

KARTA PRZEDMIOTU OFEROWANEGO W SZKOLE DOKTORSKIEJ

Kod przedmiotu	4606-PS-000000H-0251	Nazwa przedmiotu	w j. polskim	Sterowanie nieliniowymi układami mechanicznymi		
			w j. angielskim	Control of Nonlinear Mechanical Systems		
Przynależność do grupy przedmiotów	przedmioty specjalnościowe					
Koordynator przedmiotu	Elżbieta Jarzębowska, dr hab. inż., prof. PW					
Jednostka realizująca	MEiL	Dyscyplina/y naukowa*	Inżynieria Mechaniczna			
Poziom kształcenia	Kształcenie doktorantów	Semestr	letni			
Język zajęć	polski					
Forma zaliczenia:	zaliczenie na ocenę	Sumaryczna liczba godzin w semestrze	45	Sumaryczna liczba ECTS	3	
Minimalna liczba uczestników	10	Maksymalna liczba uczestników	15	Dostępność dla studentów	Tak	
Typ zajęć		Wykład	Ćwiczenia audytoryjne	Ćwiczenia projektowe	Laboratorium	Seminarium
Liczba godzin zajęć	tygodniowo	1	1	1		
	łącznie w semestrze	15	15	15		

* nie dotyczy warsztatu badacza

1. Wymagania wstępne

- Podstawy mechaniki ogólnej,
- Podstawy mechaniki analitycznej (równania Lagrange'a II rodzaju, Lagrange'a z mnożnikami),
- Podstawy sterowania liniowego,
- Podstawy teorii stateczności mile widziane

2. Cele przedmiotu

Celami przedmiotu są: dostarczenie porcji wiedzy i zrozumienie podstaw teorii sterowania nieliniowego i umiejętność odróżnienia zakresu zastosowań metod sterowania liniowego i nieliniowego, zapoznanie z metodami i algorytmami sterowania nieliniowego.

3. Treści programowe (dla każdego typu zajęć oddzielnie)

Wykład

1. Wprowadzenie – różnice między sterowaniem modelami układów liniowych i nieliniowych. Omówienie zalecanej literatury do wykładu.
2. Podstawowe pojęcia, definicje, twierdzenia i techniki transformacyjne Nieliniowej Teorii Sterowania (NTS).
 - 2.1. Sterowalność lokalna i globalna, warunek LARC, narzędzia jakościowego i ilościowego badania sterowalności modelu nieliniowego.
 - 2.2. Linearyzacja typu feedback, zupełna i częściowa: wejście-stan, wejście-wyjście.
 - 2.3. Skutki linearyzacji modelu nieliniowego – badanie sterowalności modelu zlinearyzowanego.
 - 2.4. Stateczność i badanie stateczności modelu sterowania w pętli sprzężenia zwrotnego.
3. Modele sterowania nieliniowego.
 - 3.1. Klasyfikacje modeli nieliniowych układów sterowania.
 - 3.2. Klasyfikacja strategii i algorytmów sterowania nieliniowego.
 - 3.3. Kinematyczne modele sterowania.
 - 3.4. Dynamiczne modele sterowania.
 - 3.5. Dynamiczne modele sterowania dla układów typu „niedosterowanego”.
4. Współczesne metody i algorytmy sterowania nieliniowego.
 - 4.1. Strategie i algorytmy sterowania dla modeli nieliniowych holonomicznych i nieholonomicznych.
 - 4.2. Algorytmy sterowania na poziomie kinematyki – śledzenie i stabilizacja.
 - 4.3. Metody sterowania nieadaptacyjnego na poziomie dynamiki.
 - 4.4. Metody sterowania adaptacyjnego na poziomie dynamiki.

4.5. Metody sterowania typu „learning”, repetitive” i inne na poziomie dynamiki. 4.6. Inne współczesne metody sterowania – backstepping, flatness-based, inne. 5. Kierunki rozwoju współczesnych metod NTS. Podsumowanie kursu.
Ćwiczenia audytoryjne
Alгоритmy sterowania na poziomie kinematyki – przykłady śledzenia i stabilizacji w ruchu manipulatora mobilnego. Metody sterowania nieadaptacyjnego na poziomie dynamiki – przykład sterowania ruchem manipulatora przemysłowego, platformy mobilnej, modelu manipulatora kosmicznego. Metody sterowania adaptacyjnego na poziomie dynamiki - przykłady algorytmów sterowania ruchem manipulatora, robota mobilnego. Przykłady stosowania algorytmów typu backstepping, flatness-based i inne – przykłady.
Ćwiczenia projektowe
Zaprojektować algorytm sterowania dla modelu układu holonomicznego – przedstawić wyniki symulacji numerycznej. Zaprojektować algorytm sterowania dla modelu układu nieholonomicznego, do wyboru na poziomie kinematyki lub dynamiki. Projekt zaliczeniowy końcowy, do wyboru.

