

Sławomir Szymaniec
Politechnika Opolska, Opole

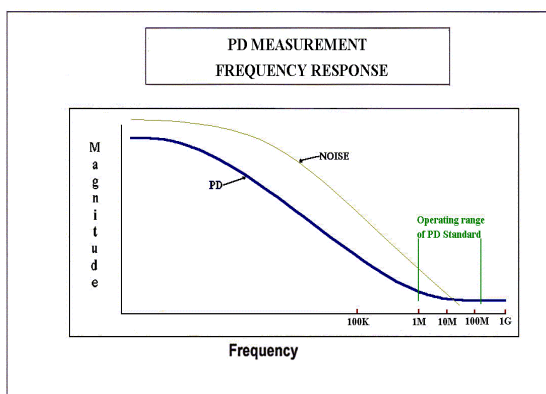
DOŚWIADCZENIA W STOSOWANIU CZUJNIKÓW RTD I SSC W POMIARACH WNZ SILNIKÓW

EXPERIENCE IN THE USE OF EXISTING RTD AND SSC FOR THE MEASUREMENT OF PARTIAL DISCHARGES MOTORS

Abstract: The RTD and the SSC wiring act as an antenna. As the PD pulse travels in the vicinity of the RTD and the SSC wiring the PD energy is coupled to the RTD and SSC. The pulse then follows the RTD, SSC wiring out to the transducer in common mode (between all wires and ground) where the PD pulses are extracted from the wiring and feed to the monitor or analyzer. In order to make sense out of the PD signals an appropriate analyzer to decipher the signals for analysis is required. Most of the medium voltage machines already have RTD detectors embedded into the winding by the manufacturer and these detectors can be used for partial discharge measurements.

1. Wstęp

Do pomiarów wyładowań niepełnych (wnz), (PD) w maszynach elektrycznych można stosować czujniki typu termorezystory – RTD (Resistance Temperature Detector) oraz SSC (Stator Slot Couplers) używane jako anteny [1, 2, 3, 4, 5, 7, 8]. Dobór anten do pomiarów wnz w silnikach, zdaniem autora powinien być poprzedzony wyborem zakresu pomiaru wnz ze względu na wpływ zakłóceń przemysłowych. Należy ustalić zakres częstotliwości sygnału wnz w którym jest najkorzystniejszy stosunek sygnału do szumu (zakłóceń). Długoletnie badania przemysłowe w tym zakresie prowadziła firma ADWEL. Ustalono że najkorzystniejszy jest zakres od 1 - 150 MHz (standard PDA PREMIUM) [1]. Na rys.1. przedstawiono w uproszczonej graficznej formie rezultaty badań.



Rys. 1. Widmo wnz (PD) maszyn elektrycznych w czasie ich eksploatacji oraz widmo zakłóceń wg firmy ADWEL[1]

Rosyjska firma VIBROCENTER prowadząc podobne badania w późniejszym okresie ustaliła że najkorzystniejszy jest zakres od 1 - 20 MHz. Autor w swoich badaniach przyjął do pomiarów wnz silników zakres od 1 - 20 MHz.

Kolejnym ważnym elementem w doborze anten zdaniem autora są [8]:

1. Wybór rodzaju anten.
2. Możliwości formalne i techniczne ich zainstalowania oraz dostrojenia.
3. Możliwości kalibracji toru pomiarowego.

Spośród możliwych do zastosowania w pomiarach wnz maszyn elektrycznych anten, zdaniem autora wymienić należy 3 rodzaje:

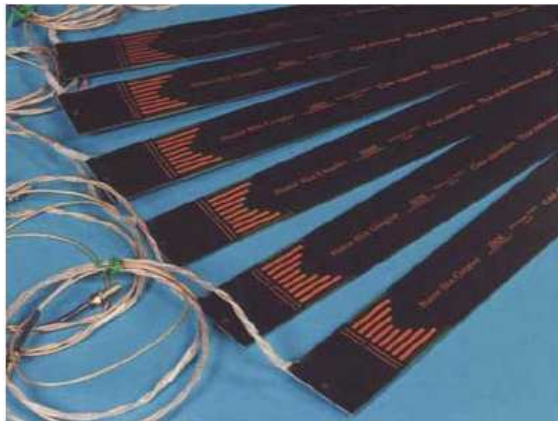
- anteny paskowe, SSC
- anteny wykorzystujące termorezystory RTD
- anteny pętlowe.

