

# Możliwość wykorzystania SEM maszyny ze wzbudzeniem od magnesów trwałych do diagnostyki wibracyjnej

Marcin Barański

## 1. Wstęp

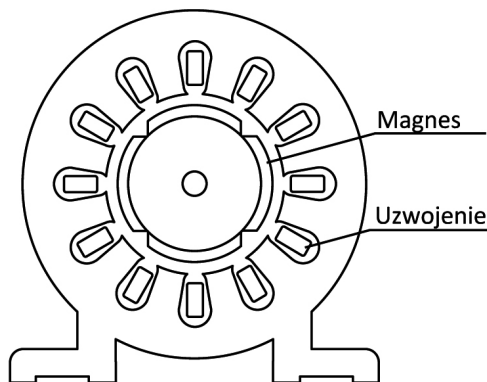
Koncepcja wykorzystania maszyny ze wzbudzeniem od magnesów trwałych pojawiła się jakiś czas temu. Podczas jednego z testów takiego urządzenia zauważono właściwość polegającą na generowaniu się napięcia pod wpływem wibracji pochodzących z zewnętrznego źródła.

Analizując to zjawisko, dostrzeżono analogię między maszyną PM a elektrodynamycznym czujnikiem drgań. Magnesy umieszczone są w ułożyskowanym wirniku, uzwojenie pełni rolę cewki pomiarowej, czułość jest zależna od liczby zwojów uzwojenia, a zasilanie ze źródła zewnętrznego jest zbędne [1, 2].

## 2. Sens wykorzystania maszyny jako czujnika

Wykonując diagnostykę drganiową, należy wziąć pod uwagę poprawność zamocowania przetwornika drgań do maszyny. Nierzadko pojawiają się przy tym trudności, gdyż fabrycznie maszyna nie jest przygotowana do tego celu. Sposób montażu ma także wpływ na przenoszony zakres częstotliwości sygnału pomiarowego. Trzeba również zwrócić szczególną uwagę na odseparowanie obwodu pomiarowego od źródeł potencjalnych zakłóceń.

Aplikacje, w skład których wchodzi maszyna PM, są często tak wykonane, że maszyna ułożyskowana jest w niedostępnych miejscach (elektrownie wiatrowe, małe elektrownie wodne itp.). Bezpośredni pomiar wibracji za pomocą czujników bywa więc często niemożliwy. W tych okolicznościach należy użyć innego sposobu pomiaru, bez konieczności stosowania sensorów [3, 4].



Rys. 1. Maszyna PM

**Streszczenie:** W artykule zaprezentowano wyniki badań pokazujące możliwość wykorzystania SEM maszyn z magnesami trwałymi do diagnostyki wibracyjnej. Przedstawiono właściwość polegającą na indukowaniu się składowej periodycznej SEM pod wpływem czynników zewnętrznych, np. drgań. Opisano wyniki testów przeprowadzonych na stole wibracyjnym. Przedstawiono przebiegi czasowe prędkości drgań, napięć indukowanych wraz z analizą częstotliwościową – zarówno dla maszyny będącej w spoczynku, jak również napędzanej. Przedstawiono częstotliwości odpowiadające konkretnym stanom niepożądanym w maszynie PM, które udało się do tej pory wyselekcjonować autorowi.

Słowa kluczowe: maszyna elektryczna, magnesy trwałe, diagnostyka, wibracje

## POSSIBILITY OF USING THE SEM OF PM MACHINE FOR VIBRATION DIAGNOSTICS

**Abstract:** The results of research which demonstrate the possibility of using SEM of machines with permanent magnets for vibration diagnostics. Specific structural properties of PM machines are used by this method – electromotive force (EMF) generated due to vibrations. The results of tests which were made with use of vibration table was described. The waveforms of vibration velocity, induced voltages and frequency analysis are presented - for both states: machine was at rested and driven. Frequencies corresponding to specific undesirable conditions accruing in the PM machine, which the author has been able to select so far, are presented.

