

## PROJEKT OPTIMALIZACJI PRACY UKŁADU SIŁOWNI WIATROWEJ PRZY ZASTOSOWANIU MIKROPROCESOROWEGO REGULATORA WYKORZYSTUJĄCEGO PROCEDURĘ WERYFIKACJI DOBORU NASTAW

*Streszczenie: Optymalna praca urządzeń i instalacji energetycznych jest niemożliwa bez ich sterowania przez odpowiednie elementy regulacyjne takie jak sterowniki czy regulatory. W literaturze występuje ogromna ilość proponowanych rozwiązań regulatorów. Jednak dopiero odpowiednie zastosowanie w regulatorze struktury, łączącej cechy konwencjonalnego regulatora z regulatorem o zasadzie działania opartej na logice rozmytej (fuzzy logic), zapewni mu jak wykazano w [1,2,4,6] cechy regulatorów adaptacyjnych, przy zachowaniu kluczowych dla układów i procesów regulacji zagadnień jakimi są: odporność na zaniki sygnału pobudzającego, rozpoznawanie silnych nieliniowości i filtrację dominujących zakłóceń. Cechy te daje się uzyskać bez trudności (występujących w typowych regulatorach adaptacyjnych), znacznie utrudniających ich praktyczną realizację. Regulatory oparte na wyżej wymienionej zasadzie działania, zyskały aprobatę specjalistów i stanowią najnowsze dzieło wielu firm specjalizujących się w ich produkcji (m.in. regulator typu E5AF firmy Omron, regulator typu UT35 firmy Yokogawa). W szeroko dostępnej literaturze fachowej stosunkowo mało miejsca poświęca się szczegółowym zastosowaniom omówionej klasy regulatorów i ich szczególnym cechom adaptacyjnym, wśród których do najbardziej znaczących, jak wykazano w artykule, należą poprawa jakości i bezpieczeństwa pracy nie tylko samych układów regulacji, ale całych pozostających pod ich nadzorem systemów technicznych. Jest to powodem zaprezentowania jednego z możliwych zastosowań wspomnianego regulatora do układu sterowania siłowni wiatrowej. W artykule, dzięki użyciu regulatora pracującego w oparciu o analizowany algorytm pracy, wykazano możliwość zastosowania w konstrukcji siłowni wiatrowej mało skomplikowanych układów mechanicznych bez zwiększenia ryzyka awaryjności. Autorzy sądzą, iż zaprezentowane rozwiązanie oraz jego zalety skłonią naukowców do dalszych prac nad praktyczną realizacją siłowni wiatrowych w krajach zainteresowanych wykorzystaniem wiatru jako ekologicznego źródła energii.*

**Abstract:** *Electrical equipments and energetic systems can not work with optimum it's work without application of control element such as programmer or controller. In a scientific literature, there is a lot of solutions of controllers, it's structure and principle's of operation. Application of structure of controller, joined the features of conventional controller with controller based on a fuzzy logic rules makes, how is shown in [1,2,4,6] the features of adaptive controllers. It is made with agreement to the most important for systems and control of process features such: resistance to a decay of stimulation signal, recognition of strong nonlinearity, filtration of periodic noises. Additionally, these features are occurred against to adaptive controllers with a shortage of simillar difficulties, making a lot of problems with practical it's realization.*

*It has been found that in nowadays, for the customer engineer or user of controller, the most important problem is to perform an adjustment of the set value to the given value in the fastest way, the most dynamic way but simultaneously keeping all safety rules regarding the process being controlled and the controller itself, i.e. at the lowest energy costs and minimum consumption of operating devices.*

*There are several opinions saying that the response to above requirements should be the application of additional procedure(s), that would assist the selection of settings (and would be the integrated part of it), i.e. the procedure of verification of settings selection. The issue seems to be simple and not so complicated at the first sight however looking from technical point of view quite a lot of difficulties may be met. In current available publications, despite there are few producers who use verification procedures for self-tuning controllers - e.g. Hartmann & Braunn, Siemens A.G., Mera-Pnefal S.A., so far the problem of verification has been generally omitted (it may be justified with trade and company's secrets to some extent).*

*Process control, performed in traditional way, has to be equipped with verification procedures for settings selection if it is to be entirely safe. Such procedures may only operate basing on great piece of knowledge delivered to the controller by operator, inserting the data about the object, its type and properties, about executive devices and such elements of the system as detectors or converters.*

*More and more often it reflects the situation of collecting data and information to create so called decision table based on expert knowledge that is found in case of fuzzy type controllers. The following thesis might be brought forward: to maintain safe and high quality control it is sufficient to apply fuzzy logic controllers instead using traditional controllers or self-tuning additional verification procedures, as the effects are concurrent. Unfortunately, the above thesis has not been proved while analysing the effects. The controllers basing on expert knowledge only are good to such an extent to which the operator was able to predict possible operating conditions including over-load and failure states. Even if controller's self-teaching process is considered and its ability not to repeat the same mistake in similar circumstances is almost certain then the conception of process control safety itself is void. Moreover, the decision table based on traditional, value based assumptions (the one used by controllers of fuzzy logic) is very big and occupies a lot of controller's memory.*

*However, it seems obvious there is no way back from using options containing fuzzy logic algorithms in safe and high quality control processes. Fuzzy option is more and more often used one among available control options for control processes and it can also be seen that its application may ensure additional safety and e.g. shorten the time of control process. As only some slight changes of standard structure are possible (e.g. those suggested in this paper referring to controller operating algorithm) the table of rules for the controller, considering all possible cases that might occur during process of control, may be constructed quite easy.*

*The characteristics of the system obtained this way is remarkably similar to adaptation systems characteristics which, as it was mentioned before, due to technological complications could not be commonly used. Such a system, due to fuzzy logic technique used, may be successfully applied to control difficult non-linear objects that having been controlled so far with classical algorithms appeared to be to much parameter sensitive.*

*The wind plant system, is characterized by a great inertia. For a classical control it means a difficulties because of characteristic mark of input signal (wind) forcing a turns of electrical machine worked in a generator system. Therefore the cost of building of standard wind plants with a power up to 0.5 MW stay at the level of 850 ECU for each kilowat (world statistic). Even with this in mind that the price of polish constructions is cheaper up to 30 % (comparatively with a west european), it means that the cost of wind plant is out of range for normal polish farmstead.*

*The authors presents the project of control system made for the wind plant, based on an economic equipment such: a multirunning induction motor working to the rigid net with a control system leant on the sets verification algorithm in the multifunctional microprocessor controller based on synthesis of self-tuned PID controller and fuzzy logic controller.*

*Verification process of programme symptoms is performed with an iteration procedure - each time the changes occur in controlling system then it should undergo reestimation - to adapt to new conditions. This process and controller algorithm is particularly presented below. The most vital elements ensuring the operating safety of the self-tuning controller have been presented in the operating block diagram on Fig. 2.*

*The controllers with a principles of operation like presented in this paper, has gained an approval of specialists and are the newest achievement of the controller's producers (f.e. controller type E5AF of Omron, controller type UT35 of Yokogawa).*

*On account of shortage, in a wide accessed literature, of practical application of controllers with algorithm and structure like considered in this paper, below is presented application of this in a system of wind plant with a shown of it's features f.e. improvement of quality coefficients, improvement of it's reliability and availability, controlled process' quality and it's safety improvement.*

*The authors believe, that the shown features of solution, will made an opportunity to make a further work with this kind of controller and maybe create a greater number of wind plants in Poland, because of most important for investors (except safety) factor such a low price is.*

## 1. Założenia podstawowe

Układ siłowni wiatrowej charakteryzuje duża inercja oraz duży stopień trudności regulacji. Dla układu regulacji klasycznej siłowni wiatrowej, powyższe cechy wynikające z nietypowości sygnału wymuszającego jakim jest wiatr, oznaczają zazwyczaj konieczność współpracy ze skomplikowanymi układami mechanicznymi i elektromechanicznymi. Właśnie wspomniane układy mające na celu zwiększenie bezawaryjności oraz bezpieczeństwa pracy powodują iż koszt budowy standardowej siłowni wiatrowej o mocy do 0.5 MW ustalił się na poziomie ok. 850 ECU/ kW (świat). Nawet jeżeli przyjąć że polskie konstrukcje są tańsze średnio o ok. 30 % (w porównaniu z zachodnioeuropejskimi), oznacza to, iż koszt takiej siłowni jest poza finansowym zasięgiem przeciętnego gospodarstwa rolnego w Polsce.

