

PROJEKTOWANIE KLASYCZNEGO I ROZMYTEGO UKŁADU STEROWANIA NAPĘDU ELEKTRYCZNEGO W ŚRODOWISKU MATLAB/SIMULINK

Bogumiła Mrozek¹, Zbigniew Mrozek²

E-mail: bmrozek@usk.pk.edu.pl, zbigniew.mrozek@pk.edu.pl

Streszczenie

Prototypowanie napędów elektrycznych przedstawiono na przykładzie sterowania silnikiem prądu stałego zasilanego z przekształtnika tyrystorowego. Wykorzystując bloki z bibliotek SIMULINK-a, *Power System Blockset* i *Fuzzy Control Toolbox*, skonstruowano model symulacyjny testowanego napędu i sprawdzono dobrane uprzednio parametry regulatorów prądu i prędkości. Dobór parametrów regulatora wykonano przy użyciu pakietu *Nonlinear Control Design (NCD) Blockset*. Stwierdzono poprawne działanie proponowanego regulatora rozmytego.

Abstract

Prototyping of electric DC drive with thyristor converter is presented. SIMULINK libraries and blocks from *Power System Blockset* i *Fuzzy Control Toolbox* are used to build simulation models. Controller parameters are tuned with *Nonlinear Control Design (NCD) Blockset* and are verified by simulation. Using fuzzy controller for DC drive operation was successful.

1. WPROWADZENIE

Sprawdzenia poprawności struktury oraz dobranych parametrów układu regulacji projektowanego napędu można dokonać metodą symulacji. Korzystając z pakietów SIMULINK i *Power System Blockset* można zbudować model symulacyjny projektowanego napędu, w którym z żadaną dokładnością są odwzorowywane istotne zjawiska zachodzące przy zasilaniu różnego typu silników elektrycznych z przekształtników tyrystorowych takich jak: prostownik, przerywacz prądu stałego (chopper), przemiennik częstotliwości, falownik prądu i napięcia.

Do projektowania układów sterowania przydatne są: *Nonlinear Control Design (NCD) Blockset*, *Fuzzy Logic Toolbox*, *Digital Signal Processing (DSP) Blockset* i inne.

2. POWER SYSTEM BLOCKSET

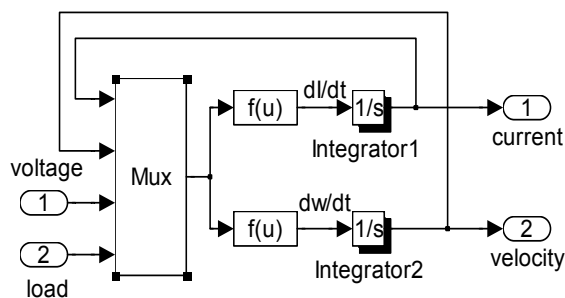
Power System Blockset umożliwia budowę i symulację obwodów elektrycznych zawierających elementy liniowe i nieliniowe. Biblioteki bloków reprezentują zarówno proste elementy układów elektrycznych jak i modele elementów energoelektrycznych oraz maszyn elektrycznych, transformatorów jedno- i trójfazowych o różnych grupach połączeń, prostowników diodowych, tyrystorowych i inne.

Pakiet ten może służyć na przykład do konstruowania własnych modeli przekształtników tyrystorowych i tranzystorowych oraz różnego typu przemienników częstotliwości. Może być także użyty do tworzenia modeli napędu elektrycznego z silnikami asynchronicznymi

i synchronicznymi. Do pakietu dołączono wiele przykładów z zakresu elektrotechniki, energoelektroniki, maszyn elektrycznych i napędów [6].

