

Jacek Pochtowski
OPA-ROW sp. z o.o., Rybnik

NAPIĘCIA WAŁOWE I PRĄDY ŁOŻYSKOWE W SILNIKACH PRĄDU STAŁEGO DUŻEJ MOCY – STOSOWANYCH W MASZYNACH WYCIĄGOWYCH

SHAFT VOLTAGES AND BEARING CURRENTS IN HIGH-POWER DC MOTORS – APPLIED ON HOIST MACHINES

Streszczenie: Artykuł opisuje przyczyny, skutki oraz propozycje minimalizacji skutków występowania napięć wałowych i prądów łożyskowych w dużych silnikach prądu stałego zasilanych z przekształtników tyrystorowych stosowanych w maszynach wyciągowych.

W pierwszej części przedstawiono podstawowe przyczyny występowania napięć wałowych oraz prądów łożyskowych w silnikach prądu stałego zasilanych z przekształtników tyrystorowych stosowanych w maszynach wyciągowych. W dalszej części opisano sposoby pomiaru napięć wałowych oraz prądów łożyskowych wykorzystywanych przez autora artykułu, przedstawiono wady i zalety ww. metody.

W artykule opisano przykład nieprawidłowego działania układu sterowania maszyny wyciągowej spowodowanej występowaniem napięć wałowych. Przedstawiono jedną z metod minimalizacji skutków występowania napięć wałowych i prądów łożyskowych w łożyskach głównych maszyn wyciągowych, zapewniającą zwiększenie bezpieczeństwa i niezawodność ww. układu. W artykule przedstawiono wyniki pomiarów układów napędowych wykorzystujących kilka typów silników prądu stałego.

Abstract: This short document describes the causes, effects and proposals for minimizing the effects of shaft and bearing currents in large DC motors powered by thyristor converters used in hoisting machines. The article describes an incorrect operation of the winding machine control system caused by the occurrence of shaft voltages generated by the common mode (asymmetric). It presents one of the ways to minimize the effects of the occurrence of shaft voltages and bearing currents in the main bearings hoisting machines, providing increased safety and reliability of the system.

Słowa kluczowe: maszyny elektryczne prądu stałego, maszyny wyciągowe, przekształtniki tyrystorowe, napięcia wałowe, prądy łożyskowe, zaburzenia przewodzone, zaburzenia wspólne

Keywords: DC electric machines, hoisting machines, thyristor converters, shaft voltages, bearing currents, conducted disturbance, common mode

1. Wstęp

Ostatnie 15 lat było dla polskiego górnictwa okresem intensywnego rozwoju technicznego pod kątem modernizacji i budowy maszyn wyciągowych. Układy Leonarda i przekształtniki tyrystorowe typu Jantar (pierwszy zabudowany w 1974 roku) [1], są zastępowane nowymi przekształtnikami tyrystorowymi m.in. typu PJG. Rozwój ten wiąże się z nowymi zadaniami i problemami, jednym z nich jest kompatybilność elektromagnetyczna EMC urządzeń, jak i całych układów sterowania oraz powiązane z tym zjawisko występowania napięć wałowych i prądów łożyskowych w silnikach ang. Electrical Discharge Machining EDM.

Zjawisko występowania napięć wałowych i prądów łożyskowych jest znane i szeroko opisywane od początku lat dwudziestych poprzed-

niego wieku [2]. Większość publikacji skupia się na silnikach asynchronicznych zasilanych napięciem sieciowym lub z przemienników częstotliwości. Trudno jest znaleźć publikacje opisujące zjawiska EDM występujące w silnikach prądu stałego w tym zasilanych z przekształtników tyrystorowych, jednakże fizyka opisywanych zjawisk jest analogiczna dla wszystkich typów maszyn elektrycznych.

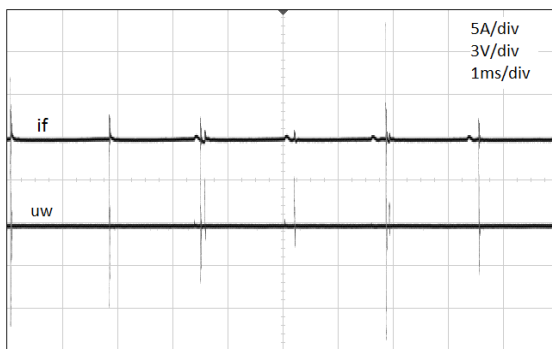
2. Napięcia wałowe i prądy łożyskowe

W publikacjach [2,3,4,5] autorzy przywołują kilka przyczyn powstawania napięć wałowych i prądów łożyskowych w silnikach elektrycznych m.in. asymetria magnetyczna stojana lub/i wirnika. W przypadku maszyn wyciągowych zasilanych z układu Leonarda i wzbudnic elektromaszynowych, gdzie prędkość obrotowa

