

POLITECHNIKA ŁÓDZKA  
WYDZIAŁ MECHANICZNY  
KATEDRA AUTOMATYKI I BIOMECHANIKI

**ROZPRAWA DOKTORSKA**

**Analiza i sterowanie dynamiki nieliniowej  
podwójnego i potrójnego  
wahadła fizycznego**

**mgr inż. Grzegorz Wasilewski**

Promotor: prof. dr hab. inż. Jan Awrejcewicz

Łódź 2009

1.	Wykaz oznaczeń.....	3
2.	Wstęp.....	5
2.1.	Przegląd literatury dotyczącej tematyki rozprawy.....	5
2.2.	Cel i teza pracy.....	19
3.	Opis stanowiska laboratoryjnego.....	21
3.1.	Wstęp.....	21
3.2.	Model obliczeniowy i parametry wahadła.....	24
3.3.	Silnik napędowy.....	25
3.4.	Rozgrzewanie cewek silnika.....	26
3.5.	Charakterystyka skokowa wahadła.....	27
3.6.	Układ sterujący zasilaniem silnika.....	28
3.7.	Przetworniki kątowe Vishay Spectrol 601-1045.....	31
3.8.	Schemat i konstrukcja układu pomiarowego.....	34
3.9.	Skalowanie przetworników kątowych.....	36
3.10.	Badanie momentu silnika napędowego.....	44
4.	Matematyczny model potrójnego wahadła.....	47
4.1.	Wzory dla uproszczonego modelu tarcia z tłumieniem wiskotycznym.....	47
4.2.	Wzory dla rozbudowanego modelu tarcia.....	49
5.	Rejestracja ruchu wahadła w środowisku LabVIEW.....	51
6.	Program do identyfikacji i symulacji w DELPHI.....	55
6.1.	Wersja "WahIdent_Proj wersja02.exe".....	55
6.2.	Wersja "PendWin_Project.exe".....	57
6.3.	Wersja "PendId_07.03.07.exe".....	58
7.	Wyniki eksperymentów i symulacji numerycznych.....	70
7.1.	Identyfikacja i symulacje modelu uproszczonego bez asymetrii.....	70
7.2.	Identyfikacja i symulacje modelu rozbudowanego z asymetrią.....	79
8.	Sterowanie ruchem podwójnego wahadła.....	91
8.1.	Podwójne wahadło.....	91
8.2.	Model matematyczny i program symulacyjny w LabVIEW.....	95
8.3.	Sterowanie wahadłem za pomocą programu w LabVIEW.....	98
9.	Wnioski i perspektywa dalszych badań.....	104
10.	Literatura.....	107