

**Stanisław SZABŁOWSKI**

---

*Dr inż., Państwowa Wyższa Szkoła Wschodnioeuropejska w Przemysłu, Instytut Nauk Technicznych, ul. Książąt Lubomirskich 6, 37-700 Przemysł; [st.szablowski@gmail.com](mailto:st.szablowski@gmail.com)*

---

**MODELOWANIE FIZYCZNE UKŁADÓW  
MECHATRONICZNYCH  
W ŚRODOWISKU SIMULINK-SIMSCAPE**

**PHYSICAL MODELLING OF MECHATRONIC SYSTEMS  
IN A SIMULINK-SIMSCAPE ENVIRONMENT**

**Słowa kluczowe:** Simulink, Simscape, modelowanie fizyczne, symulacja.

**Keywords:** Simulink, Simscape, physical modeling, simulation.

**Streszczenie**

W opracowaniu przedstawiono problematykę projektowania modeli fizycznych w środowisku Simulink-Simscape na przykładzie elektrycznego układu napędowego z silnikiem DC. Zaprezentowano dwa różne rozwiązania modeli oraz przeprowadzono badania symulacyjne napędu w stanie nieustalonym. Wskazano wartości dydaktyczne projektowania i badania układów mechatronicznych z wykorzystaniem metodyki Model-BasedDesign w kształceniu studentów mechatroniki.

**Summary**

The thesis focuses on the design of physical models in the Simulink-Simscape environment on the example of an electric drive unit equipped with a DC engine. Two different solutions of models have been presented and simulation studies in a transient state drive have been carried out. The thesis indicates the didactic value of the design and the testing of mechatronic systems with the use of the Model-BasedDesign methodology in the teaching of mechatronics students.

**Wprowadzenie**

Współczesne uniwersalne oprogramowanie inżynierskie umożliwia modelowanie i symulację praktycznie dowolnego systemu technicznego. Modele mogą być opisane w postaci układu równań różniczkowych lub różniczkowo-algebraicznych, bądź zadawane w postaci schematów blokowych. W tym przypadku o możliwości użycia takiego pakietu decyduje dostępność potrzebnych bloków w bibliotekach lub możliwość samodzielnego ich zaprojektowania.

Do takiego uniwersalnego oprogramowania należy m.in. pakiet Matlab<sup>1</sup>, który służy do wykonywania różnorodnych obliczeń inżynierskich i symulacji systemów. Jego główną zaletą są bardzo rozbudowane biblioteki gotowych funkcji obliczeniowych. W celu wykorzystania w pełni możliwości Matlab'a można tworzyć własne funkcje i skrypty (m-pliki). M-pliki pisane są w formacie tekstowym w języku programowania Matlab'a. Oprócz pisania własnych programów symulacyjnych i obliczeniowych popularnie korzysta się z dodatkowego pakietu środowiska Matlab'a-Simulinka, za pomocą którego można realizować modelowanie matematyczne i fizyczne.

## Modelowanie fizyczne

Podstawowym sposobem modelowania fizycznego układów mechatronicznych w Simulinku jest wykorzystanie bibliotek Simscape<sup>2</sup>. Istotą modelowania fizycznego jest wymóg spełniania praw fizyki (np. prawa zachowania energii) w miejscu połączenia elementów modelu<sup>3</sup>. Elementy modelu fizycznego odpowiadają elementom rzeczywistego systemu, zaś sam model odwzorowuje strukturę połączeń elementów rzeczywistego systemu. Simscape pozwala na modelowanie zintegrowanych i domenowych układów mechatronicznych bez konieczności wcześniejszego opisu matematycznego układu (np. równaniami różniczkowymi lub transmitancjami). W bibliotekach dostępne są elementy pozwalające modelować układy mechaniczne, hydrauliczne, pneumatyczne, elektryczne, magnetyczne i termiczne. Na przykład budowa modelu układu mechanicznego polega na łączeniu bloków reprezentujących masy, elementy tłumiące i sprężyste, przekładnie itp.

