Dr inż. Jerzy Kapcia
Politechnika Gdańska
Wydział Oceanotechniki i Okrętownictwa

ALGORYTMY DIAGNOSTYKI DLA KOMPUTEROWEGO SYSTEMU STEROWANIA ELEKTROWNI WODNEJ

W referacie przedstawiono możliwości wprowadzenia algorytmów diagnostyki i sterowania do komputerowego systemu sterowania turbiny wodnej z generatorem . Wdrożenie systemu pozwoliłoby na wyeliminowanie stanów pracy w których wzrasta prawdopodobieństwo uszkodzeń.

ALGORITHM OF DIAGNOSTIC FOR COMPUTER CONTROL SYSTEM OF WATER- POWER STATION

The paper presents proposal of modernization of integrated computer system of steering of water turbine in work with generator throuth introduction of algorithm of diagnostic and steering. Accustoming of such system would allow grow avoiding of work wich creadibility of demage.

1. WSTĘP

Wysokie wymagania dotyczące niezawodności i bezpieczeństwa współczesnych systemów sterowania powodują, iż zagadnienia diagnostyki zajmują coraz więcej miejsca w literaturze technicznej. W diagnostyce uszkodzeń stosowane są obecnie dwie metody: analityczna i sztucznej inteligencji. W metodzie analitycznej wymagana jest znajomość struktury systemu na podstawie której dokonuje się próby stworzenia pełnego opisu matematycznego systemu. Dla współczesnych systemów o dużej złożoności opracowanie modelu matematycznego i jego przebadanie jest bardzo utrudnione i czasochłonne a opracowany model ma często wiele ograniczeń. Z metod sztucznej inteligencji najczęściej stosowana jest sztuczna sieć neuronowa. Zastosowanie tej metody ma jedną podstawową zaletę – do budowy modelu nie jest wymagana znajomość struktury wewnętrznej systemu. Dokładność modelu w dużym stopniu zależy od poprawnego doboru struktury sieci neuronowej. Zasadniczym zadaniem przedstawionego w pracy systemu diagnostyki i sterowania jest identyfikacja symptomów nieprawidłowej pracy obiektu sterowanego a następnie modyfikacja

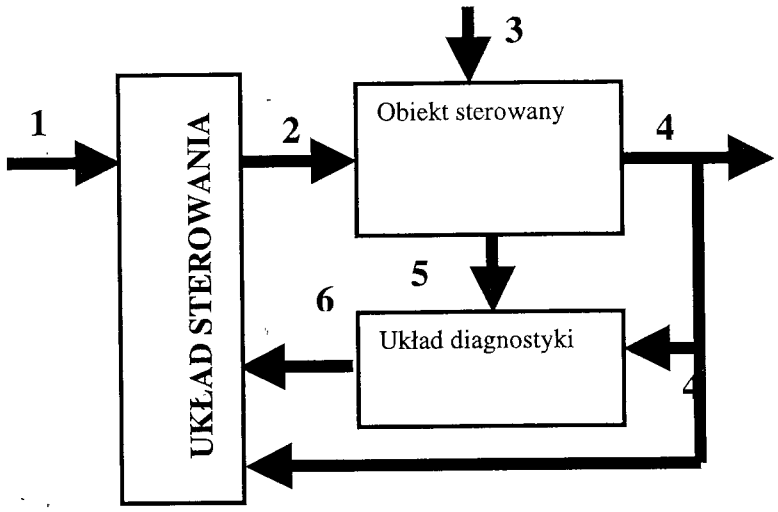
algorytmu lub układu tak aby wyprowadzić obiekt z obszaru nieprawidłowej pracy. Bardzo prostym przykładem układu diagnostyki i sterowania może być układ ABS w samochodzie. Sygnałem wejściowym do układu jest sygnał z czujnika przyśpieszenia mierzącego opóźnienie. W przypadku przekroczenia zadanego progu na wyjściu układu pojawia się sygnał impulsowy zmieniający sposób sterowania hamulcem.