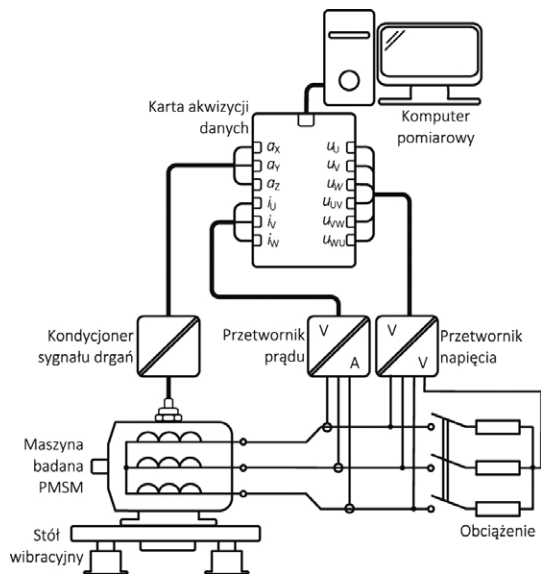
Keywords: electrical machine, permanent magnets, diagnostics, vibrations

## 3. Badania laboratoryjne

Badania wykonano z wykorzystaniem stołu wibracyjnego, w którym wymuszenie drgań następuje w sposób mechaniczny (rys. 2). Zmiana częstotliwości drgań następuje poprzez zmianę częstotliwości zasilania wibratora. Natomiast zmianę amplitudy można osiągnąć poprzez zmianę masy niewyważonej.

Do badań wykorzystano generator PM typu PM<sub>zsg</sub>132M-12 o mocy  $S_N = 3$  kW.

reklama



Rys. 2. Schemat pomiarowy

Na rysunkach 3–4 umieszczono przebiegi czasowe prędkości drgań zarejestrowane w trzech osiach, przebiegi czasowe napięć międzyfazowych, a także częstotliwościowe widma tych sygnałów. Rejestracje dokonano podczas badań na stole wibracyjnym. Maszyna nie była zasilana ani napędzana, zaciski były otwarte. Zastosowano wymuszenie stałe o częstotliwości  $f = 50$  Hz.

