

Marcin Barański

Sieć Badawcza Łukasiewicz - Instytut Napędów i Maszyn Elektrycznych KOMEL, Katowice

## WPLYW ASYMETRII OBCIĄŻENIA GENERATORA WZBUDZANEGO MAGNESAMI TRWAŁYMI NA ZMIANĘ POZIOMU DRGAŃ

### AN INFLUENCE OF PM GENERATOR LOAD ASYMMETRY FOR VIBRATION LEVEL

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono wpływ asymetrii obciążenia generatora ze wzbudzeniem pochodzącym od magnesów trwałych na zwiększenie poziomu drgań. W pracy przedstawiono, wyniki symulacji komputerowych oraz badań laboratoryjnych. Autor przedstawił przebiegi czasowe momentu oraz prądu wraz z analizą częstotliwościową – zarówno dla symulacji, jak również badań laboratoryjnych. Przedstawiono również autorskie równanie matematyczne, które stanowi pewnego rodzaju marker dla rozpatrywanego zjawiska.

**Abstract:** An influence of load asymmetry of PM generator for the generation of vibrations in the tested machine is described in this article. There are shown simulation and laboratory test results. The waveforms of torque and current and frequency analysis for simulations and laboratory tests are presented in the paper. The mathematical equation – a marker for this disruption is presented in the summary.

**Słowa kluczowe:** maszyna elektryczna, magnesy trwałe, diagnostyka, drgania

**Keywords:** electrical machine, permanent magnets, diagnostics, vibration

#### 1. Wstęp

Zwiększenie udziału „zielonej energii” oraz stale obserwowany wzrost cen energii elektrycznej przekłada się na ciągle rosnące zainteresowanie prądem pozyskiwanym z wiatru lub wody. Istnieje duża grupa odbiorców indywidualnych zainteresowanych małymi konstrukcjami przeznaczonymi do zasilania domów jednorodzinnych lub przeznaczonymi do wspomagania ich systemów grzewczych. Konfiguracje takie coraz częściej wyposażone są w generatory wzbudzone magnesami trwałymi [4]. Odznaczają się one najwyższą sprawnością spośród wszystkich rodzajów maszyn elektrycznych wirujących. Parametry te utrzymują w szerokim zakresie prędkości obrotowych, co stanowi jedną z głównych zalet. Niestety istnieje również szereg wad, które konstruktorzy próbują eliminować lub ograniczać ich negatywne działanie.

Z punktu widzenia użytkownika niepożądane cechy generatorów PM to: moment zaczepowy oraz tendencja do pojawiania się wibracji w przypadku asymetrii obciążenia [5].

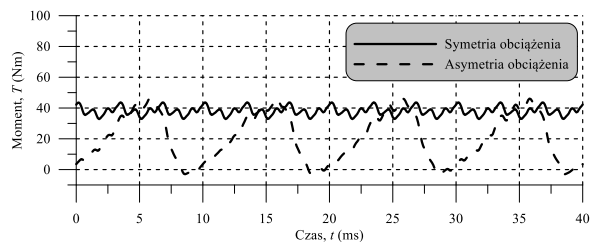
W przypadku niesymetrycznego obciążenia generatorów wirujące pole magnetyczne przybiera kształt eliptyczny zamiast kołowego. Pojawiają się wtedy dodatkowe momenty

harmoniczne przeciwnej kolejności, które wpływają na wartość chwilową momentu wypadkowego powodując jego pulsację. Powoduje to wzrost poziomu drgań oraz intensywny hałas, co utrudnia, a może nawet uniemożliwić pracę maszyny [2].

