

**Karol Listewnik**

## **SYMPTOMY STANÓW GRANICZNYCH OKRĘTOWEJ PRĄDNICY SYNCHRONICZNEJ W DIAGNOSTYCE ZESTAWU ZASILANIA ELEKTRYCZNEGO**

### **STRESZCZENIE**

W pracy przedstawiono wyniki badań nad systemem oceny zdatności zestawu zasilania elektrycznego do wytwarzania energii elektrycznej o wymaganej jakości. W badaniach zastosowano metodę eksperymentu biernego i czynnego, dzięki czemu można było ustalić aktualny stan techniczny badanego obiektu i jego podatność diagnostyczną w relacji defekt – symptom.

### **WSTĘP**

Wzrastające w ostatnich latach zapotrzebowanie na energię elektryczną o wysokiej jakości, zwiększenie wymagań jakościowych oraz zapewnienie ciągłości zasilania są przyczynami coraz większego zainteresowania problemem jakości energii elektrycznej na jednostkach pływających. Na okrętach marynarki wojennej brak w tej chwili kompleksowych rozwiązań realizujących zadania diagnostyki Zestawów Zasilania Elektrycznego (ZZE). Dynamiczny rozwój systemów monitorowania i nadzoru umożliwia obecnie wykorzystanie parametrów diagnostycznych szybkozmiennych podsystemu diagnostyki okrętowej prądnicy synchronicznej, w oparciu o relacje defekt – symptom, do oceny stanu technicznego Zestawu Zasilania Elektrycznego, a tym samym poprawy niezawodności okrętowego systemu elektroenergetycznego.

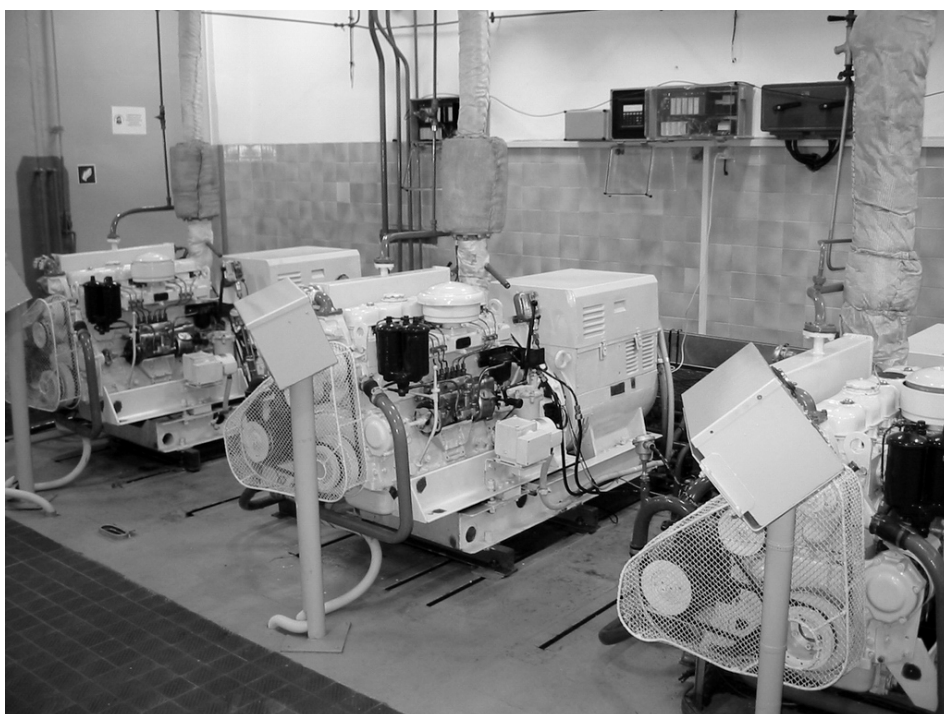
System monitorowania ZZE umożliwia pomiar parametrów eksploatacyjnych oraz sterowanie elektrownią okrętową. W dalszym etapie prac niezbędne stało się opracowanie podsystemu diagnostyki odpowiedzialnego za dostarczanie na potrzeby systemu monitorowania elektrowni okrętowej zbioru wskaźników umożliwiających i ułatwiających podejmowanie decyzji w zakresie wnioskowania diagnostycznego o stanie obiektu.

Celem pracy było opracowanie systemu oceny zdatności Zestawu Zasilania Elektrycznego do wytwarzania energii elektrycznej o wymaganej jakości.

## OBIEKT BADAŃ

Do badań wytypowano Zestaw Zasilania Elektrycznego ZE-400 składający się ze spalinowego silnika wysokoprężnego SW-400 jako napędu i prądnicy GCPf-94c/1.

Wybór podyktowany był liczbą ZZE eksploatowanych na okrętach MW oraz faktem, że wytypowane ZZE są również dostępne w laboratorium badawczym AMW (rys. 1.). Mógłby stanowić bazę badań eksperymentalnych nad systemem diagnostyki okrętowych prądnic synchronicznych i opracowania systemu oceny zdadności Zestawu Zasilania Elektrycznego do wytwarzania energii elektrycznej o wymaganej jakości. Laboratoryjny układ elektrowni okrętowej jest odzwierciedleniem elektrowni kutra raketowo-artyleryjskiego proj. 660/Orkan.



Rys. 1. Ogólny widok wytypowanych do badań ZZE typu ZE-400

Jest to system uniwersalny, dający duże możliwości rozdziału energii. Układ składa się z rozdzielnic głównej *RG I*, na którą pracują dwa zestawy zasilania elektrycznego ZZE oraz rozdzielnic głównej *RG II*, do której podłączony jest trzeci zestaw zasilania elektrycznego ZZE.

