

Konsolidacja czoł uzwojenia, metoda wydłużenia okresu eksploatacyjnego generatorów

Streszczenie. W artykule przedstawiono wyniki prac konsolidacyjnych przeprowadzonych dla generatorów średniej mocy. Prace polegają na wyznaczeniu parametrów charakteryzujących stan techniczny czoł uzwojenia stojana generatora oraz zastosowaniu specjalnie zaprojektowanego systemu dosztywniającego czoła uzwojenia generatora. Zastosowanie odpowiedniego systemu dosztywnień zmniejsza amplitudy drgań czoł w wyniku czego zmniejsza się intensywność procesów zmęczenia izolacji głównej prętów w strefie czoł uzwojenia. Parametry opisujące stan techniczny czoł uzwojenia stojana generatora wyznaczone są na podstawie eksperymentalnej analizy modalnej oraz analizy FRF.

Abstract. The article presents the results achieved after consolidation works conducted in behalf of medium seized generators. The works consisted in determining the parameters characterizing the technical conditions of the stator winding heads as well as applying a specially designed generator winding heads stiffening system. The application of an appropriate stiffening system diminishes the amplitude of heads vibrations resulting in a decrease of fatigue processes intensity on the bar main insulations in the area of the winding heads. The parameters describing the technical conditions of the stator winding front ends are determined on the basis of an experimental modal analysis and FRF analysis. **(Consolidation of winding ends as a method of generator life-time extension).**

Słowa kluczowe: konsolidacja, uzwojenie generatora, analiza, FRF.

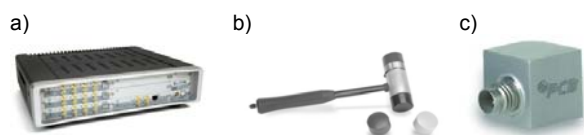
Keywords: consolidation, generator winding, analysis, FRF.

doi:10.12915/pe.2014.01.61

Wprowadzenie

Konsolidacja czoł uzwojenia stojana generatora ma na celu zmianę sztywności oraz zwiększenie spójności konstrukcji strefy czołowej. Uzyskuje się ją poprzez zastosowanie specjalnie zaprojektowanych części montowanych do czoł uzwojeń. Od roku 2011 TurboCare Poland dysponuje sprzętem do wykonania eksperymentalnej analizy modalnej oraz analizy FRF tzw. Bump TEST. Na podstawie przeprowadzonej analizy FRF oraz analizy modalnej można określić stan czoł uzwojenia oraz ustalić zakres ewentualnych prac napraw.

Urządzenie zostało skonfigurowane tak aby wykorzystując postój maszyny sprawdzić i określić w jakiej kondycji są czoła uzwojenia stojana, które poddawane są w trakcie eksploatacji generatora znacznym wymuszeniom dynamicznym. Zastosowanie wielokanałowego analizatora sygnału LMS Scadas III w połączeniu z 3-osiowymi czujnikami drgań oraz modalnego młotka pomiarowego firmy PCB Piezoelectronics pozwala wyznaczyć globalne oraz lokalne częstotliwości drgań własnych czoł uzwojenia stojana oraz obliczyć postacie drgań własnych. Przy wykorzystaniu oprogramowania LMS Test Lab analiza danych przeprowadzana jest w dziedzinie częstotliwości, natomiast wszystkie postacie modalne badanych obiektów mogą być zasymulowane oraz zwizualizowane w przestrzeni 3D.



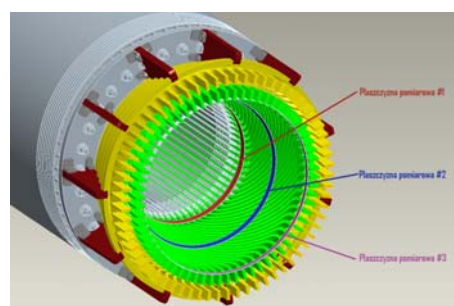
Rys.1. Zestaw pomiarowy: a) analizator wielokanałowy, b) młotek modalny, c) czujnik drgań

Metodologia pomiarów

Metodologia pomiarów została opracowana na podstawie wieloletniego doświadczenia pracowników TurboCare Poland. Badania przeprowadza się w miejscach najbardziej podatnych na uszkodzenia i wytarcia izolacji głównej w części czołowej uzwojenia stojana generatora.