Modele obwodów elektrycznych zawierają wiele nieliniowości. Dlatego zaleca się, aby ich symulację wykonać przy użyciu algorytmów przeznaczonych dla układów sztywnych. Dokumentacja pakietu wskazuje algorytm `ode15s` jako najbardziej właściwy dla uzyskania odpowiedniej szybkości symulacji i dokładności wyników. Z prowadzonych przez autorów badań wynika, że dla modeli zawierających bloki pakietu *Power System Blockset* znaczną poprawę szybkości symulacji można uzyskać stosując algorytm `ode23s` lub `ode23tb`.

3. BADANIA SYMULACYJNE NAPĘDU Z SILNIKIEM PRĄDU STAŁEGO

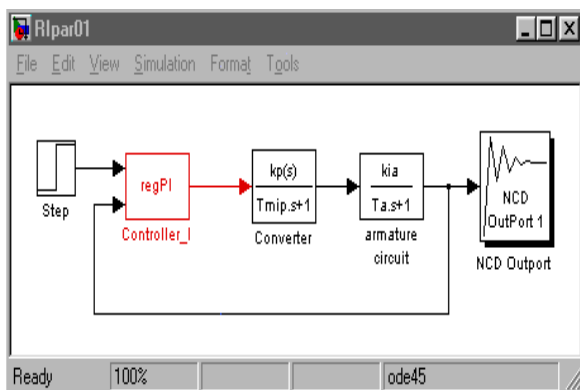


Rys.1 Model silnika prądu stałego (podsystem Simulink-a)

Do testowania symulacyjnego przyjęto napęd z silnikiem o mocy 22kW. Badania symulacyjne wykonano dla modelu napędu używanego do klasycznego doboru parametrów układu sterowania. Następnie powtórzono symulację dla uprzednio dobranych parametrów regulatorów i dla modelu przekształtnika, w którym uwzględniono nieliniowości działania tego układu.

3.1 Dobór parametrów regulatorów

Parametry układu sterowania dobiera się w oparciu o uproszczone modele przekształtnika tyrystorowego i silnika prądu stałego. Jako wystarczające przyjmuje się [1] przybliżenie przekształtnika tyrystorowego członem inercyjnym pierwszego rzędu ze stałą czasową równą jego średniemu czasowi martwemu. Dla doboru nastaw regulatora prądu z wykorzystaniem pakietu *Nonlinear Control Design (NCD) Blockset* zbudowano model obwodu regulacji prądu twornika pokazany na rysunku 2.



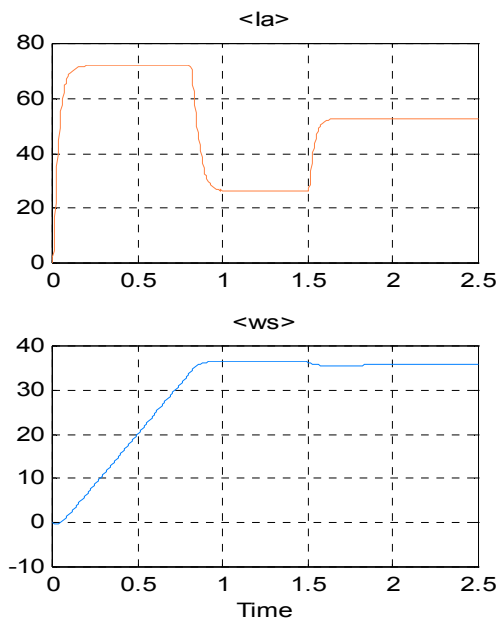
Rys.2 Dobór parametrów regulatora prądu z użyciem NCD Blockset

Przyjęto, że regulator prądu ma strukturę PI. Parametry poszczególnych bloków są wczytywane z przestrzeni roboczej, gdzie:

- k_p - współczynnik wzmocnienia napięciowego przekształtnika tyrystorowego,
- T_{mip} - średni czas martwy przekształtnika,
- K_{ia} - współczynnik sprzężenia prądowego,
- T_a – elektromagnetyczna stała czasowa obwodu twornika.

