

Nisko-stratne elementy indukcyjne a efektywność ekonomiczna kompensacji mocy biernej

Elementy indukcyjne występujące w urządzeniach kompensacji mocy biernej są głównym źródłem strat mocy czynnej kompensatorów. Zastosowanie nowoczesnych rozwiązań technologicznych w procesie produkcji dławików decyduje o efektywności ekonomicznej kompensacji mocy biernej. Firma TRAFECO Sp. J. jest producentem nisko-stratnych dławików kompensacyjnych typu 3RTC oraz dławików rezonansowych typu 3RTR przeznaczonych do pracy w urządzeniach kompensacji mocy biernej.

Rzeczywiste koszty elementów indukcyjnych

Rzeczywisty koszt dławików kompensacyjnych zawiera składniki związane z inwestycją i eksploatacją. Część inwestycyjna kosztów używana przez producentów w trakcie gry rynkowej jest ceną dławika, która stanowi niewielki element całkowitych kosztów. Ukryty lub niedostatecznie artykułowany jest koszt eksploatacji elementów indukcyjnych wynikający bezpośrednio z ich konstrukcji. Dławiki indukcyjne występujące w urządzeniach kompensacyjnych decydują o ich sprawności, gdyż są głównym źródłem strat mocy w urządzeniu. Ograniczenie nadmiernych, rzeczywistych strat mocy dławików wpływa nie tylko na trwałość i niezawodność urządzenia kompensacyjnego, ale przede wszystkim poprawia wynik ekonomiczny całego procesu kompensacji.

Dążenie do obniżenia ceny elementów indukcyjnych popycha producentów do kolejnych uproszczeń konstrukcji dławików. Powstają w ten sposób elementy indukcyjne niskiej jakości o wysokich stratach, w których dynamika przyrostu strat dodatkowych przy pojawieniu się wyższych harmonicznych prądu i napięcia w obwodzie jest bardzo duża. Straty dodatkowe w tak uproszczonych konstrukcyjnie i technologicznie elementach indukcyjnych rosną bardzo szybko i są często przyczyną uszkodzeń lub nieprawidłowej pracy urządzeń kompensacyjnych.

Tabela 1. przedstawia porównanie całkowitych kosztów dławika kompensacyjnego o mocy 50kvar, w wykonaniu

Parametr	3RTC – 50kvar/400V T40F	
	klasyczny	nisko-stratny
Straty dławika	1200 W	550 W
Koszt inwestycyjny - cena	8 000 zł	10 000 zł
Koszty eksploatacyjne 1 rok	3 600 zł	1 660 zł
Koszty eksploatacyjne 5 lat	18 000 zł	8 300 zł
Całkowite koszty w okresie 5lat	26 000 zł	18 300 zł

Tabela 1. Porównanie kosztów dławika kompensacyjnego typu 3RTC-50kvar/400V, wykonanie klasyczne i nisko-stratne



Rys 1. Nisko-stratny dławik kompensacyjny typu 3RTC z rdzeniem w technologii wieloszczelinowej CorECO™ ograniczającej straty.

klasycznym oraz nisko-stratnym. Założono, iż dławik pracuje 12h/dobę a cena energii wynosi 70gr/kWh. Ograniczenie strat pozwala znacznie obniżyć duże koszty eksploatacyjne, które w okresie kilku lat trzykrotnie przewyższają cenę zakupu dławika.

Wykonanie nisko-stratnego dławika kompensacyjnego pociąga za sobą wzrost kosztów inwestycyjnych, o 25%, co daje sumę około 2000 złotych. Nisko-stratna konstrukcja dławika pozwala jednak ograniczyć koszty eksploatacyjne o, blisko 30% czyli w pięcioletnim okresie eksploatacyjnym oszczędzamy sumę blisko 7 700 złotych. Jak widać koszty eksploatacyjne to duże straty energii, które należy brać pod uwagę bilansując planowane oszczędności wynikające z kompensacji mocy biernej.

Nisko-stratne dławiki rezonansowe i kompensacyjne

Dławiki kompensacyjne i dławiki rezonansowe (Rys.2), jako elementy urządzeń kompensacyjnych pracują w bardzo różnych warunkach zależnie od parametrów energii elektrycznej w miejscu przyłączenia do sieci [1].

