

Niestabilność eksploatacyjna parametrów magnetycznych i elektrycznych blach rdzenia stojana generatora TWW-200-2A

Streszczenie. Pakiety skrajne blach rdzenia stojana generatora pracują w trudnych warunkach obciążeń termicznych w wyniku oddziaływania pola magnetycznego rozproszenia. Procesy złożonej degradacji zmęczeniowej struktury stali oddziałują na zmianę jej parametrów fizycznych takich jak przenikalność magnetyczna i konduktywność [1-10]. Zmiany te postępują z różną dynamiką, w zależności od składu chemicznego i procesów obróbki. Badania tych zmian można wykorzystać do oceny stanu technicznego elementów maszyn. W artykule przedstawiono wyniki badań w zakresie względnych zmian przenikalności magnetycznej i konduktywności próbek blach elektrotechnicznych rdzenia stojana generatora TWW-200-2A po kilkudziesięcioletniej eksploatacji. Próbkę badano metodą spektroskopii impedancji sondy pomiarowej. Podstawy prezentowanej metodyki badań były opracowane dla pojazdów szynowych - w zakresie diagnostyki zestawów kołowych, jednak można ją stosować w wielu gałęziach gospodarki, ograniczając wielokrotnie koszty urządzeń badawczych oraz czas badań.

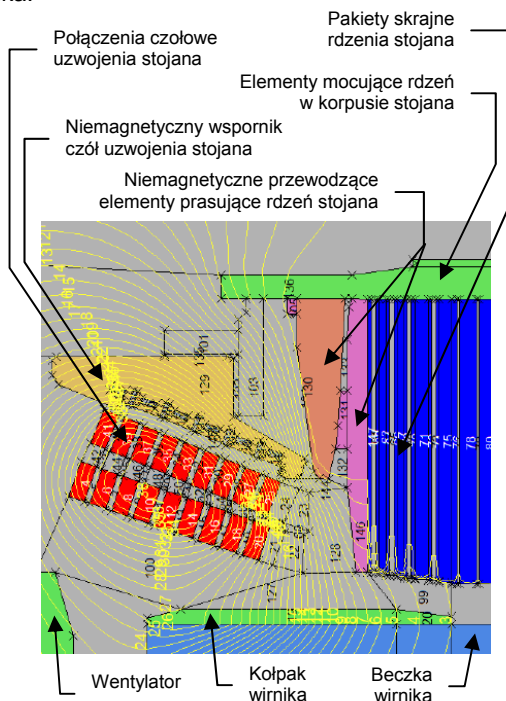
Abstract. End stacks of the generator stator core sheets operate in difficult load conditions due to the influence of the magnetic leakage field. Processes of the complex fatigue degradation of steel structure affect change of its physical parameters such as magnetic permeability and electric conductivity [1-10]. The changes occur with different dynamics depending on chemical composition and manufacturing processes. Research on the changes can be used to evaluate the technical condition of machine components. This paper presents the results of tests in the scope of relative changes of magnetic permeability and electric conductivity of samples of electromagnetic steel sheets of TWW-200-2A generator stator core after tens years of operation. The samples were tested by measuring probe impedance spectroscopy method. Basics of the presented testing methodology were developed for rail vehicles - in the area of wheel set diagnostics, but it can be used in many sectors of the economy, reducing both the cost of the testing equipment and the testing time. (**Operational instability of magnetic and electric parameters of stator core sheets in generator type TWW-200-2A**)

Słowa kluczowe: spektroskopia impedancji, eksploatacyjna zmiana parametrów fizycznych materiału, badania nieniszczące,
Keywords: impedance spectroscopy, operational change of material physical parameters, non-destructive tests,

doi:10.12915/pe.2014.01.55

Wprowadzenie

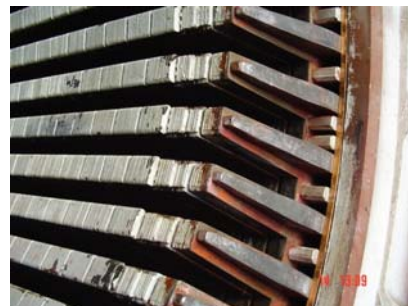
Pakiety skrajne blach rdzenia stojana generatora należą do elementów strefy skrajnej generatora, na które oddziałuje pole magnetyczne rozproszenia wirujące synchronicznie względem stojana, wytwarzane przez prądy płynące w połączeniach czołowych uzwojeń stojana i wirnika.