#### 2. Symulacje komputerowe

Symulacje komputerowe oraz badania laboratoryjne prądnicy obciążanej asymetrycznie wykonano dla maszyny z magnesami trwałymi typu: PM WSg132M-4 ze stojanem  $Q_s = 36$  bez skosu i wirnikiem IPMV posiadającym magnesy umieszczone wewnątrz w kształcie litery V. Parametry maszyny:  $P_N = 5,5$  kW,  $U_N = 50$  V,  $I_N = 63,5$  A,  $n_N = 1500$  1/min,  $\eta_N = 80,5\%$ . Obliczenia zostały wykonane w programie Ansys Maxwell.

Różnice w przebiegach momentu elektromagnetycznego przy symetrycznym i asymetrycznym obciążeniu maszyny wzbudzonej magnesami trwałymi osiągnięte na etapie symulacji komputerowych pokazano na rysunku 1. Porównanie wartości momentu oraz przyspieszenia drgań umieszczono w tabeli 1.

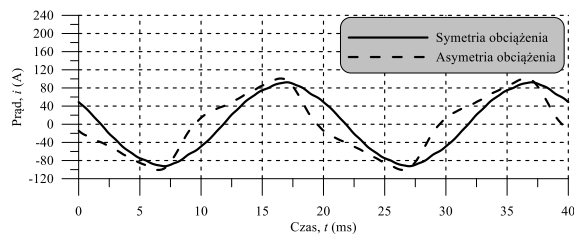


Rys. 1. Moment przy symetrii i asymetrii obciążenia

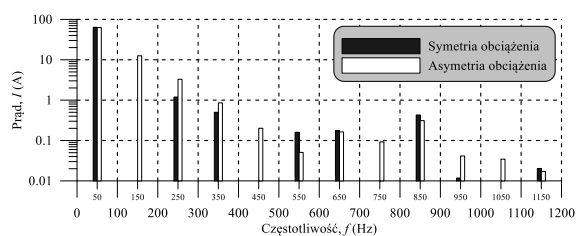
Tabela 1. Wartości momentu przy symetrii i asymetrii obciążenia

	Sym. obc.	Asym. obc.
<b>Maksimum momentu, <math>T_{\max}</math> (Nm)</b>	43,63	46,09
<b>Minimum momentu, <math>T_{\min}</math> (Nm)</b>	32,91	-2,91
<b>Wartość szczyt – szczyt momentu, <math>T_{pp}</math> (Nm)</b>	10,72	49,00
<b>Wartość średnia momentu, <math>T</math> (Nm)</b>	38,04	20,59

Zwiększenie pulsacji momentu zaobserwowane dla asymetrii obciążenia bezpośrednio przekłada się na wzrost poziomu drgań maszyny. Poniżej przedstawiono porównanie przebiegów prądów (Rys. 2.) dla symetrycznego oraz niesymetrycznego obciążenia generatora z magnesami trwałymi oraz porównanie widm częstotliwościowych tych prądów – rysunek 3.



Rys. 2. Prąd przy symetrii i asymetrii obciążenia

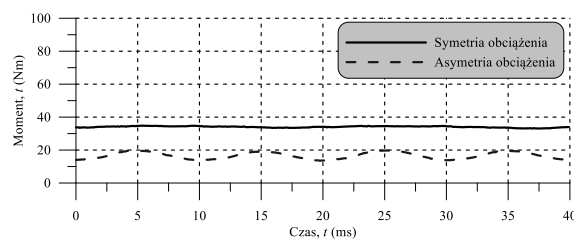


Rys. 3. Widmo częstotliwościowe prądu przy symetrii i asymetrii obciążenia

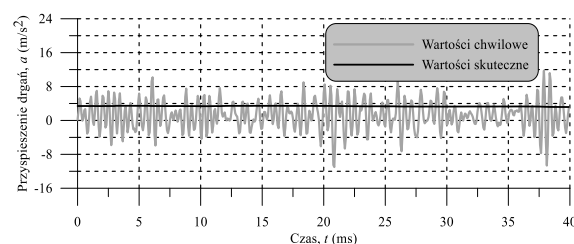
### 3. Badania laboratoryjne

Na rysunkach 4 – 6 przedstawiono moment elektromagnetyczny oraz przyspieszenie drgań przy symetrycznym i asymetrycznym

