

# OKREŚLENIE NAPIĘCIA ZAPŁONU WYŁADWAŃ KORONOWYCH IZOLACJI MIĘDZYWOJOWEJ PRZY ZASILANIU NAPIĘCIEM IMPULSOWYM

## DETERMINATION OF CORONA INCEPTION VOLTAGE OF INTERTURN INSULATION UNDER PULSE VOLTAGE

**Abstract:** The majority of failures of interturn insulation system of inverter-fed motors are attributed to partial discharges therefore determining of Corona Inception Voltage (CIV) is essential. However the investigation of CIV under pulse voltage leads to problems and some researchers performed the alternative of measurements using sinusoidal voltages. In this paper the simple way of determining of CIV of enamelled winding wires under high frequency pulse voltage with oscilloscope has been shown. The dependence of Corona Inception Voltage versus kind of enamel, insulation thickness, frequency of pulse voltage and temperature has been presented. It was found that mainly thickness of insulation and temperature influences on the level of voltage at which partial discharges has begun. The obtained CIV results were verified by testing of endurance of insulation under pulse voltage.

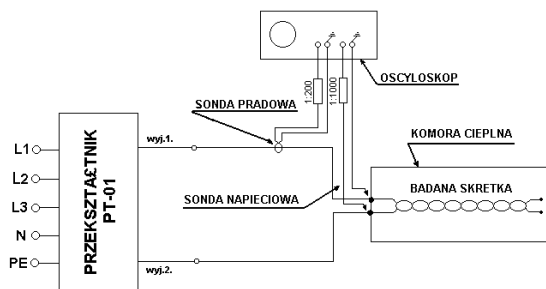
### 1. Wprowadzenie

W układzie izolacyjnym silników niskiego napięcia zasilanych z przekształtników wyładowania niezupełne są dominującym mechanizmem degradacji, powodującym skrócenie czasu życia konwencjonalnej, organicznej izolacji międzywojowej. Napięcie zapłonu wyładowań niezupełnych koronowych CIV (Corona Inception Voltage) często określane jest przy zastosowaniu napięcia sinusoidalnego wysokiej częstotliwości [1, 2, 3], co nie uwzględnia zjawisk występujących przy stromych impulsach napięciowych. Jedna z firm produkujących silniki opracowała metodę określania CIV na silnikach przy napięciu impulsowym za pomocą oscyloskopu, jednak ze względu na ograniczenia układu badawczego pomiary wykonywane są przy częstotliwości 300 Hz [4]. Istnieje potrzeba opracowania sposobu określania napięcia zapłonu wyładowań koronowych przy napięciu impulsowym wysokiej częstotliwości, o kształcie zbliżonym do występującego w przekształtnikach PWM. W artykule przedstawiono prosty sposób określania napięcia zapłonu wyładowań koronowych modeli izolacji zwojowej przy napięciu impulsowym za pomocą oscyloskopu.

### 2. Sposób pomiaru CIV

Jako źródło napięcia impulsowego zastosowano generator impulsów prostokątnych bipolarnych PT-1 o regulowanej częstotliwości i amplitudzie. Pomiary CIV wykonywano za pomocą

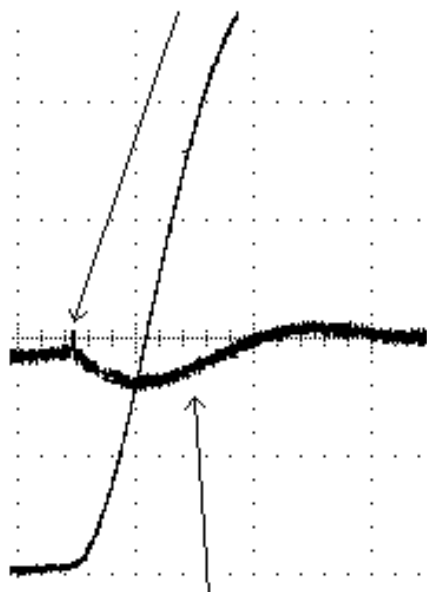
analogowo-cyfrowego oscyloskopu 300 MHz stosując sondy napięciowe i prądowe. Schemat układu pomiarowego przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Schemat układu pomiarowego.

