

Lech Górecki, Barbara Górnicka, Jadwiga Zawadzka, Barbara Czołowska
Instytut Elektrotechniki, Wrocław

BADANIA NAD MODYFIKACJĄ PRZEWODU EMALIOWANEGO PRZEZNACZONEGO DO PRACY W UKŁADACH IZOLACYJNYCH SILNIKA INDUKCYJNEGO ZASILANEGO Z PRZEMIENNIKA CZĘSTOTLIWOŚCI

INVESTIGATION ON MODIFICATION OF THE ENAMELLED WIRE FOR USE IN INVERTER FED MOTORS

Abstract: In inverter-fed motors mechanism of degradation of insulation is changed. Apart from thermal ageing a degradation due to short voltage pulses have occurred. One of the main reasons of deterioration of organic insulation of low voltage inverter driven motors are partial discharges, which appeared under pulse voltage. Standard enamelled wires are not resistance to these exposure and insulation systems are usually oversized. Based on nanotechnology the new special enamel for winding wires with improved endurance to partial discharges has been developed in Electrotechnical Institute in Wrocław with cooperative with Polifarb Cieszyn-Wrocław. In the paper the results of the testing of dielectric properties (breakdown voltage and resistance to sine and pulse voltage) of the new winding wire enamelled with the special enamel have been presented. The new special enamelled wire spent requirements of standard PN-EN 60317-8 while its resistance to partial discharges is at least 100 times better then resistance of conventional winding wire.

1. Wprowadzenie

Od momentu zastosowania napięciowych przemienników częstotliwości w celu umożliwienia bezstopniowej regulacji prędkości obrotowej silników indukcyjnych pojawił się problem znacznie obniżonej ich trwałości. Standardowe przewody nawojowe używane w układach izolacyjnych tych silników wytrzymują krótkotrwałe przepięcia o częstotliwości sieciowej 60 Hz, przy stromości napięcia 500 V/s. W silnikach indukcyjnych zasilanych z napięciowych przemienników częstotliwości zmienia się mechanizm starzenia izolacji – oprócz starzenia cieplnego występuje również degradacja powodowana krótkotrwałymi impulsami napięciowymi. Krótki czas narastania impulsu (500V/ms) powoduje przepięcia i nierównomierny rozkład napięcia (między pierwszym a drugim zwojem uzwojenia może się pojawić 85% napięcia) [1]. Mogą występować wyładowania niezupełne zarówno w szczelinach powietrznych w izolacji, jak również na jej powierzchni (wyładowania koronowe). Norma NEMA MG Part 30 podaje, że silniki na napięcie poniżej 600 V powinny wytrzymywać piki napięciowe do 1600 V o czasie narastania mniej niż 0,1 μ s, tzn o du/dt , wynoszącym ok. 13 kV/ μ s. Podaje się że główną przyczyną degradacji izolacji są wyładowania niezupełne [2, 3, 4, 5]. Narażenia te prowadzą

do erozji tradycyjnych powłok przewodów nawojowych. Dlatego w Instytucie Elektrotechniki we Wrocławiu w ramach projektu całego wspólnie z fabryką Polifarb-CW podjęto się opracowania nowego specjalnego lakieru na przewody emaliowane.

2. Modyfikacja

Opracowany lakier jest nowym lakierem na bazie żywicy poliestroimidowej o dużej elastyczności modyfikowanym nanonapełniaczami. Dla opracowania takiego lakieru wykonano prace badawcze w celu doboru typu i ilości napełniaczy, ich modyfikacji powierzchniowej, sposobu odpowiedniego dyspersjonowania oraz dostosowania parametrów przetwórczych. Zastosowanie nanonapełniaczy umożliwiło uzyskanie lakieru elektroizolacyjnego powłokowego na przewody nawojowe o znacznie podwyższonej odporności na narażenia impulsowe.

3. Opis wykonanych badań właściwości elektrycznych

Do badań zastosowano prosty model izolacji międzyzwojowej w postaci skrętki z przewodu emaliowanego. Wykonano następujące badania:

- pomiar napięcia przebicia przy napięciu impulsowym 20 kHz i sinusoidalnym 50 Hz,
- charakterystyki temperaturowe współczynnika strat dielektrycznych $\text{tg}\delta$ oraz pojemności elektrycznej, przy częstotliwości 1 kHz,
- trwałość przy napięciu impulsowym 20 kHz, przy wartościach amplitudy napięcia od 750 V do 3000V,
- trwałość przy napięciu sinusoidalnym 60 Hz przy wartościach amplitudy napięcia od 750 V do 3000V.

Badania przy napięciu impulsowym wykonano na generatorze impulsów prostokątnych bipolarnych o regulowanej amplitudzie i częstotliwości napięcia. Badaniom poddano przewody emaliowane – konwencjonalne: poliestroimidowy (A), dwuwarstwowy poliestroimid + poliamidimid (B) i poliamidoimidowy (C) jak również nowy przewód specjalny do silników zasilanych z przekształtników (D). Użyte do badań przewody miały tą samą średnicę znamionową równą 1,00 mm. Przewody konwencjonalne były drugiego stopnia grubości (przyrost emalii ok. 75 μm). Przewód specjalny był pierwszego stopnia grubości o przyroście emalii 55 μm . Podane wyniki są medianą z pięciu próbek.