Prądnica synchroniczna GCPf-94c/1 o mocy 60 kVA z układem samoczynnej regulacji napięcia typu WS 60 N przeznaczona jest do wytwarzania energii elektrycznej w Zestawie Zasilania Elektrycznego prądu przemiennego –  $f = 50$  Hz, 3 x 380V, na statkach morskich o nieograniczonym zasięgu pływania. Może mieć również zastosowanie do celów lądowych, na przykład w komunikacji czy budownictwie.

Prądnica napędzana jest wysokoprężnym silnikiem spalinowym ze statyką obrotów o zakresie 0 – 5%. Korpus prądnicy jest połączony z korpusem silnika za pomocą kołnierza. Zespół ten posadowiony jest na wspólnej ramie fundamentowej. Wały silnika napędowego i prądnicy połączone są za pomocą sprzęgła elastycznego.

## BADANIA WŁASNE

Opracowanie systemu oceny zdadności Zestawu Zasilania Elektrycznego do wytwarzania energii elektrycznej o wymaganej jakości przeprowadzono w następujących etapach:

- I. Analiza zjawisk zachodzących w ZZE mających wpływ na jakość energii elektrycznej wytwarzanej przez okrętowe prądnice synchroniczne.
- II. Opracowanie sposobu rejestracji i przetwarzania danych – wybór wielkości pomiarowych do rejestracji i analizy.
- III. Opracowanie wskaźników jakości energii elektrycznej oddzielnie dla każdego elektrycznego parametru diagnostycznego.
- IV. Przeprowadzenie eksperymentu biernego dla ustalenia aktualnego stanu technicznego ZZE i określenia jego zdadności do wytwarzania energii elektrycznej o wymaganej jakości.
- V. Wytypowanie najczęstszych uszkodzeń ZZE, zaplanowanie i przeprowadzenie eksperymentu czynnego celem określenia relacji defekt – symptom.
- VI. Krytyczna analiza wyników badań – wyznaczenie symptomów stanów granicznych.

### Ad. I.

W silnikach napędzających prądnice synchroniczne na szczególną uwagę zasługują zjawiska wywołujące odchyłki od zadanej prędkości obrotowej. W rozwiązaniu konstrukcyjnym silnika o wartościach tych odchyłek decydują przede wszystkim:

- układ regulacji prędkości obrotowej;

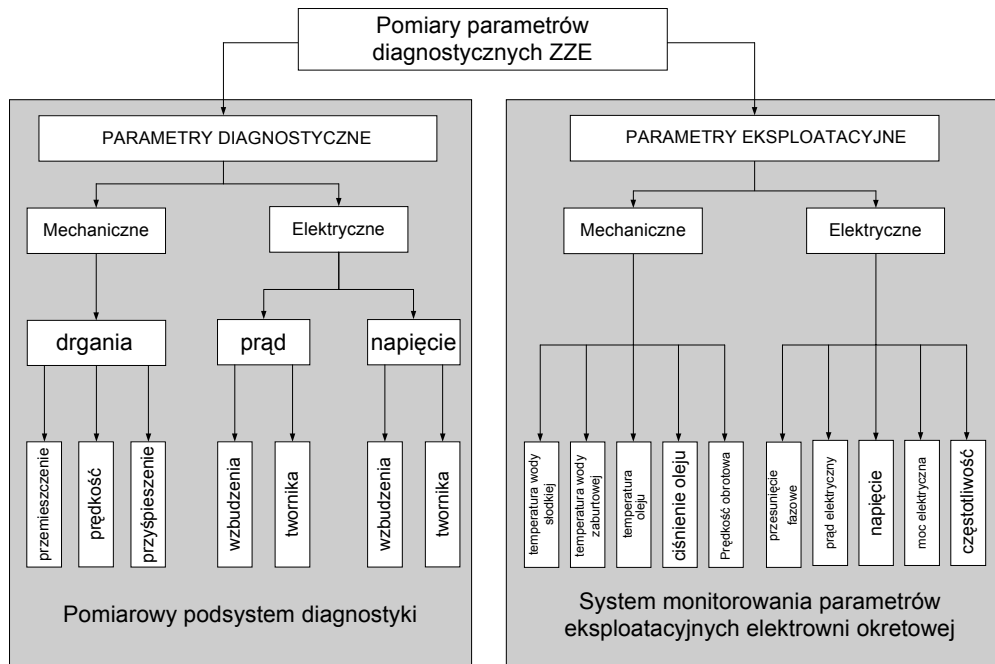
- układ zasilania powietrzem;
- konstrukcja zespołów i elementów, które decydują o przebiegu ciśnień w cylindrze (układ zasilania paliwem, komora spalania);
- układ i liczba cylindrów oraz kolejność zapłonów;
- moment bezwładności mas wirujących (silnika, koła zamachowego i prądnicy).

W okrętowych prądnicach synchronicznych wpływ na jakość energii elektrycznej mają:

- wielkość i rodzaj obciążenia;
- układ regulacji napięcia.

Ad. II.