Podstawową biblioteką Simscape jest biblioteka ogólna Foundation Library. Oprócz niej występują bardziej zaawansowane biblioteki:

- SimDriveline – narzędzia do modelowania i symulacji mechaniki układów napędowych;
- SimElectronics – biblioteka do symulacji układów elektrycznych i elektro-  
nicznych;
- SimHydraulics – biblioteka do symulacji układów hydraulicznych i pneu-  
matycznych;
- SimMechanics – biblioteka do symulacji układów mechanicznych;
- SimPowerSystems – narzędzia do modelowania i symulacji układów energo-  
elektronicznych i systemów elektroenergetycznych.

---

<sup>1</sup> <http://www.mathworks.com>

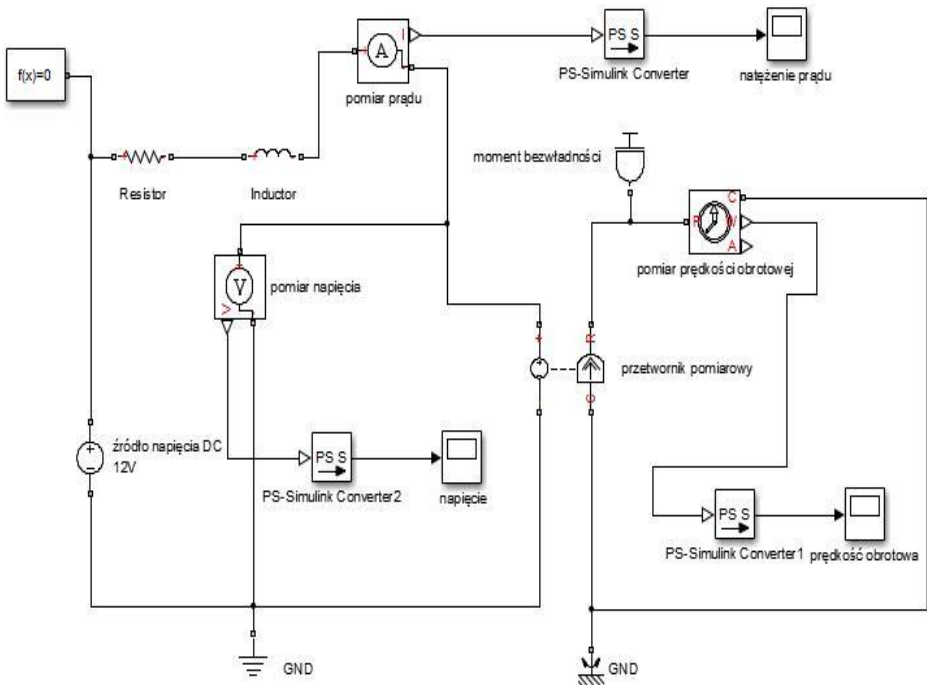
<sup>2</sup> <https://www.mathworks.com/help/physmod/simscape>

<sup>3</sup> Z. Mrozek, *Modelowanie fizyczne*, „Pomiary. Automatyka. Robotyka” 2003, nr 4.

Wiele przykładów modeli fizycznych wykonanych w Simscape znajduje się na stronie producenta pakietu Matlab-Simulink<sup>4</sup>.

## Modelowanie elektrycznego układu napędowego w Simscape

Do budowy modeli fizycznych układu napędowego z silnikiem DC wykorzystano elementy z bibliotek Foundation Library Electrical, Foundation Library Mechanical, SimElectronics i Utilities. Zaprezentowano poniżej dwa różne rozwiązania. Na rys. 1 przedstawiono podstawowy model silnika oparty na rezystancji, indukcyjności własnej i SEM obwodu twornika.