4. Właściwości izolacji

4.1. Napięcie przebicia

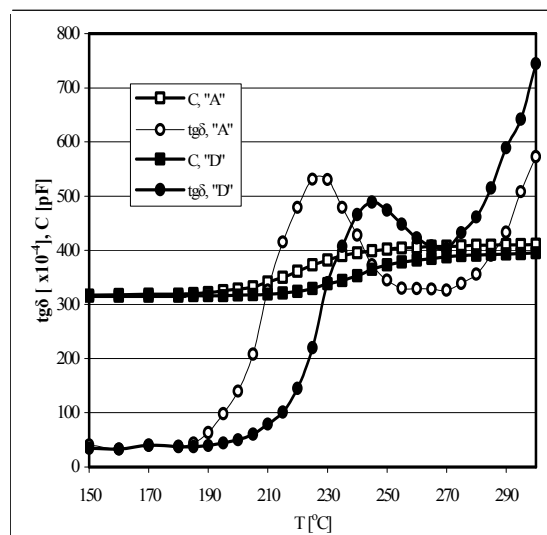
W Tabelicy 1 przedstawiono wartości napięcia przebicia badanych przewodów przy napięciu impulsowym 20 kHz i sinusoidalnym 50 Hz. Dla przewodu specjalnego uzyskano podobne wartości napięcia przebicia jak dla przewodów konwencjonalnych przy znacząco niższym przyroście emalii, co wskazuje, że jego wytrzymałość elektryczna jest wyższa w porównaniu do przewodów konwencjonalnych. Dla wszystkich badanych przewodów przy napięciu impulsowym o częstotliwości 20 kHz wartość napięcia przebicia przewodów obniża się pięciokrotnie w stosunku do wartości uzyskiwanych przy napięciu sinusoidalnym.

Tablica 1. Wartości średnie napięcia przebicia przy napięciu impulsowym 20 kHz i sinusoidalnym 50 Hz

Typ przewodu	Przyrost emalii	Napięcie sinusoidalne 50Hz	Napięcie impulsowe 20kHz
	[μm]	[kV]	[kV]
A	77	14,2	2,8
B	76	13,8	2,7
C	68	11,4	2,5
D	55	13,4	2,8

4.2. Charakterystyki temperaturowe $\text{tg}\delta$

Na rys. 1 przedstawiono charakterystyki temperaturowe współczynnika strat dielektrycznych $\text{tg}\delta$ oraz pojemności elektrycznej C przewodu poliestroimidowego „A” oraz przewodu emaliowanego nowym lakierem o zwiększonej odporności na wyładowania niezupełne „D”.



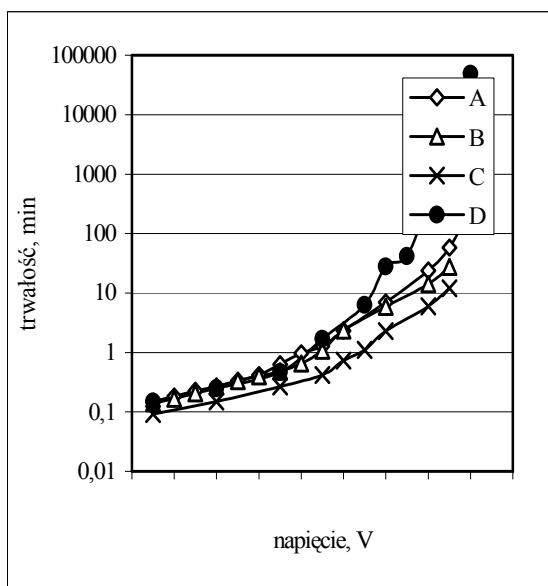
Rys.1. Charakterystyka temperaturowa $\text{tg}\delta$ oraz pojemności C przewodu specjalnego „D” oraz konwencjonalnego „A”

W porównaniu z przewodem konwencjonalnym „A” próbka przewodu specjalnego „D” wykazuje wyraźnie przesuniętą (o około 20 °C) charakterystykę temperaturowego $\text{tg}\delta$, co może świadczyć o jego wyższej ciepłoodporności. Charakterystyka pojemności C w funkcji temperatury ma podobny poziom dla obu badanych lakierów, co wskazuje że wykazują one podobną przenikalność elektryczną.

