

*XIV Seminarium*  
**ZASTOSOWANIE KOMPUTERÓW W NAUCE I TECHNICIE 2004**  
Oddział Gdański PTETiS

**BADANIA PRZYDATNOŚCI WYBRANYCH PRZETWORNIKÓW  
PRĄDU DO CELÓW DIAGNOSTYKI ŁOŻYSK W SILNIKU  
INDUKCYJNYM**

**Leon SWĘDROWSKI<sup>1</sup>, Lucjan WILCZEWSKI<sup>2</sup>, Jacek CICHOSZ<sup>3</sup>**

Politechnika Gdańska ul.Narutowicza 11/12, 80-952 Gdańsk

1. tel: (058)3471284 fax: (058) 3471726 e-mail:lswed@ely.pg.gda.pl

2. tel: (058)3471284 fax: (058) 3471726 e-mail:lwilcz@ely.pg.gda.pl

3. tel: (058)3472140 fax: (058) 3476132 e-mail:jcichosz@eti.pg.gda.pl

Pomiary prądu zasilającego silnik dla celów diagnostyki silników indukcyjnych napotykają na problemy wynikające z tego, że składowe prądu silnika niosące informacje diagnostyczne są małe w porównaniu z dominującą składową sieciową. Kluczową sprawą dla jakości pomiaru są parametry przetwornika prądu. Dla oceny niepewności pomiaru przy użyciu przetworników prądu opracowano specjalny komputerowy system pomiarowy, oparty na interfejsie GPIB. Przeprowadzono także badania szumowe przetworników. W trakcie prac nad opracowaniem aparatury pomiarowej do pomiarów prądu silnika przebadano dwa przetworniki. Pierwszy z nich – hallotronowy przetwornik prądu typu LAH 25 NP produkcji firmy LEM - wykazał nadmierny poziom szumów. Drugi – transformatorowy przetwornik prądowy typu TA/150625 produkcji firmy Sirio – wykazał doskonałe parametry szumowe.

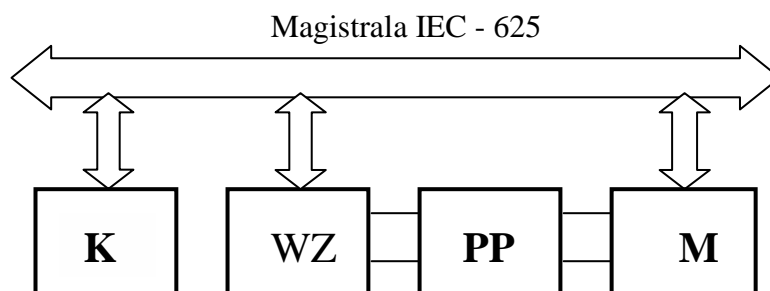
## **1. WSTĘP**

Pojawienie się określonych typów uszkodzeń w silniku jest źródłem odształcenia jego prądu. Możliwa jest diagnoza określonych typów uszkodzeń silnika elektrycznego w oparciu o analizę widma składowych prądu zasilania [1,2].

Typowe uszkodzenia wykrywane tą metodą to uszkodzenia uzwojeń stojana i wirnika, także niewspółosiowość wałów. Próba diagnostyki łożysk napotyka na problemy pomiarowe wynikające z tego, że składowe prądu silnika niosące informacje diagnostyczne są małe w porównaniu z dominującą składową sieciową. Stąd wynikają wymagania dynamiki pomiaru na poziomie, co najmniej 100 dB. Pomiary małych składowych prądu ograniczone są przez szum układu pomiarowego. Jak okazało się w trakcie wstępnych badań, największym źródłem szumów, a także niedokładności pomiaru jest przetwornik prądu. Dlatego też autorzy artykułu poświęcają doborowi tego elementu systemu pomiarowego dużą uwagę.

## 2. NIEPEWNOŚĆ POMIARU PRZETWORNIKIEM PRĄDOWYM

Badania dokładności przetworników prądowych przeprowadzono w układzie pomiarowym [3, 4] przedstawionym na rysunku 1. W układzie wykorzystano kalibrator Fluke 5500A, którego wyjściowe zaciski połączone zostały z wejściem badanego przetwornika pomiarowego wymuszając przepływ prądu o znanej wartości. Niepewność nastawy prądu przyjęto na podstawie świadectwa wzorcowania kalibratora. Na wyjściu przetwornika wykorzystano rezystor do zamiany prądu strony wtórnej na napięcie, które mierzono multimetrem typu Keithley 2002. Zarówno kalibrator jak multimetr połączone zostały przy pomocy magistrali IEC-625 z komputerem, w którym za pomocą aplikacji wykonanej w LabVIEW zautomatyzowano proces zadawania wartości prądu na wejście przetwornika i odczyt wartości napięcia na wyjściu.