2. Anteny paskowe

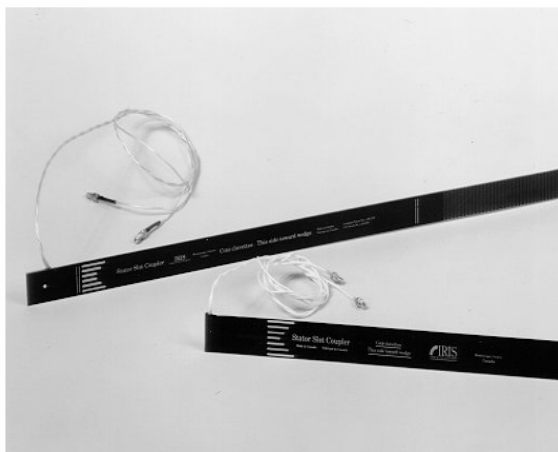
Anteny te opracowano w latach osiemdziesiątych w kanadyjskiej firmie Iris [7]. Na rys.2. i rys. 3. przedstawiono przykładowe rozwiązania anten paskowych. Anteny paskowe skonstruowano specjalnie jako czujniki do badań diagnostycznych stanu izolacji w oparciu o pomiary wnz dla dużych generatorów. Wykonane są na bazie szkła epoksydowego. Zastosowanie tego materiału powoduje, iż antena posiada bardzo dobre parametry dielektryczne i mechaniczne. Antena dzięki epoksydowemu podłożu dielektrycznemu jest w stanie pracować, nawet przy bardzo wysokich temperaturach, rzędu 150°C.

Podstawowe parametry anteny :

- pasmo 10 MHz – 100 MHz,
- grubości 2 mm,
- długość do 53 cm.



Rys. 2. Anteny paskowe firmy Iris

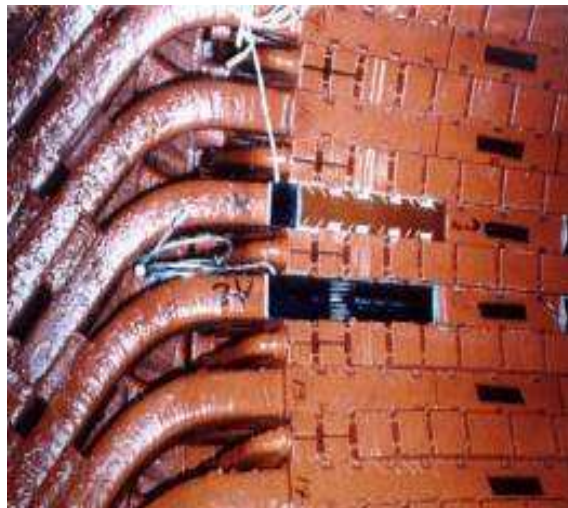


Rys. 3. Anteny paskowe firmy Iris

Istnieje możliwość dopasowania szerokości anteny do rozmiarów żłobka. Antena mierzy wnz zarówno przy wyjściu uzwojenia ze żłobka jak i z wnętrza żłobka. Ma dwa obwody pomiarowe i dwa wyprowadzenia. Każde z dwóch wyprowadzeń jest wykonane za pomocą kabla koncentrycznego. Czujniki SSC instalowane są w generatorach i silnikach w żłobkach pod klinami - rys. 4 i 5. Zazwyczaj do pełnego monitoringu wystarcza komplet 6 anten, jednak dla większych generatorów liczba czujników wzrasta. Antena ma bardzo dobrą czułość a ponadto jest odporna na wszelkiego rodzaju zakłócenia zewnętrzne i wewnętrzne, wszystkie impulsy o czasie trwania dłuższym niż 6 ns są traktowane jak zakłócenia [7].