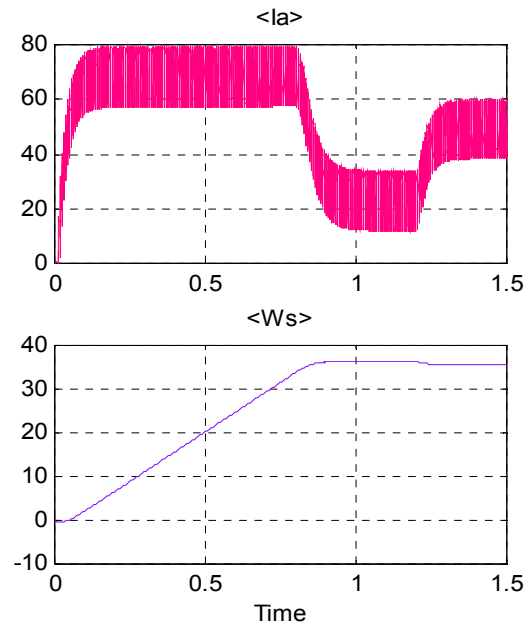
Według podobnej zasady [2] zbudowano model dla obwodu regulacji prędkości silnika. Przyjęto, że regulator prędkości ma również strukturę PI.

3.2 Modele symulacyjne napędu z silnikiem prądu stałego

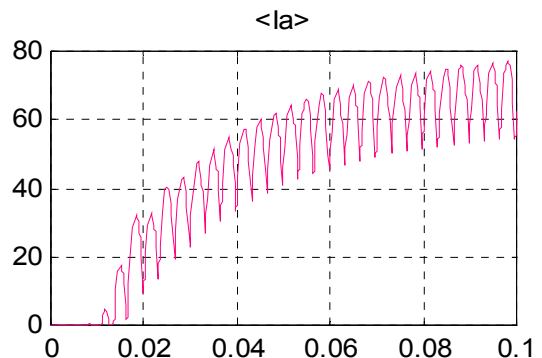


Rys.3 Przebiegi symulacyjne prądu i prędkości silnika uzyskane dla modelu napędu z rysunku 6.

Na rysunku 6 pokazano model napędu z silnikiem prądu stałego, który zbudowano wyłącznie z bloków SIMULINK-a. Przekształtnik tyrystorowy jest reprezentowany przez blok **converter (Transfer Fcn)**. Licznik tego bloku odpowiada współczynnikowi wzmocnienia zlinearyzowanego przekształtnika. Stała czasowa (występująca w mianowniku) odpowiada średniemu czasowi martwemu przekształtnika, który dla sześciopulsowego układu mostkowego wynosi 1.67ms.