Pierwszym etapem pomiarów jest wyznaczenie lokalnych częstotliwości drgań własnych uzwojenia stojana oraz obliczenie podatności dynamicznej - analiza FRF. Pomiary wykonywane są w 3 płaszczyznach dla każdego

pręta uzwojenia z osobna zarówno dla strony N oraz P. Na podstawie pomiarów wyznaczana jest inertancja oraz podatność dynamiczna. Pomiary na płaszczyźnie #1 pozwalają na wykrycie luzów części prostej pręta wychodzącej poza rdzeń stojana. Pomiary na płaszczyźnie #2 pozwalają na wykrycie luzów w części ewolwentowej uzwojenia stojana. Pomiary na płaszczyźnie #3 pozwalają na wykrycie luzów w strefie połączeń prądowych warstwy górnej i dolnej uzwojenia. Pomiary realizowane są na płaszczyznach wg schematu przedstawionego na rysunku 2.



Rys.2. Analiza FRF - schemat pomiarowy

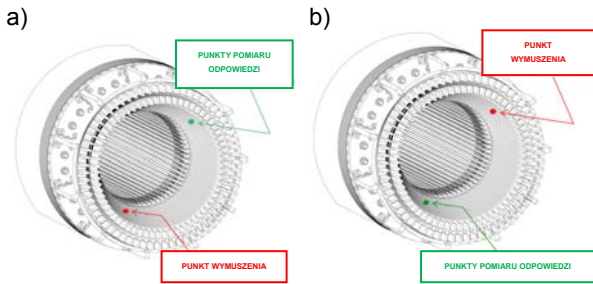
Drugim etapem pomiarów jest wykonanie testów liniowości i wzajemności. Test wzajemności przeprowadza się w celu wyznaczenia spójności układu (koherencji). Według założeń eksperymentalnej analizy modalnej, jeżeli konstrukcja jest jednorodna to funkcja transmitancji widmowej, wyznaczona pomiędzy dwoma punktami konstrukcji czoł uzwojenia, jest niezależna od tego, w którym punkcie było przyłożone wymuszenie i w którym punkcie wyznaczano odpowiedź (zasada wzajemności Maxwella).

Test liniowości przeprowadza się w celu określenia liniowości konstrukcji. Stosowalność eksperymentalnej analizy modalnej jest ograniczona do układów liniowych. Jednym z podstawowych wymagań, które musi spełnić układ, aby można do jego identyfikacji zastosować aparat eksperymentalnej analizy modalnej jest spełnienie zasady liniowości. Układ uważa się za liniowy, gdy spełnia następujące wymagania:

- amplituda odpowiedzi układu na wymuszenie jest proporcjonalna do amplitudy wymuszenia,

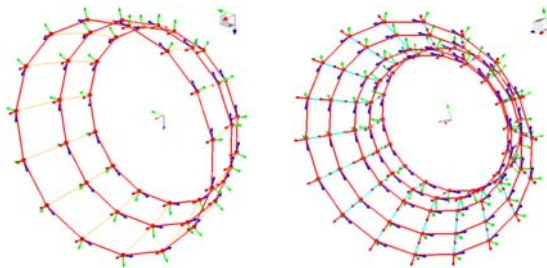
- funkcja transmitancji widmowej układu nie zależy od rodzaju i od amplitudy wymuszenia stosowanego w celu jej uzyskania.

Test wzajemności i liniowości realizowany jest wg schematu pokazanego na rysunku 3.



Rys.3. Schemat pomiarowy dla testu wzajemności i liniowości: a) krok 1, b) krok 2

Trzeci etap pomiarów to wykonanie eksperymentalnej analizy modalnej. Pomiar polega na wyznaczeniu globalnych częstotliwości drgań własnych czoł uzwojenia stojana. Głównym celem analizy modalnej jest sprawdzenie czy w przedziale częstotliwości 95 - 115[Hz] nie występuje zjawisko rezonansu. Na potrzeby analizy modalnej, każdorazowo tworzony jest model geometryczny, jego postać zależna jest między innymi od wymiarów generatora i liczby żłobków. Przykładowe modele geometryczne używane do analizy modalnej przedstawione są na rysunku 4.



Rys.4. Przykładowe modele geometryczne czoł uzwojenia stojana wykorzystywane podczas analizy modalnej

Dosztynienie generatora

W zależności od konstrukcji generatora, kondycji oraz wyników badań opisanych w punkcie drugim TurboCare Poland S.A. przygotowanych ma kilka pakietów poprawiających sztywność czoł uzwojenia stojana generatora. Warianty te obejmują dosztynienie samych prętów uzwojenia stojana, jak również zwiększenie sztywności pierścieni wsporczych oraz szyn prądowych. W ramach przeprowadzonych prac konsolidacyjnych wymienione warianty poprawy sztywności czoł uzwojenia stojana generatora zostały zastosowane na jednostkach rozlokowanych w Malezji, Hiszpanii i Polsce, (rys. 5 do 10). Prace obejmowały montaż specjalnego grzebienia w części prostej wychodzącej poza rdzeń stojana, poprawę wiązań klocków usztynniających część ewolwentową, montaż klocków usztynniających pokrywy izolacyjne, zastosowanie dodatkowych usztynnień i wiązań prętów fazowych oraz zastosowanie dodatkowych usztynnień montowanych na szyny prądowe generatora.

