

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

Bogumiła Mrozek<sup>1</sup>, Zbigniew Mrozek<sup>2</sup>

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

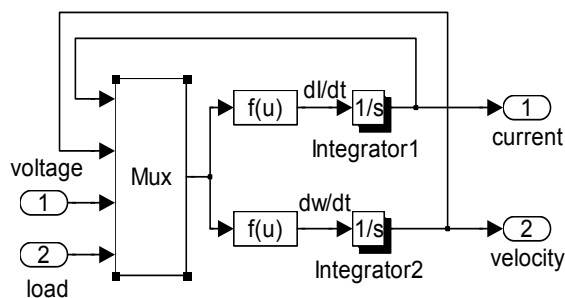
*Power System Blockset* umożliwia budowę i symulację obwodów elektrycznych zawierających elementy liniowe i nieliniowe. Biblioteki bloków reprezentują zarówno proste elementy układów elektrycznych jak i modele elementów energoelektrycznych oraz maszyn elektrycznych, transformatorów jedno- i trójfazowych 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

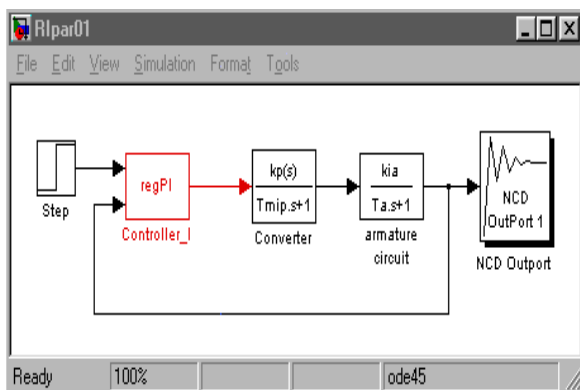


Rys.1 Model silnika prądu stałego (podsystem Simulink-a)

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.



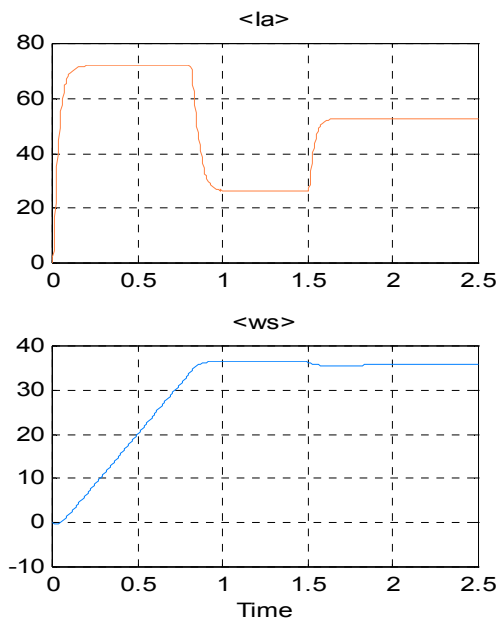
Rys.2 Dobór parametrów regulatora prądu z użyciem NCD Blockset

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.

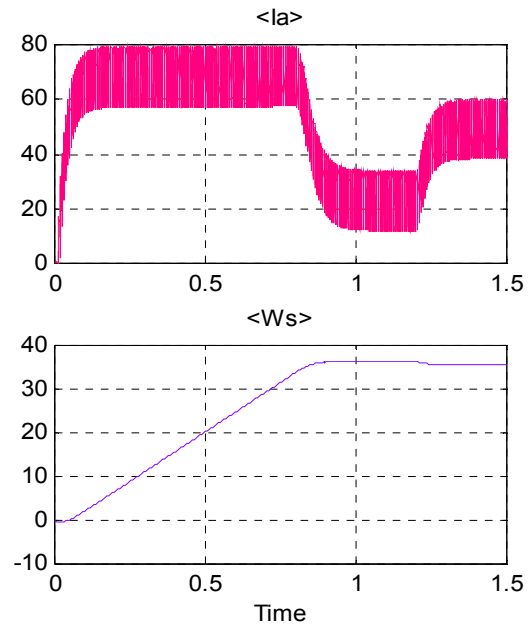
Według podobnej zasady [2] zbudowano model dla obwodu regulacji prędkości silnika. Przyjęto, że regulator prędkości ma również strukturę PI.

### 3.2 Modele symulacyjne napędu z silnikiem prądu stałego

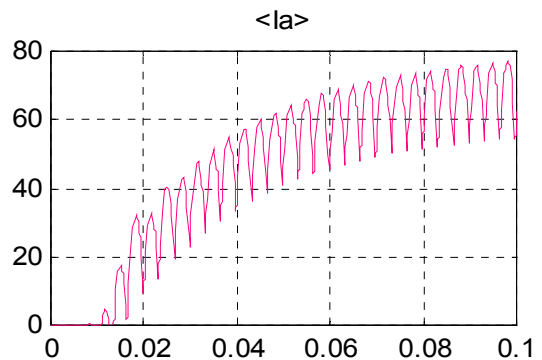


Rys.3 Przebiegi symulacyjne prądu i prędkości silnika uzyskane dla modelu napędu z rysunku 6.

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



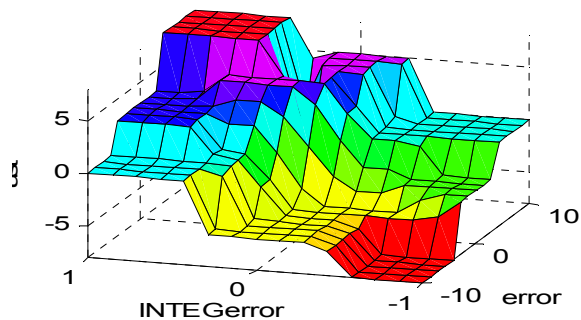
Rys.5 Przebiegi symulacyjne prądu silnika początkowej fazy rozruchu dla modelu z rysunku 7

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 ( $M_{st}=M_{eIN}$ ).

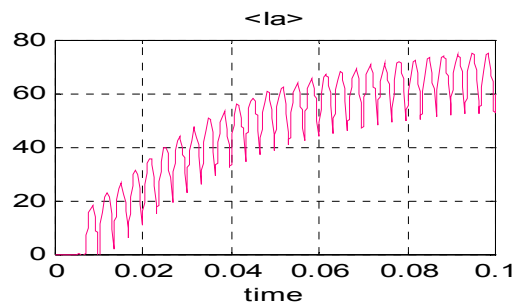
Na rysunku 7 pokazano model rozpatrywanego napędu zbudowany z wykorzystaniem bloków *Power System Blockset*. Blok **6-pulse Converter** reprezentuje tyrystorowy przekształtnik mostkowy. Jest to podsystem zawierający modele tyrystorów połączone w układzie mostkowym. Blok **Pulse generator** generuje impulsy 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







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 ( $p_{imf}$  i  $g_{ausmf}$ ). 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