

Marcin Barański, Artur Polak
Instytut Napędów i Maszyn Elektrycznych KOMEL, Katowice

MASZYNA ELEKTRYCZNA Z MAGNESAMI TRWAŁYMI CZUJNIKIEM DRGAŃ

PERMANENT MAGNET ELECTRICAL MACHINE AS A VIBRATION SENSOR

Streszczenie: W artykule zaprezentowano zarys metody diagnostycznej dedykowanej dla maszyn z magnesami trwałymi. W metodzie tej wykorzystuje się specyficzne właściwości konstrukcyjne maszyn ze wzbudzeniem od magnesów trwałych tj. indukowanie się składowej periodycznej SEM pod wpływem czynników zewnętrznych np. drgań. W artykule opisano genezę powstania metody oraz przedstawiono wyniki symulacji komputerowych i badań laboratoryjnych.

Abstract: The paper presents a vibration diagnostic method designed for diagnose of permanent magnets (PM) machines. Those machines are commonly used in electrical vehicles, small wind and water power systems. Specific structural properties of machines excited by permanent magnets are used in this method - electromotive force (EMF) generated due to vibrations. In this article several issues will be discussed: the method genesis, the similarity of permanent magnet machines to vibration sensor and results of simulation and laboratory tests.

Słowa kluczowe: maszyna elektryczna, magnesy trwałe, diagnostyka, drgania
Keywords: electrical machine, permanent magnets, diagnostics, vibration

1. Wstęp

Jednym z podstawowych zagadnień dotyczących poprawnego funkcjonowania wirującej maszyny elektrycznej jest wykrywanie, lokalizacja i ocena uszkodzeń na postawie prowadzonej diagnostyki drganiowej. Praca urządzeń elektromechanicznych opiera się na przepływach energii zarówno przepływie użytecznym, zamierzonym jak również niepożądanym przepływie pobocznym. Do pobocznych przepływów energii można zaliczyć ogólnie ujęte procesy drganiowe. Wykorzystanie tych zjawisk umożliwia prowadzenie pomiarów nieinwazyjnych nierzadko metodami bezkontaktowymi.

Podwyższony poziom wibracji w maszynach elektrycznych jest negatywnym zjawiskiem i jest symptomem wystąpienia awarii.

Zmiany stanu maszyny jest jej reakcją na wymuszenia bezpośrednio lub pośrednio. Mamy więc do czynienia z badaniem reakcji obiektu na oddziaływania energetyczne wywołujące zmianę jego stanu. W takim wypadku energia jest nośnikiem informacji immanentnie związanym z maszyną lub gdy jest ona doprowadzona z zewnątrz, tylko i wyłącznie do określenia stanu technicznego badanej maszyny.

Stosuje się wtedy rozbitcie wygenerowanego sygnału na składowe, które przy znajomości budowy oraz podstawowych parametrów maszyny

można przyporządkować poszczególnym elementom konstrukcyjnym maszyny [1]-[3].

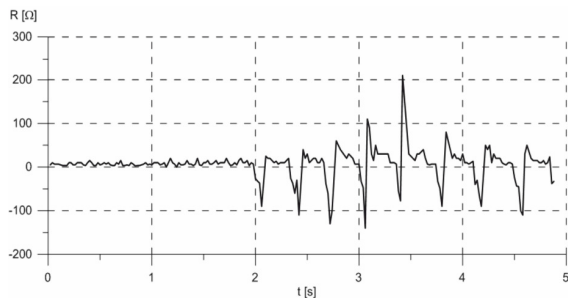
Większość pomiarów drgań maszyn elektrycznych opiera się głównie na wykorzystaniu zewnętrznych czujników wraz z dedykowaną, skomplikowaną oraz kosztowną aparaturą. Dodatkowo istnieje potrzeba zwrócenia uwagi na możliwość montażu czujników do maszyny, co często, gdy maszyna fabrycznie nie jest do tego celu przystosowana, stwarza problemy. Montaż ma wpływ na pasmo przenoszonych częstotliwości w sygnale pomiarowym. Należy również zwracać uwagę na odseparowanie obwodów pomiarowych od wszelkiego rodzaju zakłóceń, które mogą powodować błędne wskazania aparatury pomiarowej [4].