2. STRUKTURA SYSTEMU DIAGNOSTYKI I STEROWANIA

Niezależnie od zastosowanej metody diagnostyki w proponowanym systemie sygnały wychodzące z układy dzielone są na cztery grupy sygnałów:

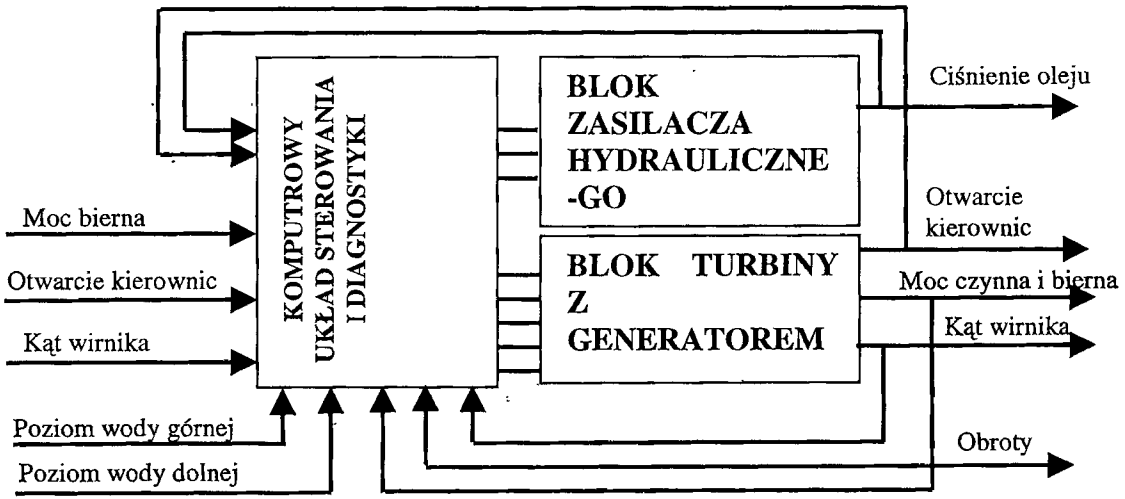
- uszkodzenia wybranych podzespołów takich, że system nie pracuje w optymalnych warunkach i bez zatrzymywania sytemu może on przez pewien określony czas pracować,
- powodujące natychmiastowe wyłączenie systemu w trybie awaryjnym z uwagi na zagrożenie jakie może powodować jego dalsza praca nawet jeśli sposób wyłączenia może spowodować uszkodzenie wybranych podzespołów systemu,
- powodujące wyłączenie systemu według procedury ustalonej dla danego rodzaju uszkodzenia,
- zmieniające sterowanie poprzez zmianę - przełączenie układu sterowania lub zmianę - modyfikację algorytmu .

Tak rozbudowany system sterowania można wdrażać i testować w praktyce w przypadku wykorzystania do jego budowy systemu komputerowego. Ideę systemu przedstawiono na schemacie blokowym - rys. 1. Praktycznie wektor na wejściu układu diagnostyki ma większą liczbę sygnałów aniżeli wektor wejściowy układu sterującego. Tymi dodatkowymi sygnałami są przebiegi uzyskiwane z przetworników: drgań, przemieszczeń, sił, obrotów, prądów, napięć itp. Omawiany w pracy układ diagnostyki i sterowania dotyczy układu turbiny z generatorem.



Rys. 1 Schemat blokowy systemu diagnostyki i sterowania – wektory sygnałów: 1- zadanego, 2 – wejściowego, 3- zakłócającego, 4 – wyjściowego, 5 – diagnostycznego wejściowego, 6 – diagnostycznego wyjściowego

