklach dobowych, tygodniowych, miesięcznych lub rocznych. Pomiary takie mogą być przydatne do ewentualnych doborów nastaw automatyki układów wentylacyjnych. W przypadku modernizacji układów napędowych istnieje również możliwość doboru silników do napędu poszczególnych wentylatorów.

6. Literatura

- [1]. Plamitzer A.: *Maszyny elektryczne*, Wyd. 6 zm., Wydawnictwo Naukowo - Techniczne, Warszawa 1976.
- [2]. Badowski G.: Analiza techniczno – ekonomiczna napędów wentylatorowych w energetyce, Praca dyplomowa Politechnika Opolska, Opole 2009.
- [3]. Materiały dostarczone przez firmę DFME.
- [4]. Materiały dostarczone przez firmę EMIT.
- [5]. Macek - Kamińska K.: Estymacja parametrów modeli matematycznych silników indukcyjnych dwuklatkowych i głębokożłobkowych, Wydawnictwo Wyższej Szkoły Inżynierskiej, Opole 1992.
- [6]. Hickiewicz J.: Dynamika układów napędowych, materiały niepublikowane, Politechnika Opolska, Opole 2009.
- [7]. Hickiewicz J., Macek - Kamińska K., Kamiński M.: Dynamiczne modele obliczeniowe maszyn indukcyjnych i ich identyfikacja, Komel Zeszyty problemowe – maszyny elektryczne nr 69/2004

Autorzy

Dr hab. inż. Jerzy Hickiewicz, prof. PO,
e-mail: j.hickiewicz@po.opole.pl
Dr hab. inż. Krystyna Macek-Kamińska,
prof. PO,
e-mail: k.macek-kaminska@po.opole.pl
Dr inż. Marcin Kamiński
e-mail: m.kaminski@po.opole.pl
Mgr inż. Grzegorz Badowski
e-mail: gkbadowski@gmail.com
Politechnika Opolska,
Wydział Elektrotechnika, Automatyki
i Informatyki
ul. Luboszycka 7, 45-036 Opole
Mgr inż. Wojciech Herman
e-mail: wojciech.herman@elopole.bot.pl
PGE Elektrownia Opole SA