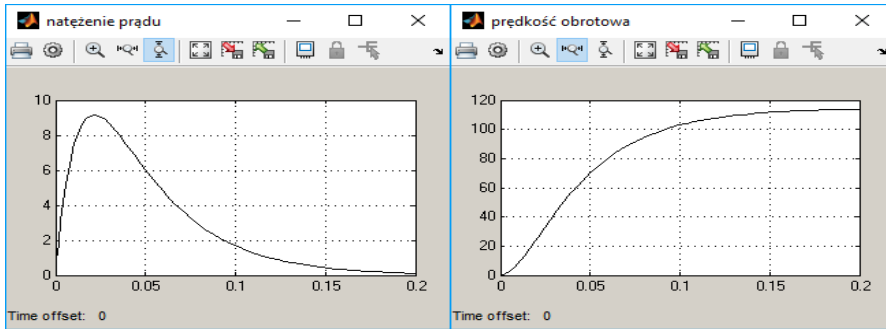


**Rys. 1. Model fizyczny układu napędowego z silnikiem DC w Simscape – wersja 1**

Źródło: opracowano na podstawie: W.J. Palm, *Using Simscape™ for Modeling Electromechanical Systems: Dynamics and Control of a Robot Arm*, The McGraw-Hill Companies, Inc. 2014.

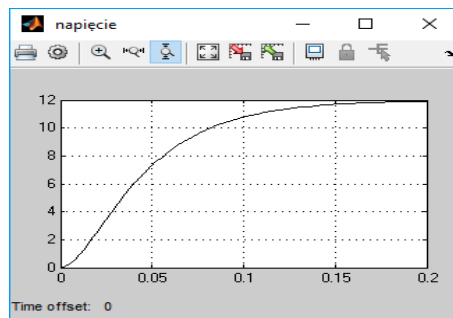
Po przeprowadzeniu symulacji uzyskano przebiegi natężenia prądu i prędkości obrotowej oraz napięcia na silniku podczas rozruchu napędu (rys. 2 i 3).

<sup>4</sup> <https://www.mathworks.com/help/physmod/simscape/examples.html>



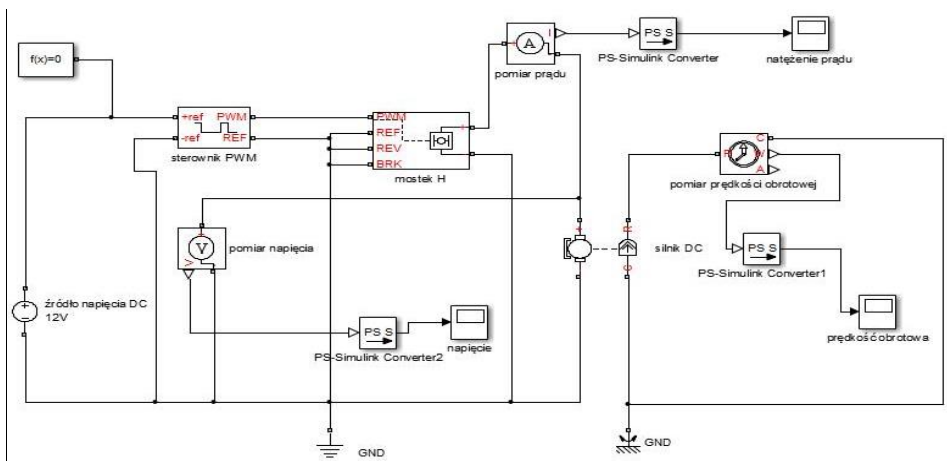
**Rys. 2. Stan nieustalony w napędzie – przebiegi natężenia prądu i prędkości obrotowej**

Źródło: opracowanie własne.



**Rys. 3. Przebieg napięcia na silniku podczas rozruchu**

Źródło: opracowanie własne.

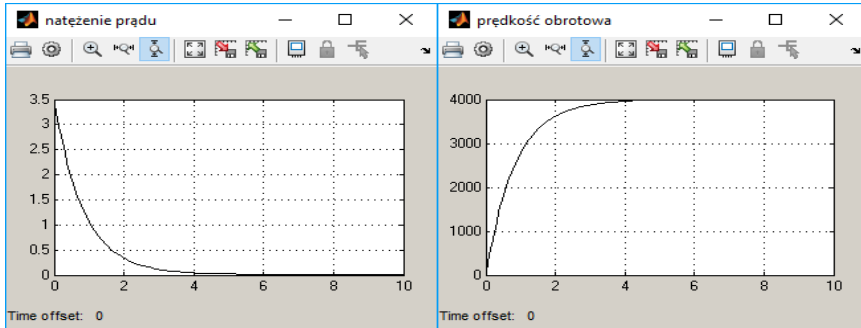


**Rys. 4. Model fizyczny układu napędowego z silnikiem DC w Simscape – wersja 2**

Źródło: opracowano na podstawie: *DC Motor Model*, <https://www.mathworks.com/help/physmod/elec/ug/example--modeling-a-dc-motor.html>.