4. Efekty uczenia się			
Rodzaj efektu	Opis efektu uczenia się	Odniesienie do efektów uczenia się w SD PW	Sposób weryfikacji efektów uczenia*
Wiedza			
W01	Zna podstawowe pojęcia stosowane w liniowej i nieliniowej teorii sterowania.	SD_W2	ocena projektu
W02	Rozumie różnice metodologiczne i formalne pomiędzy metodami liniowej i nieliniowej teorii sterowania; potrafi odróżnić zakresy zastosowań obu metod.	SD_W2, SD_W3	ocena projektu
W03	Ma uporządkowaną wiedzę w zakresie podstawowych metod stosowanych w liniowej i nieliniowej teorii sterowania.	SD_W2, SD_W3	ocena projektu
Umiejętności			
U01	Potrafi klasyfikować liniowe i nieliniowe układy sterowania na poziomie kinematyki i dynamiki.	SD_U1, SD_U2	ocena projektu, ocena aktywności w trakcie zajęć
U02	Potrafi poprawnie zbudować kinematyczny i dynamiczny model sterowania.	SD_U1	ocena projektu
U03	Umie zbadać sterowalność modelu układu.	SD_U1	ocena projektu
U04	Umie dokonać linearyzacji modelu w pętli sprzężenia zwrotnego.	SD_U1	ocena projektu
U05	Potrafi sformułować cel sterowania i zaprojektować algorytm sterowania stosowny do tego celu.	SD_U4	ocena projektu, ocena aktywności w trakcie zajęć
Kompetencje społeczne			
K01	Rozumie znaczenie metod sterowania liniowego i nieliniowego stosowanych w mechanice i szeroko rozumianej mechatronice.	SD_K1	ocena aktywności w trakcie zajęć, ocena projektu
K02	Rozumie uniwersalność sposobów podejścia do zadań projektowania sterowania w mechanice i dziedzinach pokrewnych.	SD_K2, SD_K4	ocena aktywności w trakcie zajęć
K03	Zdaje sobie sprawę z interdyscyplinarnego znaczenia podejścia do projektowania sterowania wykraczającego poza inżynierię mechaniczną.	SD_K2	ocena aktywności w trakcie zajęć

* dozwolone sposoby weryfikacji efektów uczenia się: egzamin; egzamin ustny; kolokwium pisemne; kolokwium ustne; ocena projektu; ocena sprawozdania; ocena raportu; ocena prezentacji; ocena aktywności w trakcie zajęć; prace domowe; test

5. Kryteria oceny

Ocena wystawiana na podstawie zaliczenia projektu obliczeniowego, który obejmuje elementy wykładu: budowa dynamicznego modelu sterowania, dobór celu sterowania, metody i algorytmu sterowania, przeprowadzenia symulacji numerycznej sterowania modelu układu.
ocena wg skali: 3.0 (dostateczny), 3.5 (dość dobry), 4.0 (dobry), 4.5 (bardzo dobry), 5.0 (wyróżniający).

6. Literatura

Literatura podstawowa:

1. Kwatny, H.G. and G.L. Blankenship. *Nonlinear control and analytical mechanics, a computational approach*. Boston: Birkhauser, 2000.
2. R. Gutowski, *Mechanika analityczna*, PWN, 1971.
3. Lewis, F.L., C. T. Abdallah and D. M. Dawson. *Control of robot manipulators*. New York: Macmillan Publ. Comp., 2006.
4. E. Jarzębowska, *Mechanika analityczna*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2003.
5. Jarzębowska E. *Dynamika i sterowanie układami mechanicznymi*, PWN, 2021.
6. Vepa R., *Nonlinear Control of Robots and Unmanned Aerial Vehicles, an Integrated Approach*, Taylor&Francis Group, 2017.

Literatura uzupełniająca:

1. Murray, R.M., Z.X. Li, and S.S. Sastry. *A mathematical introduction to robotic manipulation*. Boca Raton, Florida: CRC Press, 1994.
2. Nijmeijer, H. and A. van der Schaft. *Nonlinear dynamical control systems*. New York: Springer-Verlag, 1990.

7. Nakład pracy doktoranta niezbędny do osiągnięcia efektów uczenia się**

Lp.	Opis	Liczba godzin
1	godziny kontaktowe z nauczycielem akademickim wynikające z planu	45
2	Godziny kontaktowe z nauczycielem akademickim w ramach konsultacji, egzaminów, sprawdzianów itp.	10
3	Godziny pracy samodzielnej doktoranta w ramach przygotowania do zajęć oraz opracowania sprawozdań, projektów, prezentacji, raportów, prac domowych	30
4	godziny pracy samodzielnej doktoranta w ramach przygotowania do egzaminu, sprawdzianu, zaliczenia	
Sumaryczny nakład pracy doktoranta		85
Liczba punktów ECTS		3

** 1 ECTS pracy = 25-30 godzin nakładu pracy doktoranta (np. 2 ECTS = 60 godzin; 4 ECTS = 110 godzin)