Rys.1 . Schemat blokowy układu pomiarowego do badania dokładności przetwarzania przetworników i filtrów

Gdzie: K – komputer wyposażony w kartę interfejsu GPIB,  
WZ – kalibrator typu Fluke 5500A,  
M – multimetr typu Keithley 2002,  
PP – badany przetwornik.

### 2.1. Niepewność pomiaru przetwornikiem LAH 25 NP

Dokładność przetwornika LAH 25 NP określono mając na względzie warunki w jakich będzie pracował, przy czym za miarę dokładności przyjęto niepewność wyznaczenia przekładni przetwornika.

Napięcie wyjściowe przetwornika można opisać następującą funkcją:

$$u = k_L \cdot i \quad (1)$$

stąd przekładnię określa zależność:

$$k_L = \frac{u}{i} \quad (2)$$

Z tej zależności można określić współczynniki wrażliwości  $c_u$ ,  $c_i$  i niepewność złożoną  $u_c(k_L)$  wyznaczenia przekładni przetwornika prąd/napięcie z następujących zależności:

$$c_u = \frac{\partial k_L}{\partial u} = \frac{1}{i} \quad (3)$$

$$c_i = \frac{\partial k_L}{\partial i} = -\frac{u}{i^2} = -\frac{k_L}{i} \quad (4)$$

$$u_c^2(k_L) = c_u^2 u^2(\bar{u}) + c_i^2 u^2(\bar{i}) = \left(\frac{1}{\bar{i}}\right)^2 u^2(\bar{u}) + \left(-\frac{k_L}{\bar{i}}\right)^2 u^2(\bar{i}) \quad (5)$$

$$u^2(\bar{i}) = u_K^2 \quad (6)$$

$$u^2(\bar{u}) = u_p^2 + u_v^2 \quad (7)$$

gdzie:  $k_L$  – przekładnia układu z przetwornikiem,  
 $u$  – pomierzone napięcie wyjściowe przetwornika,  
 $i$  – prąd na zaciskach wyjściowych kalibratora typu Fluke 5500A,  
 $\bar{u}$  – wartość średnia zmierzonego napięcia,  
 $\bar{i}$  – wartość średnia prądu na zaciskach wyjściowych kalibratora,  
 $u_c(k_L)$  – niepewność wyznaczenia przekładni przetwornika prąd/napięcie,  
 $u_K^2$  – wariancja związana z określeniem wartości prądu na zaciskach kalibratora,  
 $u_p^2$  – wariancja wynikająca z rozrzutu wyników zmierzonych multimetrem,  
 $u_v^2$  – wariancja wynikająca z podanego przez producenta w specyfikacji multimetru Keithley 2002 błędu granicznego,

Niepewność rozszerzoną obliczono na podstawie zależności:

$$U(k_L) = k \cdot \sqrt{u_c^2(k_L)} = 2 \cdot \sqrt{u_c^2(k_L)} \quad (8)$$

gdzie:  $k=2$  – współczynnik rozszerzenia dla poziomu ufności 95% przy normalnym rozkładzie niepewności wielkości mierzonej.

Badania przetwornika typu LAH 25 NP wykonano dla 8 częstotliwości, dla każdej z nich przy 11 różnych wartościach prądu oddalonych o stały krok. Wszystkie pomiary powtarzane były 10-krotnie.

Dla każdej częstotliwości, przy 11 wartościach prądu, obliczono składowe według zależności (5) ÷ (8). Dla każdej z częstotliwości wybrano maksymalne uzyskane wartości składowych zostały zestawione w tablicy 1.

Tablica 1

Wariancja estymacji przekładni przekładnika prąd/napięcie z przetwornikiem LAH 25 NP

		Maksymalne wartości składowych wariancji dla częstotliwości					
Symbol wielkości	Rozkład prawdopodob.	50 Hz	200 Hz	500 Hz	1000 Hz	3000 Hz	5000 Hz
$u_v^2 [V^2]$	Jednostajny	4,46E-6	5,01E-6	5,01E-6	5,00E-6	5,57E-6	5,57E-6
$u_p^2 [V^2]$	Normalny	1,95E-8	2,17E-9	4,30E-9	1,50E-9	4,29E-9	1,90E-9
$u_k^2 [A^2]$	Normalny	6,48E-6	1,93E-6	1,93E-6	1,93E-6	6,48E-6	6,48E-6
$u_c^2(k_L) [V^2/A^2]$	<b>Normalny</b>	<b>2,87E-5</b>	<b>8,23E-6</b>	<b>8,23E-6</b>	<b>8,23E-6</b>	<b>2,72E-5</b>	<b>2,72E-5</b>
$U(k_L) [V/A]$		<b>0,011</b>	<b>0,006</b>	<b>0,006</b>	<b>0,006</b>	<b>0,010</b>	<b>0,010</b>

W całym analizowanym zakresie częstotliwości niepewność rozszerzona określenia przekładni praktycznie nie przekracza 0,01 V/A, co przy średniej wartości przekładni równej 0,9 V/A stanowi 1,1%.