Największą zaletą opisywanej drganiowej metody diagnostycznej jest to, że układ pomiarowy nie potrzebuje zewnętrznych czujników ponieważ sama maszyna spełnia funkcję czujnika drgań. Sposób diagnostyki wykorzystuje specyficzne właściwości konstrukcyjne maszyn z magnesami trwałymi [5].

2. Geneza powstania metody

Pomysł, aby maszynę elektryczną z magnesami trwałymi wykorzystać zamiast czujników drgań do detekcji zwiększonego poziomu wibracji pojawił się podczas pomiarów rezystancji uzwo-

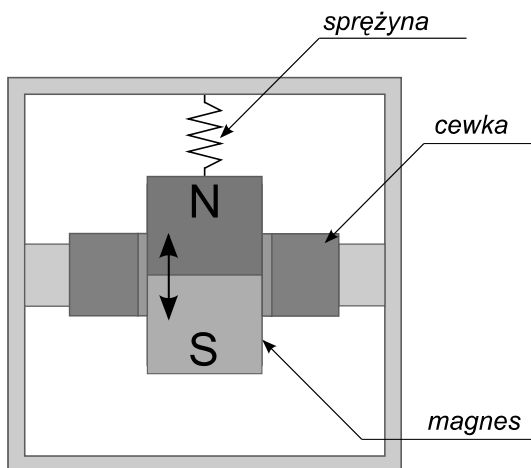
jeń stojana, gdy pojawiające się zakłócenia (Rys.1) uniemożliwiały wykonanie poprawnego pomiaru. Powodem tych zakłóceń były drgania przenoszone na fundament badanej maszyny. Głębsza analiza wykazała, że w maszynie ze wzbudzeniem od magnesów trwałych, która znajduje się w pobliżu źródła wibracji indukuje się siła elektromotoryczna (SEM), która wprowadza zakłócenia i pomiar rezystancji poważny problem [1]-[4], [8]-[14].



Rys. 1. Przykład zarejestrowanego zakłócenia podczas pomiaru rezystancji

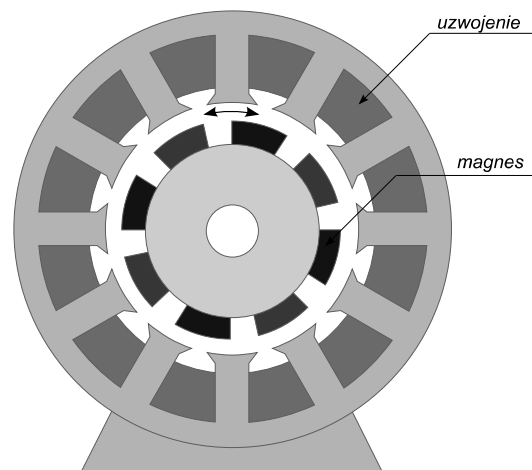
3. Maszyna PM, a czujnik drgań

Maszyna elektryczna z magnesami trwałymi (Rys.3) w swojej konstrukcji bardzo przypomina elektrodynamiczny czujnik drgań (Rys.2). Jego działanie opiera się na tym, że pod wpływem wibracji przemieszcza się magnes wewnątrz cewki indukując w niej napięcie zależne od poziomu wibracji. W klasycznej maszynie PM pod wpływem drgań wirnik z magnesami trwałymi generuje SEM w uzwojeniu.



Rys. 2. Czujnik elektrodynamiczny

Zarówno czujnik, jak maszyna do generacji sygnału pomiarowego nie potrzebują zewnętrznych źródeł zasilania. Czułość układu jest zależna od ilości zwojów uzwojenia w obu przypadkach [1]-[4], [8]-[14].

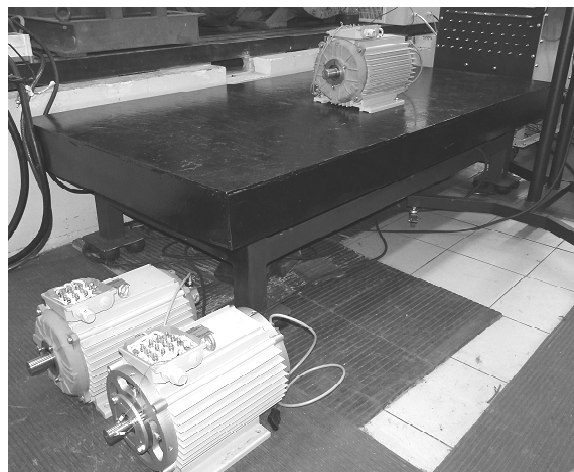


Rys. 3. Przykład maszyny z magnesami trwałymi

Maszynę elektryczną z magnesami trwałymi można wykorzystać do detekcji podwyższonego poziomu drgań pochodzących m.in. od:

- niewyważenia,
- asymetrii geometrii wirnika – stojana,
- asymetrii obciążenia generatora.