Autorzy artykułu twierdzą, że przy obecnym zaawansowaniu technologicznym, można zastąpić, uprościć lub wręcz zrezygnować z części skomplikowanych, jednostkowych, a przez to kosztocłonnych układów mechanicznych. Zrobić to można dzięki użyciu bardziej złożonego układu sterowania, pracującego w oparciu o standardowe, a przez to tanie elementy elektroniczne, wykorzystujące założony softwarowy algorytm działania o cechach adaptacyjnych. Podstawowym zadaniem niniejszego artykułu jest więc, wykazanie przydatności mikroprocesorowego regulatora o zasadzie działania opartej na połączeniu cech klasycznego regulatora PID z regulatorem fuzzy logic do regulacji w systemie sterowania pracą siłowni wiatrowej. Analizowany regulator wyposażony jest w dodatkową procedurę weryfikacji doboru nastaw, zwiększającą jakość i bezpieczeństwo regulacji w skomplikowanym procesie wykorzystującym tak nietypowy sygnał jakim jest prędkość i siła wiatru.

Ze względu na znaczną złożoność tego procesu, poniższa analiza opierać się będzie na następujących założeniach i uproszczeniach:

- organem wykonawczym jest wielobiegowy silnik asynchroniczny (klatkowy), pracujący w omawianym systemie, w układzie generatora współpracującego z siecią sztywną. Przy występowaniu prędkości wiatru conajmniej 3 m/s, następuje zasprzężenie silnika wiatrowego z organem wykonawczym, który następnie zostaje uruchomiony do pracy silnikowej. Dodatkowy moment napędowy przełożony z obrotów wirnika silnika wiatrowego na wał organu wykonawczego powoduje samoczynne przełączenie siłowni z pracy silnikowej do pracy generatorowej.

- wielkościami regulowanymi są: moc silnika (odpowiadająca prędkości obrotowej wału maszyny i prędkości oraz siły wiatru).

- praca generatorowa odbywać może się na kilku tzw. biegach (odpowiadających różnej liczbie par biegunów), wyznaczanych przez układ sterowania dla różnej prędkości wiatru (np. 3, 6, 9, 12 m/s).

Regulacja mocy generatora może odbywać się w poprzez:

- odpowiednie przełączania liczby par biegunów (skokowo)- regulacja zgrubna, tzw. zakresowa.
- zmianę pojemności kondensatorów regulujących moc bierną (quasi płynnie)

Ponadto zakłada się brak wpływu występujących wewnątrz maszyny elektr. oraz jej otoczeniu procesów przejściowych oraz zachowania bezpieczeństwa dla strony sieci.

- regulator mikroprocesorowy jako całość, pracuje jako układ dwukanałowy, z zastrzeżeniem odsprężenia wielkości regulowanych

Już wstępna analiza wykazuje, iż w omawianym przypadku regulator spełniać musi oprócz podstawowej funkcji regulowania wielkości wyjściowej także szereg funkcji pełnionych zwykle przez sterownik. Dotyczy to m.in. przełączania liczby par biegunów, zmiany pojemności baterii kondensatorów, czy chociażby odłączanie siłowni od sieci w przypadku dłuższego zaniku siły wiatru lub kontroli pracy elementów silnika wiatrowego tzn. płatów wirnika, przekładni itp. Zastosowanie bloku fuzzy, pozwala dodatkowo zwiększyć liczbę zastosowań regulatora, co stanowi następną, istotną zaletę układu, mogącego oprócz swej podstawowej funkcji regulatora, pełnić także funkcję sterownika mikroprocesorowego. Jest to istotna zaleta i wyższość proponowanego rozwiązania nad systemem konwencjonalnym.

## 2. Algorytm działania regulatora

### 2.1 Blok procedury startowej

Pierwszym zadaniem regulatora jest: po stwierdzeniu prędkości wiatru conajmniej 3 m/s, zasprzężenie silnika wiatrowego jako silnika napędowego z maszyną asynchroniczną (organem wykonawczym). Po załączeniu organu wykonawczego do źródła zasilania (sieć sztywna), maszyna rozpocznie pracę jako silnik napędowy (ze wzgl. na mały moment rozruchowy indukcyjnego silnika asynchronicznego). Dodatkowy moment napędowy przełożony z obrotów

wirnika silnika wiatrowego na wał organu wykonawczego powoduje samoczynne przełączenie maszyny oraz siłowni z pracy silnikowej do pracy generatorowej. Aby powyższa procedura tzw. startowa mogła zostać wykonana, musi zaistnieć zależność opisana wzorem (1). Jej wynik podawany jest na wyjście procedury startowej.

$$\text{Wyjście procedury startowej} = (\text{Start} \vee \text{Stan}) \cdot \text{Stop} \cdot \text{Alarm} \quad (1)$$

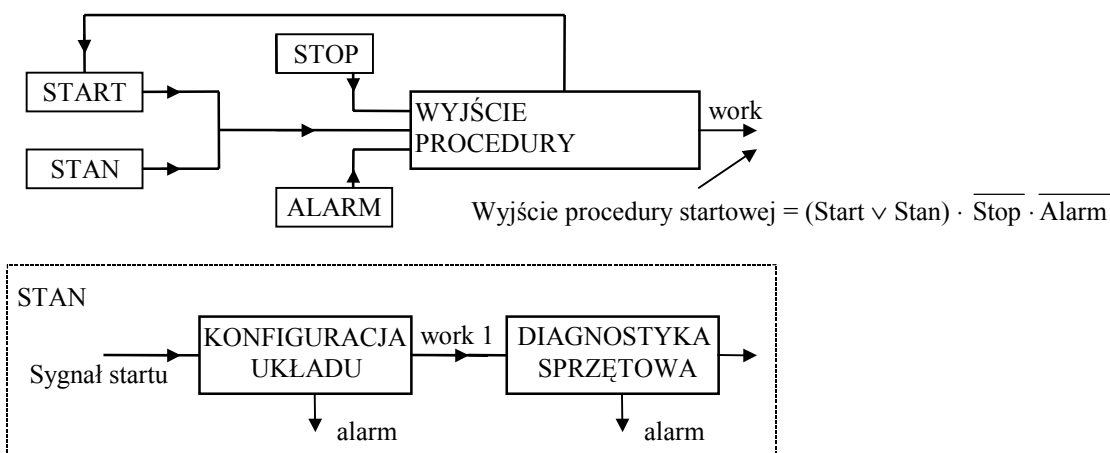
Sygnaly: Start i Stop są to sygnaly pochodzące z panelu operatorskiego, natomiast: Stan i Alarm są to sygnaly binarne dotyczące sterowanego urządzenia oraz regulatora.

Wypracowanie sygnału Stan = Hi (umożliwiającego start silnika) polega na przejściu przez podprocedurę, której etapy przedstawiają się następująco [1]:

- Konfiguracja układu

- Przeprowadzenie diagnostyki sprzętowej [7,8]. Procedura ta polega na sprawdzeniu poprawności działania już skonfigurowanego regulatora oraz współpracującej z nim instalacji technicznej.