Straty dławików zależą silnie od zawartości harmonicznych w prądzie

Parametr	3RTC – 50kvar/400V T40F	
	klasyczny	nisko-stratny
Uzwojenie	4x10 mm	4x (2,5x5) mm
Straty w uzwojeniu	810 W	450 W
Rdzeń	4 szczeliny	CoreECO™
Straty w rdzeniu	390 W	100 W
Indukcja w rdzeniu	1,2 T	1,0 T
Max. przyrost temperatury	92 K	80 K
Masa dławika	~200 kg	~ 240 kg

Tabela 2. Porównanie parametrów technicznych dławika kompensacyjnego typu 3RTC-50kvar/400V, wykonanie klasyczne i nisko-stratne

dławika . W trakcie obliczeń niezwykle ważne jest właściwe określenie widma harmonicznych prądu w obwodzie dławika oraz amplitud tych harmonicznych zgodnie z rzeczywistymi warunkami pracy.

Tylko wówczas, gdy do projektu przyjęty zostanie rzeczywisty kształt napięcia i prądu, dławik będzie pracował poprawnie, osiągnie założone temperatury a wyliczone straty znajdą potwierdzenie podczas eksploatacji. [2,3]. Dobrym rozwiązaniem jest wykonanie pomiarów parametrów energii elektrycznej w planowanym miejscu pracy dławików, które pozwolą jednoznacznie i bezbłędnie określić warunki

pracy elementów indukcyjnych.

W uzwojeniu dławika, w którym płyną prądy harmoniczne o stosunkowo wysokich częstotliwościach występuje efekt naskórkowości (ang. Skin effect) oraz efekt zbliżenia (ang. Proximity effect). Zjawiska te mają istotny wpływ na wartość strat w uzwojeniach dławików a ich zrozumienie pozwala prawidłowo zaplanować ułożenie przewodów. Efekt naskórkowości wywołuje przepływ prądu jedynie w warstwie powierzchniowej przewodów, a grubość warstwy przewodzącej maleje ze wzrostem częstotliwości.

Ograniczenie zjawiska naskórkowości realizuje się stosując uzwojenia nawijane wiązką równoległych, izolowanych przewodów. Przekrój pojedynczego przewodu w wiązce definiowany jest w zależności od głębokości wnikania prądu na powierzchni przewodu. Głębokość wnikania prądu (δ) zależy od częstotliwości (f), przenikalności magnetycznej (μ , μ_v , μ_r) oraz konduktywności (σ) przewodnika [4].

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega\mu\sigma}} = \frac{1}{\sqrt{\pi f \mu_r \mu_v \sigma}} \quad (1)$$

Na straty w rdzeniu magnetycznym dławika składają się podstawowe straty histerezy i wiropądowe oraz dodatkowe straty związane ze strumieniem rozproszenia, występujące zwłaszcza w miejscach nieciągłości rdzenia. Ograniczenie strat wiropądowych poprzez pakietowanie rdzenia z cienkich, izolowanych blach w przypadku dławików nie wystarcza. W obszarach przyszczelinowych występuje zmiana kierunku przebiegu strumienia, który generuje dodatkowe straty wiropądowe w materiale rdzenia, uzwojeniu oraz w przewodzących elementach konstrukcyjnych.



Rys 2. Nisko-stratny dławik rezonansowy typu 3RTR 7% z rdzeniem w technologii wieloszczelinowej CorECO™ ograniczającej straty.

W rdzeniu magnetycznym przemagnesowywanym okresowo występują siły magnetyczne i magnetostrykcyjne. Wielkość sił magnetycznych i magnetostrykcyjnych zależy od maksymalnych, lokalnych wartości indukcji magnetycznej w rdzeniu. Działające siły wywołują zmienne naprężenia w blachach rdzenia, co skutkuje drganiami elementów konstrukcji i polem akustycznym wokół dławika.

CorECO™ jest nisko-stratną technologią montażu i pakietowania wieloszczelinowych rdzeni dławikowych, która umożliwia zdecydowane ograniczenie strat w rdzeniu przy jednoczesnym zmniejszeniu intensywności pola akustycznego wokół dławika [5]. Ograniczenie strat uzyskuje się poprzez zastosowanie wielu wąskich szczelin oraz optymalizację ich rozmieszczenia [6,7].

Tabela 2. Przedstawia parametry techniczne dławika kompensacyjnego o mocy 50kvar wykonanego w technologii klasycznej oraz nisko-stratnej metodzie montażu i pakietowania rdzenia CorECO™. Uzwojenie dławika również zaprojektowane zostało w sposób ograniczający stra-

ty dodatkowe wynikające z obecności harmonicznych prądu (ang. Skin effect). Dzięki kompleksowym działaniom technologicznym ograniczającym straty, obniżenie strat łącznych dławika sięga 50%.