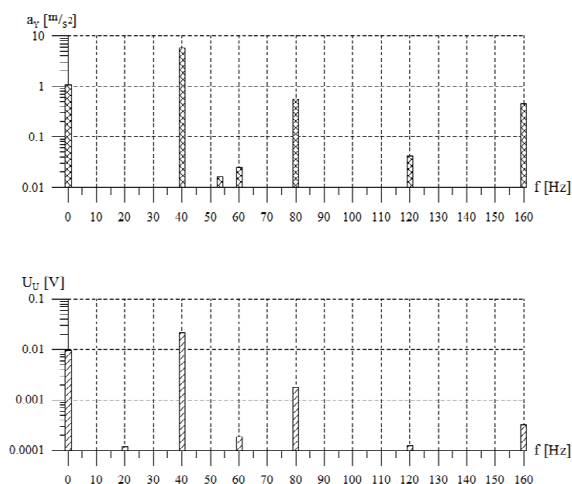
4. Badania statyczne



Rys. 4. Badania na stole wibracyjnym

Celem statycznych badań laboratoryjnych maszyn z magnesami trwałymi było otrzymanie odpowiedzi, czy taka maszyna może być wykorzystywana do detekcji zwiększonego poziomu wibracji. Miały one dać odpowiedź na pytanie, czy możliwe jest wyselekcjonowanie obszaru częstotliwości w indukowanym napięciu lub prądzie w zależności od stopnia natężenia wibracji, co mogłyby być przedmiotem analizy diagnostycznej. Badania statyczne zostały przeprowadzone przy zewnętrznym wymuszeniu drgań za pomocą stołu wibracyjnego (Rys.4).

Na rysunku 5 przedstawiono przykładowe wyniki badań jednej z maszyn z magnesami trwałymi. Przedmiotem testów był generator PMzsg132M – 4, o parametrach: $P = 6$ kW, $U = 60$ V, $I = 57,7$ A. Wykres przedstawia porównanie analizy częstotliwościowej z czujnika drgań oraz sygnałów własnych maszyny. Można zaobserwować, iż analiza częstotliwościowa sygnałów własnych (w tym przypadku napięć – zarówno fazowego, jak również międzyfazowego) w dużej mierze odpowiada analizie częstotliwościowej sygnału pochodzącego z czujnika przyspieszenia drgań. Świadczy to o tym, że maszyna z magnesami trwałymi może zostać użyta do diagnostyki drganiowej poprzez analizę częstotliwościową jej sygnałów własnych [1]-[4], [8]-[14].



Rys. 5. Wyniki badań statycznych

6. Podsumowanie

Autorzy nigdzie nie napotkali takiego rozwiązania, gdzie dla maszyn z magnesami trwałymi do celów diagnostyki wykorzystuje się sygnały własne [17]-[21]. Jest to podejście innowacyjne i niestandardowe. Przedstawione rozwiązanie zdaniem autorów, którzy na co dzień zajmują się badaniem maszyn w laboratorium, jak również diagnostyką maszyn elektrycznych eksploatowanych w przemyśle, znacznie upraszcza diagnostykę drganiową w maszynach PM. Sprawia, iż nie jest wymagane stosowanie kosztownej aparatury i czujników pomiarowych oraz diagnosta nie przejmuje się ich montażem, co w niektórych przypadkach stanowi istotny problem. Metoda pozwala również, przy użyciu dodatkowego oprzyrządowania, na diagnostykę on – line eksploatowanego napędu [15, 16]. Jest to dosyć istotne dla napędów, do których dostęp

jest z różnych powodów utrudniony. Przeprowadzone badania pokazują możliwość wykorzystania maszyny z magnesami trwałymi jako czujnik drgań dla samej siebie [1]-[4], [8]-[14]. Praca finansowana ze środków na naukę w latach 2013-2015 jako projekt badawczy nr 413/L-4/2012 realizowany w Instytucie Napędów i Maszyn Elektrycznych KOMEL o nazwie „Wibroakustyczna metoda diagnostyczna silników trakcyjnych i generatorów z magnesami trwałymi na podstawie sygnałów własnych.

