

Odwirownia wirników generatorów synchronicznych jako stanowisko wyważania oraz pomiarów elektrycznych i mechanicznych wirników generatorów, potwierdzających poprawność modernizacji lub remontu danego obiektu

Streszczenie. W artykule przedstawiony został proces wyważania wirnika generatora synchronicznego oraz pomiary elektryczne i mechaniczne jakim poddany jest każdy remontowany wirnik po zamontowaniu na odwirowni. Zaprezentowano również przykładowy plan badań i prób jakim podlega remontowany wirnik oraz podstawowe dane techniczne wyważarki i zespołu urządzeń z nią związanych. Pokazane zostały również charakterystyki z procesu wyważania, nagrzewania oraz sezonowania wirnika na obrotach znamionowych.

Abstract. Following article presented high speed balancing process on the synchronous generator rotor and all electrical and mechanical test. Article presented selected and performed plan of tests and checklists during renovation of the rotor. It shows basic technical data about balancing machine and another tools needed for balancing. There were presented charts from balancing and heating process of the rotor at the nominal speed. (High Speed Balancing and Ovespeed Test Facility as position of balancing, electrical and mechanical measurements confirming correctness modernization or repair of given object.).

Słowa kluczowe: wyważanie wysokoobrotowe, zwarcia międzyzwojowe, diagnostyka, maszyny elektryczne
Keywords: high speed balancing, short turned, diagnostic, electrical machines

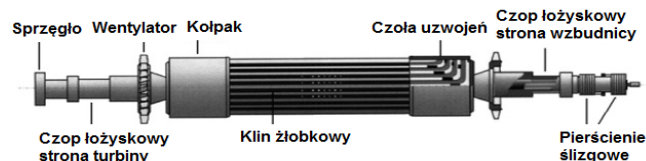
Wstęp

W poniższym artykule przedstawione zostały możliwości przeprowadzenia badań diagnostycznych jakie daje wysokoobrotowa wyważarka. W 2017 roku odwirownia firmy EthosEnergy Poland S.A. obchodzi 25-lecie swojej pracy. W tym okresie tj. od 1992 do końca 2016 wyważonych zostało 936 wirników różnych typów i mocy. Moc zainstalowanych napędów oraz konstrukcja wyważarki daje możliwość zamontowania wirników o wadze do 80 000 kg. Dotychczas najcięższa jednostka to wirnik o mocy 700MW o wadze 75 000 kg. Dzięki specjalnej budowie wyważarki oraz bunkra, odwirownia pozwala zasymulować i obserwować stan dynamiczny wirnika podczas procesu nagrzewania uzwojenia na obrotach znamionowych oraz przeprowadzić pomiary w całym zakresie prędkości roboczej badanego wirnika. Podczas tego procesu w uzwojeniu wirnika płynie prąd stały (do 1000 A), który nagrzewa uzwojenie do temp. ok. 100°C, co daje możliwość obserwacji stanu dynamicznego wirnika w zależności od temperatury.

W artykule przedstawione zostały w skrócie najważniejsze procesy technologiczne jakim poddany zostaje wirnik generatora podczas prób i pomiarów które wykonywane są na wyważarce. Pomiary przeprowadzane na tym etapie stanowią końcowy etap remontu wirnika i mają potwierdzić poprawność wykonanych prac.

Podstawowe dane techniczne wyważarki Schenck DI90

Wirniki turbogeneratorów wielkich mocy zaliczane są do grupy wirników gibkich, dlatego muszą być wyważane w wielu płaszczyznach i w całym zakresie dopuszczalnych prędkości obrotowych. Do takiego wyważania najlepiej przystosowane są specjalne wyważarki wysokoobrotowe.



Rys. 1. Wirnik generatora synchronicznego [1]

Poza podstawową funkcją jaką jest wyważenie i przeprowadzenie próby wytrzymałości mechanicznej wysokoobrotowa wyważarka firmy EthosEnergy Poland S.A. została tak dostosowana, by można przeprowadzić proces nagrzewania uzwojenia oraz pomiary elektryczne i mechaniczne.