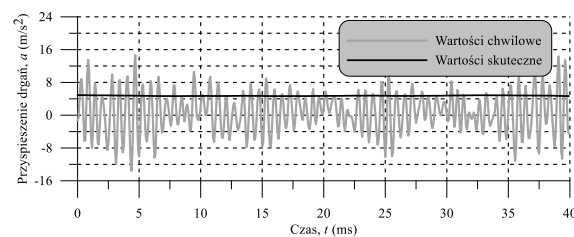
obciążeniu generatora PM Porównanie wartości momentu oraz przyspieszenia drgań umieszczono w tabeli 2.



Rys. 4. Moment przy symetrii i asymetrii obciążenia



Rys. 5. Przyspieszenie drgań przy symetrycznym obciążeniu generatora

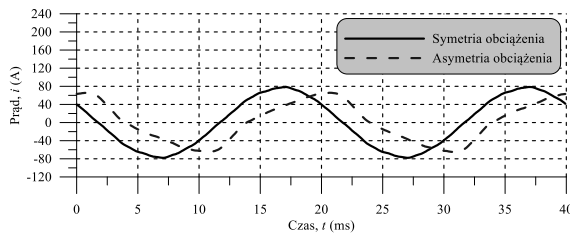


Rys. 6. Przyspieszenie drgań przy asymetrycznym obciążeniu generatora

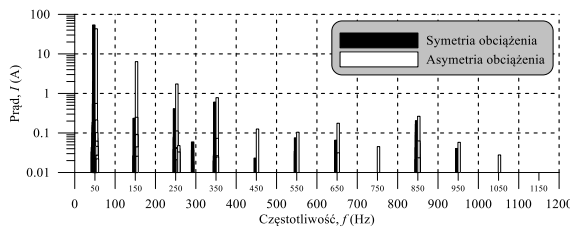
Tabela 2. Wartości momentu i przyspieszenia drgań przy symetrii i asymetrii obciążenia

	Sym. obc.	Asym. obc.
<b>Maksimum momentu, <math>T_{\max}</math> (Nm)</b>	35,13	19,79
<b>Minimum momentu, <math>T_{\min}</math> (Nm)</b>	33,16	13,51
<b>Wartość szczyt – szczyt momentu, <math>T_{pp}</math> (Nm)</b>	1,97	6,28
<b>Wartość średnia momentu, <math>T</math> (Nm)</b>	34,32	16,64
<b>Wartość RMS przyspieszenia drgań, <math>a</math> (m/s²)</b>	3,56	4,96
<b>Maksimum przyspieszenia drgań, <math>a_{\max}</math> (m/s²)</b>	11,81	14,45

Poniżej przedstawiono przebiegi czasowe prądów (Rys. 7.) dla symetrycznego oraz asymetrycznego obciążenia prądnicy z magnesami trwałymi oraz porównanie widm częstotliwościowych tych prądów – rysunek 8.



Rys. 7. Prąd przy symetrii i asymetrii obciążenia



Rys. 8. Widmo częstotliwościowe prądu przy symetrii i asymetrii obciążenia

#### 4. Podsumowanie

Przedstawione wyniki symulacji i badań laboratoryjnych potwierdzają, że asymetria obciążenia generatora wzbudzanego magnesami trwałymi powoduje pojawienie się pulsacji momentu, co ma swoje odzwierciedlenie w zwiększeniu poziomu wibracji [1]. Analiza problemu pozwoliła na wyodrębnienie i opisanie równaniem matematycznym (1) zestawu częstotliwości harmonicznych, których wzrost stanowi swego rodzaju marker dla opisanego zjawiska drgań. Równanie to posłużyło do obliczeń analitycznych zamieszczonych w dalszej części tego rozdziału [3].

$$f_k = (2k - 1) \frac{np}{20} \quad (1)$$

gdzie:

$f_k$  – szukane k-te harmoniczne,  $p$  – liczba par biegunów,  $k$  – liczba naturalna,  $n$  – prędkość obrotowa.