7. Literatura

- [1]. Barański M.: *Nowa metoda wykrywania drgań spowodowanych niewyważą – diagnostyka generatorów z magnesami trwałymi*, Maszyny Elektryczne - Zeszyty Problemowe, 2014.
- [2]. Barański M.: *Wieloosiowy analizator drgań z wykorzystaniem modułu SV06A, karty pomiarowej Personal Daq 3001 oraz graficznego środowiska programowania LabView*, Diploma, 2010.
- [3]. Barański M.: *Diagnostyka drganiowa generatorów wzbudzanych magnesami trwałymi – nowa metoda wykrywania drgań spowodowanych niewyważą*, Przegląd Elektrotechniczny, 2014.
- [4]. Barański M.: *Wykorzystanie sygnału własnego generatorów i silników trakcyjnych z magnesami trwałymi do diagnostyki drganiowej*, Logistyka, 6/2014.
- [5]. Barański M., Glinka T.: *Sposób diagnozowania drgań wzbudzanych niewyważą w maszynach elektrycznych z magnesami trwałymi*, Zgłoszenie patentowe P.405669.
- [6]. Barański M., Decner A., Polak A.: *Diagnostyka drganiowa węzłów łożyskowych w oparciu o hodoğrafy*, Przegląd Elektrotechniczny, 1/2014.
- [7]. Barański M., Decner A.: *Funkcja przyspieszenia drgań $a_y = f(a_x)$ jako narzędzie do określania stanu technicznego łożyska*, Maszyny Elektryczne - Zeszyty Problemowe, 2011.
- [8]. Barański M.: *Vibration diagnostic method of permanent magnets generators – detecting of vibrations caused by unbalance*, IEEEExplore, 2014.
- [9]. Barański M.: *New vibration diagnostic method of PM generators and traction motors – detecting of vibrations caused by unbalance*, IEEEExplore, 2014.
- [10]. Barański M.: *PM electrical machines diagnostic - methods selected*, Materiały konferencyjne ICEMDS, 2014.
- [11]. Barański M., Będkowski B.: *Electrical machine with permanent magnets as a vibration sensor*, IEEEExplore, 2014.
- [12]. Barański M., Jarek T.: *Analysis of PMSM vibrations based on Back-EMF measurements*, IEEEExplore, 2014.

- [13]. Barański M., Decner A., Polak A.: *Selected Diagnostic Methods of Electrical Machines Operating in Industrial Conditions*, IEEE TDEI, 5/2014.
- [14]. Barański M.: *Permanent magnet machine can be a vibration sensor for itself*, Materiały konferencyjne ICEMDS, 2014.
- [15]. Decner A.: *Zdalne monitorowanie maszyn elektrycznych*, Maszyny Elektryczne - Zeszyty Problemowe, 2011.
- [16]. Barański A., Decner A.: *Telemetria w Diagnostyce Maszyn Elektrycznych*, Maszyny Elektryczne - Zeszyty Problemowe, 2012.
- [17]. Szymaniec S.: *Pomiary Częstotliwości drgań własnych i rezonansowych maszyn elektrycznych w warunkach ich eksploatacji*, Maszyny Elektryczne - Zeszyty Problemowe, 3/2012.
- [18]. Szymaniec S.: *Ścieżki pomiarowe do pomiarów drgań względnych w maszynach elektrycznych*, Maszyny Elektryczne - Zeszyty Problemowe, 81/2009.
- [19]. Szymaniec S.: *Pomiary drgań względnych w silnikach elektrycznych*, Maszyny Elektryczne - Zeszyty Problemowe, 82/2009.
- [20]. Szymaniec S.: *Drgania własne stojana silnika indukcyjnego klatkowego małej mocy – pomiary*, Maszyny Elektryczne - Zeszyty Problemowe, 3/2012.
- [21]. Szymaniec S., Podhajecki J.: *Wyznaczanie drgań własnych stojana silnika indukcyjnego*, Maszyny Elektryczne - Zeszyty Problemowe, 87/2010.