Rys.1. Przykładowy rozkład linii ekwipotencjalnych strumienia magnetycznego rozproszenia w obszarze strefy skrajnej generatora [11]

Strumień magnetyczny rozproszenia (rys. 1) w strefie skrajnej generatora zawiera dominującą składową osiową,

która wnikając prostopadłe do powierzchni blach pakietów skrajnych indukuje w nich dodatkowe prądy wirowe będące przyczyną ich podwyższonego nagrzewania. Intensywność podwyższonego nagrzewania pakietów skrajnych jest zależna od charakteru obciążenia generatora – najbardziej niekorzystne efekty tego zjawiska mają miejsce przy obciążeniu pojemnościowym. Przegrzewanie się pakietów skrajnych jest przyczyną wielu awarii i uszkodzeń generatorów. Na rysunku 2 pokazano przykładowy widok pakietów skrajnych, na rysunku 3 – przykład ich uszkodzeń.



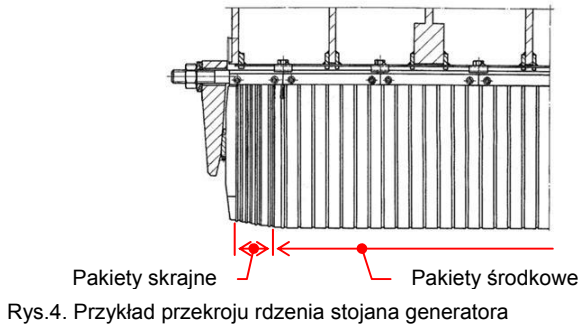
Rys.2. Widok pakietów skrajnych blach rdzenia stojana TWW-200-2A po demontażu uzwojenia



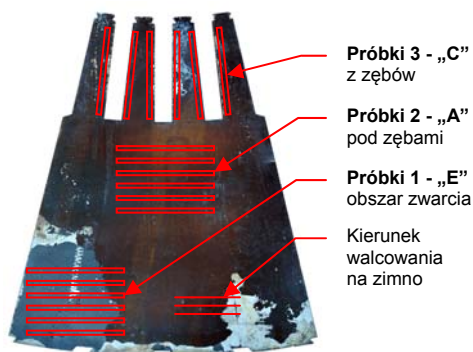
Rys.3. Widok uszkodzonych zębów pakietów skrajnych rdzenia stojana TWW-200-2A

Próbki do badań

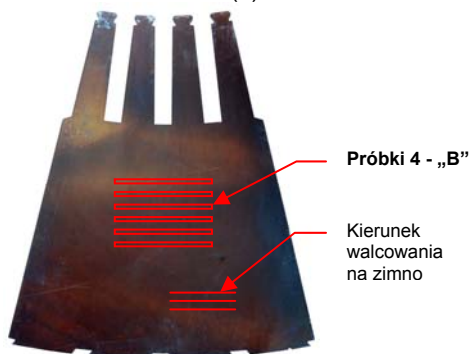
Badaniom poddano próbki blachy elektrotechnicznej rdzenia stojana generatora TWW-200-2A po kilkudziesięcioletniej eksploatacji (brak danych nt. gatunku), które pobrano ze stref o różnym stopniu eksploatacyjnej degradacji zmęczeniowej (tj. z pakietów skrajnych i środkowych – rys. 4). Zbadano również próbki blachy po przeprowadzonej regeneracji oraz próbki blachy fabrycznie nowej w gatunku M330-50A. Próbki zostały wycięte elektroerozyjnie o wymiarach 0,5mm x 5mm x 150mm. Lokalizację pobranych próbek pokazano na rysunku 5 (a-d).