Taka, a nie inna kolejność etapów procedury startowej, pozwala na dodatkową eliminację możliwych błędów, nie wykrytych podczas analizy fazy konfiguracji (a więc zwiększenie bezpieczeństwa), przy nie zwiększaniu czasu potrzebnego na ewentualne zwielokrotnienie testów



Rys.1 Schemat bloku procedury startowej

Konfiguracja układu ma zwykle charakter konwersacyjny i polega na koniecznej lub żądanej modyfikacji istniejącego, wbudowanego przez producenta układu.

Fazami konfiguracji regulatora są:

NAME- nadanie nazwy skonfigurowanemu układowi - umożliwia to zapis konfiguracji w pamięci

EEPROM i korzystanie z niej, bez każdorazowego przechodzenia całej konfiguracji,

DEFN - definiowanie bloków funkcyjnych oraz struktury pracy regulatora- dokonuje się tu wyboru bloków do układu, przyporządkowując im określone funkcje. Etap ten jest niezwykle ważny z uwagi na zasadniczy wpływ na: prawidłowość działania regulatora w danym procesie oraz długość cyklu pracy (zależny od tzw. minimalizacji układu). W etapie tym jednocześnie następuje „rozmywanie” poleceń dla bloku fuzzy

CONN- łączenie wejść i wyjść - konfiguracja zdefiniowanych bloków -efektem jest pośrednio ustawianie algorytmu postępowania w określonych sytuacjach,

POSN- pozycjonowanie (określanie kolejności bloków),

OFPA- ustawianie wartości parametrów typu off-line, pozostających podczas obsługi procesu na stałym poziomie (np. moc silnika=..., napięcie wyjściowe=...),

ONPA- ustawianie początkowych wartości parametrów typu on-line (początkowa wartość obrotów=..., prąd=...),

OPTN- wybór układów opcjonalnych: np. układów pracy nadążnej, stałowartościowej, programatora zegarowego, algoerytmu kontrolera etc.

RUN- analiza konfiguracji (diagnostyka strony funkcjonalnej) i przejście do następnej procedury. W skład analizy wchodzi:

- sprawdzenie kompletności połączeń wejść i ich legalności
- badanie, czy połączenia następują wyłącznie między blokami obsługiwanymi
- kontrola, czy wszystkie zdefiniowane bloki algorytmiczne są obsługiwane
- określenie cyklu obliczeń
- wyznaczenie współczynników pomocniczych oraz ewentualnych parametrów dodatkowych

Regulator wykrywa brak połączeń, lub połączenia z blokiem nie obsługiwanym. Zostaje to potraktowane jako błąd, który należy usunąć. Ponadto ostrzega o sytuacjach nienormalnych takich jak niewykorzystanie bloku lub pozostawienie go jako nie obsługiwanego. może także badać tzw. minimalne warianty topologiczne systemu.

Zakończenie fazy konfiguracji, umożliwia przeprowadzenie diagnostyki sprzętowej (diagnostyki strony technicznej) czyli sprawdzeniu: wejść/wyjść, mikroprocesora, EEPROM-u, RAM-u, drożności kanałów sygnałowych, a ponadto sprawdzeniu i ustawieniu „startowej” liczby par biegunów silnika.

Pomyślny wynik diagnostyk: funkcjonalnej i technicznej reprezentowany jest przez wysoki poziom logiczny tzw. zmiennej STAN. Po spełnieniu warunków rozpoczęcia pracy oraz równania (1) następuje uruchomienie silnika i doprowadzenie go do punktu pracy, umożliwiającego samoczynne przejście maszyny w stan pracy generatorowej. Punkt ten określony jest poprzez **wartość mocy silnika** oraz jego **obrotów**. Parametry te stanowią **zmienne procesowe**, będące przedmiotem regulacji w stanie normalnej pracy generatorowej oraz wyborze odpowiedniego zakresu pracy (ilości par biegunów).

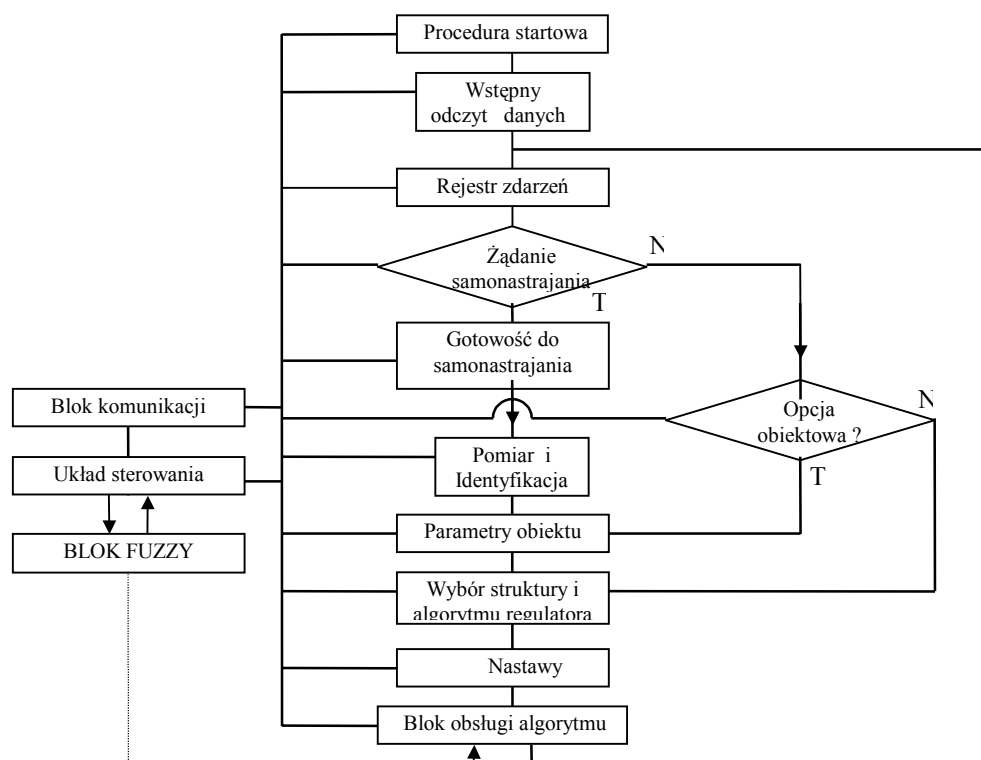
Brak pomyślnego zakończenia którejkolwiek z faz jest sygnalizowany poprzez sygnał alarm, dodatkowo uniemożliwiający wyjście poza procedurę startową. W zależności od rodzaju błędu dokonywany jest ponowny restart lub stop tzw. „fatalny”. Ilość restartów, jak również czas przejścia przez poszczególne etapy, kontrolowany jest przez układ watch-doga oraz licznik dopuszczalnych zdarzeń.

Pomyślne zakończenie powyższych faz, stanowiących połączenie typowych procedur regulatorów mikroprocesorowych z procedurami istniejącymi tylko w sterownikach, stanowi o niekonwencjonalnych cechach, jakie umożliwia zastosowanie mikroprocesora z pamięcią EEPROM i RAM oraz blokiem fuzzy logic.

Przejście w stan pracy generatorowej z odpowiednim dla prędkości wiatru układem połączenia liczby par biegunów, umożliwia rozpoczęcie „konwencjonalnej” procedury regulacji prądu uzwojeń stojana, oraz niekonwencjonalnej procedury typu „fuzzy” obsługującej dwa główne zadania:

- kontroli prędkości obrotowej generatora i odpowiedniego przełączania liczby par biegunów w celu nie przekroczenia dopuszczalnej mocy po wykorzystaniu płynnej regulacji pojemnościami kondensatorów.
- weryfikacji doboru nastaw konwencjonalnego regulatora; jest to procedura zawarta w całości jednostki regulacyjnej - regulatorze mikroprocesorowym.

