

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.

<p>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.</p>
Ćwiczenia audytoryjne
<p>Algorytmy 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.</p>
Ćwiczenia projektowe
<p>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.</p>

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)