

REGULATOR WYKORZYSTUJĄCY ALGORYTM FUZZY-LOGIC

Streszczenie: W referacie omówiono zaprojektowany dla rodziny regulatorów RE11 algorytm sterowania wykorzystujący logikę fuzzy-logic. Dobór wartości parametrów tego regulatora wspomagany będzie odpowiednim programem symulacyjnym który został również omówiony w referacie. Podano także wzory na dobór najważniejszych dla tego regulatora nastaw.

Abstract: In the paper a fuzzy-logic based control algorithm developed for the set of RE11 controllers is described. Tuning of controller parameters is supported by an adequate simulation program which is also presented in the paper. Tuning formulae for controller essential parameters are given.

1. WSTĘP

Rozwój mikroelektroniki umożliwia obecnie budowę przemysłowych układów automatyki wykorzystujących najnowsze osiągnięcia teorii sterowania. Jednak w praktyce nadal powszechnie stosowany jest algorytm PID. Uzasadniane jest to nie tylko przyzwyczajeniami użytkowników. Często podkreśla się znaczną odporność tego algorytmu. Jednak użycie go do sterowania obiektami trudnymi np. nieliniowymi czy też niestacjonarnymi najczęściej nie zapewnia uzyskania wymaganej wysokiej jakości regulacji.

W ostatnich latach obserwuje się jednak szybki rozwój zastosowań w sterowaniu technik niekonwencjonalnych - takich jak sztuczne sieci neuronowe oraz logika rozmyta (nieostra, fuzzy-logic). Zastosowania zwłaszcza tej ostatniej wydają się bardzo perspektywiczne. Umożliwia ona bowiem zarówno budowę regulatorów hybrydowych - w których dowolny, klasyczny algorytm regulacji jest wspomagany przez procedury fuzzy-logic zastosowane np. do doboru nastaw (samonastrajanie fuzzy-logic) [4,5] - jak i tzw. pełnych regulatorów fuzzy-logic wyznaczających sygnał sterujący w oparciu o reguły logiki nieostrej [2,7]. Regulatory takie pozwalają uzyskać bardzo wysoką jakość regulacji także w przypadku trudnych obiektów.

Zalety regulatorów fuzzy-logic okupione są niestety znacznym wzrostem liczby opisujących je parametrów oraz brakiem analitycznych reguł doboru ich wartości. Dodając do tego problemy związane z analizą stabilności układów regulacji nieostrej oraz przyzwyczajenia użytkowników nie powinna dziwić pojawiająca się niejednokrotnie wśród potencjalnych użytkowników - zrozumiała w tych warunkach - ostrożność i nieufność.

Tematem referatu jest opracowany na zlecenie Lubuskich Zakładów Aparatów Elektrycznych w Zielonej Górze algorytm regulatora fuzzy-logic przystosowany do rozwiązań sprzętowych regulatora RE11 produkowanego w tych zakładach [3]. Omówiono także zaimplementowany w regulatorze wielopoziomowy system dostępu do parametrów algorytmu sterowania oraz wspomagające użytkownika oprogramowanie przeznaczone do projektowania i testowania poprawności doboru parametrów regulatora.

2. ALGORYTM STEROWANIA FUZZY-LOGIC

W klasycznej wersji algorytmu sterowania fuzzy-logic wartość sygnału sterującego obiektem wyznaczana jest jedynie na podstawie opisu pożądanego zachowania się regulatora które formułowane jest w postaci zdania [7]:

$$\{ \text{IF (..... AND AND AND) THEN (.....) } \} \text{ OR} \\ \{ \text{IF (..... AND AND AND) THEN (.....) } \} \text{ OR} \quad (1) \\ \{ \text{IF (..... AND AND AND) THEN (.....) } \} \text{ OR} \dots$$

Prawo sterowania (1) jest formalnym zapisem doświadczeń użytkownika procesu. Ponieważ reakcja układu sterowania może polegać na zmianach wielu zmiennych sterujących prowadzi to w sposób naturalny do regulacji wielowymiarowej czy też układów z kompensacją zakłóceń. Skuteczność działania takiego układu zależy oczywiście od tego czy w prawie sterowania (1) zostaną właściwie uwzględnione istotne „przyczyny” oraz ich „skutki”.