Moment przejścia z normalnej pracy silnikowej w pracę generatorową zależy tylko od istnienia dodatkowego momentu napędowego powodującego, że  $n > n_0$ . Jest to zarazem moment w którym obiekt regulacji - generator, gotowy jest do wstępnej identyfikacji jego parametrów i zależy on przede wszystkim od cech eksploatacyjnych sterowanej maszyny elektrycznej.



Rys.2 Schemat działania prezentowanego regulatora

## 2.2 Blok wstępnego odczytu danych

Sygnal WORK z wyjścia procedury startowej rozpoczyna zadanie: wstępny odczyt danych.

W bloku tym, na podstawie zdefiniowanego w fazie konfiguracji postępowania, skierowane zostaje do obsługi pytanie (poprzez blok komunikacji) o: rodzaj przetworników we/wy, ich zakresy oraz rodzaj sygnału. Przypadek błędnego odczytu (gdy nie ma powtarzających się wyników, są one spoza podanych przez operatora zakresów itp.) powoduje ponowne rozpoczęcie procedury działania tego bloku, sygnalizowane stanem alarmowym. Układ watch-doga w zasadzie nie powinien przerywać pracy w tym miejscu, ze względu na konieczność obecności i komunikowania się tego bloku z użytkownikiem (operacja zachodzi wyłącznie za jego wiedzą), a układ technologiczny tj. maszyna el. nie pracować.

Następnym zadaniem tego bloku jest wykonanie odczytu danych w technice tzw. do trzech (gdzie jeden z pomiarów odbiegających od pozostałych zostaje wyeliminowany). Zostaje on dokonany pod kątem zdefiniowanego w bloku DEFN (faza konfiguracji) układu pracy regulatora (praca nadążna, stabilizacyjna).

Blok ten oprócz identyfikacji parametrów obiektu, traktowanych następnie jako część predykcyjna do statystycznej obróbki, wyznacza informację o możliwości wyboru procedury samonastrajania (decyzja poprzez blok: Gotowość do samonastrajania), a także odczytuje (również w technice do trzech) zmienne procesowe, których ewentualne przekroczenia w stosunku do zdefiniowanych uprzednio wartości, mogą zostać wykazane w panelu komunikacji (np. alarm). Poprzez aktywny już blok fuzji może zostać dokonana ich regulacja (nie wymagająca klasycznie rozumianej znajomości parametrów obiektu). W takim przypadku oprócz regulacji typu fuzji równoległe (w sposób niezależny) prowadzony jest standardowy algorytm regulatora, umożliwiający przy podjęciu przez blok gotowość do samonastrajania decyzji o gotowości, bezkolizyjnie przełączenie na konwencjonalną regulację z samonastrajaniem. Operator posiadający w stosunku do układu sterowania uprawnienia nadrzędne, może w każdej chwili zasygnalizować chęć zmiany rodzaju pracy regulatora (np. na pracę ręczną), jednak układ sterowania w oparciu o swój algorytm działania, może stwierdzić niebezpieczeństwo takiego działania i w efekcie przekazać obsłudze działanie na jej własne ryzyko oraz wprowadzić tzw. opcję bezudarną lub bezpiecznego odstawienia procesu.

Blok zawiera ponadto algorytmy funkcji przetwarzania sygnału, zapewniające dopasowanie poziomów sygnału badanego do regulatora. Blok ten umożliwia m.in.: zmianę współczynnika wzmacnienia charakterystyki sygnału wejściowego oraz przesunięcie jej punktu początkowego, nastawianie wartości stałej, linearyzację, odwracanie charakterystyki z pomiaru itp. w zależności od zaleceń obsługi lub potrzeb układu sterowania.

### 2.3 Blok: Rejestr zdarzeń.

Blok ten, pełni funkcję „watch dog” i funkcjonalnie wydzielony jest z Układu Sterowania (U.S.). Gromadzi on informacje o wszelkich niepowodzeniach zarówno obsługi podczas procesu uruchamiania układu sterowania (np. niezachowanie wymaganych przez producentów procedur uruchamiania poszczególnych podzespołów, brak uprawnień do uruchamiania układu siłowni (np. brak karty magnetycznej z kodem dostępu), wykryte podczas ręcznego sterowania błędy fachowości etc.) jak i niepowodzeniach odniesionych podczas samonastrajania regulatora (wynikłych np. z awarii podzespołów bądź innych nieprzewidzianych sytuacji). W procesie wymiany danych z Układem Sterowania zapada decyzja o:

- kontynuacji
- kontynuacji automatycznej -warunkowej- (wynik oceny sytuacji jako niegroźnej, traktowanej jako dodatkowe zakłócenie) z zapisem faktu zajścia oraz nakazem potwierdzenia jej poprzez obsługę
- kontynuacji jedynie na własne ryzyko obsługi
- bezpiecznego odstawienia (w przypadku braku obsługi)

### 2.4 Blok: Żądanie Samonastrajania.

W bloku tym następuje smoczynna lub dyrektywna na żądanie obsługi analiza warunków właściwego wyboru opcji regulacji z samonastrajaniem lub konwencjonalnej. W przypadku wcześniejszego wyboru pracy automatycznej, a priori zapada decyzja o wyborze samonastrajania. Wcześniejsze rozpoczęcie regulacji przez blok fuzzy logic, uwidocznione informacją w panelu komunikacji jest równoznaczne żądaniem samonastrajania. Decyzja ta może zostać zmieniona w przypadku otrzymania z U.S. informacji o braku gotowości do samonastrajania (informacja taka może zostać nadana w przypadku jej wysłania przez blok: Gotowość do samonastrajania). Wówczas realizowana będzie regulacja konwencjonalna. Może ona zostać zmieniona: od kolejnego cyklu - na żądanie operatora lub upływnięciu zadanego czasu od ostatniego nastrajania

Blok żądanie samonastrajania, stanowi wejściowy stopień wykonawczy bloku: gotowość do samonastrajania.

### 2.5 Blok: Gotowość do samonastrajania

Do zapadnięcia decyzji o gotowości do samonastrajania konieczne są informacje operatora, typu: założony punkt pracy  $x_0$ , wybór metody, typ obiektu, rodzaj regulacji podane w fazach konfiguracji i wstępnego odczytu danych. W przypadku wyboru metody niewykonalnej lub nielegalnej, obsługa otrzymuje komunikat o zmianie i realizowaniu innej. Decyzja o braku gotowości do samonastrajania przesyłana jest do U.S. i ma wpływ na blok: Żądanie samonastrajania, zgodnie z jego procedurą działania.

## 2.6 Blok : Pomiar i Identyfikacja

Blok ten na schemacie działania regulatora przedstawiony jako jeden, ma za zadanie identyfikację parametrów obiektu i pomiar zmiennych procesowych. Można go zaprezentować w postaci rozłożonej na bloki:

- Pomiar stanu procesu + obróbka statystyczna,
- Przebieg poprawny ?,
- Koniec identyfikacji ?,

### 2.6.1 Blok: Pomiar stanu procesu + obróbka statystyczna

Blok ten w pierwszym cyklu po uruchomieniu dysponuje już conajmniej dwoma seriami pomiarów (każda z serii w technice porównywania do trzech), możliwa jest zatem jego obróbka statystyczna. Ze względu na obecność w informacjach pomiarowych wielu zakłóceń, źródłem których są nie tylko przetworniki pomiarowe oraz A/C, C/A sprzęgające regulator z obiektem, ale i tzw. szумы własne procesu, w bloku tym dokonana została musi dodatkowa cyfrowa filtracja pomiarów. Estymacja parametrów maszyny indukcyjnej może być wynikiem analizy czułości modelu matematycznego zależnej od wybranych zmiennych stanu, parametrów schematu zastępczego i sygnału pobudzającego[3]. Szczegółowe uwarunkowania optymalnego wyboru metod identyfikacji parametrów silnika indukcyjnego znaleźć można w [4,5].