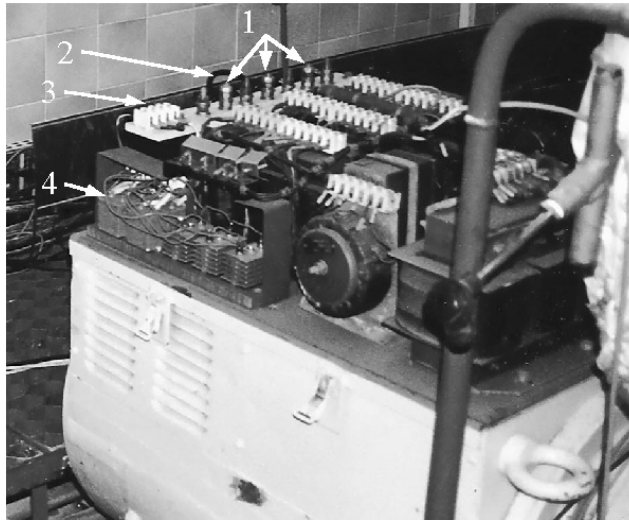
Założono, że parametry eksploatacyjne, mierzone przez system monitorowania parametrów eksploatacyjnych znajdujący się na stanowisku badawczym (gdzie np. dla parametrów elektrycznych mierzone są wartości skuteczne), określają warunki zewnętrzne pomiarów parametrów diagnostycznych, mierzone przez zaprojektowany na potrzeby badań podsystem diagnostyki (gdzie częstotliwość pomiarów wynika z niezbędnej do badań częstotliwości próbkowania,  $f_s \geq 10 kHz$ ).



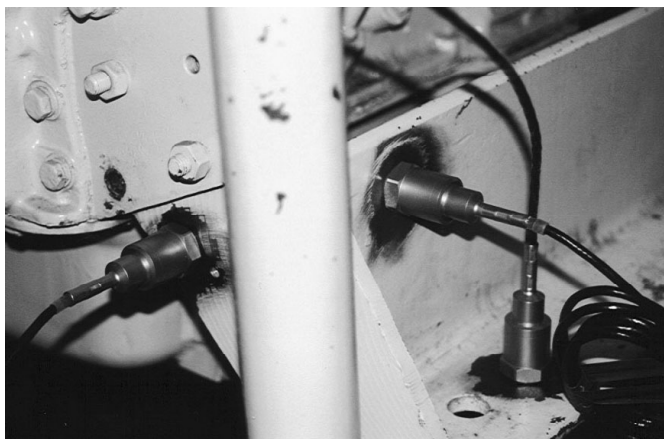
Rys. 2. Sposób rejestracji i przetwarzania danych

Analiza obiektu badań pozwoliła ograniczyć liczbę mierzonych parametrów diagnostycznych szybkozmiennych do:

- napięcia twornika (napięcie międzyfazowe), rys. 3. pkt 1.;
- prądu twornika (prąd przewodowy), rys. 3. pkt 2.;
- napięcia wzbudzenia, rys. 3. pkt 3.;
- prądu wzbudzenia, rys. 3. pkt 4.;
- drgań mechanicznych (prędkość, przemieszczenie okrętowego ZZE), rys. 4.



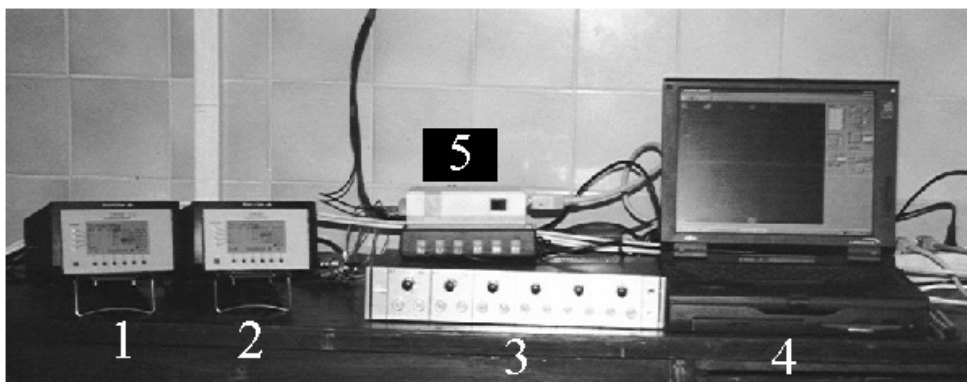
Rys. 3. Regulator napięcia WS 60 N z zaznaczonymi punktami pomiarowymi prądów i napięć



Rys. 4. Punkty pomiarowe drgań mechanicznych – rama fundamentowa ZZE

Pomiarowy podsystem diagnostyki parametrów diagnostycznych szybkozmiennych (rys. 5.) oparto na 6-kanalowym przetworniku A/C zintegrowanym z procesorem sygnałowym TMS320C32. Z podsystemem współpracuje opracowana w języku programowania Matlab, na potrzeby eksperymentu diagnostycznego, aplikacja analizatora jakości energii elektrycznej (rys. 6.). Aplikacja umożliwia:

- przedstawienie przebiegów czasowych sygnałów;
- filtrowanie sygnału wejściowego;
- wyznaczenie obwiedni sygnałów (z wykorzystaniem transformaty Hilberta);
- wykonanie analizy widmowej (Fouriera) sygnałów;
- wykonanie analiz jakości energii elektrycznej;
- pobieranie wektorów sygnałów z jednego lub różnych plików.