Wyważarka składa się z następujących podzespołów[2]:

- łoża maszyny,
- 2 stojaków łożyskowych DI90,
- stojaka łożyskowego do podparcia III łożyska,
- 2 wózków transportowych,
- wału pośredniego z wbudowanym napędem obracającym,
- 5 precyzyjnych wałów przegubowych,
- stacji zasilania olejem smarowym,
- stacji oleju wysokociśnieniowego,
- pulpitu do przyrządów pomiarowych i sterowania napędem,
- kompletnego napędu prądu stałego,
- przekładni hydrokinetycznej,
- sprzęgła sprężystego,
- przyrządu pomiarowego CAB920,
- cyfrowego urządzenia do pomiaru liczby obrotów,
- urządzenia Vibrocontrol 2000,
- urządzenia M358 do kontroli siły działającej na łożysko,
- urządzenia firmy Bently Nevada – System 3300.



Rys. 2. Dyspozytorna odwirowni [3]

Maksymalna możliwa waga wyważanego wirnika to 80000 kg, średnica czopów 500mm, długość wirnika 13250 mm, a najwyższa osiągalna prędkość obrotowa to 4500 obr/min.

Wieloletnie doświadczenie firmy EthosEnergy Poland S.A. w remontach generatorów oraz 25 lat funkcjonowania odwirowni pozwoliły opracować i dostosować plan badań i prób badanego obiektu by jak najlepiej ocenić poprawność wykonanej modernizacji bądź remontu. Oczywiście plan badań i prób może zostać zmodyfikowany na życzenie klienta i dostosowany do indywidualnych potrzeb.

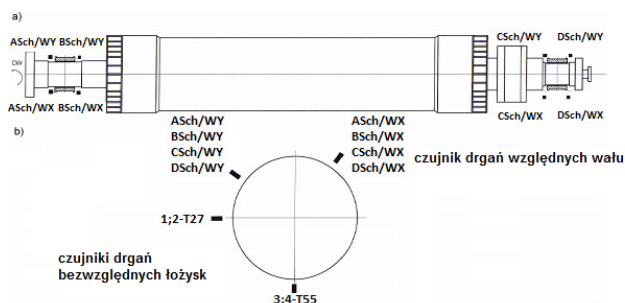


Rys. 3. Wirnik generatora podczas pomiarów elektrycznych [3]

Wyważanie wirników generatorów synchronicznych

25-letnie doświadczenia w wyważaniu wirników generatorów synchronicznych pozwoliły zoptymalizować i udoskonalić proces wyważania by sprostać coraz wyższym wymaganiom określonym w międzynarodowych normach. Ocena stanu dynamicznego wirnika opiera się na pomiarze drgań bezwzględnych łożysk i względnych drgań wału (ISO 1940, ISO 11342, ISO 7919, ISO 10816). Wirnik po remoncie powinien pracować w strefach A wymienionych norm.

Wirniki generatorów synchronicznych należy wyważać w wielu płaszczyznach i w całym zakresie dopuszczalnej prędkości obrotowej. Wirniki składają się z wielu odrębnych elementów wykonanych z różnych materiałów. Niektóre części osadzone są na wale wirnika „ze skurczem”. Pod wpływem sił odśrodkowych oraz wskutek nagrzania wirnika mogą wystąpić trwałe przemieszczenia poszczególnych jego elementów. Z tego powodu kontrola niewyważenia i doważenie powinno odbywać się w stanie nagrzanym podobnym do warunków w jakich wirnik jest eksploatowany.