Wprowadzenie algorytmu sterowania fuzzy-logic w wersji klasycznej (1) może być zastosowane w praktyce, jednak badania symulacyjne i praktyczne doświadczenia autora wskazują, iż regulator taki może wykazywać pewne niekorzystne cechy eksploatacyjne, takie jak np. częste zmiany sygnału sterującego - nawet w stanie „ustalonym”. Zjawiska te można oczywiście wyeliminować dzięki odpowiedniej rozbudowie algorytmu fuzzy-logic. Jednak wprowadza to do niego znaczną liczbę nowych parametrów - co jest niekorzystne z praktycznego punktu widzenia. Rozwiązaniem korzystniejszym jest uzupełnienie algorytmu rozmytego o odpowiednie bloki „ostre” zadaniem których jest:

- „uspokojenie” algorytmu sterowania dla sygnałów wejściowych o małych wartościach,
- wygładzanie sygnału wyjściowego - dostateczną skuteczność (z praktycznego punktu widzenia) wykazuje już filtr dolnoprzepustowy I rzędu lub filtr typu średnia z okna,
- dodanie do sygnału wyjściowego z algorytmu fuzzy-logic sygnału pochodzącego z członu równoległego całkowania co pozwala wyeliminować błąd ustalony regulacji.

Struktura algorytmu powinna ponadto umożliwiać wykonanie regulatora w wersji [3,6]:

- z wyjściem ciągłym,
- z wyjściem dwustawnym, np. z modulacją szerokości impulsu (PWM),
- z wyjściem trójstawnym krokowym,

oraz bezuderzeniowe przełączanie pomiędzy trybem pracy ręcznej i automatycznej.

Ponieważ algorytm ma być zaimplementowany w regulatorze RE11 to dla wyboru struktury algorytmu duże znaczenie mają także właściwości konstrukcyjne tego regulatora, a zwłaszcza:

- typ procesora (szybkość, długość słowa maszynowego, stosowane arytmetyki),
- wielkość dostępnej pamięci programu (EPROM) i pamięci danych (RAM).

Szczególnie krytyczną wielkością okazała się wielkość pamięci RAM. Spowodowało to konieczność znacznego uproszczenia algorytmu, którą uzyskano dzięki zastosowaniu komplementarnych funkcji przynależności typu Λ dla wielkości wejściowych oraz funkcji prostokątnych dla wielkości wyjściowej. Dzięki temu wartość zmian sygnału sterującego określaną w bloku fuzzy-logic można wyznaczyć analitycznie przy pomocy prostego wzoru.

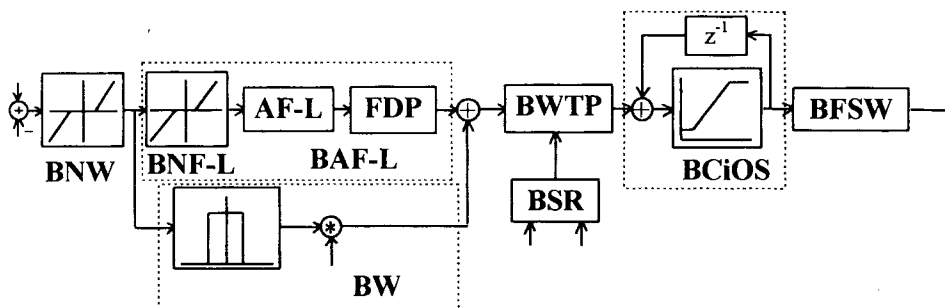
Schemat blokowy rozbudowanego regulatora fuzzy-logic pokazuje rysunek 1.

Poszczególne bloki regulatora - pokazane na rysunku 1 - pełnią w nim następujące funkcje:

BNW - blok nieczułości wejściowej ma za zadanie dostosować regulator do pracy w wersji z wyjściem krokowym - zastosowanie strojonej symetrycznej strefy nieczułości (N_{WE}) pozwala wówczas na uzyskanie stabilnego stanu ustalonego układu regulacji, w przypadku pracy z wyjściem ciągłym lub z dwustawnym wejściowa strefa nieczułości jest zbędna - chociaż także wówczas wywiera korzystny wpływ na zachowanie się układu regulacji