W tabeli 3 umieszczono wartości skuteczne harmonicznych prądu, dla których przy asymetrii obciążenia generatora PM zaobserwowano znaczący wzrost ich wartości. Są to rezultaty symulacji komputerowych.

W tabeli 4 umieszczono wartości skuteczne harmonicznych prądu, dla których przy asymetrii obciążenia generatora PM zaobserwowano znaczący wzrost ich wartości. Są to rezultaty badań laboratoryjnych.

Tabela 3. Wartości skuteczne prądu dla poszczególnych harmonicznych

	Sym. obc.	Asym. obc.	Wzrost %
Harmoniczna prądu, $I_{150}$ (mA)	1,8	12 559,1	697628
Harmoniczna prądu, $I_{450}$ (mA)	0,8	201,4	25075
Harmoniczna prądu, $I_{750}$ (mA)	1,8	92,6	5044
Harmoniczna prądu, $I_{1050}$ (mA)	1,5	3,5	133

Tabela 4. Wartości skuteczne prądu dla poszczególnych harmonicznych

	Sym. obc.	Asym. obc.	Wzrost %
Harmoniczna prądu, $I_{150}$ (mA)	235,0	6379,3	2615
Harmoniczna prądu, $I_{450}$ (mA)	23,2	126,0	443
Harmoniczna prądu, $I_{750}$ (mA)	7,8	45,2	479
Harmoniczna prądu, $I_{1050}$ (mA)	7,9	27,8	252

W tabeli 5 zestawiono porównanie wyników symulacji z wynikami badań laboratoryjnych.

Tabela 5. Harmoniczne charakterystyczne dla niesymetrycznego obciążenia generatora PM

	Bad. lab.	Sym. komp.	Obl. anal.
Częstotliwość podstawowej harmonicznej, $f_{50}$ (Hz)	50,16	50,11	50,16
Harmoniczna, $f_{150}$ (Hz)	150,07	150,11	150,48
Harmoniczna, $f_{450}$ (Hz)	449,80	450,11	451,44
Harmoniczna, $f_{750}$ (Hz)	749,53	750,11	752,40
Harmoniczna, $f_{1050}$ (Hz)	1049,26	1050,11	1053,36

Wyniki podane w powyższych tabelach mają zbliżone wartości. Zarówno badania laboratoryjne, jak również symulacje komputerowe mają poparcie w wynikach otrzymanych przy pomocy opracowanego wcześniej równania matematycznego, co potwierdza, iż można przy jego pomocy selekcjonować tzw. markery dla asymetrii obciążenia generatorów wzbudzanych magnesami trwałymi.

## 6. Literatura

- [1]. Barański M., Decner A., Polak A. *Selected Diagnostic Methods of Electrical Machines Operating in Industrial Conditions*, IEEE TDEI, 5/2014.
- [2]. Barański M., *Problem drgań w generatorach wzbudzanych magnesami trwałymi przy pracy z asymetrycznym obciążeniem – analiza sygnałów własnych*, Przegląd Elektrotechniczny, 11/2015.
- [3]. Barański M., Glinka T., *Sposób diagnozowania drgań wzbudzanych asymetrią obciążenia w prądnicach elektrycznych z magnesami trwałymi*, Zgłoszenie patentowe P. 411942.
- [4]. Goryca Z., Ziółek M., Malinowski M., *Moment zaczepowy wielobiegunowej maszyny z magnesami trwałymi*, Maszyny Elektryczne: Zeszyty Problemowe, 2010.
- [5]. Pistelok P., Rossa R., *Generatory synchroniczne z magnesami trwałymi dedykowane dla małych elektrowni wodnych*, Maszyny Elektryczne: Zeszyty Problemowe, 2/2015.