Rys.4. Przykład przekroju rdzenia stojana generatora



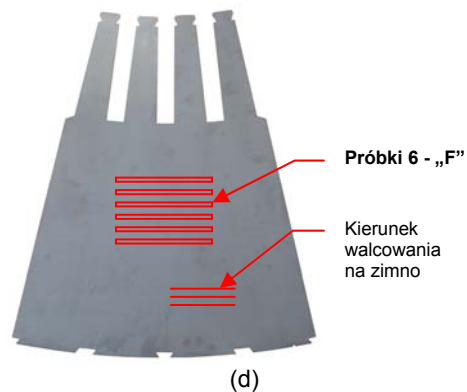
(a)



(b)



(c)

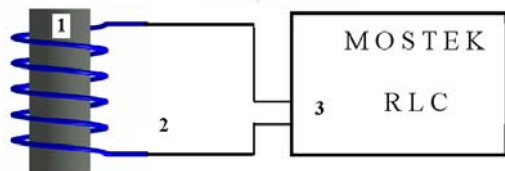


(d)

Rys.5. Lokalizacja miejsc pobrania próbek z rdzenia stojana
a - blacha pakietów skrajnych (widoczna degradacja, przegrzanie)
b - blacha pakietów środkowych (brak oznak degradacji)
c - blacha pakietów środkowych, po przeprowadzonej regeneracji
d - blacha fabrycznie nowa w gatunku M330-50A

Metoda badań i wyniki pomiarów

Próbki blach rdzenia stojana zbadano metodą spektroskopii impedancji [2-6]. Metoda oparta jest o pomiary zmian składowych czynnej i urojonej przenikalności magnetycznej efektywnej (=skutecznej) $\underline{\mu}_{eff}$ (pojęcie wprowadzone przez Förstera) cewki pomiarowej wraz ze zmianą częstotliwości (tj. pomiary cewki bez materiału i z materiałem próbki). Zasadę pomiaru przedstawiono na rysunku 6.



Rys.6. Zasada pomiaru

Metodyka badań wykorzystuje teoretyczne związki opracowane przez Förstera dla celów defektoskopii

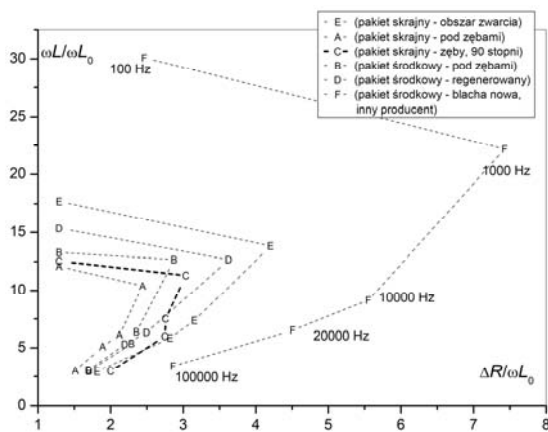
$$\frac{\Delta R}{\omega L_0} = \eta \mu_r (-\text{Im} \underline{\mu}_{eff})$$

$$\frac{\omega L}{\omega L_0} = 1 - \eta + \eta \mu_r (\text{Re} \underline{\mu}_{eff})$$

gdzie: $\frac{\Delta R}{\omega L_0}$, $\frac{\omega L}{\omega L_0}$ - unormowane składowe impedancji,

$\underline{\mu}_{eff}$ - przenikalność magnetyczna efektywna, μ_r - przenikalność magnetyczna względna, η - współczynnik wypełnienia cewki pomiarowej