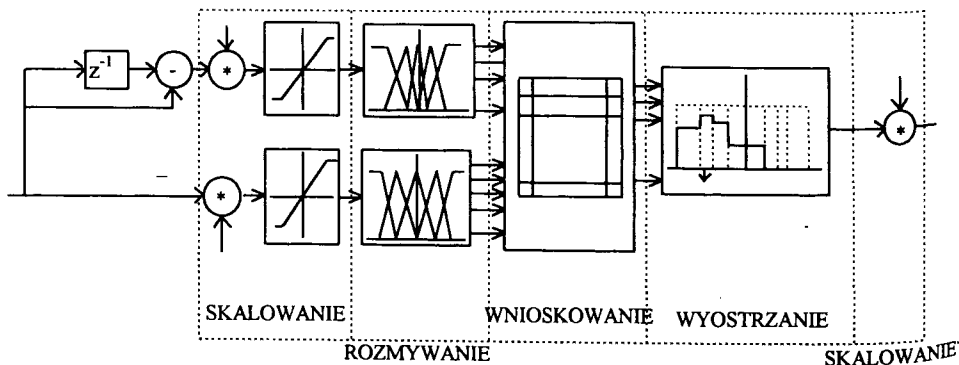
umożliwia ona bowiem uzyskanie „spokojnej” pracy urządzeń wykonawczych kosztem wprowadzenia niewielkiego błędu ustalonego,

BAF-L - blok algorytmu fuzzy-logic składa się z członu nieczułości wejściowej toru fuzzy-logic **BNF-L** oraz klasycznego regulatora fuzzy-logic **AF-L** realizującego nieliniowy algorytm będący odpowiednikiem algorytmu PD. Sygnał wyjściowy z bloku **AF-L** jest uśredniany przy pomocy filtra dolnoprzepustowego **FDP**. Badania symulacyjne oraz próby praktyczne pokazały, że zastosowanie w bloku fuzzy-logic niewielkiej wejściowej strefy nieczułości N_{FL} wpływa bardzo korzystnie na zachowanie się układu. Dzięki temu



Rys. 1. Schemat blokowy rozbudowanego regulatora fuzzy-logic.

uzyskiwana jest „spokojna” praca regulatora. Szerokość tej strefy nieczułości powinna być niewielka - ok. 1% zakresu wejściowego regulatora - i w zasadzie może być stała. Właściwy regulator fuzzy-logic ma strukturę pokazaną na rys. 2. Zastosowano w nim dwupunktową aproksymacji wartości pochodnej sygnału błędu. Przed dokonaniem operacji rozmywania sygnał błędu i jego „pochodna” są skalowane. Użytkownik podczas strojenia regulatora ustala także ilość zbiorów wartości funkcji przynależność do których są określane. Wnioskowanie przeprowadzane jest na podstawie zawartości dwuwymiarowej tablicy w której zakodowane są typy sterowania właściwego dla każdej sytuacji. Wyniki wnioskowania - wartości funkcji przynależności dla każdego typu sygnału wyjściowego wyznaczone z zastosowaniem metody min-max tzn. operatorów AND oraz OR w wersji Zadeh’a. Wyostrzenie realizowane jest metodą środka ciężkości co przy zastosowaniu



Rys.2. Schemat blokowy właściwego algorytmu fuzzy-logic.

funkcji przynależności sygnału sterującego o postaci prostokątnej jest szczególnie proste. Uzyskana wartość zmian sygnału sterującego jest następnie skalowana.

BW- blok wspomagający eliminuje błąd statyczny jaki może powstać z uwagi na wprowadzenie strefy nieczułości wejściowej toru fuzzy-logic. W połączeniu z blokiem całkowania końcowego tworzy on dodatkowe całkowanie sygnału błędu - ze stałą czasową T_{iFL} - działające w zadanym zakresie zmian sygnału błędu równym $[-Z_{FL} \dots + Z_{FL}]$. Zakres ten może jednak może być stały i równy 100%.

BWTP - bloku wyboru trybu pracy zapewnia niezbędne w regulatorze przemysłowym bezuderzeniowe przełączanie pomiędzy trybem pracy ręcznej i automatycznej.

BSR - bloku sterowania ręcznego, został zaprojektowany pod kątem możliwości sprzętowych regulatora RE 11 i umożliwia on użytkownikowi podczas pracy ręcznej przyrostowe zmiany sygnału sterującego.

BCiOS- blok całkowania końcowego z ogranicznikiem sygnału sterującego przekształca omawiany algorytm z odpowiednika PD w bardziej przydatny dla praktycznych zastosowań algorytm astatyczny, w regulatorze zastosowano człon całkujący (metodą prostokątów) sumę sygnałów z bloku fuzzy-logic oraz z bloku wspomagającego. Dodatkowo w bloku całkującym wartość sygnału wyjściowego z regulatora ograniczana jest do zadanego przez użytkownika przedziału $U_D \dots U_G$.