Wykonano szereg oscylogramów przebiegu fali prądowej i napięciowej rejestrując wartości pik-pik oraz wartości skuteczne napięć i prądów. Ze względu na występujące piki przełączniowe wartości szczytowe prądu nie nadają się do identyfikacji wyładowań koronowych. Proponowany sposób pomiaru CIV polega więc na wizualnym stwierdzeniu wystąpienia serii pików na przebiegu prądowym podczas narostu impulsu napięciowego i określenia wartości napięcia skutecznego, przy którym one się pojawiają. Poniżej pokazano przykładowe oscylogramy dla przewodu nawojowego PEI2, przy częstotliwości 20 kHz, w temperaturze 23 °C:

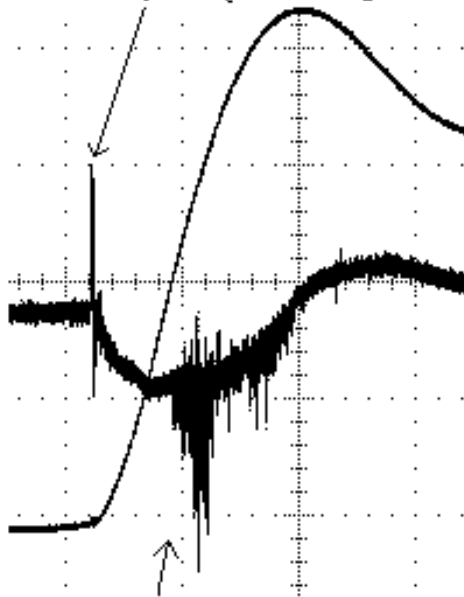
### Pik przeładowaniowy



Brak pików świadczących o początku wnz.

Rys. 2.  $U=418V$  – brak wyładowań niezupelných

### Pik przeładowaniowy



Piki wyładowań niezupelných

Rys. 3.  $U=905V$  – silne wyładowania niezupelných

### 3. Badane przewody emaliowane

Do badań wytypowano przewody emaliowane krajowe o średnicy znamionowej 1,00 mm podane w tabelicy 1.

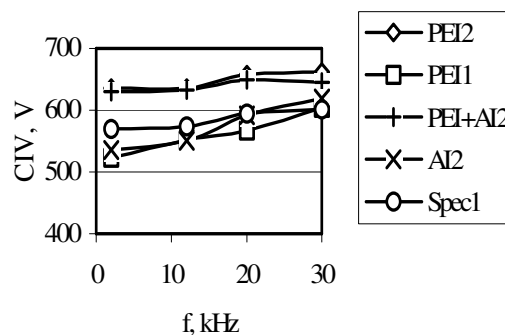
Tablica 1  
Badane przewody emaliowane

Lp	Oznaczenie	Stopień grubości izolacji	Lakier
1	PEI2 (PN-EN 60317-8)	2 (77 $\mu\text{m}$ )	poliestroimid
2	PEI1 (PN-EN 60317-8)	1 (55 $\mu\text{m}$ )	poliestroimid
3	PEI+AI2 (PN-EN 60317-13)	2 (76 $\mu\text{m}$ )	Poliestroimid (70%) +amidimid
4	AI2 (PN-EN 60317-20)	2 (68 $\mu\text{m}$ )	amidoimid
5	Spec1 <sup>*)</sup> - (PN-EN 60317-8)	1 (58 $\mu\text{m}$ )	poliestroimid <sup>*)</sup> modyfikowany

\*) przewód i lakier specjalny o zwiększonej odporności na napięcie impulsowe, opracowany w ramach grantu celowego przez IEL/OW wspólnie z Polifarbem Cieszyn-Wrocław S.A.