Schemat blokowy układu przedstawiono na rys. 2 z zaznaczonymi podstawowymi sygnałami.. Na schemacie tym układ sterowania i układ diagnostyki objęto jednym blokiem pod nazwą – komputerowy układ sterowania i diagnostyki.. Praktycznie do realizacji funkcji sterujących i diagnostycznych wykorzystano komputer przemysłowy, natomiast kontakt użytkownika z systemem odbywa się przez komputer nadrzędny. Wprowadzenie dwóch komputerów teoretycznie uniemożliwia użytkownikowi zawieszenie systemu sterowania z komputera nadrzędnego a ponadto ma na celu ochronę algorytmów sterujących. Komputer nadrzędny pozwala na podstawowe czynności związane ze sterowaniem blokami elektrowni takimi jak uruchomienie, zatrzymanie, zadawanie otwarcia kierownic, zadawanie mocy. Na ekranie monitora wyświetlane są podstawowe wielkości takie jak: moc czynna, napięcie, obroty, ciśnienie w zasilaczu hydraulicznym, otwarcie kierownic, kąt wirnika, poziomy wody górnej i dolnej. W sytuacjach alarmowych na ekranie monitora można wyświetlić okna z wielkościami wejściowymi i wyjściowymi. Komputery nadrzędny oraz sterujące pracują w sieci lokalnej. Oprogramowanie pracuje w dwu cyklach sterującym 0.1 sekundy i informacyjnym jednosekundowym.



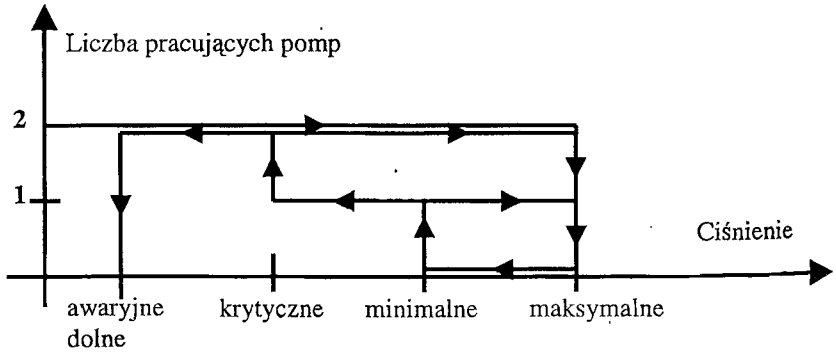
Rys. 2. Podstawowe sygnały sterowania blokiem elektrowni

3. OPIS ALGORYTMÓW

Optymalnym rozwiązaniem algorytmu diagnostyki i sterowania byłoby zespolenie wszystkich jego funkcji w jeden zintegrowany system jednakże z uwagi na dużą liczbę powiązań i zależności dokonano podziału systemu na bloki. W opracowanym algorytmie sterowania można wydzielić cztery podstawowe bloki regulacji:

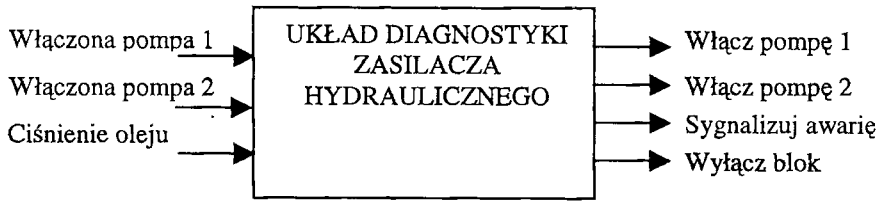
- ciśnienia w zasilacza hydraulicznego,
- napięcia w generatorze,
- otwarcia kierownicy,
- kąta wirnika.

W zasilaczu hydraulicznym zamontowane zostały dwie pompy, którymi steruje regulator z czterema progami ciśnienia: maksymalnego, – powyżej – którego obydwie pompy są wyłączone, minimalnego, – powyżej którego pracuje jedna pompa, jeśli ciśnienie nie spadło poniżej tego progu lub dwie pompy w przeciwnym wypadku, krytycznego - powyżej którego pracują dwie pompy a poniżej zostaje uruchomiona sekwencja wyłączania systemu. Na rys. 4 przedstawiono tą zależność.



Rys. 3 Schemat regulacji pomp w zasilaczu hydraulicznym

Na podstawie tego schematu opracowany został układ diagnostyczny, którego zadaniem jest sygnalizacja awarii pomp z wyprzedzeniem, zanim ciśnienie spadnie poniżej awaryjnego.