BFSW- bloku formowania sygnału wyjściowego pozwala przekształcić cyfrowy sygnał wyjściowy regulatora na odpowiednią postać fizyczną właściwą dla regulatora z wyjściem ciągłym, dwustawnym z modulacją PWM lub wyjściem trójstawnym krokowym.

Wprowadzenie na rynek regulatora wykorzystującego całkowicie nowy - w swej podstawowej koncepcji - algorytm sterowania wiąże się z koniecznością przełamania przyzwyczajień i uprzedzeń użytkowników. Istotną rolę mogą spełnić tutaj odpowiednie narzędzia ułatwiające zrozumienie mechanizmów działania algorytmu zaimplementowanego w regulatorze. Najważniejsze jest zastosowanie do tego celu programów komputerowych z odpowiednio rozbudowaną wizualizacją pracy algorytmu [1]. Przeprowadzenie symulacji komputerowych stanowi także podstawową metodę oceny przydatności zastosowania algorytmu fuzzy-logic do sterowania konkretnym obiektem oraz poprawności doboru jego parametrów do specyfiki obiektu.

3. PROGRAM WSPOMAGAJĄCY STROJENIE REGULATORA

Dla omawianego w referacie algorytmu regulatora fuzzy-logic napisany został odpowiedni program wspomagający [3]. Umożliwia on symulację działania układu regulacji z modelem obiektu sterowanego oraz z regulatorem fuzzy-logic lub z typowym regulatorem PID. Regulator PID wprowadzony został do programu jako pewnego rodzaju algorytm odniesienia, bowiem jego właściwości oraz metody doboru nastaw są powszechnie znane - co pozwala porównać efekty regulacji realizowanej przy jego pomocy ze skutecznością regulacji fuzzy-logic.

Program napisano zakładając iż użytkownik regulatora dysponuje komputerem co najmniej klasy PC AT 286 z kolorowym monitorem.

System rozwijalnych menu umożliwia łatwe deklarowanie wszystkich parametrów układu.

Główne menu zawiera następujące opcje:

Obiekt Regulator Identyfikacja Sygnały Dane Symulacja Koniec

które pozwalają na:

Obiekt - opcja służy do wprowadzenia parametrów zastępczych obiektu do sterowania pracą którego zastosowany ma być regulator fuzzy-logic. W programie zastosowano model będący połączeniem modeli Wienera oraz Hammersteina co umożliwia proste

odzwierciedlenie właściwości statycznych i dynamicznych typowych obiektów sterowania - wprowadzając współczynniki nieliniowości statycznych różne od jedności można jednocześnie i niezależnie od siebie kształtować charakterystykę statyczną oraz nieliniowość dynamiczną obiektu.

Identyfikacja - pozwala na dokonanie identyfikacji parametrów zastępczych obiektu na podstawie jego odpowiedzi skokowej wywołanej sygnałem o zadawanych parametrach. W opcji te wyznaczane są samoczynnie także parametry zastępcze aproksymującego „obiekt” modelu typu inercja II rzędu z opóźnieniem oraz rysowane są charakterystyki tego modelu.

Regulator - opcja umożliwiająca zmiany wartości wszystkich parametrów regulatora fuzzy-logic oraz regulatora PID. Dostępne są dwie podopcje:

PID która pozwala określić typ regulatora PID, jego wzmocnienie, stałą czasową całkowania i różniczkowania oraz wartości progów ograniczania sygnału wyjściowego,

FUZZY LOGIC służy do wprowadzania parametrów regulatora fuzzy-logic. Dostępne są tutaj kolejne trzy podopcje:

W podopcji **Tablica decyzyjna** definiowane jest prawo sterowania - przy zastosowaniu zapisu tablicowego. Rozmiary tablicy, tzn. ilość wierszy i kolumn odpowiadają (zadeklarowanej w podopcji **Parametry**) ilości zbiorów na jaką rozmywany jest odpowiednio błąd regulacji i szybkość jego zmian. Dla każdej kombinacji tych zmiennych - pole w tabeli - wpisać można jedną z ośmiu wybranych reakcji regulatora tzn. typu wielkości zmian sygnału sterującego z listy ujemna duża, ujemna średnia, ujemna mała, zerowa, dodatnia mała, dodatnia średnia, dodatnia duża, bez zmian.