Wady anten paskowych są następujące:

- wyładowania są wykrywane jedynie w żłobkach w których anteny zainstalowano oraz w polu obejmującym 6 najbliższych żłobków,
- długotrwały, wielogodzinny montaż anten przez zespół specjalistów.



Rys. 4. Antena paskowa umieszczona w żłobkach



Rys. 5. Anteny paskowe umieszczone w żłobkach

3. Anteny wykorzystujące termorezystory RTD i anteny pętlowe

Anteny do pomiarów wnz w silnikach wykorzystujące czujniki do pomiaru temperatury typu termorezystory Pt100 oraz anteny pętlowe autor opracował we własnym zakresie [8].

Termorezystory Pt100 są powszechnie stosowane w silnikach elektrycznych do pomiaru temperatury uzwojeń stojana. Montuje się je w danym żłobku w miejsce wyciętej przekładki międzywarstwowej uzwojenia. Autor na drodze eksperymentalnej opracował antenę której części składowe przedstawiono na rys. 6. Antena to otwarty obwód drgający LC. Obwód staje się

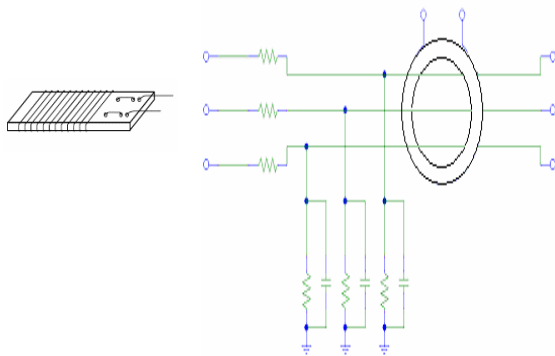
„otwarty” to znaczy przekształca się w antenę gdy jego długość stanowi istotną część długości fali, na którą obwód został nastrojony. Jakość anteny, jako elementu odbierającego jest tym wyższa, im długość jej jest bardziej zbliżona do $\frac{1}{4}$ lub $\frac{1}{2}$ długości fali. Antena zaczyna wydajnie pracować jeżeli jej długość przekracza $\frac{1}{10}$ długości fali [6]. Długość anteny musi być odpowiednią wielokrotnością długości fali λ :

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (1)$$

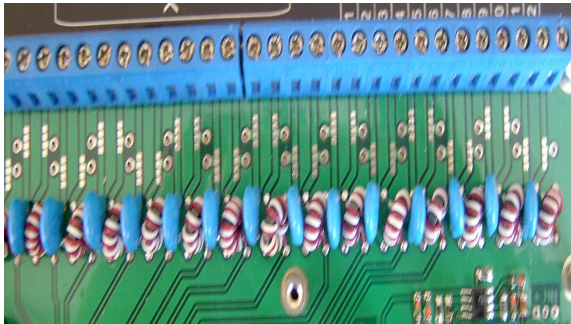
gdzie: λ - długość fali [m],

C - prędkość światła (3×10^8 m/s),

f - częstotliwość [Hz].



Rys. 6. Rysunek poglądowy idei anteny na bazie termorezystora Pt100, termorezystor + układ galwanicznej separacji



Rys. 7. Rysunek poglądowy idei anteny na bazie termorezystora Pt100, układ dostrojenia anteny

Zależność między pojemnością, indukcyjnością a częstotliwością w obwodzie rezonansowym można wyrazić wzorem:

$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi \sqrt{LC}} \quad (2)$$

gdzie: f - częstotliwość [Hz],

L - indukcyjność układu antenowego [H],

C - pojemność układu antenowego [F].