## 2.2 Niepewność pomiaru przetwornikiem TA/150625

Tok pomiarów i obliczeń dla przetwornika TA/150625 jest analogiczny jak dla przetwornika LAH 25 NP. Przekładnia badanego układu przetwornika prąd na napięcie wynosiła 0,081 [V/A]. Analogicznie jak przy poprzednim przetworniku, spośród obliczonych według wzorów (5) ÷ (8) składowych dla różnych prądów, wybrano maksymalne uzyskane wartości. Te maksymalne wartości zostały zestawione w tablicy 2.

Tablica 2

Wariancja estymacji przekładni przekładnika prąd/napięcie z przetwornikiem TA/150625

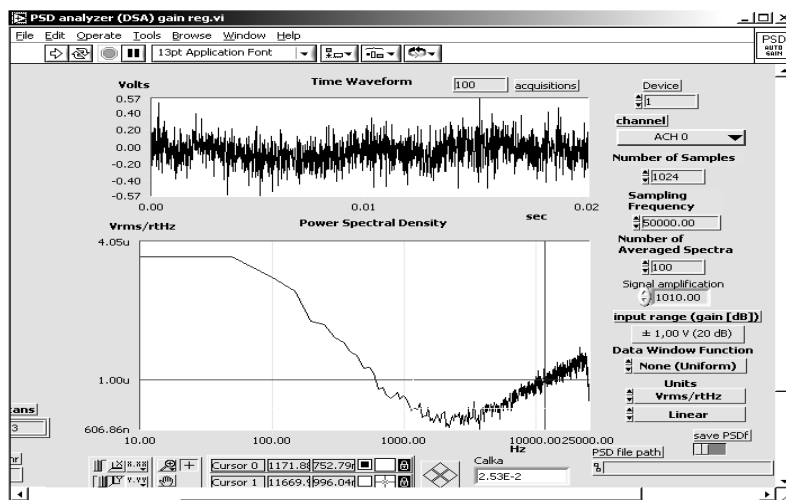
		Maksymalne wartości składowych wariancji dla częstotliwości					
Symbol wielkości	Rozkład prawdopodob.	50 Hz	200 Hz	500 Hz	1000 Hz	3000 Hz	5000 Hz
$u_v^2 [V^2]$	Jednostajny	4,38E-06	5,01E-06	5,02E-06	5,02E-06	5,61E-06	5,61E-06
$u_p^2 [V^2]$	Normalny	4,70E-08	3,98E-09	5,29E-09	1,84E-09	2,03E-09	2,25E-09
$u_k^2 [A^2]$	Normalny	6,48E-06	1,93E-06	1,93E-06	1,93E-06	6,48E-06	6,48E-06
$u_c^2(k_L) [V^2/A^2]$	<b>Normalny</b>	<b>1,38E-06</b>	<b>1,04E-06</b>	<b>1,04E-06</b>	<b>1,04E-06</b>	<b>1,17E-06</b>	<b>1,17E-06</b>
$U(k_L) [V/A]$		<b>0,0024</b>	<b>0,0020</b>	<b>0,0020</b>	<b>0,0020</b>	<b>0,0022</b>	<b>0,0022</b>

W analizowanym zakresie częstotliwości niepewność rozszerzona określenia przekładni nie przekracza 0,0024 V/A, , co przy średniej wartości przekładni równej 0,081 V/A stanowi 3% średniej wartości przekładni.