### 4. Wyniki badań napięcia zapłonu wyładowań koronowych CIV

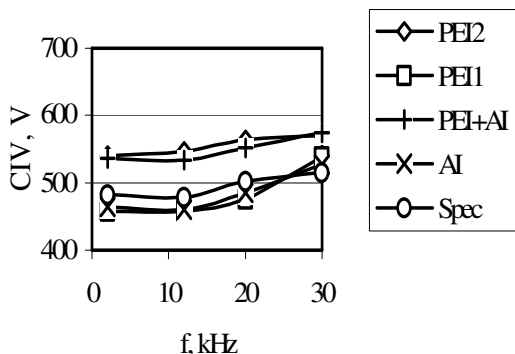
Napięcia zapłonu wyładowań niezupelných koronowych dla różnych typów przewodów emaliowanych zmierzono przy częstotliwościach napięcia impulsowego 2, 12, 20 i 30 kHz oraz w temperaturach 23, 130, 180, 250 °C. Wyniki pokazano na rysunkach 4-9.



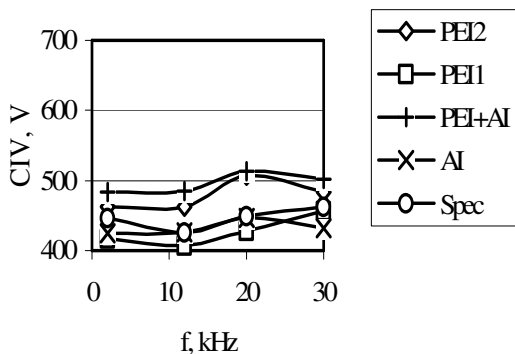
Rys. 4. CIV różnych przewodów emaliowanych w temperaturze otoczenia.

Na podstawie uzyskanych wyników napięcia zapłonu wyładowań koronowych stwierdzono, że przy wzroście częstotliwości w badanym zakresie CIV nieznacznie rośnie (rys. 4, 5, 6). Prawdopodobnie przy wyższych częstotliwościach czas rozwoju wyładowania jest już porównywalny z szybkością zmiany pola elektrycznego. Wzrost ten jest nieco większy dla

przewodu poliamidoimidowego AI2 niż dla wszystkich pozostałych przewodów (zawierających głównie lakier poliestro-imidowy). Stwierdzono, że dla danego rodzaju emalii CIV jest wprost proporcjonalne do grubości izolacji (współczynnik korelacji liniowej jest większy niż 0,96).

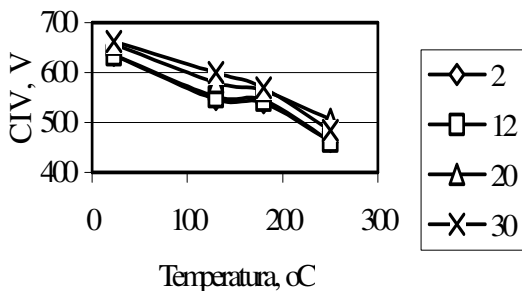


Rys. 5. CIV różnych przewodów emaliowanych w temp. 180°C

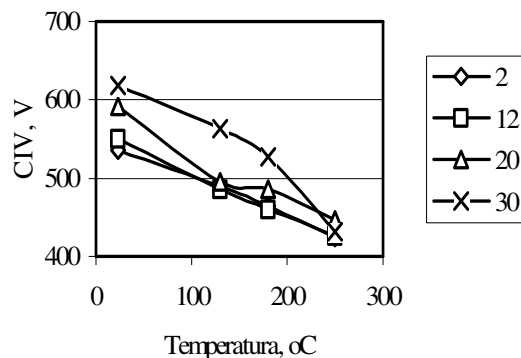


Rys. 6. CIV różnych przewodów emaliowanych w temp. 250°C

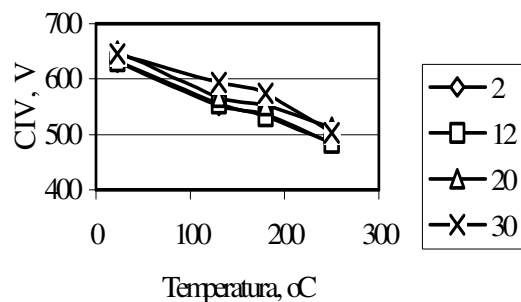
Z wykresów 7-9 widać, że napięcie zapłonu wyładowań koronowych wyraźnie obniża się w podwyższonej temperaturze – w 250 °C – o około 30%



Rys. 7. CIV w funkcji temperatury przy częstotliwości 2, 12, 20, 30 kHz dla przewodu PEI2