Rys.4 Przebiegi symulacyjne prądu i prędkości silnika dla modelu z rysunku 7

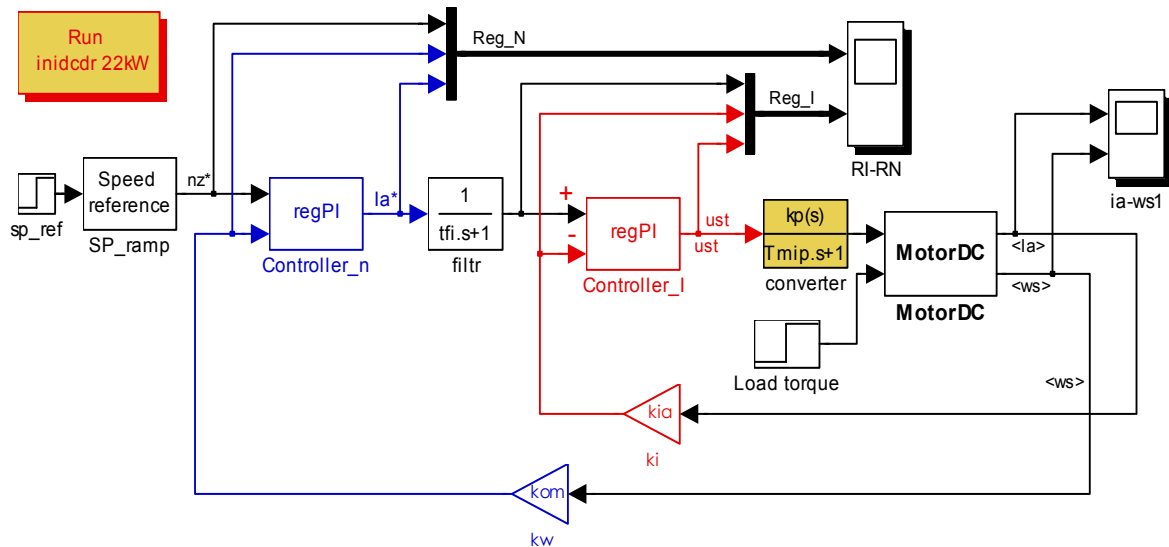


Rys.5 Przebiegi symulacyjne prądu silnika początkowej fazy rozruchu dla modelu z rysunku 7

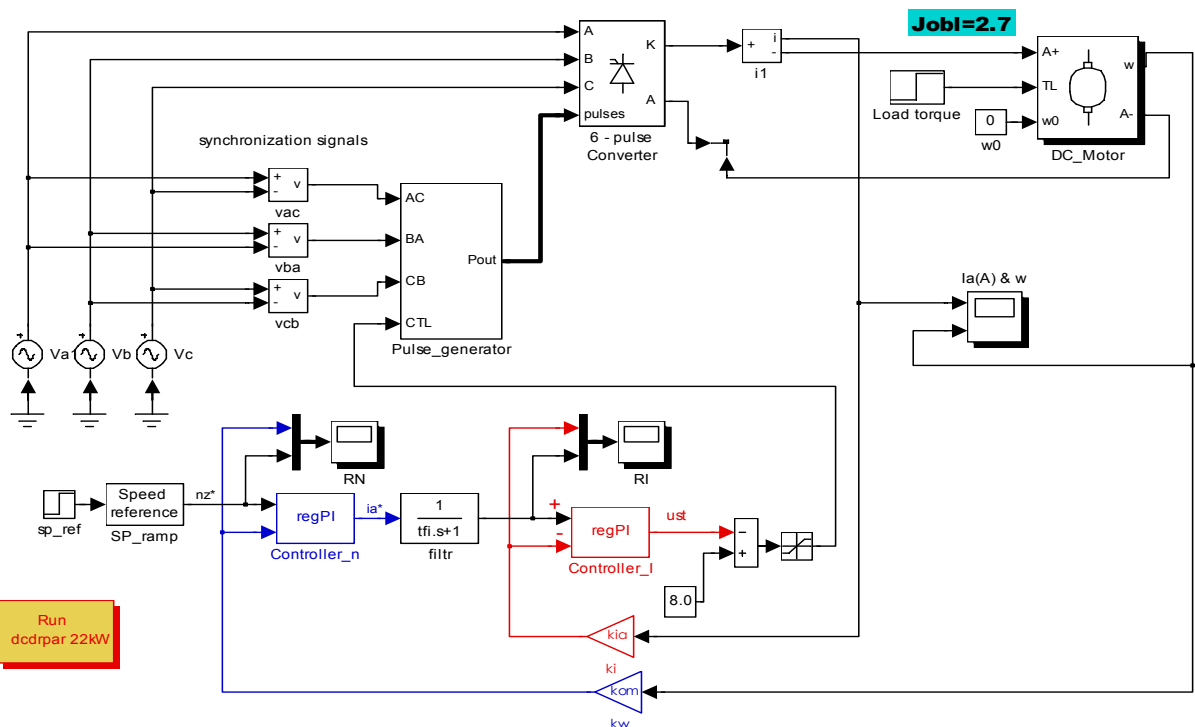
Takie uproszczenie przekształtnika tyrystorowego przyjmuje się zwykle dla wyznaczenia parametrów układu sterowania napędu [1]. Uzyskane wyniki symulacji prądu i prędkości silnika przy rozruchu dla dobranych parametrów regulatorów prądu i prędkości pokazano na rysunku 3. Symulowano rozruch napędu z obciążeniem statycznym równym połowie momentu znamionowego silnika ($M_{st}=0.5M_{eIN}$). W chwili $t=1.5s$ zwiększono skokowo obciążenie do znamionowego momentu silnika ($M_{st}=M_{eIN}$).