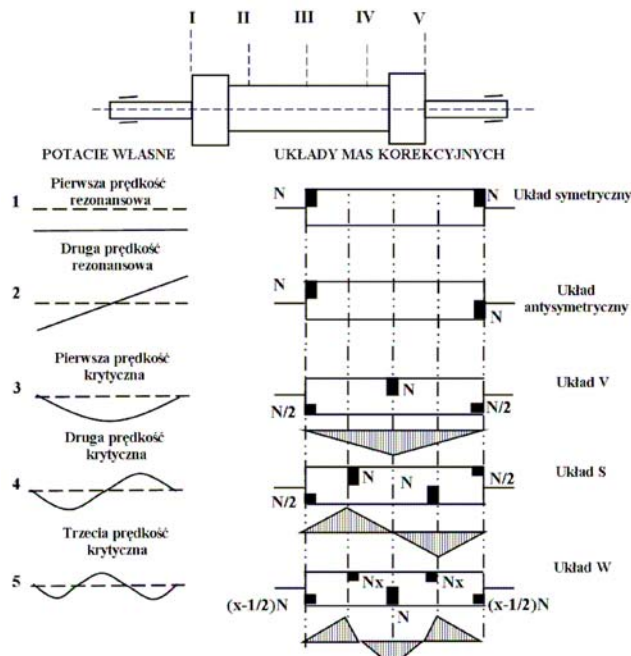


Rys. 4. Rozmieszczenie czujników pomiarowych podczas wyważania [3]

Poniższy rysunek przedstawia pełny cykl wyważania wirnika generatora (postacie własne oraz układy mas korekcyjnych), który należy zastosować podczas wyważania wysokoobrotowego. Wszystkie pomiary

elektryczne i mechaniczne przeprowadzane na odwirowni mają na celu [4]:

- uformowanie i uspokojenie dynamiczne wirnika,
- weryfikację stanu dynamicznego podczas nagrzewania - ruch termiczny uzwojenia wirnika w stosunku do układu izolacyjnego oraz innych elementów konstrukcyjnych powinien być swobodny,
- przygotowanie wirnika do sekwencji rozruchów spełniających oczekiwania klienta i norm eksploatacji.



Rys. 5. Pełny cykl wyważania wirnika generatora w pięciu płaszczyznach korekcji [4]

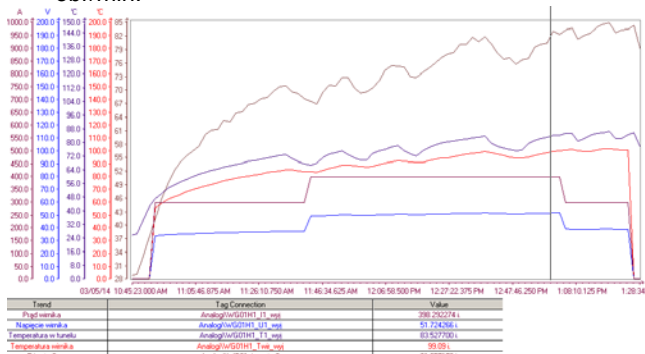
Badania wykonywane na odwirowni

Poniżej przedstawiony został przykładowy plan badań i prób oraz charakterystyki odpowiadające poszczególnym etapom pomiarów.

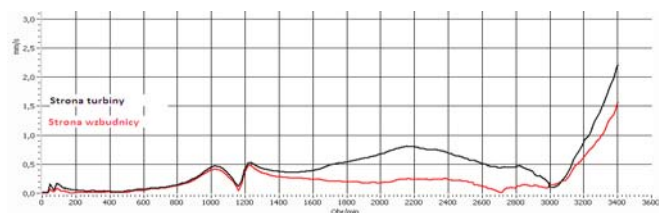
Próby i pomiary wykonywane na odwirowni:

- wyważenie wstępne wirnika (Rys. 8),
- pomiar stanu izolacji dla $n = 0$ obr/min i dla $n = 3000$ obr/min,
- pomiar impedancji:
 - w funkcji obrotów dla $U = U_n$ (co 500 obr/min),
 - w funkcji napięcia dla $n = 3000$ obr/min (co 50V),
- kontrola na obecność zwarcie międzyzwojowych, oscylogramy dla $n = 500, 1500$ i 3000 obr/min (przy $I = 100A$),
- zagrzanie uzwojenia wirnika na obrotach znamionowych do temperatury ok. $100^{\circ}C$,
- wykonanie próby wytrzymałości mechanicznej – 3400 lub 3600 obr/min – 3 lub 2 minuty,
- pomiar stanu izolacji dla $n = 0$ i 3000 obr/min,
- próba napięciowa uzwojenia wirnika przy $n = 3000$ obr/min i temp. uzwojenia $\sim 100^{\circ}C$,
- pomiar stanu izolacji po próbie napięciowej dla $n = 0$ i 3000 obr/min,
- pomiar impedancji:
 - w funkcji obrotów dla $U = U_n$, temperaturze $= 90^{\circ}C$, od $n = 0$ do $n = 3000$ obr/min i od $n = 3000$ obr/min do $n = 0$ obr/min, co 500 obr/min,
 - w funkcji napięcia przy $n = 3000$ obr/min (co 50V),
- wyważenie końcowe wirnika,
- schłodzenie wirnika,
- pomiar impedancji:

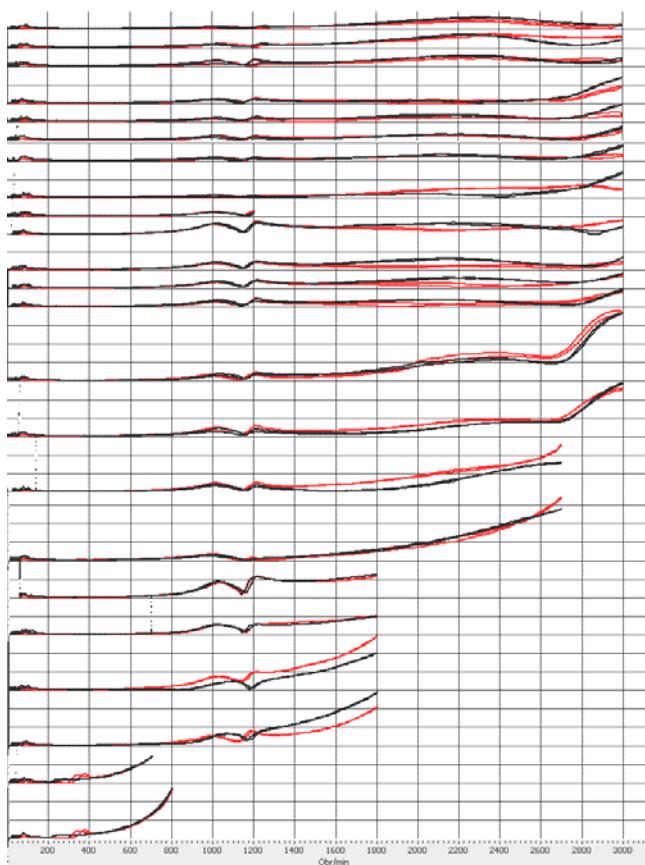
- o w funkcji obrotów dla $U=U_n$, od $n=0$ do $n=3000$ obr/min i od $n=3000$ obr/min do $n=0$ obr/min (co 500 obr/min),
- o w funkcji napięcia przy $n=3000$ obr/min (co 50V),
- pomiar stanu izolacji dla $n=0$ obr/min i dla $n=3000$ obr/min.



Rys. 6. Proces nagrzewania uzwojenia wirnika [3]



Rys. 7. Próba wytrzymałości mechanicznej – drgania bezwzględne łożysk w kierunku poziomym [3]



Rys. 8. Charakterystyki przedstawiają drgania bezwzględne łożysk podczas pełnego cyklu wyważania [3]

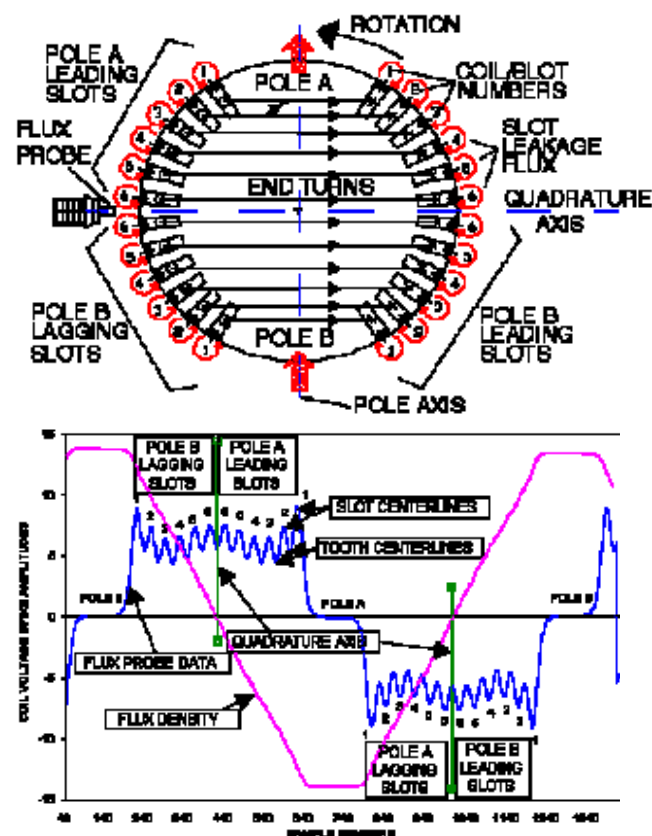
Wysokoobrotowa wyważarka daje możliwość przeprowadzenia pomiarów elektrycznych przy obrotach znamionowych remontowanego wirnika. Ponieważ podczas