### 2.6.2 Blok: Przebieg poprawny ?

Blok ten dokonuje krytycznej oceny poprawności przebiegu procesu (np. poprzez porównanie z wzorcem) oraz podejmuje określone działania w przypadku wykrycia wad. Zadanie to może wykonywać Układ Sterowania przez cały czas trwania procedury samonastrajania. Cyklicznie w czasie pracy regulatora (lub wykorzystując przerwania), powinny być przeprowadzane testy diagnostyczne strony technicznej i funkcjonalnej, z właściwościami im przynależnymi (tzn. z możliwością przerwania pracy układu regulacji i automatycznego wyboru opcji bezpiecznej, alarmu, restartu, czy też w razie tzw. zatrzymania fatalnego).

### 2.6.3 Blok: Koniec identyfikacji ?

Blok ten ma za zadanie minimalizację czasu potrzebnego do strojenia regulatora w procesie jego samonastrajania. Dla metod MOW minimalny czas trwania zarówno fazy dochodzenia do gotowości do identyfikacji, jak i czas trwania właściwej identyfikacji mogą być równe okresowi powstałych oscylacji. W praktyce należy liczyć się z faktem, że pomiary będą trwać kilkakrotnie dłużej. Dla metod MOS, pomiar charakterystyki skokowej obiektu najczęściej jest dokonywany w pętli otwartej, nierzadko w technice tzw. działania równoległego. Oznacza to, że zarówno podczas fazy osiągnięcia gotowości do identyfikacji, jak i identyfikacji właściwej, obiekt jest sterowany sygnałem o wartości stałej. Skrócenie czasu identyfikacji jest zatem w tym przypadku szczególnie ważne. Zadanie to realizuje układ sterowania, który może podjąć decyzję o zakończeniu identyfikacji, w momencie stwierdzenia, iż zwiększenie czasu identyfikacji, nie wniesie istotnych zmian dla jakości regulacji.

## 2.7 Blok: Parametry obiektu

Komunikat o zakończeniu poprzedniego zadania (identyfikacji) jest równoznaczne z wyznaczeniem parametrów obiektu. Blok ten wydzielony został w celu zwiększenia przejrzystości algorytmu zawierającego oprócz samonastrajania, także zadanie pracy regulacyjnej w układzie konwencjonalnym (opcji obiektowej). W takim przypadku układ sterowania za pomocą bloku komunikacji nakazuje w tym miejscu wprowadzenie przez operatora zadanych parametrów obiektu. Wyodrębnienie tego bloku pozwala na stopniowe tworzenie tzw. wzorca obiektu ułatwiającego na przykład weryfikację pracy obiektu i jego ewentualną tzw. expres diagnostykę

### 2.8 Blok: Opcja obiektowa ?

Konwencjonalny proces regulacji wymaga określenia przez użytkownika rodzaju pracy. Nakaz pracy w tej opcji powoduje oczekiwanie przez blok: Parametry obiektu - ręcznego ich wprowadzenia. Dalszy proces przebiega tak, jak w przypadku samonastrajania.

Opcja ta, polega na zaszytciu w regulatorze, biblioteki nastaw wyznaczanych z wprowadzonych parametrów obiektu. W opcji tej operator podaje parametry obiektu, unikając pomyłek podczas wyznaczania nastaw oraz dodatkowych, ewentualnych pomyłek przy ich wprowadzaniu (Chodzi tu m.in. o wprowadzanie błędnie wyznaczonych nastaw, pomyłki z powodu nieodróżniania wzmocnienia regulatora od zakresu proporcjonalności, są to najczęstsze przypadki występujące podczas pracy, szczególnie w niekorzystnych dla psychiki operatora warunkach przemysłowych). Jak to pokazano wyżej, na podstawie tzw. błędów grubych jak i odchyłeń parametrów maszyny i układu napędowego od wzorca uznanego za dopuszczalną normę.

Opcja ta umożliwia jednak pewną weryfikację wprowadzanych nastaw. Parametry obiektu, pomimo różnych nie dających się usystematyzować (tak jak bezpośrednio wartości nastaw) ich wartości, są bazą dla wielkości zwanej stopniem trudności. Podejrzana wartość tego stopnia trudności, może być dla operatora sygnałem popełnionego gdzieś błędu. W produkowanych obecnie regulatorach, praca w opcji obiektowej nakłada na obsługę obowiązek podania przedziału wartości

i zakresu przetwornika. Informacja taka umożliwia operatorowi ponowne zastanowienie się nad wprowadzanymi wartościami, a w przypadku wartości odbiegających od przyjętych standardów, nakaz ponownego ich potwierdzenia stanowi informację o pracy na własne tzn. operatora ryzyko.

Nie zdecydowanie się na wybór opcji obiektowej jest jednoznaczny z wybraniem opcji nastaw.

opcja nastaw - W opcji tej operator podaje bezpośrednie wartości nastaw. Weryfikacja nastaw rozpoczyna się już w momencie ich wprowadzania, ponieważ w regulatorze stosuje się procedurę uniemożliwiająca wprowadzenie niedorzecznych wartości nastaw takich jak np.  $K_p < 1 \%$ ,  $\frac{T_i}{T_d} < 3$ , nierealnych ograniczeń akcji całkowitej itd., z możliwością modyfikacji biblioteki tej opcji przez operatora posiadającego do tego uprawnienia (poprzez dostęp w postaci klucza).

Powszechnie stosowane regulatory na ogół pracują w oparciu o opcję nastaw, chociaż coraz częściej spotyka się regulatory pracujące także w oparciu o opcję obiektową. Są to m.in.: Contric M - firmy Hartmann & Braunn oraz Modumatics - firmy Bailey.

W przypadku wyboru opcji obiektowej zmniejsza się prawdopodobieństwo pomyłki rachunkowej (w porównaniu z opcją nastaw, w której z parametrów obiektu należy wyliczyć nastawy (pierwsza możliwość pomyłki), a następnie je wprowadzić (druga możliwość pomyłki)).

## 2.9 Blok: Wybór struktury i algorytmu regulatora

W procesie tak konwencjonalnym jak i samonastrajania, zadanie to realizuje układ sterowania kierując się: z góry założonym algorytmem, konfiguracją, strukturą (np. podstawowa struktura PID) [7,8], żądaniem operatora lub zaleceniem bloku obsługi algorytmu. W dwóch ostatnich przypadkach modyfikacje wybierane są spośród biblioteki algorytmów.

## 2.10 Blok: Nastawy

Blok ten odpowiedzialny jest za wyznaczenie oraz zaimplementowanie do wybranej struktury nastaw regulatora. Na podstawie informacji o parametrach obiektu regulacji, wartościach zadanych zmiennych procesowych, ich maksymalnych wartości granicznych (podanych podczas konwersacji w fazie konfiguracji), wypracowuje on sygnał dla bloku obsługi algorytmu. Sygnał ten stanowi wynik procedury doboru nastaw, której weryfikacja w proponowanym rozwiązaniu regulatora może wyglądać np. następująco:

W fazie konfiguracji, podaje się parametry: wartość zadana, maksymalne dopuszczalne przeregulowanie, żądany czas regulacji, dopuszczalność oscylacji (ich poziom oraz okres). Po uruchomieniu i doprowadzeniu wielkości regulowanych do poziomu wartości zadanej, ew. odstępstwo od żądanych wartości w procesie regulacji modyfikowane być może poprzez zmianę wielkości odpowiedzialnej za dany parametr ( $K_p$ ,  $T_i$  lub  $T_d$ ). Zmiana każdej z tych wielkości odbywa się metodą metodą połówkową (np.  $X_p = 40$  - i jest za małe. to  $X_p = X_p + 0,5 \cdot X_p$ ). Należy ponadto dodać, iż priorytet regulacji uzyskuje parametr tzw. dominujący to znaczy o największej różnicy od wartości zadanej przez obsługę lub o max. wpływie na pracę układu.