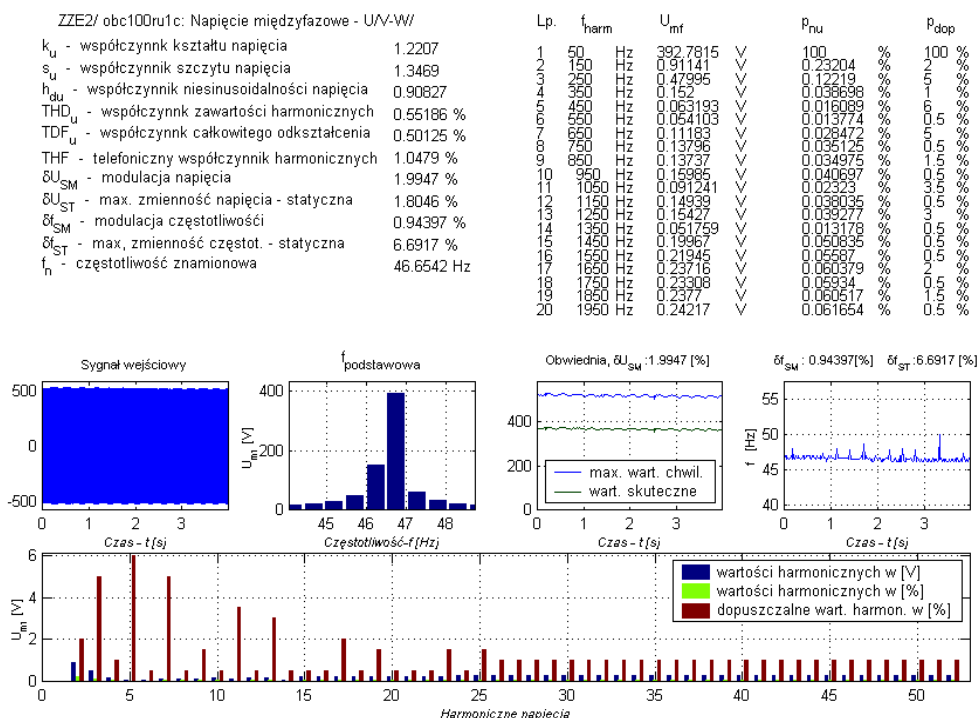
Rys. 5. Przenośny komputerowy podsystem pomiarowy parametrów diagnostycznych: 1, 2 – przedwzmacniacze pomiarowe do pomiaru drgań mechanicznych; 3 – MD, moduł dopasowujący sygnały z przetworników do wejścia przetwornika A/C; 4 – komputer pomiarowy; 5 – przetwornik analogowo-cyfrowy zintegrowany z procesorem sygnałowym

### Ad. III.

Na podstawie pomiarów wartości chwilowych parametrów diagnostycznych można wyznaczyć symptomy (wskaźniki jakości energii elektrycznej i niesprawności poszczególnych elementów obiektu). Jakość energii elektrycznej określają:

- odchylenia napięcia i prądu;
- wahania napięcia i prądu;
- zmiany częstotliwości;
- udział wyższych harmonicznnych w przebiegach napięcia i prądu;
- symetria układów wielofazowych.

Dobra jakość energii występuje wtedy, gdy parametry te są bliskie wartościom znamionowym, a za dostateczną możemy uznać jakość energii, gdy parametry te nie przekraczają granic dopuszczalnych przez przepisy, normy i badania własne. ZZE jest wówczas w stanie zdatności.



Rys. 6. Interfejs użytkownika aplikacji ELPAR – zestaw analiz dla napięć międzyprzewodowych okrętowej prądnicy synchronicznej ZZE

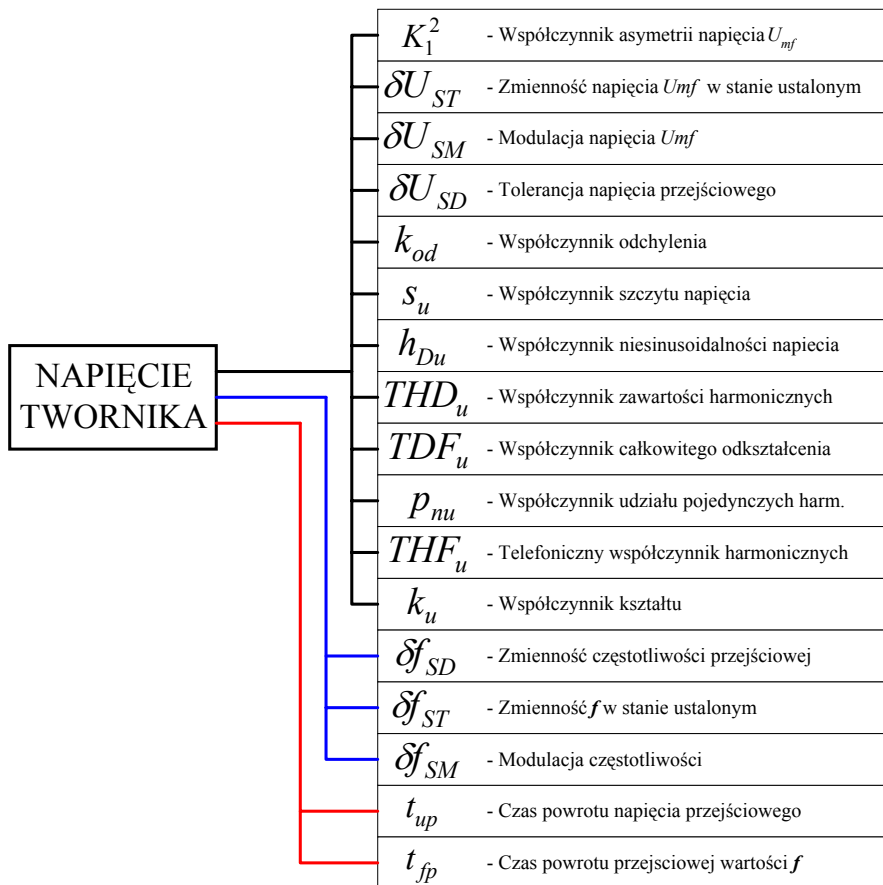
Odchylenie parametrów jakościowych poza wartości graniczne prowadzi do niedostatecznej jakości dostawy energii elektrycznej, a przekroczenie określonych stanów granicznych dla poszczególnych wskaźników kwalifikuje ZZE do stanu niezdatności. Znaczne odchylenia parametrów jakościowych są utożsamiane ze stanem awaryjnym, gdyż odbiorca nie może pobrać energii elektrycznej ze względu na niedostateczną jej jakość. Dalej przedstawiono diagram analizy napięcia twornika na podstawie przyjętych wskaźników jakości (rys. 7.). Analogicznie wyznaczono wskaźniki jakości energii elektrycznej dla prądu twornika, prądu wzbudzenia, napięcia wzbudzenia. Diagram analizy drgań mechanicznych przedstawiono na rysunku 8.

