

# Optymalizacja konstrukcji dławików rdzeniowych w filtrach sinusoidalnych typu FluxSIN

Mirosław Łukiewski

Rodzaj zastosowanego materiału magnetycznego oraz przyjęte w dławiku rozwiązania konstrukcyjne definiują podstawowe cechy użytkowe filtrów, między innymi straty powstające w filtrze, liniowość magnetyczną czy wartość pola akustycznego wokół dławika. Artykuł przedstawia wyniki symulacji parametrów pasywnych filtrów sinusoidalnych typu FluxSIN z rdzeniami o konstrukcji wieloszczelinowej. Analizę porównawczą wykonano dla dławików z rdzeniami z izotropowych i anizotropowych blach krzemowych na podstawie obliczeń symulacyjnych wykonanych w programie RALE Engineering GmbH [1].

## Filtry typu FluxSIN w układach napędowych

Zasilanie układów napędowych za pomocą przekształtników częstotliwości z modulacją impulsów wyjściowych (PWM – *Pulse Width Modulation*) jest powszechne. Napięcie powstające w wyniku takiej modulacji nie ma przebiegu sinusoidalnego, jest ciągiem impulsów napięciowych o bardzo dużej stromości narastania. Rzeczywiste impulsy napięcia nie mają teoretycznego, prostokątnego kształtu z uwagi na to, iż kluczkowanie przekształtnika wywołuje oscylacje w obwodzie. Powstające w ten sposób przepięcia komutacyjne zależą od parametrów obwodu i mogą osiągać wartości zdecydowanie wyższe od napięcia znamionowego. Powyższe specyficzne warunki zasilania silnika wywołują cały szereg zagrożeń i niekorzystnych oddziaływań – przyspieszoną degradację izolacji silnika i kabla, wzrost strat dodatkowych i hałasu silnika. Wysokie częstotliwości komutacji napięcia powodują obniżenie impedancji kabla zasilającego, a tym samym wzrost prądu płynącego przez pojemności pasozytne. Przy długich liniach kablowych zasilających silnik prowadzi to do przeciążenia falownika [2].

Firma FLUXCOM JEE posiada w swojej ofercie filtry sinusoidalne typu FluxSIN, przeznaczone do pracy w obwodzie wyjściowym falownika, które eliminują niekorzystne oddziaływanie napięcia niesinusoidalnego na silnik, kabel zasilający i falownik (rys. 1). Oprócz oferty katalogowej istnieje możliwość dostarczenia filtra nietypowego, dostosowanego do indywidualnych parametrów napędu lub specyficznych warunków pracy.

## Symulacje konstrukcyjne filtrów FluxSIN

Wykonano symulacyjne obliczenia porównawcze w programie RALE, przeznaczonym do projektowania elementów indukcyjnych, dla filtra sinusoidalnego, wykorzystując do budowy rdzenia izotropowe i anizotropowe blachy krzemowe [3]. Obliczenia wykonano dla filtra typu FluxSIN przeznaczonego do pracy z falownikiem o mocy 15 kW (rys. 2). Do symulacji przyjęto częstotliwość kluczkowania falownika  $f_k = 4$  kHz i wynikające z analizy obwodowej amplitudy harmonicznych napięcia. We wszystkich symulacjach zakłada się rdzeń



Rys. 1.  
Trójfazowy filtr typu FluxSIN, rdzeń anizotropowa blacha krzemowa ET150-30 (FeSi 3,2%)

wykonany w technologii wieloszczelinowej klejonej o stałej ilości szczelin, uzwojenie wykonano przewodem profilowym miedzianym. W tabelicy 1 zestawiono wyniki symulacji wpływu zastosowanego materiału magnetycznego rdzenia na straty, masę oraz koszt filtra.

Zależnie od warunków pracy i przeznaczenia filtra możemy, wybierając odpowiedni materiał rdzenia, uzyskać znaczne ograniczenie wymiarów, masy i wartości strat mocy w filtrze. Możemy również zdecydować się na obniżenie ceny elementu kosztem wybranych pozostałych parametrów.

Ograniczenie wartości strat mocy szczególnie ważne jest w filtrach przeznaczonych do pracy w obudowach szczelnych w warunkach górniczych czy kolejowych, gdzie trudne jest chłodzenie elementów i odprowadzenie strat z obudowy.

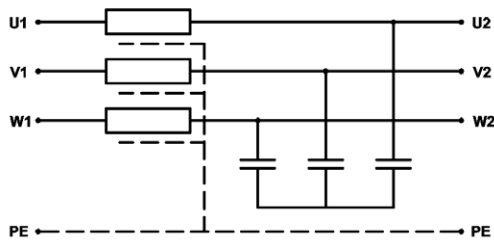
Bliski zera współczynnik magnetostrykcji blachy o zawartości krzemu 6,5% pozwala zaprojektować dławik przy wyższej indukcji w rdzeniu bez zagrożenia wystąpieniem silnego pola akustycznego podczas pracy filtra [4].