Rys. 4 Sygnały wejściowe i wyjściowe układu diagnostyki hydrauliki

Zasadnicza część układu diagnostyki i sterowania dotyczy regulatorów kierownic i wirnika turbiny z generatorem. Optymalny dobór kąta ustawienia łopat wirnika powinien zapewnić maksymalną sprawność turbiny dla danego otwarcia kierownic i istniejącej różnicy poziomów wody dolnej i górnej. Zatem przy założeniu stałej prędkości obrotowej wirnika kąt ustawienia jego łopat powinien być funkcją dwóch zmiennych: otwarcia kierownic i różnicy poziomów wody.

$$\varphi = f(o, h) \qquad [1]$$

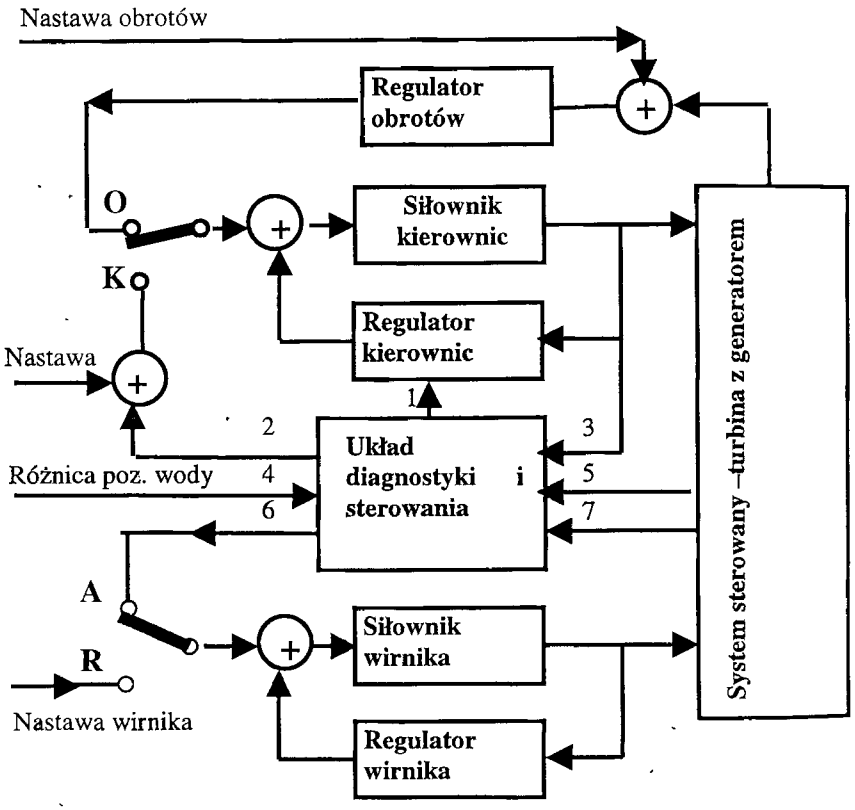
gdzie: φ - kąt wirnika, o - otwarcie kierownic, h – różnica poziomów wody

Zależność taką wyznacza producent turbiny wodnej i wprowadza do regulatora. Praktycznie zagadnienie nie daje się jednak sprowadzić do prostej optymalizacji z uwagi na efekty gwałtownego wzrostu drgań wirnika dla pewnych obszarów funkcji związanymi między innymi z efektem kawitacji. Stąd przewidziano dwa rodzaje pracy regulatora: ze sztywną zależnością wartości kąta łopat wirnika od otwarcia kierownic i ręcznie ustawianym kątem otwarcia. Ten drugi rodzaj pracy przewidziano, aby umożliwić ewentualną korekcję ustawienia kąta wirnika w przypadku niestabilnej pracy turbiny. Poza okresem pracy turbiny ze stałą prędkością należy również rozpatrzyć dwa stany przejściowe pracy, jakimi są rozruch generatora i zatrzymanie. Szczególnie dla tych stanów dobór funkcji kąta wirnika w zależności od otwarcia kierownic i różnicy poziomów wody na drodze analitycznej jest bardzo trudne stąd próby zastosowania metod sztucznej inteligencji. Układem diagnostyki i sterowania objęto dwa układy regulatora kierownic i regulatora wirnika. Podstawowym zadaniem układu jest zapewnienie optymalnej wartości kąta wirnika dla danego otwarcia

kierownic, czyli poszukiwanie funkcji (1). Funkcje te należy wyznaczyć dla dwóch trybów pracy turbiny:

- pracy w sieci,
- praca na potrzeby własne.

W każdym z tych dwóch trybów pracy należy uwzględnić trzy fazy pracy turbiny: uruchomienia, pracy i zatrzymania. W rozważaniach pominięto fazy uruchomienia i

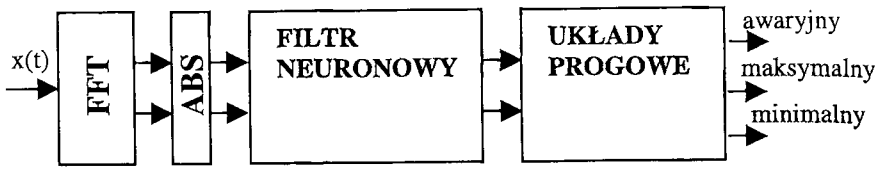


Rys. 6 Bloki regulacyjne systemu sterowania turbin z generatorem. Sygnały układu diagnostyki i sterowania: 1 – zmiana parametrów regulatora, 2 – korekta nastawy kierownic, 3 – położenie kierownic, 4 – różnica poziomów wody, 5 – obroty turbiny, 6 – nastawa wirnika, 7 – sygnały diagnostyczne.

zatrzymania przyjmując dla nich raz dobrany stały kąt otwarcia wirnika. Założenie takie ma uzasadnienie w praktyce przyjmuje się, że kąt ustawienia wirnika powinien zapewniać możliwie niski poziom gradientu siły osiowej turbiny w momencie włączenia obciążenia.

Praca w sieci

Turbina pracuje z układem regulacji otwarcia kierownic. Stałe obroty utrzymywane są przez generator podłączony do sieci. Poszukiwanie funkcji jest złożonym zagadnieniem z uwagi na dwa przeciwstawne kryteria maksimum mocy a jednocześnie minimum drgań. Przy tworzeniu algorytmu przyjęto założenie, że zmienne: otwarcie kierownic, kąt wirnika mają skończoną liczbę poziomów kwantyzacji – 100 dla obu wielkości natomiast różnica poziomów wody 10 poziomów. Stąd w algorytmie wykorzystywano macierz trójwymiarową o liczbie elementów 10^5. W każdym z elementów macierzy zapamiętywane są dwie wielkości; poziom mocy oraz poziom drgań. Zadaniem algorytmu jest poszukiwanie punktu optymalnego z jednoczesnym odnotowaniem na trasie przejścia aktualnej wartości mocy oraz drgań. W ten sposób w kolejnych przejściach program osiąga cel w coraz krótszym czasie. Należy podkreślić, że w warunkach rzeczywistych o szybkości działania algorytmu będzie decydował czas reakcji systemu a ściślej układu sterowania siłownikiem wirnika. W kryterium oceny drgań przyjęto funkcję z dwoma wartościami progowymi: progiem dopuszczalnych drgań i progiem minimalnych drgań, poniżej których algorytm kończy poszukiwania. Liczba poziomów kwantyzacji nie jest krytyczna i w miarę potrzeb można ją zwiększyć .Proces uczenia można przeprowadzić w trakcie symulacji procesu sterowania lub podczas pracy systemu w warunkach rzeczywistych. Przy konstruowaniu algorytmu przyjęto w pierwszym podejściu założenie, że przebieg drgań w funkcji kąta wirnika czy otwarcia kierownic mają w przybliżeniu kształt krzywych rezonansowych z wyraźnym maksimum lokalnym.Docelowo przebiegi otrzymane z czujnika drgań poddawane są analizie widmowej – obliczana jest transformata Fouriera FFT. Na podstawie analizy różnicy widm amplitudowych bieżącego przebiegu oraz przebiegu odniesienia dokonywana jest ocena wielkości drgań. W celu uzyskania prawidłowej interpretacji zjawisk widmo amlitudowe bieżącego przebiegu powinno zostać podane na wejście sieci neuronowej. Na wyjściu układu oczekiwany jest sygnał na jednym z trzech wyjść: awryjnym, maksymalnym lub minimalnym