nie przekracza 90 obr/min, zjawisko asymetrii magnetycznej nie powoduje negatywnych skutków. Wydawałoby się, że problem prądów łożyskowych i napięć wałowych nie dotyczy ww. maszyn prądu stałego, jednakże zastosowanie przekształtników w obwodzie wzbudzenia oraz w obwodzie głównym, wprowadza zaburzenia wspólne ang. CM – common mode (asymmetric) w zakresie wyższych częstości. W literaturze można znaleźć wiele wyjaśnień tego terminu [5]:

Zaburzenia wspólne wytworzone w przekształtnikowych układach napędowych powstają w wyniku pasożytniczych, pojemności sprzężeń doziemnych i dlatego zazwyczaj najbardziej znaczące składowe ich widma występują w zakresie wyższych częstotliwości. Wielka częstotliwość tych zaburzeń powoduje, że szczególnie podatne na zakłócenia są obwody sterowania i zabezpieczenia układów... W przekształtnikowych układach napędowych powodem, dla którego powstaje napięcie na wale, jest chwilowa elektryczna niesymetria układu... Powstające w wyniku tej niesymetrii napięcie zaburzeń wspólnych przenosi się na wał w wyniku wewnętrznych sprzężeń pojemnościowych silnika...

Na rysunku przedstawiono prąd zaburzeń wspólnych przekształtnika tyrystorowego 12-pulsowego obwodu głównego oraz generowane przez nie napięcia wałowe.

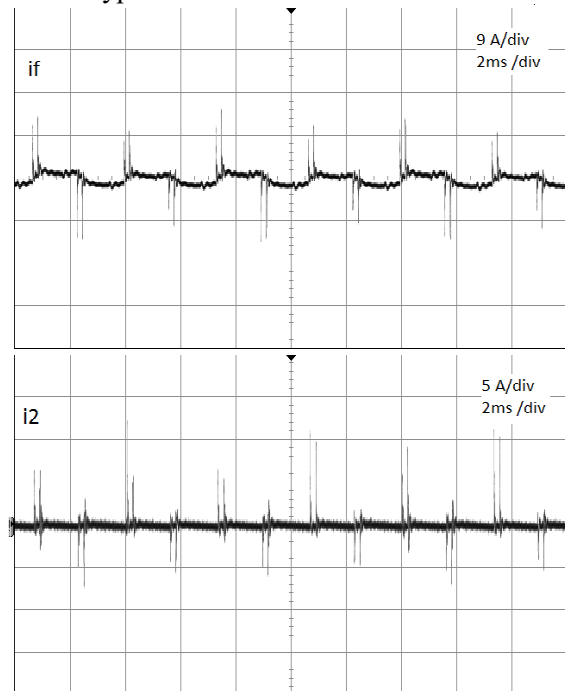


Rys. 1. Prąd zaburzeń wspólnych oraz napięcie wałowe – przekształtnik 12-pulsowy

Przeprowadzona analiza kilkudziesięciu maszyn wyciągowych pozwoliła określić autorowi wpływ m.in.:

- topologii przekształtnika (m.in. ilość tyrystorów równoległych),
- wartości chwilowej prądu przekształtnika,
- długości obwodu DC (przekształtnik – silnik),

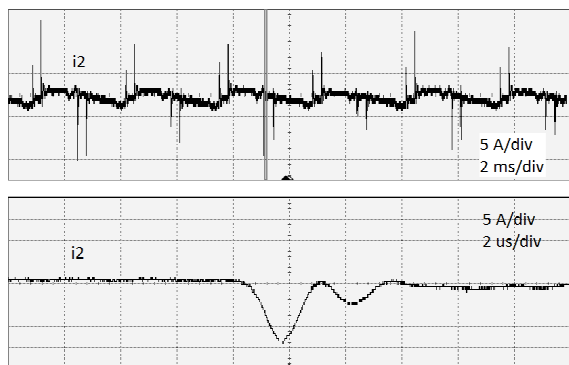
- symetrii obwodu DC (przekształtnik – silnik),
 - stanu łożysk ślizgowych (m.in. grubości filmu olejowego w panewce),
 - typu silnika (m.in. ilość łożysk),
- na wielkość zaburzeń wspólnych oraz prądów łożyskowych generowanych przez przekształtniki tyrystorowe. Na rysunku nr 2 przedstawiono przebieg prądu zaburzeń wspólnych przekształtnika 12-pulsowego ($I_n=7000A$, $U_n=650V$, układ PUNG) oraz prąd łożyskowy silnika typu PW-103/01.