Tablica 1. Wyniki symulacji wpływu materiału rdzenia na własności dławika pracującego w filtrze sinusoidalnym

Parametr	Materiał rdzenia		
	ET150-30	M330-50A	10HF600
Grubość blachy	0,3 mm	0,5 mm	0,1 mm
Skład materiału	FeSi 3,2%		FeSi 6,5%
Wsp. magnetostrykcji	$-1,0 \times 10^{-6}$ (1T)		~ 0
Straty całkowite	130 W	140 W	94 W
Masa dławika	10,8 kg	12,6 kg	8,7 kg
Wsp. kosztów	100%	88%	137%

## Niskostratny rdzeń wieloszczelinowy

Właściwe określenie strat mocy dławika jest złożonym zagadnieniem projektowym. Powodem trudności wyliczeń jest występowanie strumienia rozproszenia wokół szczelin powietrznych występujących w rdzeniu. Strumień ten wywołuje dodatkowe straty mocy w materiale rdzenia, ferromagnetycznych lub przewodzących elementach konstrukcyjnych oraz w uzwojeniu



Rys. 2. Schemat trójfazowego filtra typu FluxSIN

dławika. W skrajnych przypadkach rozproszenie dławika może powodować sprzężenie strumienia rozproszenia z ferromagnetycznymi elementami znajdującymi się w pobliżu dławika (np. obudowa), wywołując w nich straty mocy. Straty tak powstające mają charakter wirowy i histerezy. Klasycznym rozwiązaniem technologicznym ograniczającym straty w rdzeniu jest zastosowanie materiału magnetycznego o bardzo wąskiej pętli histerezy, co zapewnia niskie straty histerezy oraz pakietowanie rdzenia z izolowanych blach o możliwie małej grubości w kierunku przebiegu strumienia. Takie zabiegi obniżające straty sprawdzają się w rdzeniach transformatorowych. W przypadku rdzeni dławików, gdzie mamy do czynienia z nieciągłością rdzenia w miejscach szczelin powietrznych samo pakietowanie i dobre parametry materiału magnetycznego już nie wystarczają. W obszarach przyszczelinowych występuje zmiana kierunku przebiegu strumienia. Wywołuje to intensywne powstawanie strat o podłożu wirowym w materiale rdzenia, uzwojeniu oraz elementach przewodzących znajdujących się w zasięgu strumienia rozproszenia [5].

W przypadku dławików, stanowiących część układu rezonansowego LC w filtrze, ważnym parametrem użytkowym jest liniowość charakterystyki magnetycznej dławika. Uzyskanie wymaganej liniowości charakterystyki często wymusza zastosowanie szerokich szczelin powietrznych w rdzeniu, co prowadzi do zwiększenia strat mocy i wzrostu temperatury, zwłaszcza w obszarach przyszczelinowych. Występowanie znacznych różnic temperatury pomiędzy poszczególnymi obszarami rdzenia, uzwojenia czy konstrukcji dławika jest bezpośrednim następstwem generowania w określonych obszarach intensywnych dodatkowych strat mocy. W przypadku klasycznych konstrukcji rdzeni dławikowych niełatwo wyznaczyć wartości strat i temperatury metodami analitycznymi. Trudno wyliczalne dodatkowe straty mocy, związane z nadmiernym strumieniem rozproszenia wokół szczelin, mogą przewyższać straty

podstawowe występujące w rdzeniu i uzwojeniu dławika.

Na rdzeń magnetyczny przemagnesowywany okresowo działają siły magnetyczne i magnetostrykcyjne. Siły wytwarzają zmienne napięcia w blachach rdzenia i wywołują drgania elementów konstrukcji, czego konsekwencją jest pole akustyczne wokół dławika [6]. Wielkość sił magnetycznych i magnetostrykcyjnych zależy od maksymalnych lokalnych wartości indukcji magnetycznej, szczególnie w obszarach, gdzie występują zaburzenia kierunku przebiegu strumienia w rdzeniu. Lokalnie w rdzeniu może dochodzić do znacznego wzrostu indukcji. Okresowe nasycenie fragmentów magnetostruktury i związane z tym tworzenie się lokalnych ognisk strat i drgań są trudne do opanowania bez dokładnej analizy modelu cieplnego dławika i zmian w technologii produkcji rdzenia.

Konstrukcja wieloszczelinowa typu FluxCORE pozwala uniknąć otworowania rdzenia w obszarze uzwojonej kolumny. Precyzyjne klejenie segmentów kolumny umożliwia zastosowanie większej ilości wąskich szczelin w rdzeniu. Ograniczeniu w ten sposób ulega pole rozproszenia wokół szczelin i starty dodatkowe w obszarach przyszczelinowych rdzenia, uzwojeniu i elementach konstrukcyjnych filtra. Zastosowanie niskostratnej taśmy krzemowej o niewielkiej grubości dodatkowo znacznie ogranicza straty wirowe w rdzeniu.

## Literatura

- [1] HADZIMANOVIC R.: *Designing Motor Filter Chokes with Rale Design System*, www.rale.ch/example.
- [2] TRAJDOS M., PASTUSZKA R., SOSNOWSKI I.: *Znaczenie pojemności kabla w układach zasilających silniki indukcyjne za pośrednictwem przekształtników częstotliwości*. ZP-ME Nr 74/2006.
- [3] Blachy i taśmy elektrotechniczne, www.stalprodukt.com.
- [4] ŁUKIEWSKI M.: *Hałas dławików indukcyjnych*. „Napędy i Sterowanie” 12/2008.
- [5] KAZIMIERCZUK M.K.: *High-frequency magnetic components*. 2009 A John Wiley and Sons, Ltd.
- [6] JEZERSKI E. (RED.): *Budowa i obliczanie rdzeni transformatorów energetycznych*, WNT, Warszawa 1979. ■

✉ Miroslaw Łukiewski

e-mail: mlukiewski@fluxcom.pl

**FLUXCOM JEE**

42-286 Koszęcin, ul. Jodłowa 10

tel. 606 388 350

e-mail: fluxcom@fluxcom.pl, www.fluxcom.pl

reklama