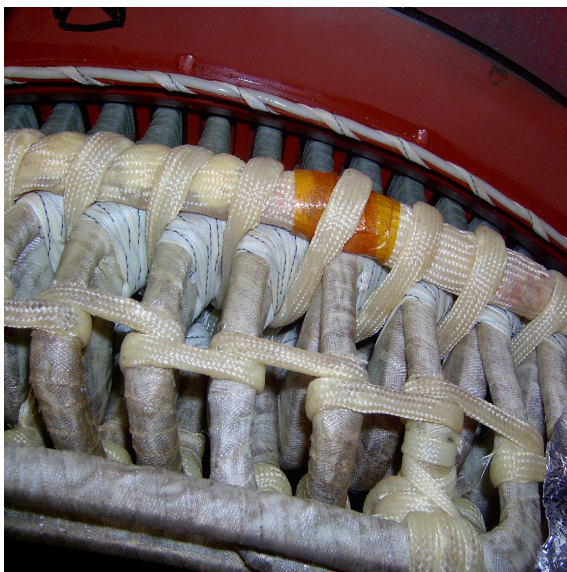
W układach antenowych autor starał się ustawić częstotliwość rezonansową anten na 10 MHz, wykorzystując do tego indukcyjności i pojemności: Pt100, przewodów dołączonych do termorezystorów oraz umieszczone na płycie drukowanej zespołu antenowego pojemności i indukcyjności. Starano się również drogą eksperymentalną ustalić pasmo przenoszenia anten na zakres od $1 \div 20$ MHz [8]. Podobnie postępowano z antenami pętlowymi. Termorezystor Pt100 został zastąpiony pętlą przewodu w miarę możliwości technicznych nawiniętą w silniku wokół czoł uzwojeń rys. 8 – rys. 10.



Rys. 8. Wnętrze stojana z fragmentem anteny pętlowej

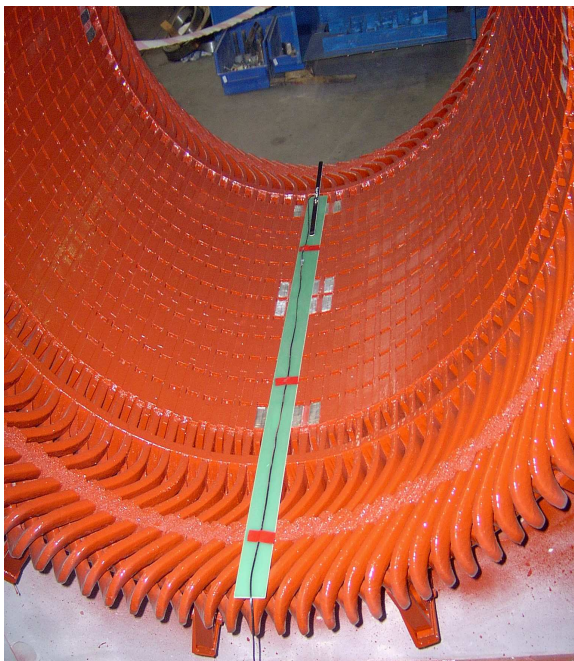


Rys. 9. Wnętrze stojana z fragmentem anteny pętlowej



Rys. 10. Wnętrze stojana z fragmentem anteny pętlowej

Autor prowadził również badania z antenami paskowymi. Na rys. 11. przedstawiono przykład takich badań w warunkach stacji prób. Uzyskane pozytywne rezultaty badań stały się podstawą do zbudowania przenośnych przyrządów do pomiarów wnz silników w warunkach off-line. Na rys. 12. przedstawiono prototypową



Rys. 11. Badania przydatności anteny paskowej do pomiarów wnz silników

sondę zbudowaną przez autora w oparciu o antenę przenośną. Anteny przenośne są bardzo przydatne do dokładnego określenia miejsca emisji wnz z uzwojeń silnika.