Ten sposób weryfikacji jest często spotykany (np. w regulatorze West 4: Gulf), lecz stosowany może być tylko tam, gdzie proces regulacji stanowi krótką chwilę w stosunku do stałej czasowej obiektu, lub gdy można pozwolić na efekty np. dużego przeregulowania chwilowego.

Równie często spotykana metoda polega na predykcji zachowania się obiektu (na podstawie początkowej części charakterystyki odpowiedzi skokowej) oraz odpowiedniej reakcji na wartość pochodnej wyznaczonej przez blok różniczkujący (linearyzacja tej charakterystyki pozwala na zapisanie w tablicy EEPROM-u wartości pochodnych wraz z odpowiednim komentarzem-poleceniem).

W przypadku silnika asynchronicznego można pozwolić na krótkotrwałe przekroczenie o 20 % znamionowej mocy. To pozwala na zastosowanie pierwszego z podanych rozwiązań, przy czym cały proces regulacji sprowadzi się do trzech kroków:

- uruchomienie układu - procedura startowa z przełączeniem na pracę generatorową
- dojście do wartości zadanej - zrealizowane przez blok fuzji pełniący funkcję sterownika, przełączającego liczbę par biegunów oraz (lub) wartości pojemności kondensatorów
- weryfikacja - po wyznaczeniu przez blok: gotowość do samonastrajania komunikatu o możliwości takiej regulacji, automatyczne, bezuderzeniowe przełączenie na procedurę samonastrajania z modyfikacją dominującego błędu.

## 2.11 Blok obsługi algorytmu

Blok ten jest integralną i najbardziej „inteligentną” częścią układu sterowania, wydzielony ze względu na fakt, iż stanowi on zasadniczą część odpowiedzialną za weryfikację doboru nastaw. Zbiera on informacje o zakłóceniach, wpływie urządzeń wykonawczych, awariach czujników pomiarowych, a przede wszystkim o efektach i jakości regulacji układu. Jego istotą jest zdolność do pracy w warunkach tzw. minimalizacji funkcji („zwinięcia”) na wypadek ograniczonej awarii.

## 2.12 Blok komunikacji - statusu

Blok ten połączony poprzez magistralę z tzw. blokami programowymi oraz układem sterowania umożliwia obustronną komunikację z użytkownikiem.

Informuje na bieżąco o procesie identyfikacji, samonastrajania, regulacji, jak i o ewentualnych uszkodzeniach czy alarmach.

### 2.13 Układ sterowania

Mikroprocesor stanowiący centrum układu sterowania odpowiedzialny jest za prawidłowe funkcjonowanie systemu, realizuje także procedury funkcjonalności poszczególnych bloków. Dysponując protokołem komunikacyjnym wpływa na wszystkie podłączone do magistrali bloki programowe oraz blok komunikacji. Korzysta i zapisuje informacje złożone w RAM i EEPROM (NOVRAM). Zapewnia bezzderzeniowe przełączanie tzw. Auto ↔ Man (przełączanie pracy ręcznej w automatyczną i odwrotnie).

### 2.14 Problem stabilności i zapasu stabilności.

Przypadek pracy generatorowej jest często rozpatrywany jako przypadek hamowania prądnicowego, wobec tego nie ma problemu z „rozbieganiem się” maszyny pracującej, gdy  $n > n_0$  (wg wykresu  $n=f(M)$  po przekroczeniu wartości tzw. poślizgu krytycznego, moment elektromagnetyczny zaczyna, przy dalszym wzroście obrotów, maleć). W przypadku nadwyżki mocy silnika spowodowanej brakiem możliwości kolejnej zmiany liczby par biegunów (prędkość wiatru powyżej 15 m/s) należy spowodować mechaniczne zatrzymanie płatów wirnika z uwagi na zbyt duże wartości momentów pojawiających się podczas ich obrotów. Stosuje się różne techniki zmniejszenia prędkości obrotowej płatów do zatrzymania mechanicznego w przypadkach skrajnych włącznie. Zatrzymanie i unieruchomienie płatów w sposób czysto mechaniczny rozwiązuje problem zwiększonej prędkości wiatru trwającej długotrwale. Przypadek zwiększonej prędkości mogącej wystąpić chwilowo, jest stosunkowo niegroźny ze względu na dużą inercję układu. Do rozważenia pozostaje następny przypadek, kiedy przy zmniejszeniu prędkości wiatru poniżej 3 m/s obroty silnika -n- spadną poniżej  $n_0$ .

Jest to przypadek równoznaczny jest z wypadnięciem maszyny z pracy generatorowej. Nie grozi on utratą stabilności, choć traci sens regulacji ze względu na pobieranie, a nie oddawanie mocy przez maszynę do sieci. W takim przypadku należy również w fazie konfiguracji zadać blokowi fuzzy opcję co ma robić układ automatyki w przypadku gdy  $n < n_0$  (może to być np. odłączenie od sieci i oczekiwanie na powrót wiatru o wystarczającej do rozpoczęcia pracy prędkości, z zastrzeżeniem trwania tego wiatru przez określony systemowo lub przez operatora czas (histereza)).

## 3. Algorytm pracy układu sterowania siłowni wiatrowej

### 3.1. Włączenie zasilania układu sterowania

- przeprowadzenie diagnostyki funkcjonalnej (procedura startowa regulatora) i technicznej regulatora (testy pełne) oraz doprowadzenie silnika do punktu pracy generatorowej (wstępny odczyt danych). Podstawowym zadaniem tego etapu jest:

- konfiguracja układu (ręczna lub na żądanie, z zapisu w EEPROM-ie) wraz z analizą jej legalności
- sprawdzenie technicznego funkcjonowania regulatora i urządzeń wykonawczych
- sprawdzenie obecności czynnika napędzającego płaty wirnika (wiatru) o sile zdolnej do wykorzystywania silnika w zakresie pracy generatorowej (prędkość conajmniej 3 m/s) w zadanym przedziale czasu
- uruchomienie silnika z wykorzystaniem energii sieci sztywnej

Błąd w konfiguracji, w zależności od jego charakteru i miejsca (mikroprocesor, pamięć, błąd odczytu itp.) powoduje: ponowny restart, alarm i ew. fatalne zatrzymanie. Topologiczna poprawność konfiguracji umożliwia dokonanie pełnych testów strony technicznej zarówno regulatora (testy wej/wyj, pamięci itp), jak i urządzeń wykonawczych oraz pomiarowych (poprzez sprawdzenie z podanymi w fazie konfiguracji zakresami np. prądnicy tachometrycznej).

Obecność wiatru o prędkości conajmniej 3 m/s powoduje po ustawieniu odpowiedniej do zakresu prędkości wiatru, liczby par biegunów oraz zasprzęgleniu układu siłowni wiatrowej, uruchomienie silnika w pracy silnikowej. Fakt dostarczania z płatów wirnika na wał maszyny momentu obrotowego, którego efektem jest zwiększenie liczby obrotów ponad  $n_0$  (przez określony czas), powoduje samoczynne rozpoczęcie pracy w zakresie generatorowym.