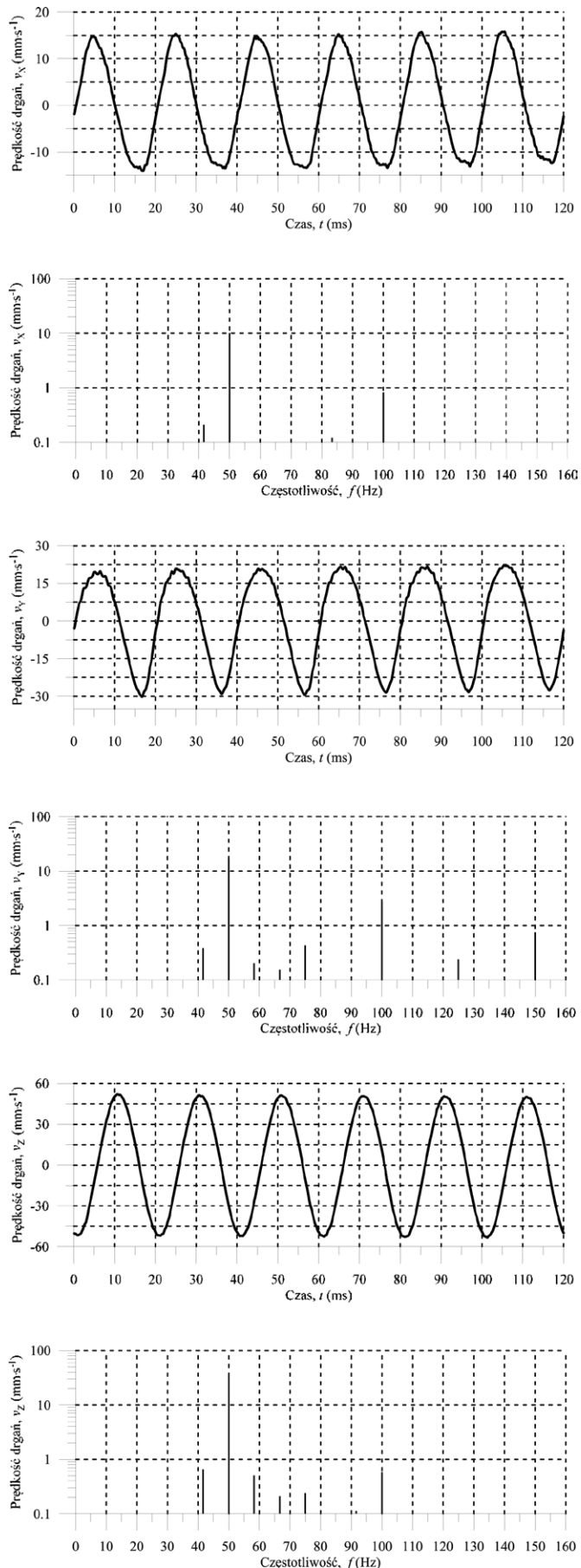
Analizując przebiegi, można zauważyć, iż przy usytuowaniu maszyny PM z otwartymi zaciskami na stole wibracyjnym przy wymuszeniu jednostajnym indukują się sygnały napięć, które można zarejestrować, a ich podstawowe harmoniczne są tożsame z pierwszymi harmonicznymi sygnałów drganiowych zarejestrowanych przy użyciu czujników drgań.

Na rysunkach 5–6 umieszczono przebiegi czasowe prędkości drgań, międzyfazowych napięć oraz widma częstotliwościowe tych sygnałów, zarejestrowanych podczas badań na stole wibracyjnym. Maszyna podczas testów była napędzana, zaciski były otwarte. Wymuszeniem były drgania ustalone o częstotliwości  $f = 40$  Hz, prędkość obrotowa  $n = 600$  obr./min.

Analizując rysunki 5–6 oraz wartości zebrane w tabeli 1, można zauważyć, że przy drganiach stołu o częstotliwości  $f = 40$  Hz w napięciu indukowanym w generatorze wokół podstawowej harmonicznej  $f_{H01} = 60$  Hz pojawiają się częstotliwości  $f = 20$  Hz oraz  $f = 100$  Hz (prążki po 40 Hz od podstawowej harmonicznej w jedną i drugą stronę – częstotliwości od prędkości obrotowej wibratora po obu stronach podstawowej harmonicznej badanej maszyny).