Rys. 12. Pomiar wnz off-line na stojanie prototypową sondą wykorzystującą antenę przenośną

3. Uwagi końcowe

W trakcie badań własnych [8] autor wykazał bardzo dużą użyteczność w pomiarach wnz silników układów antenowych typu termorezystory RTD wraz z zespołami antenowymi termorezystory RTD mają dużą czułość na wnz powstające blisko danego RTD, zależy to od budowy danego silnika, czułość ta w ocenie autora jest rzędu $0,3 \pm 0,02$ V/nC.

Pomiar wnz przez poszczególne RTD umieszczone w silniku daje możliwość lokalizowania miejsc generowania PD. Autor proponuje powyższe uwagi uwzględnić przy projektowaniu nowych silników elektrycznych.

W pomiarach wnz silników, istotnym uzupełnieniem RTD zainstalowanych fabrycznie mogą być RTD zainstalowane dodatkowo w czasie przeglądu silnika bądź jego remontu od strony napędowej i przeciwnapędowej w obszarach najbliższych części czołowej uzwojeń. Szczególnie ważny jest obszar początków uzwojeń fazowych, połączeń międzycewkowych, międzygrupowych. Zespół czujników oparty na wykorzystaniu RTD można dodatkowo uzupełnić czujnikami antenowymi typu długi przewód ($L \gg d$), ulokowanymi wokół czoła w postaci elementów typu pętla, bądź fragment pętli są to tzw. anteny pętlowe.

Czołowe firmy diagnostyczne do pomiarów wnz maszyn elektrycznych z powodzeniem stosują również anteny paskowe.

Autor w badaniach własnych stwierdził bardzo dużą przydatność do lokalizacji miejsc emisji wzn anten przenośnych.

4. Literatura

- [1]. ADWEL: *PD monitoring*. Nota Aplikac. 2003.
- [2]. Bertenshaw D., Sasic M.: *On-line Partial Discharge Monitoring on MV motors-Casestudies on Improved Sensitivity Couplers*. Nota Aplikacyjna firmy ADWEL International Canada, 2002.
- [3]. Blokhintsev, M. Golovkov, A. Golubev, C. Kane: *Field Experiences on the Measurement of Partial Discharges on Rotating Equipment*, IEEE PES'98, February 1-5, Tampa
- [4]. Golubev A, Paoletti G.: *Partial Discharge Theory and Technologies related to Medium Voltage Electrical Equipment*. 2000 IEEE. Reprinted, with permission, from Paper 99-25 presented at the IAS 34th Annual Meeting, Oct 3-7, '99, Phoenix, AZ.
- [5]. Kane C., Pozonsky J., Carney S., Blokhintsev I.: *Advantages of Continuous Monitoring of Partial Discharges in Rotating Equipment and Switchgear*. 2003 AISE Meeting, Pittsburgh, PA, Sept. 2003.
- [6]. Matuszczyk J.: *Poradnik antenowy*. WKŁ, Warszawa, 2002.
- [7]. Stone G.C., Boulter E.A., Culbert I., Dhirani H.: *Electrical insulation for rotating machines*. IEEE PRESS series on Power Engineering, USA, 2004.
- [8]. Szymaniec S.: *Diagnostyka stanu izolacji uzwojeń i stanu łożysk silników indukcyjnych klat-kowych w warunkach przemysłowej eksploatacji*. Studia i Monografie z. 193, Wyd. Politech. Opolskiej, Opole 2006.

Autor

Dr hab. inż. Sławomir Szymaniec prof. PO.
Politechnika Opolska.
Wydział Elektrotechniki, Automatyki
i Informatyki.
Instytut Układów Elektromechanicznych
i Elektroniki Przemysłowej.
45-951 Opole ul. Luboszycka 7.
s.szymaniec@po.opole.pl