Ad. IV.

Celem eksperymentu biernego było określenie stanu technicznego badanych ZZE. Określenie stanu zdadności ZZE do wytwarzania energii elektrycznej o wymaganej jakości było niezbędnym warunkiem przeprowadzenia eksperymentu czynnego. Na podstawie przeprowadzonych badań określono stan ZZE jako zdadny.

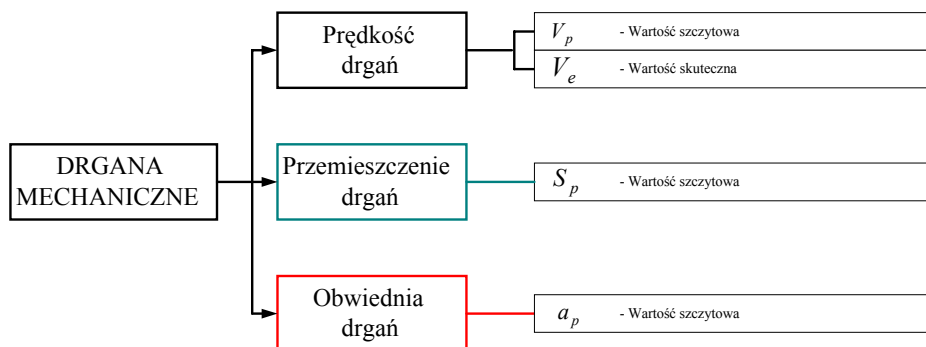
Ad. V.

Celem eksperymentu czynnego było wyznaczenie symptomów (wielkości pomiarowych zorientowanych uszkodzeniowo), a więc uzyskanie informacji nie tylko o stanie, w jakim znajduje się badany Zestaw Zasilania Elektrycznego, ale również o tym, jaki element lub układ został uszkodzony w obiekcie określonym jako znajdujący się w stanie niezdatny.



Rys. 7. Analiza parametrów diagnostycznych – napięcie twornika





Rys. 8. Analiza parametrów diagnostycznych – drgania mechaniczne

Przeprowadzono wywiad na okrętach i w warsztatach stoczniowych w celu uzyskania informacji na temat typowych uszkodzeń ZZE ZE-400. Po analizie tych danych i porównaniu ich z informacjami pochodzącymi z literatury do przeprowadzenia eksperymentu czynnego wytypowano następujące uszkodzenia ZZE:

1. Zwarcie elementu prostowniczego (diody) w regulatorze napięcia prądnicy synchronicznej.
2. Przerwa na elemencie prostowniczym (diodzie) w regulatorze napięcia prądnicy synchronicznej.
3. Uszkodzenie regulatora prędkości obrotowej:
  - zmiana nachylenia charakterystyki statycznej regulatora (wolniejsza reakcja na zmiany obciążenia regulatora) prędkości obrotowej tłokowego silnika spalinowego SW-400;
  - pęknięcie sprężyny regulatora odśrodkowego prędkości obrotowej tłokowego silnika spalinowego SW-400.
4. Poluzowanie jednego punktu mocowania ZZE do fundamentu.
5. Zakłócenia zasilania paliwem:
  - wtryskiwacza w cylindrze nr 1 tłokowego silnika spalinowego SW-400;
  - dwóch wtryskiwaczy w cylindrach nr 1 i nr 6 tłokowego silnika spalinowego SW-400.

Badanie polegało na kolejnym symulowaniu uszkodzeń i wielokrotnej rejestracji parametrów diagnostycznych (rys. 2.) przed i po wprowadzeniu uszkodzenia. Następnie analizowano wpływ uszkodzeń na przyjęte wskaźniki jakości energii elektrycznej. Jako przykład może służyć uszkodzenie regulatora prędkości obrotowej tłokowego silnika spalinowego SW-400.

Uszkodzenie polegało na zmianie nachylenia charakterystyki statycznej regulatora (wolniejsza reakcja na zmiany obciążenia). Przeprowadzono próbę przy biegu jałowym i przy obciążeniu znamionowym  $P_n$ .