Rys 9. Układ diagnostyki drgań z filtrem neuronowym. x{t) – sygnał wejściowy przebiegu drgań.

W procesie modelowania punkty maksimum drgań na płaszczyznach kąt wirnkia ustalono w sposób losowy. Końcowym efektem modelowania jest trójwymiarowa macierz której elementy wyznaczają trasę przemieszczania i watości kąta wirnika.

Praca na potrzeby własne

W tym trybie podstawowym zadaniem regulatora jest utrzymanie stałości obrotów na poziomie obrotów nominalnych z maksymalną dopuszczalną odchyłką ±0,5 %. Sygnałem „zakłócającym" pracę układu jest skokowo zmieniające się obciążenie generatora w sieci lokalnej. Skokowe zmiany obciążenia dają efekt zmiany charakterystyk układu sterowanego. Sygnałem wykorzystywanym do uzyskania szybkiej informacji o zmianie obciążenia jest sygnał otrzymywany z miernika mocy w układzie generatora.

4. WNIOSKI

Przedstawione w opracowaniu próby budowy systemu diagnostyki i sterowania dotyczą turbiny wodnej z generatorem. W pierwszej fazie prac opracowany i wdrożony został kompleksowy system sterowania na bazie nie klasycznych układów sterowania np. z wykorzystaniem programowalnych sterowników, lecz komputera. Dało to szansę na to by przy opracowaniu oprogramowania dla systemu sterowania wprowadzić również diagnostykę. W kolejnym etapie czynione są próby opracowania kompleksowego algorytmu łączącego diagnostykę i sterowanie Przedstawione w opracowaniu algorytmy nie ujmują jeszcze problemu kompleksowo, lecz dotyczą kilku wybranych zagadnień. Opracowany i przebadany został algorytm diagnostyki i sterowania dotyczący zmianą kąta wirnika w funkcji otwarcia kierownic oraz różnicy

poziomów wody. W celu zweryfikowania przydatności proponowanego filtru neuronowego dla analizy drgań konieczne będą dalsze pomiary i rejestracja przebiegów z rzeczywistego obiektu. Opracowany model układu diagnostyki i sterowania turbiną z generatorem do pracy na potrzeby własne nie jest jeszcze na obecnym etapie gotowy do prób wdrożenia.

5. LITERATURA

[1] Rutkowska D., Piliński M., Rutkowski L., Sieci neuronowe, algorytmy genetyczne i systemy rozmyte. Wydawnictwo PWN Warszawa, Łódź 1999r.

[2] Pizoń A. Elektrohydrauliczne analogowe i cyfrowe układy automatyki. WNT Warszawa 1995r.

[3] Tou J.T. Nowoczesna teoria sterowania. WNT Warszawa 1967r.

[4] Money S.A. Mikroprocesory. WKŁ Warszawa 1996r.

[5] Pasławski A. Programowanie w Delphi 5.0, E2000. Kraków 2000r.

[6] Brzózka J. Ćwiczenia z automatyki w Matlabie i Simulinku

[7] XIV Krajowa Konferencja Automatyki, Zielona Góra 24-27czerwca 2002.

[8] Automation 2002, Konferencja Naukowo-Techniczna, Warszawa 20-22 marca 2002.

[9] Automation 2003, Konferencja Naukowo-Techniczna, Warszawa 02-04 kwietnia 2003.

[10] Mulawka J.J. Systemy ekspertowe WNT Warszawa 1999