Na rysunku 7 pokazano model rozpatrywanego napędu zbudowany z wykorzystaniem bloków *Power System Blockset*. Blok **6-pulse Converter** reprezentuje tyrystorowy przekształtnik mostkowy. Jest to podsystem zawierający modele tyrystorów połączone w układzie mostkowym. Blok **Pulse generator** generuje impulsy podawane na bramki tyrystorów przekształtnika. Tak więc model części energoelektronicznej napędu dość wiernie odwzorowuje układ rzeczywisty. Ponadto do budowy modelu pobrano z bibliotek *Power System* bloki idealnych mierników napięcia i prądu oraz bloki idealnych źródeł napięcia

sinusoidalnego. Na rysunkach 4 i 5 pokazano uzyskane wyniki symulacji prądu i prędkości silnika podczas rozruchu (przy stałym obciążeniu statycznym $M_{st} = 0.5M_{eIN}$), w czasie $t=0.1s$ i $t=1.5s$. W chwili $t=1.2s$ zwiększono skokowo obciążenie statyczne silnika do wartości $M_{st}=M_{eIN}$.



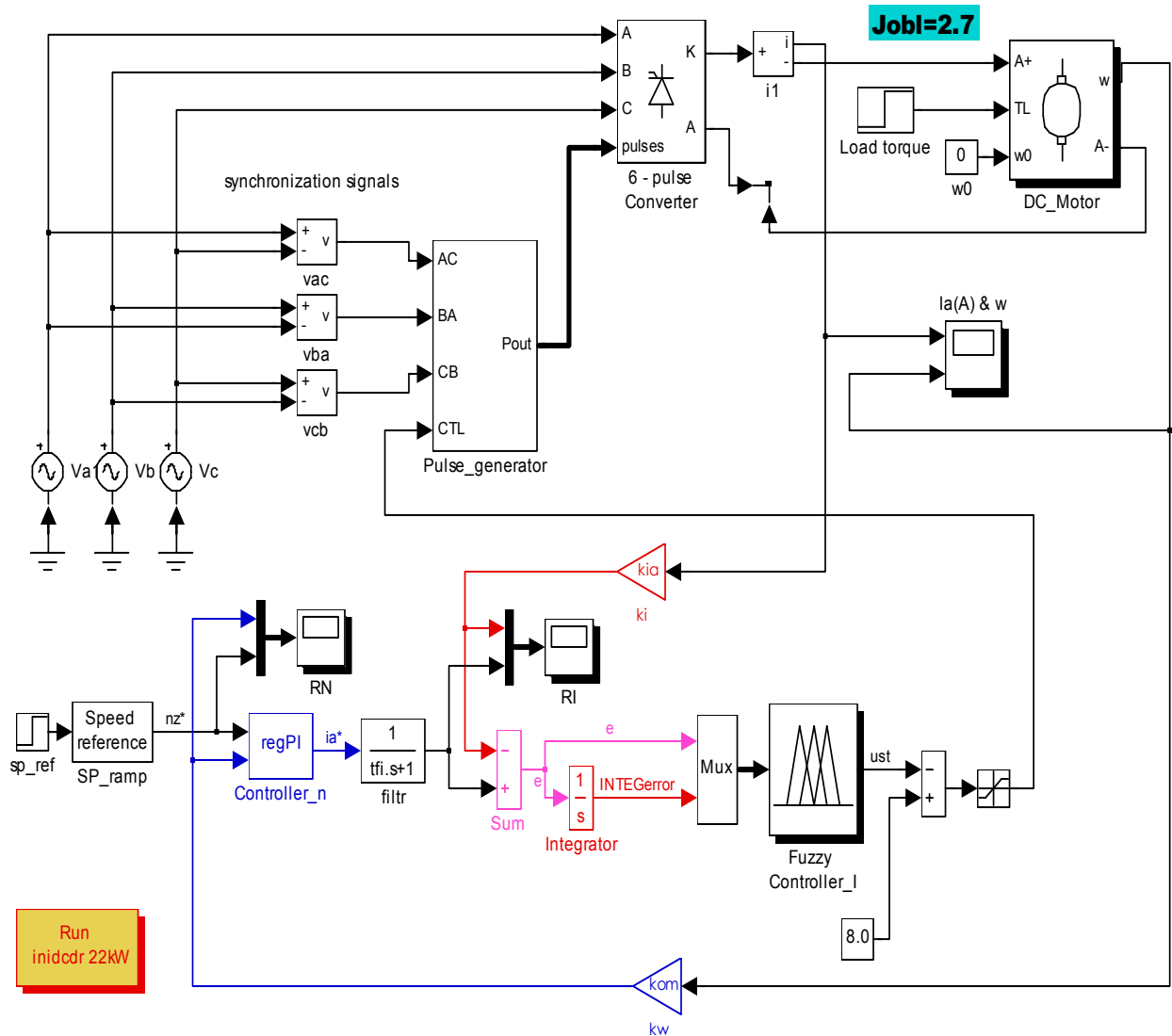
Rys.6 Model napędu z silnikiem prądu stałego z regulatorami PI prądu i prędkości zbudowany z bloków SIMULINK-a