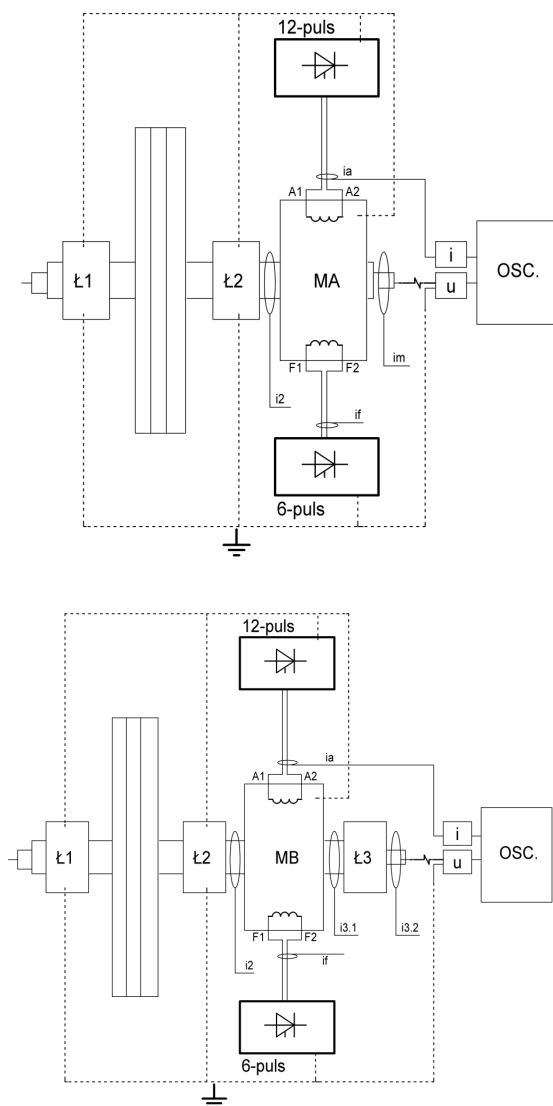
Rys. 2. Prąd zaburzeń wspólnych oraz prąd łożyskowy – przekształtnik 12-pulsowy

W analogicznym układzie ze zmienionym obwodem DC (większa niesymetria) zaburzenia oraz prądy są dwukrotnie większe. Na innym obiekcie podobne zjawisko zaobserwowano w przypadku zmian w stanie łożyska (panewek), gdzie różnica prądów łożyskowych jest nawet 3-krotnie większa, pomiędzy dwoma analogicznymi maszynami wyciągowymi.

Z przeprowadzonych pomiarów na napędach z dwoma/trzema łożyskami (rys.4) oraz z różnymi przekształtnikami (topologia, prąd znamionowy, napięcie znamionowe) wartości prądów zaburzeń mieszczą się od kilku do nawet kilkudziesięciu amperów wartości międzyszczytowej, a napięcie wałowe do 30V wartości międzyszczytowej przy naroście sięgającym mikrosekund.



Rys. 3. Prąd zaburzeń wspólnych przekształtnika tyrystorowego 12-pulsowego



Rys. 4. Rzuty napędów maszyn wyciągowych z dwoma/trzema łożyskami



Rys. 5. Pomiar napięcia wałowego oraz prądu łożyskowego przy łożysku Ł2

3. Pomiar napięć wałowych i prądów łożyskowych

Pomiar na silnikach prądu stałego dużej mocy stosowanych w maszynach wyciągowych jest problematyczny i trudny ze względu na średnice wału od 150 do 600 [mm] oraz dostępność miejsca. W przeprowadzonych pomiarach napięć wałowych wykorzystano sondę z przewodzącym mikrowłóknem rys. 5 oraz złącze obrotowe rys.6. Zastosowane złącze obrotowe wykorzystano do pomiaru napięć na dostępnych końcach wału, a sondę z przewodzącym mikrowłóknem do pomiaru napięć na wale między silnikiem a łożyskiem. Wyniki pomiarów napięć wałowych ww. metodami są analogiczne. Pomiar prądów wykonywano dwoma metodami stosując cewkę Rogowskiego opasującą wał przy łożysku rys. 5 oraz sondę prądową mierzącą prąd płynący przez złącze obrotowe rys. 6. Zastosowanie dwóch metod pomiarowych pozwoliło określić m.in. rozptył prądu w łożysku. W przypadkach gdzie pomiar prądu był wykonywany przez cewkę Rogowskiego umieszczoną z jednej strony łożyska, a za łożyskiem przy pomocy złącza obrotowego, zaobserwowano rozbieżności w wartości, wynikające z częściowego przepływu prądu przez złącze i łożysko - film olejowy.