pracy wirnika na uzwojenie działa duża siła odśrodkowa, zyskujemy możliwość wykrycia wad niewidocznych podczas wykonywania pomiarów w stanie statycznym. Poniżej przedstawione zostały charakterystyki oscylogramy zwarcia międzyzwojowych wykrytych podczas pomiarów.

Oscylogramy zwarcia międzyzwojowych wykonywane są przy pomocy systemu detekcji zwarcia międzyzwojowych firmy Generatortech Inc. Badanie to wykonuje się z przepływającym prądem w uzwojeniu wirnika podczas jego wirowania poprzez pomiar pola rozproszenia za pomocą sondy (cewki) pomiarowej umieszczonej w określonej odległości od wirnika. Napięcie indukowane w cewce pomiarowej rejestrowane jest za pomocą urządzenia i komputera pomiarowego z programem do analizy otrzymanych sygnałów.



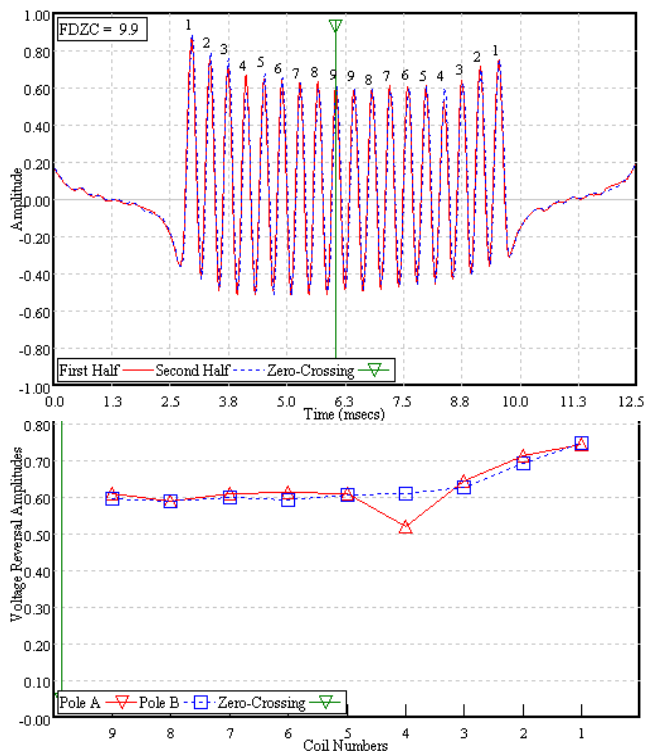
Rys. 9. Sonda pomiarowa zainstalowana na odwirowni