W obu przypadkach mierzone były następujące parametry:

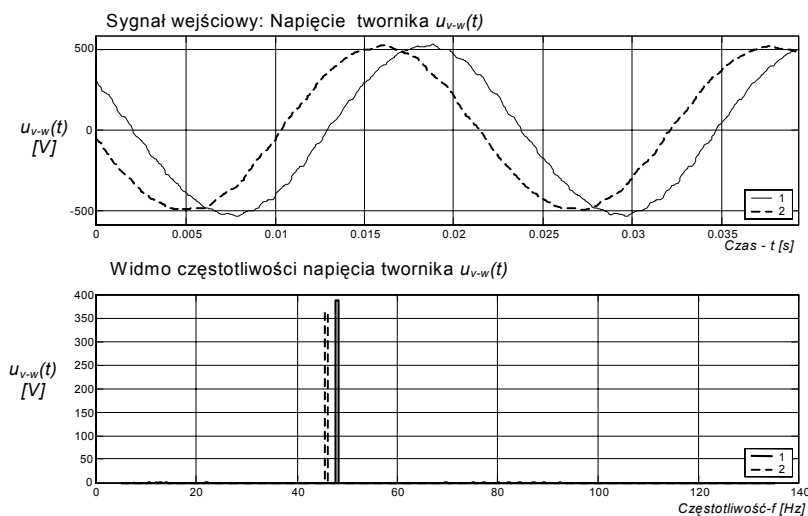
- napięcie międzyfazowe twornika;
- prąd twornika;
- napięcie wzbudzenia;
- prąd wzbudzenia.

W przypadku pomiarów dla biegu jałowego przekroczone zostały następujące wskaźniki:  $\delta f_{SM} = 2,25\%$  i 12 harmoniczna napięcia  $p_{12u} = 2\%$ . W prądzie twornika, napięciu i prądzie wzbudzenia wytypowane wskaźniki mieściły się w dopuszczalnych wartościach dla symulowanego uszkodzenia. W przypadku pomiarów przy obciążeniu znamionowym  $P_n$  przekroczeniu uległy wskaźniki zamieszczone w tabeli 1.

Tabela 1. Przekroczenia wskaźników napięciowych – ZZE 2

Wskaźniki	$\Delta U_{mf}$	$\delta U_{ST}$	$\delta U_{SM}$	$h_{du}$	$\delta f_{ST}$	$\delta f_{SM}$
Jednostki	[V]	[%]	[%]	-	[%]	[%]
Uszk. reg. prędk. obrotowej	356,8	10,8	2,06	0,93	5,7	5,26
Wartości graniczne	< 380 & > 420	10	2	< 0,8	5	0,5

Dla pozostałych wskaźników nie stwierdzono odchyłek większych niż dopuszczalne od przebiegów wzorcowych.



Rys. 9. Napięcie twornika – uszkodzenie nr 1 regulatora prędkości obrotowej 100%  $P_n$ :  
1 – sygnał znamionowy; 2 – sygnał podczas uszkodzenia

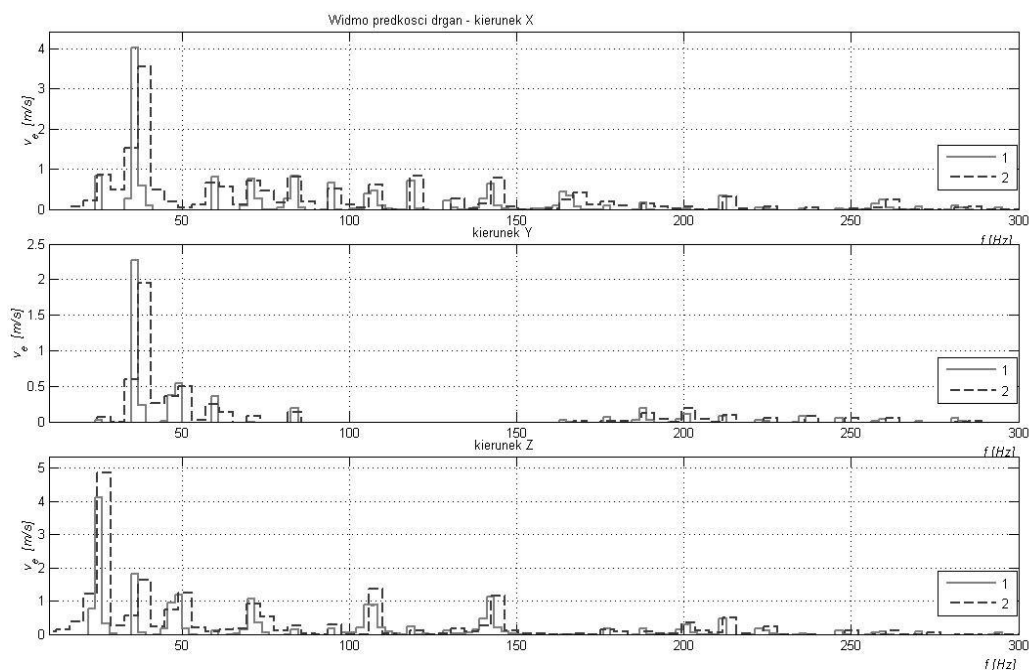
Przekroczenie wartości granicznej wskaźników było informacją, że dany wskaźnik może być zakwalifikowany jako symptom, gdyż wykazuje wrażliwość diagnostyczną na określone uszkodzenie. Wskaźniki, których wartości nie przekroczyły wartości granicznych, uznano za niewrażliwe na dane uszkodzenie. Przykładem pokazującym niewrażliwość wskaźników napięcia twornika jest poluzowanie jednego punktu mocowania ZZE do fundamentu.

Uszkodzenie polegało na odkręceniu śruby mocującej zestaw do fundamentu. Podczas symulacji uszkodzenia tej śruby badano następujące parametry (przy biegu jałowym i obciążeniu znamionowym  $P_n$ ):

- napięcie twornika;
- napięcie wzbudzenia;
- drgania mechaniczne ZZE w jednym punkcie fundamentu.