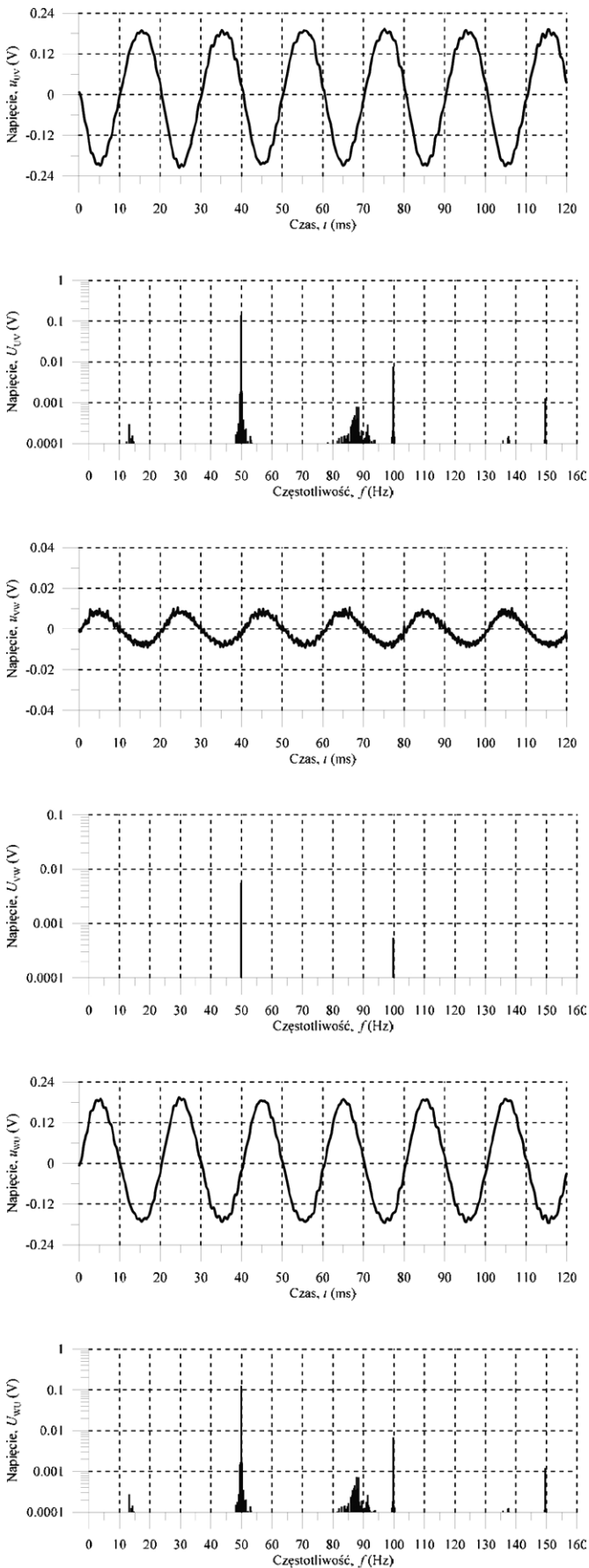
Tabela 1. Wartości skuteczne napięcia międzyfazowego dla poszczególnych składowych

Składowa napięcia	Brak wymuszenia	Wymuszenie $f = 40$ Hz	Wzrost
	mV	mV	%
$U_{UV 20}$	< 1,0	14,7	> 1370
$U_{UV 100}$	1,8	58,3	3139