Wszelkie prace konsolidacyjne przeprowadzane są wg. sztywnych wytycznych technologicznych tak aby nie uzyskać efektu przesztynnienia układu. Każde prace konsolidacyjne kończą się ostatecznym badaniem Bump Test oraz analizą modalną sprawdzającą poprawność

wykonanych prac naprawczych. Prace przeprowadzane były na generatorach o mocach zakresu 96-230MW.



Rys.5. Naprawa i dosztynienie części ewolwentowej



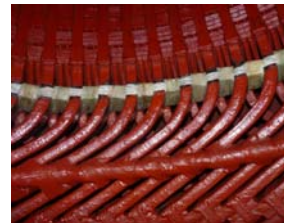
Rys.6. Dosztynienie szyn prądowych generatora



Rys.7. Dosztynienie pierścieni wsporczych generatora



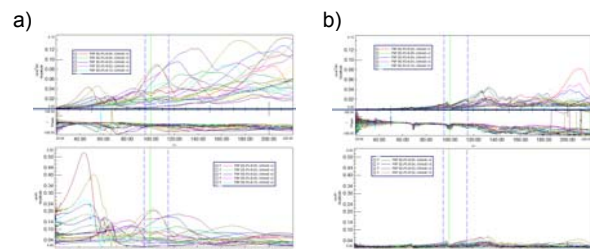
Rys.8. Usztynwienie końca uzwojeń wraz z pokrywami izolacyjnymi



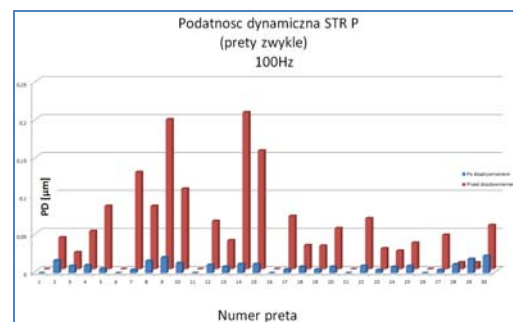
Rys.9. Usztynwienie części prostej wychodzącej poza rdzeń stojana generatora



Rys.10. Dosztynienie prętów fazowych generatora



Rys.11. Zmierzone wartości inercyjności oraz podatności dynamicznej prętów zwykłych - (płaszczyzna #3): a) przed dosztynieniem, b) po dosztynieniu

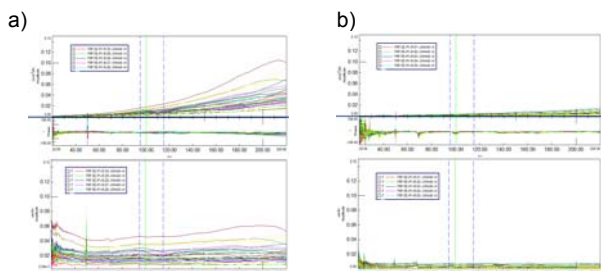


Rys.12. Porównanie wartości podatności dynamicznej przy częstotliwości 100Hz dla prętów zwykłych strona P - przed i po posztynieniu - (płaszczyzna #3)

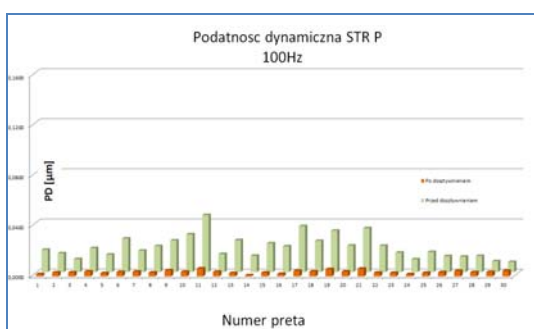
Analiza wyników prac konsolidacyjnych

Po zakończeniu prac remontowych, każda konsolidacja czoł uzwojenia stojana kończy się analizą FRF oraz analizą modalną sprawdzającą poprawność przeprowadzonych

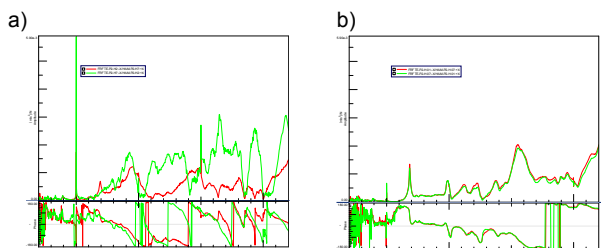
prac naprawczych. Podczas badań sprawdzane są wartości podatności dynamicznej, inercyjności oraz sprawdza się czy w okolicach częstotliwości 100Hz nie występuje zjawisko rezonansu kosza uzwojenia stojana. Przykładowe wyniki pomiarów analizy FRF oraz analizy modalnej wykonanej na generatorze GTHW 230 przedstawiono na poniższych przebiegach (rys. 11 do 17).