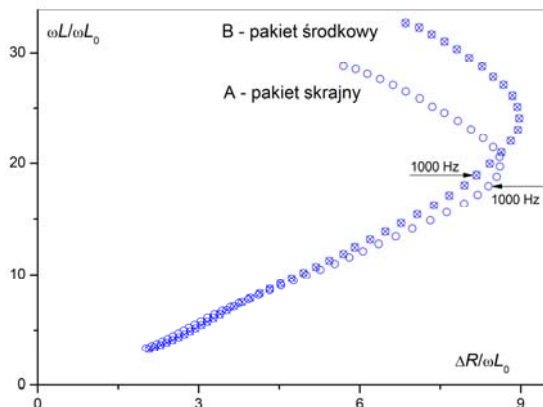
Pomiary prowadzono mostkiem RLC „Agilent 4263B”. Cewkę sondy pomiarowej zasilano napięciem 100mV o częstotliwości od 100Hz do 100000Hz w dostępnych nastawach mostka. Z przeprowadzonych pomiarów parametrów Z, R, L cewki pomiarowej wyznaczono składowe czynne i urojone przenikalności skutecznej dla częstotliwości 100, 1000, 10000, 20000 i 100000 Hz (rys. 7). Przybliżone krzywe wyznaczone z pięciu punktów pomiaru przy podanych częstotliwościach charakteryzują względne zmiany parametrów przenikalności magnetycznej i konduktywności materiału. Użycie linii przerywanej służy jedynie do zwiększenia czytelności różnic pomiędzy próbkami.



Rys.7. Wyniki pomiaru zmian składowych przenikalności skutecznej blach elektrotechnicznych dla częstotliwości 100, 1000, 10000, 20000 i 100000 Hz

Punkty oznaczone literą F wyznaczono dla blachy fabrycznie nowej w gatunku M330-50A, która (jak wynika z wykresu) różni się od badanej blachy eksploatowanej składem chemicznym i procesami obróbki (pochodzi od innego producenta). Zauważalne zmiany wykazują próbki blachy pakietu skrajnego pobrane z miejsca zwarcia „E” oraz próbki blachy poddanej regeneracji „D”, odnotowano w nich wzrost przenikalności magnetycznej. W przebiegu otrzymanym dla próbki „C” pobranej z zębów blachy pakietów skrajnych pod kątem 90° do kierunku walcowania wykazano istotne różnice. Związki przebiegu z kierunkiem walcowania próbek zostaną potwierdzone w dalszych badaniach blach nowych.

Dla dwóch próbek wybranych ze względu na lokalizację i stopień eksploatacyjnej degradacji zmęczeniowej przeprowadzono pomiary profesjonalnym mostkiem RLC „HIOKI 3532-50” w pełnym zakresie częstotliwości od 100Hz do 100000Hz. Pełny przebieg składowych czynnych i urojonych przenikalności skutecznej przedstawiono na rysunku 8.



Rys.8. Wyniki pomiaru zmian składowych przenikalności skutecznej wybranych blach elektrotechnicznych w pełnym zakresie częstotliwości od 100Hz do 100000Hz

Próbki blachy oznaczone literą A zostały wycięte z pakietów skrajnych rdzenia stojana, natomiast oznaczone literą B – z pakietów środkowych. Otrzymane przebiegi wskazują na zmiany przenikalności magnetycznej i konduktywności, jakie zaszły w blachach skrajnych w wyniku kilkudziesięcioletniej eksploatacji w trudniejszych warunkach obciążeń cieplnych w porównaniu z blachami części środkowej rdzenia. Przeprowadzone pomiary są powtarzalne.

Wnioski

Celem przeprowadzonych pomiarów było zbadanie możliwości wykorzystania metody spektroskopii impedancji do badań stabilności eksploatacyjnej parametrów magnetycznych i elektrycznych blach elektrotechnicznych (badania jakościowe). Wykazano znaczny spadek przenikalności magnetycznej blach części skrajnej w stosunku do blach części środkowej, a także kilkuprocentowy spadek konduktywności. Dla częstotliwości pracy generatora (tj. 50Hz) zmiany są wyższe niż wskazuje pierwszy pomiar wykonany dla 100Hz. Zastosowana metodyka badań potwierdziła jej uniwersalność. Następnym krokiem jest wyznaczenie ilościowe badanych zmian.