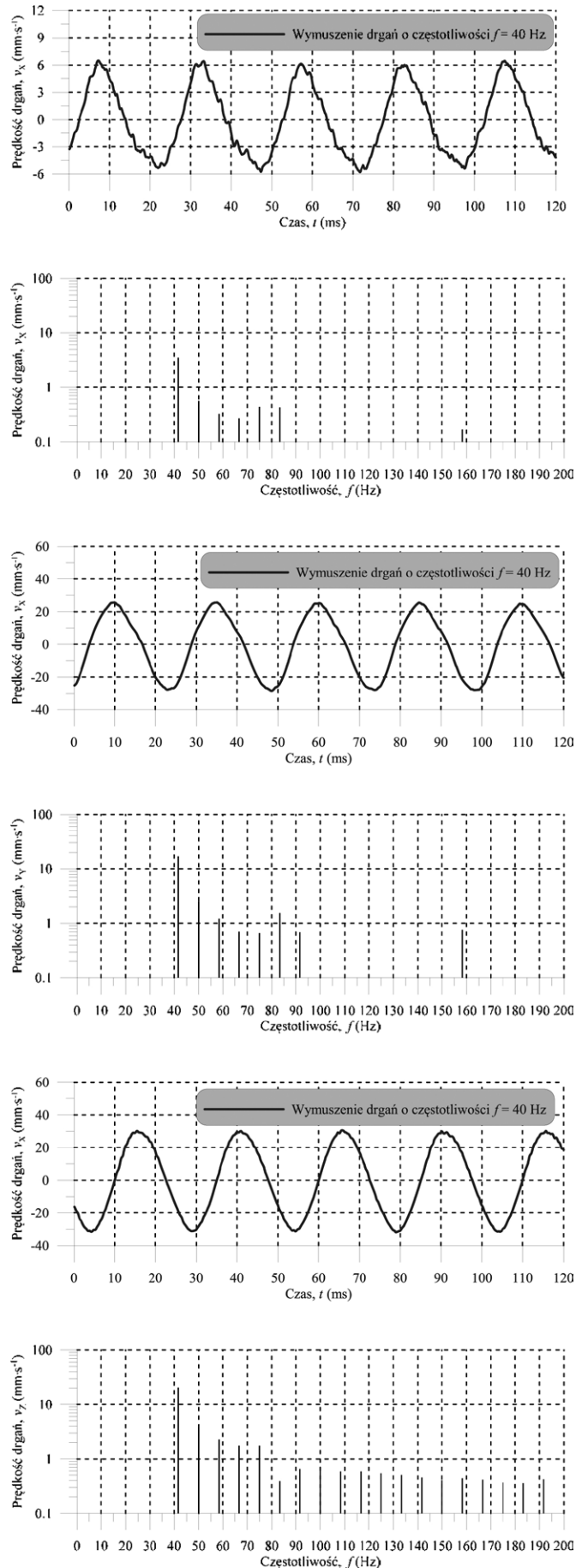


Rys. 3. Przebiegi czasowe prędkości drgań oraz widma częstotliwościowe

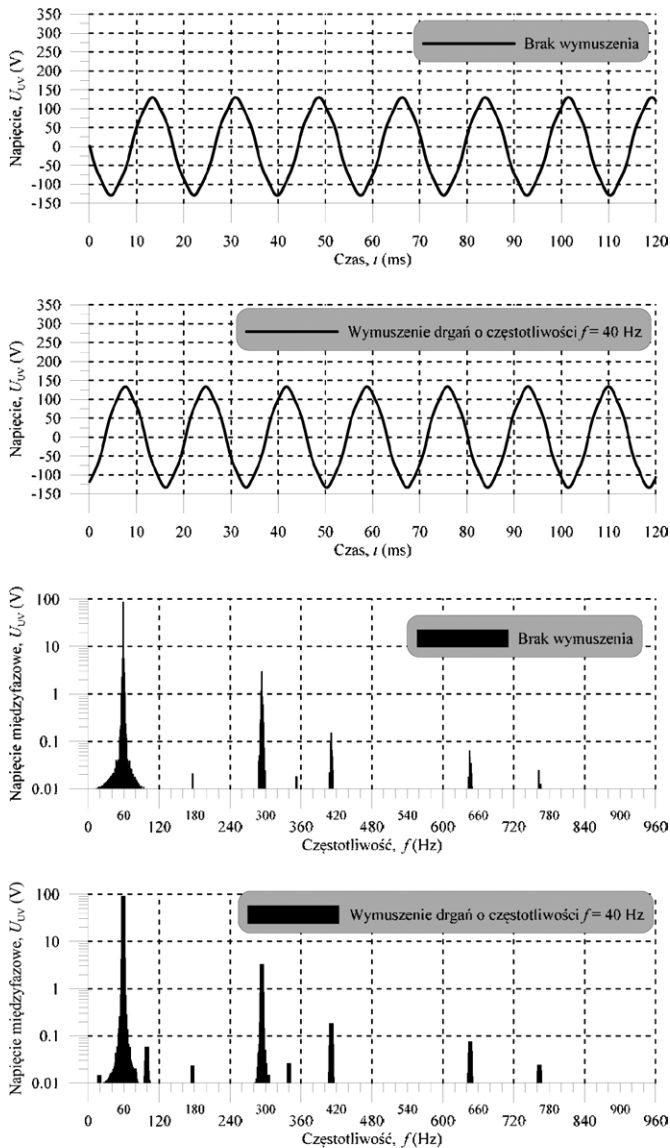
reklama



Rys. 4. Przebiegi czasowe napięcia m-faz oraz widma częstotliwościowe



Rys. 5. Przebiegi czasowe prędkości drgań oraz widma częstotliwościowe podczas napędzania maszyny