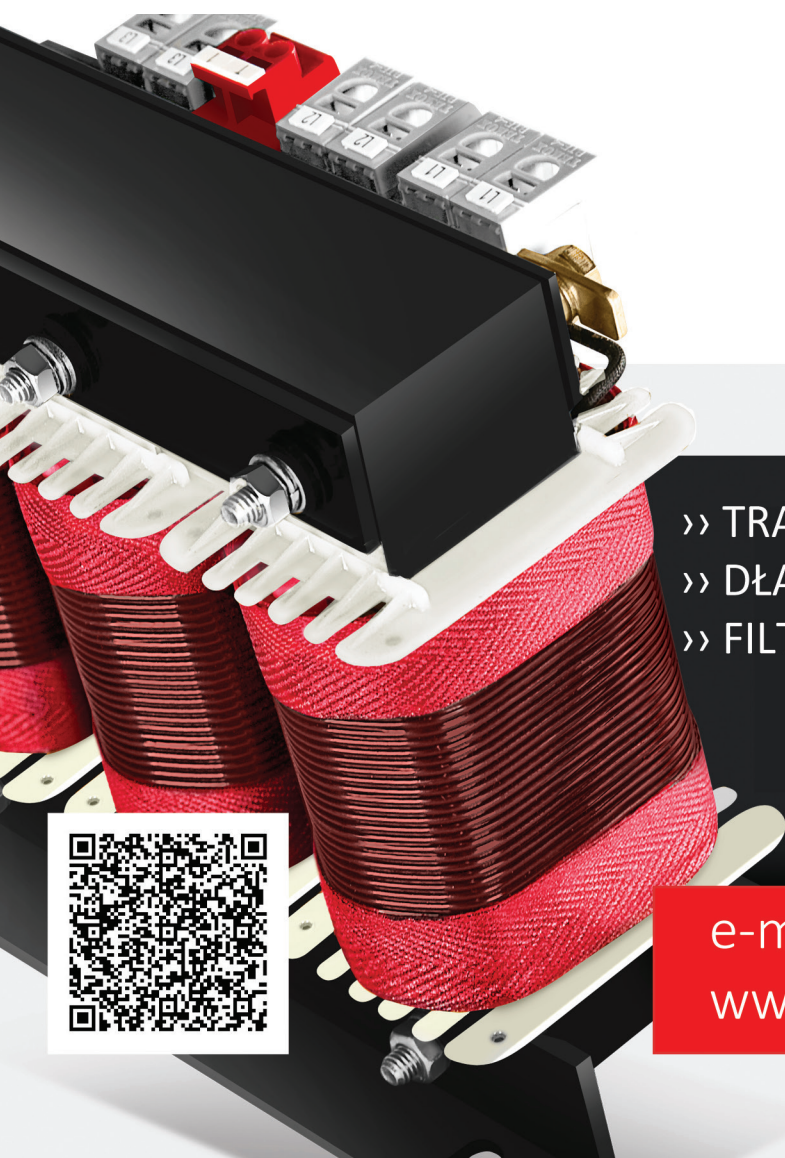
Firma TRAFECO Sp. J. produkuje oprócz, wysokiej jakości dławików rezonansowych i kompensacyjnych również nietypowe elementy induk-

cyjne zaprojektowane według indywidualnych specyfikacji, dedykowane do pracy w specjalnych lub trudnych warunkach eksploatacji.

Mirosław Łukiewski
m.lukiewski@trafeco.pl
TRAFECO Sp. J.
www.trafeco.pl ■

Literatura

- [1] Hanzelka Z., Jakość dostaw energii elektrycznej. Zaburzenia wartości skutecznej napięcia. AGH, Kraków 2013
- [2] Łukiewski M., Kompensacja mocy biernej pojemnościowej z zastosowaniem dławików indukcyjnych; Napędy i Sterowanie 11/2005
- [3] Łukiewski M., Dobór dławików ochronnych do baterii pojemnościowych, Napędy i Sterowanie nr 4/2004
- [4] Kazimierzczuk M.K., High-frequency magnetic components, 2009 A John Wiley and Sons, Ltd.
- [5] Łukiewski M., Hałas dławików indukcyjnych; Napędy i Sterowanie 12/2008
- [6] Xingkui Mao, Wei Chen, Yunxiu Li, Winding Loss Mechanism Analysis and Design for New Structure High-Frequency Gapped Inductor, IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 41, No. 10, October 2005
- [7] Łukiewski M., Łukiewska A., Pawlaczyk L., Wieloszczelinowe rdzenie w dławikach filtrów sinusoidalnych; ME-ZP Nr2/2017 (114), KOMEL 2017



trafeco

Transformers & Inductive Components

- » TRANSFORMATORY
- » DŁAWIKI
- » FILTRY SINUS SinECO™
- » FILTRY WYŻSZYCH HARMONICZNYCH ThdECO™
- » URZĄDZENIA SPECJALNE

e-mail: info@trafeco.pl
www.trafeco.pl