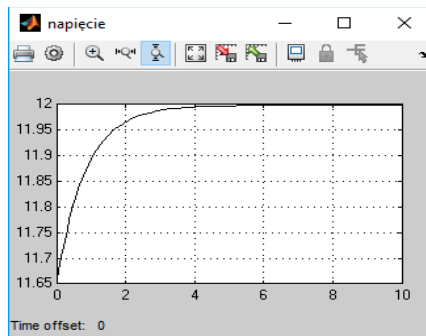
W modelu na rys. 4 zastosowano typowe dla układów mechatronicznych sterowanie silnikiem za pomocą kontrolera PWM i mostka H. Układ umożliwia zmianę prędkości obrotowej i pracę rewersyjną silnika.

Po przeprowadzeniu symulacji uzyskano przebiegi natężenia prądu i prędkości obrotowej oraz napięcia na silniku podczas rozruchu napędu (rys. 5 i 6).



**Rys. 5. Stan nieustalony w napędzie z kontrolerem PWM i mostkiem H**

Źródło: opracowanie własne.



**Rys. 6. Przebieg napięcia na silniku podczas rozruchu**

Źródło: opracowanie własne.

## Zakończenie

W kształceniu studentów mechatroniki pełne możliwości środowiska Simulink wykorzystuje się stosując metodykę Model-Based Design (MBD), która jest popularnie stosowana w projektowaniu inżynierskim złożonych systemów mechatronicznych. Polega ona na oparciu każdego etapu projektowania na modelu zbudowanym w programie Simulink. Podczas tego procesu wykorzystuje się przede wszystkim bloki pakietu Simscape do modelowania fizycznego, a także standardowe bloki Simulinka, realizujące proste modele transmitancyjne. Takie

podejście zwalnia studenta z wnikania w dogłębny matematyczny opis pracy danego komponentu. Tworzenie specyfikacji projektu w postaci modelu ma wiele zalet. Pozwala bowiem na jasne i jednoznaczne określenie elementów składowych, ich interfejsów, a także wzajemnych zależności. Jednocześnie utworzony model jest wykonywalną specyfikacją, z możliwością przeprowadzania jego badań symulacyjnych<sup>5</sup>.

Metodyka MBD pozwala na łatwe przechodzenie między poszczególnymi etapami procesu, zaś modele fizyczne w środowisku Simulink pełnią funkcję platformy komunikacyjnej pomiędzy zespołami projektowymi. Przyspiesza ona czas realizacji projektu oraz umożliwia obniżenie jego kosztów przez ciągłą weryfikację i optymalizację projektu od wstępnych założeń aż do gotowego urządzenia. Umożliwia modelowanie systemu, symulację, automatyczną generację kodu oraz testowanie i weryfikację.

## Bibliografia

- DC Motor Model*, <https://www.mathworks.com/help/physmod/elec/ug/example--modeling-a-dc-motor.html>
- Dokumentation Simscape*, <https://www.mathworks.com/help/physmod/simscape>  
<http://www.mathworks.com>  
<https://www.mathworks.com/help/physmod/simscape/examples.html>
- Mrozek Z., *Modelowanie fizyczne*, „Pomiary. Automatyka. Robotyka” 2003, nr 4.
- Palm W.J., *Using Simscape™ for Modeling Electromechanical Systems: Dynamics and Control of a Robot Arm*, The McGraw-Hill Companies, Inc. 2014.
- Płatek R., *Matlab i Simulink w automatyce przemysłowej*, <http://automatykaonline.pl/Artykuly/Oprogramowanie/MATLAB-i-Simulink-w-automatyce-przemyslowej>

---

<sup>5</sup> R. Płatek, *Matlab i Simulink w automatyce przemysłowej*, <http://automatykaonline.pl/Artykuly/Oprogramowanie/MATLAB-i-Simulink-w-automatyce-przemyslowej>