W podopcji **Funkcje przynależności** użytkownik określa wartości charakterystyczne funkcji przynależności błędu regulacji, szybkości jego zmian oraz zmian sygnału wyjściowego regulatora. Aktualne wartości tych parametrów podawane są w odpowiednich tabelach. Dla zobrazowania kształtu odpowiadających im funkcji przynależności są one również rysowane. Rozmiary tabel i rysunków odpowiadają (zadeklarowanej w podopcji **Parametry**) ilości zbiorów na jakie rozmywany jest błąd regulacji, szybkość jego zmian oraz zmiany sterowania.

Podopcja **Parametry** służy do wprowadzania wartości liczbowych pozostałych parametrów regulatora fuzzy-logic. Do parametrów tych należą:

- Ilość praw błędu - wartość od 1 do 7 określająca do ilu zbiorów będzie określana przynależność sygnału błędu podczas pracy regulatora,
- Ilość praw pochodnej - wartość od 1 do 7 określająca do ilu zbiorów będzie określana przynależność szybkości zmian sygnału błędu podczas pracy regulatora,
- K_e - współczynnik skalujący w torze rozmywania sygnału błędu,
- K_d - współczynnik skalujący w torze rozmywania pochodnej sygnału błędu,
- K_y - współczynnik skalujący w torze wyostrzenia sygnału sterującego,
- Stała czasowa całkowania pomocniczego,
- Ograniczenia zakresu zmian sygnału sterującego,
- Szerokość strefy nieczułości wejściowej regulatora,
- Szerokość strefy nieczułości wejściowej toru FL,
- Szerokość zakresu całkowania pomocniczego.

Sygnały opcja pozwalająca zdefiniować charakter zmian wartości zadanej oraz sygnału zakłócenia wprowadzanego do obiektu. Sygnały te mogą być superpozycją funkcji stałej - tzn. skoku jednostkowego, sygnału okresowego piłokształtnego, sygnału okresowego trapezowego, sygnału fali prostokątnej, sygnału sinusoidalnie zmiennego oraz sygnału losowego o rozkładzie równomiernym.

Dane to opcja umożliwiająca zapamiętanie wartości wprowadzonych parametrów oraz ich późniejsze odtworzenie.

Symulacja - opcja służąca wykonaniu właściwych symulacji działania układu regulacji. W skład opcji wchodzi kilka podopcji służących do:

- zdefiniowania sposobu rysowania przebiegów sygnałów podczas symulacji,
- określenia wartości okresu impulsowania regulatora,
- wyboru typu zastosowanego regulatora,
- rozpoczęcia symulacji od zadanego stanu ustalonego,
- kontynuacji przerwanych symulacji.

Podczas symulacji wyświetlane są wartości wszystkich sygnałów układu, aktualny czas trwania symulacji liczony od jej początku, wartości podstawowych kryteriów całkowych takich jak IAE, ISE, IAU, ISU oraz wartość jednego z kryteriów odcinkowych - czasu osiągnięcia po raz pierwszy aktualnej wartości zadanej.

Dodatkowo podczas pracy z regulatorem FUZZY-LOGIC wyświetlane są :

- wartości aktualne podstawowych nastaw regulatora FUZZY-LOGIC, tzn: współczynników skalujących K_e , K_d , K_y i okresu impulsowania T_p ,
- aktualne wartości funkcji przynależności sygnału błędu, szybkości jego zmian i zmian sygnału wyjściowego,
- wartości błędu, szybkości jego zmian i zmian sygnału sterującego z uwzględnieniem wartości współczynników skalujących (K_e , K_d i K_y)

oraz rysowany jest aktualny obraz powierzchni sterowania.

Obok przebiegów czasowych wybranych sygnałów rysowany jest portret fazowy układu „widzianego” przez regulator fuzzy-logic. Pokazana na nim siatka linii odpowiada ilością oraz położeniami progom funkcji przynależności błędu sterowania i szybkości jego zmian. W przedstawianym programie portret fazowy jest podstawowym narzędziem analizy pracy regulatora fuzzy-logic i doboru wartości tej części jego parametrów dla których brak jeszcze wzorów analitycznych.