Podwyższenie poziomu drgań w przypadku napięcia twornika i napięcia wzbudzenia nie spowodowało przekroczenia wartości dopuszczalnych wytypowanych wskaźników.

Dla drgań mechanicznych symulowane uszkodzenie spowodowało zmianę wartości skutecznych w widmie prędkości drgań (rys. 10.) i zmianę maksymalnej amplitudy w widmie przemieszczenia drgań.



Rys. 10. Uszkodzenie mocowania ramy fudamentowej do podłoża w punkcie 4 – widma wartości skutecznej prędkości drgań: 1 – sygnał znamionowy; 2 – sygnał podczas uszkodzenia

## Ad VI.

Głównym zadaniem przeprowadzenia badań diagnostycznych okrętowej prądnicy synchronicznej była ocena zdatności Zestawu Zasilania Elektrycznego do wytwarzania energii elektrycznej o wymaganej jakości w oparciu o relacje defekt – symptom.

W chwili obecnej brak definicji ogólnego wskaźnika informującego o przekroczeniu stanu granicznego, co jest jednoznaczne z przejściem obiektu do stanu niezdatności. Dlatego też wartości stanów granicznych poszczególnych wskaźników charakteryzujących jakość wytworzonej energii elektrycznej wyznacza się w oparciu o badania doświadczalne, wartości podane w normach, przepisach towarzystw klasyfikacyjnych itp.

Zdatność Zestawu Zasilania Elektrycznego do wytwarzania energii elektrycznej o wymaganej jakości była podstawą do przeprowadzenia eksperymentu czynnego, który miał wytypować wskaźniki jakości energii elektrycznej wrażliwe na określone uszkodzenie zestawu.

Po szczegółowej analizie wyników badań okazało się, że wartości wskaźników jakości energii elektrycznej niosą informacje o defektach nie tylko okrętowej prądnicy synchronicznej, ale o napędzającym ją tokowym silniku spalinowym SW-400.

Wyniki eksperymentu czynnego uzyskane po badaniu relacji defekt – symptom zostały przedstawione w tabelaryzowanej formie oddzielnie dla każdego parametru diagnostycznego (tabela 2 – 5).

Tabela 2. Wartości graniczne – prąd twornika

Rodzaj symulowanego defektu	$S_{i1}$	$S_{i2}$	$S_{i3}$	$S_{i4}$	$S_{i5}$	$S_{i6}$	$S_{i7}$
	Wskaźniki jakości energii elektrycznej						
	$I_n$	$k_i$	$s_i$	$h_{Di}$	$THD_i$	$TDF_i$	$p_{ni}$
	[A]	-	-	-	[%]	[%]	-
<i>Zwarcie diody</i>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	0	0	<b>0</b>
<i>Przerwa na diodzie</i>	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>
<i>Uszkodzenie nr 1 reg. prędk. obr. 0% <math>P_n</math></i>	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>
<i>Uszkodzenie nr 1 reg. prędk. obr. 100% <math>P_n</math></i>	0	0	0	<b>1</b>	0	0	<b>0</b>
<i>Uszkodzenie nr 2 reg. prędk. obr.</i>	0	<b>1</b>	0	0	0	0	<b>0</b>
<i>Uszkodzenie mocowania ramy fundamentowej</i>	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>
<i>Uszkodzony wtryskiwacz nr 1 100% <math>P_n</math></i>	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>
<i>Uszkodzone wtryskiwacze nr 1 i nr 6</i>	0	0	0	0	0	0	<b>1</b>
<i>Wartości graniczne</i>	-	>1,3	> 1,43	< 0,8	5	5	<b>3 [%]</b>
<i>Wartości dopuszczalne/znamionowe</i>	86,5	1,11	$\sqrt{2}$	1,0	5	5	< 2,3 A

Tabela 3. Wartości graniczne – napięcie twornika

Rodzaj symulowanego defektu	$S_{U1}$	$S_{U2}$	$S_{U3}$	$S_{U4}$	$S_{U5}$	$S_{U6}$	$S_{U7}$	$S_{U8}$	$S_{U9}$	$S_{U10}$	$S_{U11}$	$S_{U12}$	$S_{U13}$	$S_{U14}$	$S_{U15}$	$S_{U16}$	$S_{U17}$	$S_{U18}$
	Wskaźniki jakości energii elektrycznej																	
	$U_{mf}$ [V]	$\delta U_{ST}$ [%]	$\delta U_{SW}$ [%]	$\delta U_{DT}$ [%]	$K_1^2$ [%]	$t_{up}$ [s]	$k_u$	$k_{od}$	$s_u$	$h_{di}$	$THD_u$ [%]	$TDF_u$ [%]	$THF$ [%]	$p_{nn}$	$\delta f_{ST}$ [%]	$\delta f_{SM}$ [%]	$\delta f_p$ [%]	$t_{fp}$ [s]
Zwarcie diody	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0
Przerwa na diodzie	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Uszkodzenie nr 1 reg. prędk. obr. 0% $P_n$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0
Uszkodzenie nr 1 reg. prędk. obr. 100% $P_n$	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0
Uszkodzenie nr 2 reg. prędk. obr.	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0
Uszkodzenie mocowania ramy fundamentowej	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Uszkodzony wtryskiwacz nr 1 100% $P_n$	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Uszkodzone wtryskiwacze nr 1 i 6	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0
Wartości graniczne	400	10	2	15	7	2	>1,3	5	>1,43	>0,8	5	5	3	5	2	10	2	2