Rys. 6. Przebiegi czasowe napięcia m-faz oraz widma częstotliwościowe podczas napędzania maszyny

## 5. Podsumowanie

Podczas badań laboratoryjnych maszyny PM przy użyciu stołu wibracyjnego zaobserwować należy fakt generowania się mierzalnego sygnału pomiarowego, który posiada podobieństwo do sygnału pochodzącego z czujnika drgań. Również w przypadku testów z napędzanym generatorem zauważyć należy, iż w zarejestrowanym sygnale pojawiają się harmoniczne, które mogą zostać użyte do celów diagnostycznych. Istnieje zatem możliwość wykorzystania maszyny PM do analizy drganiowej [5].

Zaletą przedstawionego sposobu diagnostyki drgań w maszynach PM jest to, że układ pomiarowy nie wymaga stosowania czujników. Obwód wzbudzenia i uzwojenie twornika są bowiem równocześnie czujnikiem pomiarowym drgań. Metoda bazuje na analizie częstotliwościowej sygnałów maszyny – prąd i/lub napięcie. Pomiary można przeprowadzać podczas normalnej eksploatacji [6].

Dotychczasowe badania laboratoryjne wykonane przez autora pozwoliły na wyodrębnienie częstotliwości, których wzrost można przypisać do następujących awarii:

- asymetria obciążenia generatora lub zasilania silnika

$$f_k = (2k-1) \frac{n \cdot p}{20} \quad (1)$$

- asymetria szczeliny powietrznej

$$f_{k1} = k \cdot f - \frac{(p-1)f}{p} \quad (2)$$

$$f_{k2} = 2k \cdot f \quad (3)$$

- niewyważenie

$$f_1 = \frac{(p-1)f_{H01}}{p} \quad (4)$$

$$f_2 = \frac{(p+1)f_{H01}}{p} \quad (5)$$

gdzie:

$f_1, f_2$  – szukane częstotliwości;

$f_{k1}, f_{k2}$  – szukane częstotliwości dla  $k$ -tej składowej;

$f_k$  – szukane  $k$ -te częstotliwości;

$f_{H01}$  – częstotliwość pierwszej harmonicznej badanej maszyny,

$p$  – liczba par biegunów;

$k$  – liczba naturalna;

$n$  – prędkość obrotowa.

## Literatura

- [1] BARAŃSKI M.: *Nowa metoda wykrywania drgań spowodowanych niewyważą – diagnostyka generatorów z magnesami trwałymi*. „Maszyny Elektryczne – Zeszyty Problemowe” 2014.
- [2] BARAŃSKI M.: *Diagnostyka drganiowa generatorów wzbudzanych magnesami trwałymi – nowa metoda wykrywania drgań spowodowanych niewyważą*. „Przegląd Elektrotechniczny” 2014.
- [3] BARAŃSKI M.: *Vibration diagnostic method of permanent magnets generators – detecting of vibrations caused by unbalance*, IEEEExplore, 2014.
- [4] BARAŃSKI M., JAREK T.: *Analysis of PMSM vibrations based on Back-EMF measurements*, IEEEExplore, 2014.
- [5] BARAŃSKI M., DECNER A., POLAK A.: *Selected Diagnostic Methods of Electrical Machines Operating in Industrial Conditions*, IEEE TDEI, 5/2014.
- [6] SZYMANIEC S.: *Pomiary drgań względnych w silnikach elektrycznych*. „Maszyny Elektryczne – Zeszyty Problemowe” 82/2009.

✉ Marcin Barański, KOMEL, Katowice

artykuł recenzowany