Rys.7 Model napędu z silnikiem prądu stałego zbudowany przy użyciu bloków Power System

4. STEROWANIE ROZMYTE NAPĘDU ELEKTRYCZNEGO

Model napędu z silnikiem prądu stałego i rozmytym regulatorem prądu pokazano na rysunku 8. W modelu tym zastosowano bloki z *Power System Blockset*. Omawiany wcześniej liniowy model silnika może być również wykorzystany dla wstępnego określenia nastaw regulatora rozmytego.



Rys.8 Model napędu z silnikiem prądu stałego i rozmytym regulatorem prądu - zbudowany z wykorzystaniem bloków *Power System Blockset* oraz bloku *Fuzzy Logic Controller*

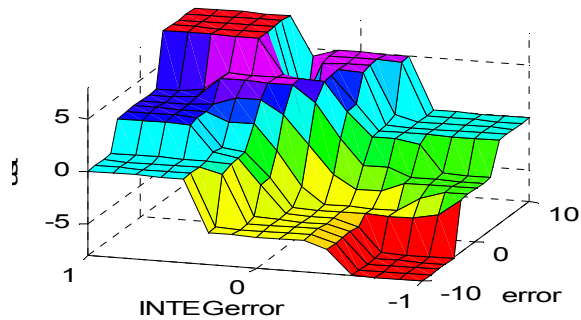
4.1 ZMIENNE LINGWISTYCZNE I REGUŁY

W zaprojektowanym rozmytym regulatorze prądu przyjęto dwa zbiory rozmyte (error oraz INTEGerror) i siedem zmiennych lingwistycznych (od *big negative* do *big positive*). Parametry regulatora rozmytego zapisano w strukturze o wartościach pól jak poniżej [4]:

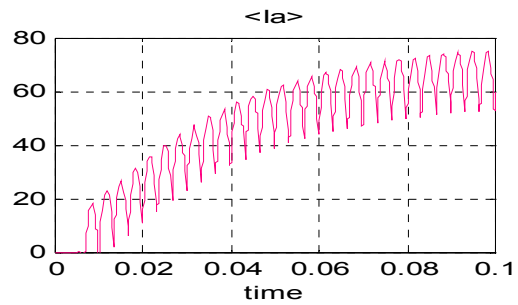
```

type: 'mamdani'
aggMethod: 'max'
andMethod: 'prod'
input: [1x2 struct]
orMethod: 'max'
output: [1x1 struct]
defuzzMethod: 'centroid'
rule: [1x25 struct]
impMethod: 'prod'

```



Rys.9 Powierzchnia sterowania dla rozmytego regulatora prądu silnika.



Rys.10 Przebiegi symulacyjne prądu silnika początkowej fazy rozruchu dla modelu z rozmytym regulatorem prądu z rysunku 8.

Jako funkcje przynależności użyto (pimf i gausmf). Zbiór reguł określono w taki sposób, aby uzyskać pożądany kształt przestrzeni sterowania jako funkcji błędu i jego całki. Projektowanie tej przestrzeni jest bardziej pracochłonne niż dobranie nastaw regulatora PID. Możliwość kształtowania tej powierzchni pozwala bardziej precyzyjnie wypełnić warunki określone przez przyjęte kryterium jakości, szczególnie w przypadku systemu nieliniowego. Powierzchnia sterowania z rysunku 9 jest opisana przez zbiór 25 reguł.

WNIOSKI KOŃCOWE

Dla potrzeb wstępnego strojenia regulatora korzystne jest użycie modelu uproszczonego. Czas symulacji skraca się znacznie przy użyciu prostych modeli. Model dokładny umożliwi lepszą weryfikację parametrów układów sterowania, z uwzględnieniem nieliniowości rzeczywistego obiektu (silnik z układem zasilania i maszyną roboczą). Może być on także przydatny do testowania nowych typów regulatorów w napędach, na przykład regulatorów rozmytych konstruowanych przy użyciu *Fuzzy Logic Toolbox*.

Wyniki symulacji dla regulatora PI i dla rozmytego regulatora prądu są podobne – z tym, że regulator rozmyty reaguje szybciej i silniej na pojawiające się zakłócenia lub zmiany wartości zadanej. Oznacza to, że nawet prosty regulator rozmyty zastosowany do sterowania napędem elektrycznym będzie działać szybciej i bardziej precyzyjnie od regulatorów klasycznych (porównaj wykresy na rysunku 5 i 10). Regulator rozmyty może być zrealizowany jako wyspecjalizowany system mikroprocesorowy, procesor sygnałowy lub ASIC - najbardziej odpowiedni dla warunków przemysłowych. Niniejsza praca była częściowo finansowana przez Politechnikę Krakowską, z umów: F3/147/DS/2000 oraz E5/1 /BW/2000.

Literatura

1. A. Czajkowski, Napęd tyrystorowy prądu stałego, WNT Warszawa 1974
2. B. Mrozek, Projektowanie i testowanie układów sterowania napędów elektrycznych z zastosowaniem Simulink-a i Power System Blockset, 2-ga Krajowa Konferencja „Metody i Systemy Komputerowe w badaniach naukowych i projektowaniu inżynierskim” str. 185-190, Kraków, 1999.
3. B. Mrozek, Z. Mrozek, MATLAB 5.x SIMULINK 2.x poradnik użytkownika; Wydawnictwo PLJ Warszawa 1998
4. Fuzzy Logic Toolbox User's Guide, The MathWorks, Inc. 1995 – 1998
5. Nonlinear Control Design Blockset User's Guide The MathWorks, Inc. 1993 - 1997
6. Power System Blockset User's Guide, TEQSIM International Inc., a sublicense of Hydro-Québec, and The MathWorks, Inc. 1984 – 1998