Tabela 4. Wartości graniczne – napięcie wzbudzenia

Rodzaj symulowanego defektu	$S_{fu1}$	$S_{fu2}$	$S_{fu3}$
	Wskaźniki jakości energii elektrycznej		
	$U_{fn}$ [V]	$U_{af}$ [V]	$P_{nuf}$ -
Zwarcie diody	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
Przerwa na diodzie	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
Uszkodzenie nr 1 reg. prędk. obr. 0% $P_n$	0	0	0
Uszkodzenie nr 1 reg. prędk. obr. 100% $P_n$	0	0	0
Uszkodzenie nr 2 reg. prędk. obr.	0	0	0
Uszkodzenie mocowania ramy fundamentowej	0	0	0
Uszkodzony wtryskiwacz nr 1 – 100% $P_n$	0	0	0
Uszkodzone wtryskiwacze nr 1 i nr 6	0	0	0
<b>Wartości graniczne</b>	<b>&gt; 70</b>	<b>&gt; 100</b>	<b>&gt; 0,7 <math>U_{fn}</math></b>
<b>Wartości dopuszczalne/znamionowe</b>	<b>65</b>	<b>100</b>	<b>&gt; 0,7 <math>U_{fn}</math></b>

Tabela 5. Wartości graniczne – prąd wzbudzenia

Rodzaj symulowanego defektu	$S_{fi1}$	$S_{fi2}$	$S_{fi3}$
	Wskaźniki jakości energii elektrycznej		
	$I_{fi}$ [A]	$I_{af}$ [A]	$P_{nif}$ -
Zwarcie diody	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
Przerwa na diodzie	0	<b>1</b>	<b>1</b>
Uszkodzenie nr 1 reg. prędk. obr. 0% $P_n$	0	0	0
Uszkodzenie nr 1 reg. prędk. obr. 100% $P_n$	0	0	0
Uszkodzenie nr 2 reg. prędk. obr.	0	0	0
Uszkodzenie mocowania ramy fundamentowej	0	0	0
Uszkodzony wtryskiwacz nr 1 – 100% $P_n$	0	0	0
Uszkodzone wtryskiwacze nr 1 i nr 6	0	0	0
<b>Wartości graniczne</b>	<b>-</b>	<b>1,2</b>	<b>0,7 <math>I_{fi}</math></b>
<b>Wartości dopuszczalne/znamionowe</b>	<b>11,5</b>	<b>&gt; 1,2</b>	<b>0,7 <math>I_{fi}</math></b>

Wskaźniki, które wykazywały wrażliwość diagnostyczną na określone uszkodzenie, zakwalifikowano jako symptom, oznaczono liczbą 1, a komórki w tabelach kolorem czarnym. Z analizy wynika, że każdemu uszkodzeniu odpowiada inny zestaw wskaźników (symptomów), co umożliwia jednoznaczne określenie uszkodzenia.

## WNIOSKI

1. Wyznaczenie wskaźników jakości energii elektrycznej zorientowanych uszkodzeniowo (symptomów) oraz uzyskane w wyniku badań relacje defekt – symptom pozwalają:
  - określić zdolność Zestawu Zasilania Elektrycznego do wytwarzania energii elektrycznej o wymaganej jakości na potrzeby okrętowego systemu elektroenergetycznego;
  - określić przyczyny niesprawności Zestawu Zasilania Elektrycznego.
2. Realizacja podsystemu diagnostyki i autorskiej aplikacji analizatora jakości energii elektrycznej umożliwi pomiary jakości energii elektrycznej oraz prowadzenie diagnostyki ZZE na okrętach MW.

Zarchiwizowane dane są podstawą do tworzenia i rozwijania systemów eksperckich związanych z szeroko pojętą diagnostyką okrętowego systemu elektroenergetycznego.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Cempel Cz., *Wibroakustyka stosowana*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1989.
- [2] Listewnik K., *Diagnostyka okrętowych zespołów prądotwórczych metodą analizy parametrów energetycznych prądnicy synchronicznej*, materiały XXIX Ogólnopolskiej Konferencji „Diagnostyka Maszyn”, Węgierska Górka 2002, s. 241 – 246.
- [3] Listewnik K., *Diagnostyka techniczna okrętowych zespołów prądotwórczych*, materiały II Konferencji Problemów Eksploatacji Techniki Wojskowej, Kielce 25 – 27.04.2000, s. 83 – 88.
- [4] Listewnik K., *Pozyskiwanie informacji o relacji defekt – symptom okrętowych prądnic synchronicznych dla celów diagnostyki zespołów prądotwórczych*, „Automatyzacja i Eksploatacja Systemów Sterowania i Łączności”, Gdynia 2003, s. 315 – 322.
- [5] Mindykowski J., *Ocena jakości energii elektrycznej w systemach okrętowych z układami przekształtnikowymi*, Okrętownictwo i Żegluga, Gdańsk 2001.

- [6] Roszczyk S., Maksimow J., Kowalski Z., Cichy M., *Statyczne i dynamiczne właściwości okrętowych zespołów prądotwórczych*, Wydawnictwo Morskie, Gdańsk 1976.
- [7] STANAG 1008 – umowa normalizacyjna NATO, *Parametry okrętowych systemów elektroenergetycznych na okrętach wojennych flot traktatu Północnoatlantyckiego*, wydanie 8, 1994.

### **ABSTRACT**

The paper presents the results of investigations into estimation of usability of electric power supply set for generating electric power of high quality. In the investigations the method of passive and active experiment were used which allowed for determining the current technical condition of the object under investigation and its diagnosticability in the defect – symptom relationship.

Recenzent kontradmirał prof. dr hab. inż. Zygmunt Kitowski