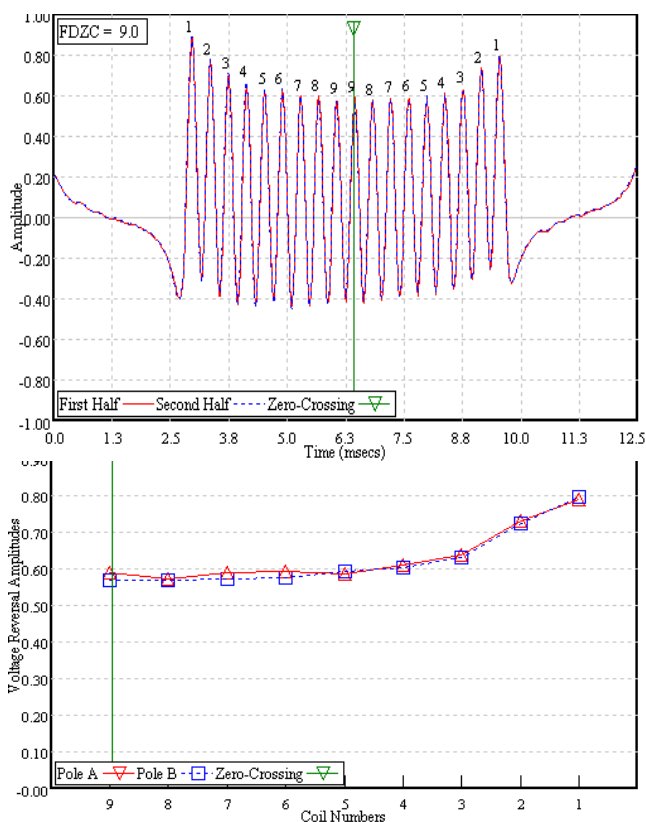
Rys. 10. Nomenklatura dla wirnika dwubiegunowego oraz przykładowa odpowiedź z sondy pomiarowej [5]

Opisany powyżej przypadek dotyczy zwarcia międzyzwojowego wykrytego podczas wykonania pomiarów

wstępnych wirnika w cewce nr 4. Po zdemontowaniu kołpaków zwarcie zostało zlokalizowane na czołach uzwojeń i usunięte. Pomiar oscylogramów wykonany po zakończonym remoncie nie wykazał zwarcia.



Rys. 11. Oscylogramy zwarc międzyzwojowych wykonane przed remontem [3]



Rys.12. Oscylogramy zwarc międzyzwojowych wykonane po remoncie [3]

Zwarcia międzyzwojowe powstają w wyniku uszkodzenia izolacji pomiędzy poszczególnymi zwojami uzwojenia wirnika. Najczęściej zwarcia międzyzwojowe występują pod kołpakami między górnymi zwojami cewek wirnika. Jest to tyle szczególnie niebezpieczne, ponieważ mogą doprowadzić do jego uszkodzenia. Dlatego możliwość wykonania pomiarów elektrycznych oraz procesu nagrzewania uzwojenia na prędkości znamionowej jest tak ważna.



Rys. 13. Przykładowe uszkodzenie izolacji.

Uwagi końcowe

Wysokobrotowa wyważarka daje możliwość przeprowadzenia pomiarów elektrycznych przy obrotach znamionowych remontowanego wirnika. Ponieważ podczas pracy wirnika na uzwojenie działa duża siła odśrodkowa, zyskujemy możliwość wykrycia wad niewidocznych podczas wykonywania pomiarów w stanie statycznym. Wszystkie pomiary elektryczne i mechaniczne przeprowadzane na odwiornym pozwalają na określenie stanu wykonanego remontu oraz wskazanie ewentualnych przyczyn problemów, które wystąpiły podczas eksploatacji. Proces nagrzewania uzwojenia na obrotach umożliwia sprawdzenie swobody ruchów termicznych uzwojenia względem układu izolacyjnego i innych elementów konstrukcyjnych. 25-let doświadczeń w wyważaniu wirników generatorów synchronicznych pozwoliło utworzyć dużą bazę danych, która służy do interpretacji otrzymanych wyników. Poza wirnikami generatorów wyważane były również wirniki turbin, silników oraz wzbudnic.

Autor: mgr inż. Paweł Rydlik, EthosEnergy Poland S.A., E-mail: Pawel.Rydlik@ethosenergygroup.pl

LITERATURA

- [1] Klempner G., Kerszenbaum I.: Operation and maintenance of large turbo-generators. ISBN 0-471-61447-5, Institute of Electrical and Electronics Engineers, Canada 2004.
- [2] Dokumentacja techniczno-ruchowa wyważarki Schenck DI90.
- [3] Plany badań i prób, Instrukcje wewnętrzne, zdjęcia i wyniki pomiarów – EthosEnergy Poland S.A.
- [4] Łączkowski R., Wyważanie elementów wirujących. WNT Warszawa 1979
- [5] <http://www.generatorotech.com/>