4. DOBÓR NASTAW REGULATORA FUZZY-LOGIC

Prawo sterowania rozmytego o postaci (1) jest bardzo proste. Problem pojawia się jednak w momencie gdy trzeba wprowadzić je do regulatora. Bardzo szybko - wraz ze wzrostem stopnia złożoności prawa sterowania - rośnie ilość związanych z nim parametrów. W typowym wielowymiarowym regulatorze fuzzy-logic parametrów tych może być nawet kilkaset co jest oczywiście liczbą zbyt dużą jak dla regulatora powszechnego przeznaczenia. Ilość ta może być jedynie dopuszczalna dla regulatora specjalizowanego - produkowanego masowo dla konkretnego obiektu - bowiem nastawy takiego regulatora są niedostępne dla obsługi zaś regulator dostraja sam producent.

Aby zmniejszyć liczbę parametrów wprowadzono odpowiednie modyfikacje struktury algorytmu fuzzy-logic zastosowanego w omawianym regulatorze. Dotyczą one postaci funkcji przynależności dla zmiennych wejściowych i zmiennej wyjściowej, maksymalnej liczby zbiorów oraz ogólnej struktury algorytmu. Pomimo tych uproszczeń przy maksymalnej konfiguracji regulatora liczba jego parametrów może wynosić aż 78.

Jednak badania symulacyjne oraz próby praktyczne z obiektami liniowymi oraz nieliniowymi statycznie i dynamicznie o szerokim zakresie stałych czasowych pokazały, że użytkownik dostrajając regulator do obiektu nie musi zmieniać części parametrów, wartości niektórych parametrów dobierać należy tak jak dla klasycznych regulatorów PID, wartości pozostałych parametrów można zaś określić stosując program symulacyjny.

Obecnie przedstawione zostaną bliższe informacje na temat doboru parametrów przedstawianego regulatora fuzzy-logic:

szerokość strefy nieczułości wejściowej regulatora to parametr niezbędny jedynie w regulatorze pracującym w wersji z wyjściem krokowym, wówczas jednak jego wartość powinna być dobiekana tak jak dla typowego krokowego regulatora PID,

ograniczniki wartości sygnału sterującego dobiekane są tak jak w typowych regulatorach PID, stała czasowa całkowania wspomagającego musi być dobrana do właściwości obiektu, ponieważ jednak całkowanie to pełni jedynie rolę korekcyjną jego działanie powinno być stosunkowo słabe, jeśli zakres działania tego całkowania będzie równy 100% to wartość liczbowa tego parametru określa wzór:

$$T_{iFL} = t_{UST} \quad (2)$$

gdzie t_{UST} to czas ustalania się odpowiedzi skokowej obiektu, określaný np. jako t_{95} ,

zakres działania całkowania wspomagającego może być stały i wynosić np. 100% ,

okres impulsowania regulatora to jeden z istotniejszych parametrów regulatora którego wartość musi być każdorazowo dobiekana do obiektu, jego wartość liczbowa określa wzór:

$$T_{reg} = (1/9 \div 1/15) * t_{UST} \quad (3)$$

szerokość strefy nieczułości wejściowej algorytmu fuzzy-logic może być ustawiona zawsze na wartość 1% zakresu zmian sygnału wejściowego,

ilość praw błędu oraz ilość praw pochodnej dla regulatorów stosowanych do sterowania typowymi obiektami mogą być stałe i równe 7, jedynie w przypadku sterowania obiektami szczególnie trudnymi (np. obiekty z charakterystyką statyczną typu „suche tarcie”) ilości praw rozmywania powinny być zmieniane,

„progi” funkcji przynależności oraz zawartość tablicy decyzyjnej mogą być jednakowe dla szerokiego zakresu zmian właściwości obiektu, jednak rozważane jest wyposażenie regulatora w możliwość wyboru pewnych wstępnie przygotowanych opcji typu sterowania takich jak np.: regulacja „mięka”, „sztywna”, z forsowaniem stygnięcia itp.,

współczynniki skalujące algorytmu fuzzy-logic to bardzo ważne parametry regulatora których wartość musi być dobrana do właściwości obiektu, można to przeprowadzić przy pomocy portretu fazowego układu regulacji - wyświetlanego w omówionym programie symulacyjnym.

W praktyce zatem użytkownik najczęściej będzie musiał dobrać wartość tylko pięciu parametrów - z czego dotychczas znane są wzory na dobór wartości dwu parametrów. Obecnie prowadzone są prace nad zalgorytmizowaniem toku postępowaniu przy doborze pozostałych trzech parametrów.