### 3. BADANIA SZUMOWE PRZETWORNIKÓW

#### 3.1 Szumy przetwornika LAH 25 NP.

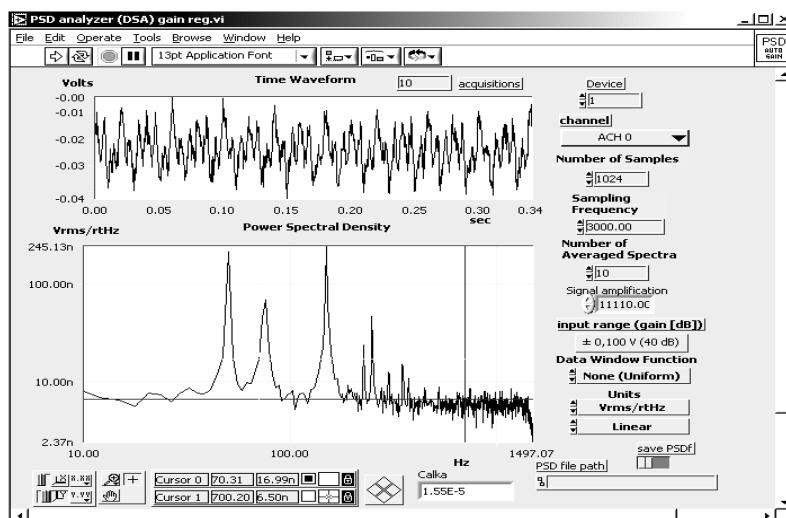
Do pomiaru prądu wybrano przetwornik prądu o podwyższonej dokładności typu LAH 25 NP (prod. LEM). Wyniki pomiarów szumów przetwornika prezentuje rysunek 2. Widmowa gęstość mocy szumów tego przetwornika wynosi średnio około  $1\mu\text{V}/\sqrt{\text{Hz}}$ .



Rys. 2. Pomierzona charakterystyka szumowa przetwornika typu LAH 25 NP

#### 3.2 Szumy przekładnika TA/150625

Pomierzony poziom szumów przekładnika TA/150625 jest rzędu  $5\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$  (rysunek 3). Uzyskany wynik pomiaru jest na poziomie szumów wzmacniacza pomiarowego, można wobec czego przyjąć, że przekładnik jest elementem praktycznie bezszumnym.



Rys.3. Pomierzona charakterystyka szumowa przetwornika typu TA/150625

Jedynym źródłem szumów w przekładniku są szумы cieplne jego rezystancji uzwojeń (rzędu  $70\Omega$ ). Pozostałe elementy bierne schematu zastępczego przekładnika (L, C) jedynie kształtują charakterystykę szumową układu.

## 5. WNIOSKI

Badania przedstawione w publikacji są fragmentem szerszych prac, prowadzonych nad systemem pomiarowym dla diagnostyki silników indukcyjnych. Z przeprowadzonych wcześniej analiz wynika, że ze względu na szумы krytycznym elementem systemu analogowego przetwarzania sygnału prądu silnika jest przetwornik prądu. Szумы ograniczają dynamikę układu pomiarowego, która jest jego najważniejszym parametrem metrologicznym. Dokładność pomiaru odgrywa tu mniejszą rolę. Początkowo stosowany był przetwornik prądowy typu LAH 25 NP. Następnie zastosowano przetwornik typu IT 150-S o wysokich parametrach dokładnościowych, lecz jak się okazało o większych szumach. Dlatego w dalszym etapie rozwoju systemu konieczna była zmiana typu przetwornika, z hallotronowego na transformatorowy. Wyniki badań tego przetwornika (na tle badań przetwornika LAH 25NP) prezentuje niniejsza publikacja. Przebadany przetwornik transformatorowy prądu TA/150625 okazał się elementem bezszumnym. Z tego względu pomimo większej niepewności pomiaru tym przetwornikiem będzie on wykorzystywany w dalszych opracowaniach układów diagnostycznych.

## BIBLIOGRAFIA

1. Swędrowski L.: Diagnostic measurement of current supplying an electric motor. W: [CD-ROM] Proceedings XVII IMEKO World Congress. June. 22-27, 2003 Dubrovnik, Croatia. 2003, Topic 10-Technical diagnostics.
2. Swędrowski L., Rusek J.: Nowe podejście do diagnostyki prądowej łożysk silnika indukcyjnego. W: Materiały kongresowe t.I. Kongres Metrologii 2004, 6-9 wrzesień 2004, Wrocław.
3. Wilczewski L.: System pomiarowy do oceny niepewności pomiaru prądu zasilającego silnik indukcyjny. Praca dyplomowa. 2003.
4. Swędrowski L., Wilczewski L.: Automatyzacja sprawdzania dokładności elementów układu do pomiaru prądu. Zastosowanie Komputerów w Nauce i Technice 2002. Zeszyty Naukowe PG Nr. 18.

## INVESTIGATIONS OF CHOSEN CURRENT TRANSDUCERS FOR MOTOR CURRENT MEASUREMENTS FOR DIAGNOSTICS OF INDUCTION MOTORS BEARINGS

The investigations presented in the paper are related to measurements in the diagnostics of induction motors by current measurement and analysis. The most important component in the diagnostic system is current transducer. The noise of transducer limits dynamic properties of the system. The results of noise investigations of two transducers: Hall type and transformer type are presented. The transformer transducer has much better noise parameters.