Brak wiatru o żądanej prędkości, powoduje wyświetlenie odpowiedniego komunikatu i przejście do fazy oczekiwania: bądź na decyzję operatora, bądź na pojawienie się wiatru o pożądanej prędkości podmuchu, bez uruchamiania silnika.

Wszystkie prowadzone do tej pory czynności, ustalone w fazie konfiguracji, wykonuje blok fuzzy, będący w istocie zestawem instrukcji mikroprocesora, z opisem jego działania w przewidzianych przez operatora sytuacjach. Wystąpienie sytuacji nieprzewidzianej, powinno zawsze dać efekty zbliżone lub wręcz identyczne do efektów sytuacji przewidzianych ( np. efekt nieprzewidzianego oporu pracy silnika wskutek awarii płatów lub łożysk, to sytuacja zbliżona do zaniku wiatru, który to przypadek ma swój odpowiedni komentarz i procedurę postępowania).

### 3.2. Normalna praca generatorowa



- wybór rodzaju pracy regulatora, identyfikacja parametrów obiektu sterowania, odczyt danych, wybór struktury i algorytmu regulatora, regulacja zmiennych procesowych

Zadanie tego etapu sprowadza się do podstawowego zadania, jakie ma do spełnienia każdy regulator w układzie regulacji stałowartościowej tzn. podczas utrzymywania wielkości regulowanej na stałym, zadanym poziomie.

Przejsie w stan pracy generatorowej z odpowiednim dla prędkości wiatru układem połączenia liczby par biegunów (warunek startowy), umożliwia rozpoczęcie „konwencjonalnej” procedury regulacji mocy generatora, oraz niekonwencjonalnej procedury typu „fuzzy” wspomagającej procedurę konwencjonalną, a ponadto obsługującej dwa główne zadania:

- kontroli prędkości obrotowej generatora i odpowiedniego przełączania liczby par biegunów- w celu nie przekroczenia dopuszczalnej mocy silnika (zmiana biegu), po wykorzystaniu płynnej regulacji pojemnościami kondensatorów.  
- weryfikacji doboru nastaw regulatora konwencjonalnego.

W stanie normalnej, bezawaryjnej pracy generatorowej możliwe do wystąpienia w siłowni wiatrowej są następujące przypadki:

- Prędkość wiatru odpowiednia do ilości par biegunów silnika - Moc w normie, stabilizacja kondensatorowa wystarczająca do regulacji w danym zakresie prędkości.

Regulator PID prowadzi regulację mocy, blok fuzzy - funkcja kontrolna oraz regulacja pojemności kondensatorów.

- Prędkość wiatru zbyt duża w stosunku do ilości par biegunów silnika - Moc przekracza wartości znamionowe, stabilizacja kondensatorowa jest niewystarczająca

Część fuzzy steruje zmianą liczby par biegunów (zmiana biegu), prowadzi płynną regulację mocy pojemnościami kondensatorów, wspomaga regulator PID w regulacji napięcia (procesy przejściowe), ew. zmienia nastawy regulatora

- Prędkość wiatru zbyt mała w stosunku do ilości par biegunów silnika - Moc poniżej wartości znamionowej, stabilizacja kondensatorowa niewystarczająca; w sytuacji skrajnej realizuje tzw. procedurę odstawczą

Część fuzzy steruje zmianą liczby par biegunów (zmiana biegu), prowadzi płynną regulację mocy pojemnościami kondensatorów, wspomaga regulator PID w regulacji napięcia.

- Prędkość wiatru powyżej 15 m/s - nie odpowiadająca pracy silnika na żadnym biegu (huragan).

Część fuzzy pracuje jak typowy sterownik, odłączając siłownię wiatrową od sieci sztywnej (zapewnia to brak indukowania się prądu w uzwojeniach silnika i pewność nie uszkodzenia go w sposób termiczny) oraz powodując zatrzymanie płatów wirnika (zapewnia to nieuszkodzenie silnika oraz innych podzespołów siłowni w sposób mechaniczny)

- Prędkość wiatru spada poniżej założonej minimalnie tzn. 3 m/s. Część fuzzy odłącza siłownię od sieci sztywnej, zapewniając brak poboru z niej mocy. Kontroluje fakt pojawienia się odpowiedniej prędkości wiatru, trwającej przez określony, zadany przez operatora czas.

### 3.3 Stany awaryjne

Blok fuzzy w regulatorze, ma zapewnić maksymalne bezpieczeństwo regulatora i podzespołów siłowni. Najważniejsze z kilku możliwych do przewidzenia stanów awaryjnych, z jakimi borykać się może regulator stanowiący układ sterowania siłowni wiatrowej to:

1. Uszkodzenie płatów wirnika (asymetria lub ograniczenie czynnej powierzchni)
2. Uszkodzenie urządzeń wykonawczych (np. przekaźnika jako przełącznika liczby par biegunów)
3. Uszkodzenie czujników pomiarowych prędkości obrotowej
4. Stan zwarcia w sieci (stan beznapięciowy)
5. Uszkodzenie układu sterowania regulatora lub jego podzespołów

Stany pierwszy i czwarty w efekcie spowodować powinny zatrzymanie pracy siłowni, z oczekiwaniem na ewentualne ponowne ręczne uruchomienie przez operatora (w uzasadnionych przypadkach tylko na własne ryzyko).

Stan drugi powinien spowodować kontynuację pracy, w granicach dopuszczalnych wartości przeciążenia, z zatrzymaniem pracy po ich przekroczeniu. Aktywny stan alarmu powinien przywołać obsługę mogąca po sprawdzeniu defektu podjąć decyzję o ewentualności pracy.

Stan trzeci jest stanem w którym można kontynuować w ograniczonym zakresie pracę, z uwagi na możliwość pośredniego, arytmetycznego wyznaczenia prędkości obrotowej np. ze zmiennych procesowych.

Stan piąty w zależności od rodzaju uszkodzenia i założonej redundancji układu, może spowodować dalszą pracę lub jej przerwanie.

Przedstawione zastosowanie regulatora, jako układu sterowania siłowni wiatrowej, miało na celu ukazanie szeregu zalet posiadanych przez układ regulacji w którym zastosowano dodatkowy blok fuzzy. Układ ten, jak wykazano, może pełnić oprócz funkcji dodatkowej procedury weryfikacji doboru nastaw, również funkcję sterownika mikroprocesorowego wspomagającego właściwy regulator. Sterownik ten różni się jednak podejściem do spraw bezpieczeństwa regulowanego procesu oraz urządzeń stanowiących podzespoły wykonawcze.

## 4. UWAGI KOŃCOWE

Procedura weryfikacji, polegająca na samoczynnej zmianie nastaw regulatora (przez blok fuzzy oddziaływujący na blok obsługi algorytmu) po zlokalizowaniu dominującego rodzaju błędu (przeregulowanie, oscylacje, czas regulacji) i jego wartości, może być wykorzystywana w kilku etapach procesu regulacji:

1. W konieczności podjęcia określonych czynności, przy braku informacji o parametrach obiektu lub jej znaczącym ograniczeniu (w pierwszym cyklu pracy)
2. W trakcie identyfikacji parametrów obiektu
3. W trakcie wyznaczania nastaw
4. W przypadkach awarii urządzeń wykonawczych i pomiarowych (p.p.1)

Rozpoczęcie pierwszego cyklu pracy po załączeniu zasilania regulatora, przed wyznaczeniem parametrów obiektu i nastaw regulatora, gdy zakończona została faza konfiguracji i wstępnego odczytu danych (w tym danych dotyczących zmiennych procesowych) może stanowić o konieczności podjęcia działania przez blok fuzzy.