Rys. 6. Pomiar prądu poprzez złącze obrotowe

4. Nieprawidłowe działanie układu sterowania maszyny

Jednym z negatywnych skutków występowania napięć wałowych wynikających z zaburzeń wspólnych jest zakłócanie układów sterowania m.in. pomiaru prędkości obrotowej poprzez enkodery zabudowane na dostępnych końcach wału maszyny rys.6. Zaburzenia generowane na wale powodują poprzez pojemności doziemne fałszywe impulsy w układzie pomiarowym, co prowadzi do błędnego odczyt prędkości. Analiza występowania takiego typu zakłócenia jest trudna, a z doświadczenia pojawienie się ww. zakłóceń może nastąpić nawet po kilku latach eksploatacji maszyny np. po wymianie panewki w łożysku. Zmiana ta powoduje zmianę rozpręgnięcia ww. zaburzeń.

Jednym z proponowanych rozwiązań tego problemu jest ukierunkowanie zaburzeń poprzez uziemienie wału. W latach 80 i 90 poprzedniego wieku zaczęto stosować szczotki węglowe do uziemienia wału. To rozwiązanie nie jest do końca skuteczne ze względu na względnie dużą rezystancję przejścia i wysokie częstotliwości zaburzeń wspólnych. Najprostszym rozwiązaniem jest uziemienie wału poprzez złącze obrotowe przy enkoderze. Zastosowanie złącza obrotowego uziemia punktowo wał, co zabezpiecza enkoder oraz układ sterowania od zakłóceń generowanych na wale. Dodatkowo połączenie złącza obrotowego z uziemieniem powinno być wykonane przez przewody niskiindukcyjne i jak najkrótsze.

5. Wnioski

W niniejszym artykule przywołano pomiary na napędach, na których nie występowała asyme-

tria magnetyczna. Opisano przyczyny oraz skutki występowania napięć wałowych oraz prądów łożyskowych generowanych przez zaburzenia wspólne. Zastosowanie złącza obrotowego nie eliminuje przepływu prądów łożyskowych, które powodują m.in. starzenie się oleju (pojawienie się grafitu), co skutkuje potrzebą częstszej jego wymiany oraz może przyczynić się w ostateczności do zatarcia łożyska. Z przeprowadzonych pomiarów wynika, że uziemienie wału nie może być punktowe, powinno być wykonane w kilku miejscach wału np. przez dostępne na rynku specjalne pierścienie zwierające opasające wał, jednak przy średnicach wałów występujących w maszynach wyciągowych rozwiązanie jest bardzo drogie. Wydaje się, że najlepszym rozwiązaniem zmniejszenia efektu EDM jest eliminacja zaburzeń u źródła lub częściowe zmniejszenie poprzez zastosowanie filtra EMC/EMI, zachowanie symetrii obwodu elektrycznego oraz zmniejszenie odległości pomiędzy silnikiem, a przekształtnikiem.

6. Literatura

- [1]. S. Gierlotka "Elektryczny napęd maszyn wyciągowych w kopalniach i jego stuletnia historia", *Maszyny Elektryczne - Zeszyty Problemowe*, nr 72, 2005.
- [2]. T. Plazenet, T. Boileau, C. Caironi S. "An overview of shaft voltages and bearing currents in rotating machines", Babak Nahid-Mobarakeh. Publication Year: 2016, Page(s):1 - 8.
- [3]. J. A. Lawson "Motor Bearing Fluting", in. Conference Record of 1993 Pulp & Paper Industry. Technical Conference, IEEE Industrial Application Society, pp. 32-35.
- [4]. I. Kerszenbaum "Shaft Currents in Electric Machines. Fed by Solid-state Drives", Senior Member, IEEE. 1 Echo Run, Irvine, CA 92714.
- [5]. A. Kempki, "Elektromagnetyczne zaburzenia przewodzone w układach napędów przekształtnikowych", Monografie (Wydział Elektrotechniki, Informatyki i Telekomunikacji Uniwersytetu Zielonogórskiego) Oficyna Wydawnicza Uniwersytetu Zielonogórskiego, 2005.

Autor

mgr inż. Jacek Pochtowski
Zespół Maszyn Wyciągowych
OPA-ROW sp. z o.o.
ul. Rymera 40c, 44-270 Rybnik
e-mail: j.pochtowski@opa-row.pl