5. OBSŁUGA REGULATORA

Ponieważ algorytm opracowano z myślą o zastosowaniu go w regulatorach rodziny RE11 dlatego też do jego obsługi przewidziano jedynie te środki w jakie wyposażone są regulatory tej rodziny. Opracowano zatem system wielopoziomowej obsługi grup parametrów przy pomocy tak ograniczonych środków technicznych jak cztery przyciski, cztery diody LED oraz dwie linijki z czterema wyświetlami 7-mio segmentowymi [6].

W systemie tym użytkownik ma dostęp do wszystkich parametrów regulatora, jednak w zależności od tego jak często może występować potrzeba zmiany wartości danego parametru jest on przypisany do odpowiedniej grupy.

Parametry są podzielone na grupy:

I. zmiana trybu pracy regulatora: praca ręczna / praca automatyczna,

II. zmiana wartości sygnału sterującego podczas pracy ręcznej / zmiana wartości zadanej podczas pracy automatycznej,

III. okres impulsowania / współczynniki skalujące / strefy nieczułości / ograniczniki / stała czasowa całkowania wspomagającego,

IV. źródło wartości zadanej / typ wyjścia regulatora / praca normalna-praca śledząca,

V. tablica decyzyjna,

VI. progi funkcji przynależności.

Podczas zmieniania wartości poszczególnych parametrów wyświetlana jest symboliczna nazwa parametru i jego aktualna wartość która może być zmieniana przyrostowo. Użytkownik może także wycofać się z zmiany zachowując dotychczasowe wartości parametru. Jednak pomimo uzyskania bardzo czytelnego sposobu obsługi regulatora jest on - z uwagi na ograniczenia „pulpitu operatora” - stosunkowo mało wygodny dla użytkownika. Dlatego też planowane jest docelowo wprowadzenie ściślejszego powiązania regulatora z komputerem nadrzędnym. Pozwoli to uzyskać możliwość pracy układu regulacji w następujących trybach:

- praca autonomiczna regulatora
- praca regulatora z monitorowaniem realizowanym przy pomocy komputera nadrzędnego,
- praca zdalna w której regulator pełni jedynie rolę inteligentnego przetwornika obiektowego zaś algorytm regulacji wykonywany jest przez komputer nadrzędny.

Przewidywane jest wówczas także wprowadzenie opcji w której z poziomu omówionego wcześniej programu symulacyjnego można będzie odczytać aktualne parametry połączonego z komputerem regulatora oraz przekazać do regulatora nowe wartości tych parametrów uzyskane w wyniku prób symulacyjnych.

PODSUMOWANIE

Algorytm sterowania wykorzystujący logikę nieostrą pozwala na proste i bezpośrednie ujęcie w prawie sterowania doświadczeń użytkownika. Zastosowanie algorytmu fuzzy-logic może znacznie podnieść skuteczność sterowania obiektami trudnymi. Zaproponowana postać zmodyfikowanego algorytmu fuzzy-logic uwzględnia ograniczenia konstrukcji regulatora RE11. Wydaje się jednak, że celowe jest opracowanie nowej konstrukcji regulatora która pozwoli w pełni wykorzystać potencjalne możliwości algorytmu fuzzy-logic.

LITERATURA

- [1] Angstenberger J.: *atp-Marktanalyse: Software-Werkzeuge zur Entwicklung von Fuzzy-Reglern*, Automatisierungstechnische Praxis, 2/93, 112-124
- [2] Broel-Plater B., Kalisiak S.: *Fuzzy-logic control for switched reluctance motor*, MIMAR'94, Międzyzdroje, wrzesień 1994, 159-164
- [3] Broel-Plater B.: *Regulator fuzzy-logic - sprawozdanie z pracy nr TK 1/8379/95 wykonanej dla LZAE LUMEL*, Szczecin, listopad 1995
- [4] Kharadkar R.D.: *Fuzzy logic based autotuning of PID controller*, ICAUTO-95, Indore INDIA, December 1995, 717-720
- [5] Pfeiffer B. M.: *Selbsteinstellende klassische Regler mit Fuzzy-Logic*, Automatisierungstechnik 2/94, 69-73
- [6] *Regulator mikroprocesorowy typu RE11 - instrukcja obsługi*,
- [7] Yager R.R., Filev D.P.: *Podstawy modelowania i sterowania rozmytego*, WNT, Warszawa 1995