Rys. 8. CIV w funkcji temperatury przy częstotliwości 2, 12, 20, 30 kHz dla przewodu AI



Rys. 9. CIV w funkcji temperatury przy częstotliwości 2, 12, 20, 30 kHz dla przewodu PEI+AI

## 5. Wyniki badań trwałości przy napięciu impulsowym

Badania trwałości przewodów emaliowanych wykonano przy różnych amplitudach napięcia impulsowego 20 kHz w temperaturze 180 °C. Wyniki przedstawiono w tabeli 3. W tabeli 4 porównano wartości krytycznych napięć impulsowych, przy których trwałość gwałtownie spada, z wyznaczonymi napięciami zapłonu wyładowań koronowych CIV.

Tablica 3

Trwałość przewodów emaliowanych przy różnych amplitudach napięcia impulsowego 20 kHz w 180 °C

Napięcie, V	Trwałość w 180 °C, min		
	PEI2	PEI+AI2	AI2
900	21	12	5
800	26	16	7

700	35	21	11
600	53	32	13
550	69	43	15
500	>1800	>1800	18
450	-	-	114
400	-	-	>1800

Tablica 4

Porównanie wartości krytycznych napięć impulsowych 20 kHz w 180°C z wyznaczonymi napięciami zapłonu wyładowań koronowych CIV

Typ przewodu	Napięcie krytyczne, V	CIV, V
PEI2	550	564
PEI+AI2	550	552
AI2	450	486

Okazuje się, że uzyskane napięcia krytyczne, powodujące drastyczne skrócenie czasu życia izolacji przewodów konwencjonalnych, mają wartości zbliżone do wartości CIV (tabl. 4). Nie dotyczy to przewodu emaliowanego specjalnego Spec1, który charakteryzuje się znacznie zwiększoną odpornością na wyładowania niepełne mimo, że napięcie zapłonu dla tego przewodu pozostaje na poziomie typowym dla bazowej emalii poliestroimidowej.

Uzyskane wyniki jednocześnie potwierdzają prawidłowość określonych wartości CIV zastosowaną metodą.

## 6. Wnioski

- Przedstawiono prosty sposób określania napięcia zapłonu wyładowań niepełnych CIV przy napięciu impulsowym pochodzącym od falownika za pomocą oscyloskopu
- Dla danego typu emalii stwierdzono wyraźną zależność napięcia zapłonu wyładowań niepełnych od grubości izolacji (współczynnik korelacji liniowej powyżej 0,96)
- Zaobserwowano nieznaczny wzrost napięcia zapłonu wyładowań niepełnych – przy częstotliwości napięcia impulsowego 30 kHz dla wszystkich badanych izolacji. Prawdopodobnie przy tej częstotliwości czas trwania impulsu napięciowego może być już porównywalny z czasem rozwoju wyładowań niepełnych.
- Stwierdzono wyraźny wpływ temperatury na poziom napięcia zapłonu wyładowań niepełnych. Dla wszystkich badanych izolacji w temperaturze 180°C napięcie zapłonu spada o

około 20 %, w temperaturze 250°C o około 30%

- Uzyskane wyniki napięcia zapłonu wyładowań niepełnych zostały zweryfikowane poprzez badania trwałości izolacji przy napięciu impulsowym.

## Literatura

- [1]. PFEIFFER W.; PAEDE M., *About the PD-Testing of Insulation Systems with High-Frequency Voltages*, 2002 International Symposium on Electrical Insulation
- [2]. FETHERSTON F. W., FINLAY B. F., RUSSEL J. J., *Observations of partial discharges during surge comparison testing of random wound electric motors*, 1994 IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. 14, no. 3, Sept. 1999, p. 538-544,
- [3]. MBAYE A., LEBEY T., *Analytical approach of PD activity in low voltage motors fed by inverters (adjustable speed drives)*, Proceedings of the 1998 IEEE 6th International Conference on Conduction and Breakdown in Solid Dielectrics, p. 161-164
- [4]. *Evaluating Inverter-Duty Motor Insulation Systems Using Corona Inception Voltage*, Lincoln Electric Motor Division, Technical Brief,
- [5]. <http://www.lincolnmotors.com/pdf/tb-100.pdf>,