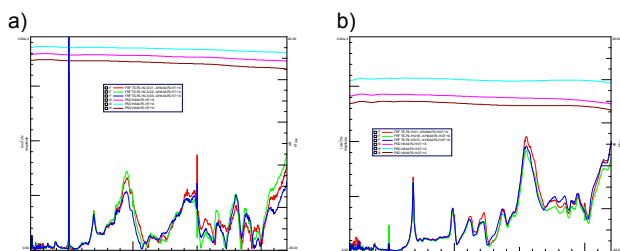
Rys.13. Zmierzone wartości inercyjności oraz podatności dynamicznej prętów - (płaszczyzna #1): a) przed dosztywnieniem, b) po dosztywnieniu



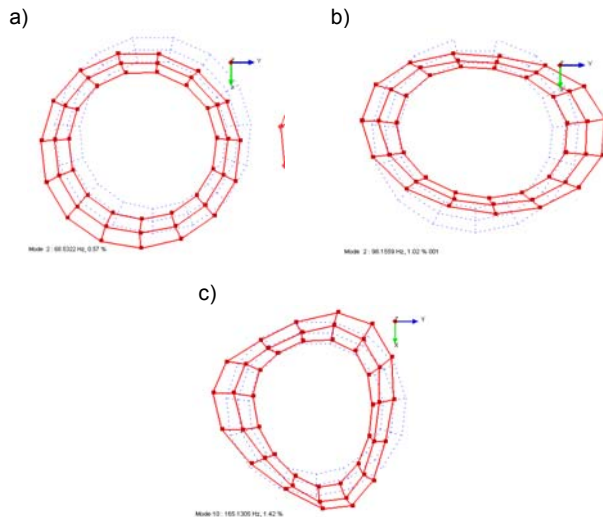
Rys. 14. Porównanie wartości podatności dynamicznej przy częstotliwości 100Hz dla prętów – przed i po posztywnieniu - (płaszczyzna #1)



Rys. 15. Test wzajemności: a) przed dosztywnieniem, b) po dosztywnieniu



Rys.16. Test liniowości: a) przed dosztywnieniem, b) po posztywnieniu



Rys.17. Przykładowa postać modalna przedstawiająca: a) kołysanie się rdzenia, b) postać 4-węzłową, c) postać 6-węzłową

Podsumowanie

Konsolidacja czoł uzwojenia stojana generatora wykonywana poprzez firmę TurboCare Poland S.A. jest dobrą metodą na wydłużenie okresu eksploatacyjnego turbogeneratorów. Wszystkie prace remontowo-naprawcze poparte są odpowiednimi pomiarami i analizami. Zastosowanie odpowiedniego systemu dosztywnień zmniejsza drgania czoł uzwojenia stojana w wyniku czego zmniejsza się intensywność procesów zmęzeniowych izolacji głównej prętów w strefie czoł uzwojenia. Konstrukcja jest jednorodna (koherentna) o czym świadczy zbieżność uzyskanych wyników.

Analiza FRF oraz analiza modalna czoł uzwojenia stojana jest rekomendowana przy każdym przeglądzie turbogeneratorów.

LITERATURA

- [1] R. Maniara, D. Kardas "Badania własności dynamicznych czoł uzwojenia stojana generatora" XVII Konferencja Energetyki - Innowacje przyszłością energetyki.
- [2] O. Drubel, S. Kulig, K. Senske "End winding deformations in different turbogenerators during 3-phase short circuit and full load operation"
- [3] Materiały własne autorów.

Autorzy: mgr inż. Tomasz Dusza, TurboCare Poland S.A. Lubliniec, ul. Powstańców Śląskich 85, 42-701 Lubliniec, E - mail: tomasz.dusza@turbocare.pl;
mgr inż. Szczepan Bojara, TurboCare Poland S.A. Lubliniec, ul. Powstańców Śląskich 85, 42-701 Lubliniec, E-mail: szczepan.bojara@turbocare.pl;
Piotr Rudolf, TurboCare Poland S.A. Lubliniec, ul. Powstańców Śląskich 85, 42-701 Lubliniec, E-mail: piotr.rudolf@turbocare.pl.