Podobnie w przypadkach: drugim i trzecim. Typowy regulator może podjąć się zadania regulacji dopiero po zakończeniu procesu identyfikacji obiektu i wyznaczeniu odpowiadających nastaw. Dodatkowe zastosowanie bloku fuzzy jako bloku kontrolnego, zapewnia właściwe działanie regulatora, pracującego wówczas jako sterownik mikroprocesorowy skojarzony z regulatorem.

Zastosowanie mikroprocesora jako układu sterowania zapewnia długą żywotność i znaczną elastyczność regulatora, odpowiadając tak powszechnemu dążeniu do zwiększenia bezawaryjności układów (w tym przypadku gwarancje producenta podają min. 100 tys. godzin nie przerywanej pracy). przy zachowaniu wysokich norm jakościowych oraz niezwykle ważnych - wskaźników ekonomicznych (można w ten sposób znacząco zmniejszyć nakłady inwestycyjne na zapewnienie redundancji).

Analizując przedstawione zastosowanie, można stwierdzić, iż użycie bloku fuzzy jako bloku weryfikacji doboru nastaw w pełni odpowiada założeniom i oczekiwaniom. Rozwiązanie takie nie stanowi ostatecznej odpowiedzi na modne w dzisiejszych czasach wyzwanie rzucone projektantom (typu: włącz urządzenie i idź), wciąż bowiem wymaga ogromnej wiedzy eksperckiej. Jednak stopień komplikacji tej wiedzy oraz jej strukturalny zapis typu: „jeśli .. to ..”, jak również możliwość zdalnego oprogramowania regulatora przez wyspecjalizowaną w tym celu obsługę, powoduje zakwalifikowanie tego typu rozwiązania do klasy urządzeń typu: „user friendly” (ang. przyjazne użytkownikowi) - szczególnie dla obsługi o niewielkim przygotowaniu technicznym.

Niewystarczająca znajomość obiektu oraz jego cech, pominięcie lub złe oszacowanie zakłóceń, szczególnie dobór nastaw powodujący „trafienie” w obszar szczególnie oraz inne cechy, dotychczas niezmiernie ważne dla procesu regulacji, tracą w tym świetle na znaczeniu. Nawet tak wielkie dotąd zagrożenia dla typowego procesu regulacji jak: błędy obsługi (t.j.: brak „fachowości”, ignorancja lub lekceważący stosunek do wykonywanych czynności przez obsługę podczas wyliczeń lub (i) wprowadzania nastaw regulatora (opcja pracy ręcznej)), nie stanowią już takiego zagrożenia. Po nakazie ponownego potwierdzenia nastaw i dalszej decyzji o czynnościach mogących uszkodzić urządzenia procesowe, bądź regulator, następuje wyświetlenie komunikatu : „działasz na własne ryzyko”, oraz zapisanie go w pamięci (informacja ta może świadczyć przeciwko operatorowi w ewentualnym późniejszym dochodzeniu). W przypadku dalszego kontynuowania niebezpiecznego postępowania ze strony obsługi, lecz świadczącego już o ewidentnej złej woli działania, regulator ma możliwość uruchomienia blokad lub dopuszczenia priorytetu działań ludzkich nad pracą automatyczną (co wydaje się dyskusyjne).

**W jaki sposób zwiększyć pewność prawidłowego doboru nastaw oraz struktury regulatora ?**

**W jaki sposób można zwiększyć jakość regulowanego procesu ?**

**W jaki sposób na bieżąco, oba wyżej wymienione zjawiska oceniać ?**

Powyższe pytania stały się motywem przewodnim do rozważań na sensem oraz możliwością stworzenia, zaproponowanego rozwiązania regulatora. Wydaje się, iż proponowane rozwiązanie stanowi zaawansowaną odpowiedź na postawione pytania, tym bardziej iż w ostatnich latach z doniesień fachowych, można wywnioskować fakt istnienia podobnych rozwiązań (Omron, Yokogawa), wciąż co prawda okrytych zasłoną tajemnicy technicznej. Znajdują one zastosowanie w tak ważnych i trudnych systemach jak: autopiloty lotnicze i okrętowe, poziomowanie szybów wiertniczych, sterowanie systemem kolei podziemnych (metra) czy nawet rozpoznawanie mowy ludzkiej.

Niemniej ważny z punktu sterowania, użytkownika oraz trendów ogólnoswiatowych, jest możliwość realizacji powyższego rozwiązania regulatora w czasie rzeczywistym oraz systemie DDC (ang. Directly Digital Control).

Przerwanie wykonywania określonego zadania w systemie czasu rzeczywistego, może wynikać z uruchomienia zadania o wyższym priorytecie, z oczekiwania na zdarzenie lub upływ czasu, zmianę flagi semaforowej itp.

Praca w czasie rzeczywistym oraz hierarchizacja poszczególnych poziomów działań opisanego regulatora, sprawia, iż nadaje się on świetnie do sterowania urządzeniami, którymi dotychczas mogły sterować ze względu na konieczność krótkiego cyklu pracy (czas cyklu rzędu ms), tylko sterowniki PLC np. obrabiarki, układy zabezpieczeń itp. Opisany regulator łącząc cechy szybkiego regulatora z cechami sterownika PLC, tworzy nowy typ regulatora o hybrydowej strukturze działania (nie należy mylić z przystającym do tego określenia regulatorem cyfrowo-analogowym).

Do zasadniczych zalet proponowanego rozwiązania regulatora można przede wszystkim zaliczyć:

- zwiększenie bezpieczeństwa regulowanego procesu oraz regulatora poprzez zmniejszenie wpływu lub całkowitą eliminację zagrożeń pochodzących z zewnątrz i od obsługi

- zwiększenie jakości regulowanego procesu
- krótkie czasy trwania procesu przejściowego i ograniczenie jego amplitud
- minimalizację energii sygnału sterującego
- możliwość kontynuowania pracy w rozpoznanych typach stanów awaryjnych
- zwiększenie liczby zastosowań regulatora, w tym m.in jego pracy jako sterownika

Wydaje się, iż zaproponowane rozwiązanie w wystarczający sposób odpowiada potrzebom wielu procesów regulacyjnych, a jego zaprezentowane, przykładowo dla siłowni wiatrowych, zalety dodatkowo podkreślają konieczność dalszych, bardziej szczegółowych prac prowadzonych w kierunku praktycznej, technicznej realizacji regulatora (także dla innych zastosowań).

## 5. LITERATURA

1. Trybus L.: Regulatory wielofunkcyjne; WNT; Warszawa 1992
2. Barzyk G., Jarmusz M.: Utilization of methods of control systems active diagnosis for improvement of control quality coefficients; in Proceedings of the 2nd ISTC UEES'96; Szczecin-Międzyzdroje 15-17 December 1996; vol.2;pp 427-432
3. Michalik W., Hasenpusch A., Janiszewski A.: „Analiza czułościowa modelu matematycznego silnika indukcyjnego ze względu na identyfikację parametrów schematu zastępczego”; w „Przegląd elektrotechniczny”; Z.3/1993
4. Mamadani E.H.: „Application of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plants” w Proc. IEE; t. 121 (1974)
5. Pizoń A.: Elektrohydrauliczne analogowe i cyfrowe ukł. automatyki; WNT; W-wa 1995
6. Pandit, Weber: „Von PID bis Fuzzy: Der prädiktive Fünfpunktregler als Ergebnis ...”; Automatisierungstechnische Praxis (atp) 2/94
7. Barzyk G.: Algorytmy weryfikacji doboru nastaw w regulatorach konwencjonalnych oraz samonastrajających; Praca dyplomowa, Szczecin 1996
8. Daca W., Broel-Plater B., Domek S.: „Ocena procedur samonastrajania regulatorów PID” w PAK 1/1993, str 8-11