4.3. Trwałość przy napięciu impulsowym 20 kHz i sinusoidalnym 50 Hz

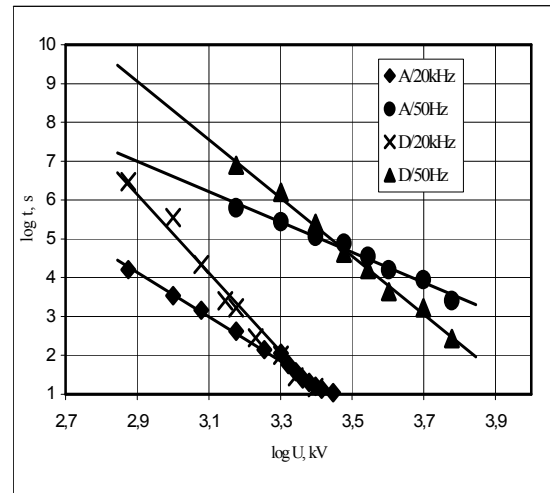
Badano trwałość przewodów przy napięciu impulsowym o częstotliwości 20 kHz oraz sinu-

soidalnym o częstotliwości 50 Hz i różnych amplitudach napięć. Wyniki badań przy napięciu impulsowym dla przewodów konwencjonalnych (A, B, C) oraz specjalnego „D” przedstawia rys. 2. Widać, że trwałość przewodu poliamidoimidowego „C” jest gorsza niż pozostałych. Dla przewodów zawierających lakier poliestroimidowy (A, B, D) charakterystyki trwałości przy różnych wartościach napięcia starzenia pokrywają się dla napięć powyżej 2 kV. Przy niższych wartościach napięcia przewód dwuwarstwowy poliestroimid + poliamidimid „B” wykazuje niższą trwałość niż estroimidowy „A” (ujawnia się wpływ warstwy amidoimidu). Przy wartościach napięcia poniżej 2 kV przewód specjalny „D” wykazuje zdecydowanie wyższą trwałość niż przewody konwencjonalne (A, B, C). Przy napięciu 1000 V jego trwałość wynosi około 100 h, gdy dla przewodu konwencjonalnego „A” – 1 h.



Rys. 2. Trwałość różnych typów przewodów przy napięciu impulsowym 20 kHz

Rysunek 3 przedstawia charakterystykę napięciową trwałości, we współrzędnych logarytmicznych, przy różnych amplitudach napięcia sinusoidalnego o częstotliwości sieciowej oraz napięcia impulsowego dla przewodu konwencjonalnego „A” oraz nowo-opracowanego przewodu „D”.



Rys. 3. Trwałość przewodu emaliowanego konwencjonalnego i specjalnego przy różnych wartościach napięcia sieciowego i impulsowego

Zależność ta jest prostoliniowa (współczynnik korelacji liniowej jest większy niż 0,98), co umożliwia prognozę trwałości poprzez aproksymację do niższych wartości napięć - w zakresie powyżej napięcia zapłonu wyładowań niezupełnych. Przy częstotliwości sieciowej charakterystyki napięciowe obu przewodów przecinają się przy około 3 kV. Przy napięciu poniżej 3 kV trwałość przewodu nowego jest zdecydowanie wyższa. Przy napięciu impulsowym charakterystyki pokrywają się w zakresie napięć zbliżonym do napięcia przebicia (2,5 – 2,9 kV). Linia trwałości dla nowo-opracowanego przewodu „D” wskazuje że jego trwałość jest wyraźnie wyższa niż przewodu A osiągając już przy 1 kV wartość o dwa rzędy wyższą.

5. Podsumowanie

W Instytucie Elektrotechniki we Wrocławiu wspólnie z fabryką Polifarb-CW w ramach projektu celowego w 2003 r opracowano nowy lakier na przewody emaliowane specjalne do silników zasilanych z przekształtników. Modyfikacja elektro-izolacyjnego lakieru poliestroimidowego na przewody nawojowe za pomocą nanonapełniaczy umożliwiła uzyskanie przewodu emaliowanego o znacznie podwyższonej odporności na napięcie impulsowe.

Trwałość nowego przewodu przy napięciu impulsowym 20 kHz jest co najmniej 100 razy wyższa od przewodu konwencjonalnego. Nowy przewód emaliowany spełnia wszystkie wymagania normy PN-EN 60317-8 dotyczące warstwy lakieru.

Literatura

[1]. *Effects of AC Drives on Motor Insulation - Knocking Down the Standing Wave*, Technical Guide No. 102, <http://www.abb-drives.com/StdDrives/RestrictedPages/Marketing/Documentation/files/Products/9vstress.pdf>

[2]. FABIANI D., MONTANORI G. C., *Life comparison of enamelled wires for inverter-fed motors*, APTADM'2004 International Conference on Advanced in Processing, Testing and Application of Dielectric Materials, Proceeding, p 192-195

[3]. MELFI M., SUNG J., BELL S., SKIBINSKI G., *Effect of Surge Voltage Risetime on the Insu-*

lation of Low Voltage Machines Fed by PWM Converters

[4]. http://www.ab.com/drives/techpapers/iecc/05_7.pdf

[5]. HIDEYUKI KIKUCHI, YUZO YUKIMORI, SADAMI ITNAGA, *Inverter-surge-resistant enameled wire based on nano-komposite insulating material*, Hitachi Cable Review No. 21, august 2002, p. 55-62

[6]. Baldor. *Fundamentals of Inverter-Fed Motors*,

[7]. <http://www.baldor.com/pdf/manuals/780-1002.pdf>