Innowacyjność metody polega na ujednoczeniu metodyki badawczej dla elementów stalowych ferro jak i paramagnetycznych. Zaletą wiodącą jest prostota, za którą przemawia zastosowanie niskiej oraz średniej klasy mostka RLC. Koszty badania materiału próbek jak również powierzchni elementów przedstawioną metodą są wielokrotnie niższe od innych nowoczesnych metod badawczych. Badania ilościowe prowadzone mostkami różnych klas wymagają jedynie wzorcowania. Metodykę cechuje bardzo wysoka powtarzalność. Badania materiału przedstawioną metodą wymagają znajomości jego parametrów początkowych.

LITERATURA

- [1]. ŻUREK Z. H.: NN5102383 38, pt. Metoda diagnostyki stanu stalowych (paramagnetycznych i ferromagnetycznych) elementów maszyn elektrycznych na przykładzie bandaży i kap wirników generatorów
- [2]. ŻUREK Z. H., BARON D.: P.402532 z dn. 24.01.2013, Sposób wykrywania degradacji zmęczeniowych w wysokostabilnych stalach paramagnetycznych chromowo manganowych metodą indukcyjną
- [3]. ŻUREK Z. H.: P.402531 z dn. 24.01.2013, Sposób i układ wzorcowania przetworników indukcyjnych do wykrywania degradacji zmęczeniowych stali ferro i paramagnetycznych
- [4]. ŻUREK Z. H., BARON D.: Badanie stabilności eksploatacyjnej parametrów magnetycznych i elektrycznych blach rdzenia stojana generatora typu TWW-200-2A, XVIII Konferencja Energetyki – Gnień 2013
- [5]. ŻUREK Z. H., BARON D.: Spektroskopia impedancji – metoda oceny stanu technicznego kołpaków wirników generatorów, XVIII Konferencja Energetyki – Gnień 2013
- [6]. ŻUREK Z. H., BARON D.: Spektroskopia impedancji – uniwersalny parametr diagnostyki elementów maszyn i urządzeń, XLIX Sympozjum SME – Gdynia/Gdańsk 2013
- [7]. ŻUREK Z. H., BARON D.: Pomiar zmian wartości przenikalności magnetycznej i przewodności elektrycznej właściwej kołpaków generatorów, XLVIII Sympozjum SME – Książ 2012
- [8]. ŻUREK Z. H., KUKLA D., BARON D.: Materiałowe warunki brzegowe blach elektrotechnicznych krzemowych, XLVIII Sympozjum SME – Książ 2012
- [9]. ŻUREK Z. H., BARON D.: Pomiar zmian wartości przenikalności magnetycznej i przewodności elektrycznej właściwej kołpaków generatorów”, XXI Seminarium Naukowo-Techniczne KOMEL PEMINE - Ryty 2012
- [10]. ŻUREK Z. H., KURZYDŁOWSKI K. J., KUKLA D., BARON D.: Material Edge Conditions of Electromagnetic Silicon Steel Sheets, Przegląd Elektrotechniczny nr 2b/2013, str.112-115
- [11]. WIAK S., KOMEZA K., DRZYMAŁA P., WELFLE H.: Obliczenia struktur płaskich (2D) turbogeneratorów o mocach 230MW i 560MW. Dokumentacja TurboCare Poland S.A., 2008

Autorzy

dr hab. inż. Zbigniew Hilary Żurek, prof. nzw. Politechniki Śląskiej, Wydział Transportu, E-mail: zbigniew.zurek@polsl.pl
mgr inż. Dariusz Baron, TurboCare Poland S.A., E-mail: dariusz.baron@turbocare.pl