

**AGH**AGH UNIVERSITY OF SCIENCE  
AND TECHNOLOGYNazwa modułu zajęć: Rachunek różniczkowy ułamkowego rzędu w automatyce,  
elektrotechnice i elektronice

Rok akademicki: 2019/2020 Kod: ZSDA-3-0063-s Punkty ECTS: 3

Wydział: Szkoła Doktorska AGH

Kierunek: Szkoła Doktorska AGH Specjalność: —

Poziom studiów: Studia III stopnia Forma studiów: Stacjonarne

Język wykładowy: Polski Profil: Ogólnoakademicki (A) Semestr: 0

Strona www: —

Prowadzący moduł: dr hab. inż. Oprzędkiewicz Krzysztof (kop@agh.edu.pl)

**Treści programowe zapewniające uzyskanie efektów uczenia się dla modułu zajęć**

Celem kursu jest zapoznanie doktorantów z podstawami rachunku różniczkowego niecałkowitego rzędu i jego zastosowaniem w automatyce, elektrotechnice i elektronice.

**Opis efektów uczenia się dla modułu zajęć**

| Kod MEU               | Student, który zaliczył moduł zajęć zna i rozumie/potrafi/jest gotów do  | Powiązania z KEU | Sposób weryfikacji i oceny efektów uczenia się osiągniętych przez studenta w ramach poszczególnych form zajęć i dla całego modułu zajęć |
|-----------------------|--|------------------|---|
| Wiedza: zna i rozumie |  |                  |   |
| M_W001                | Doktorant posiada podstawową wiedzę z zakresu rachunku niecałkowitego rzędu, obejmującą podstawowe definicje i metody aproksymacji operatora niecałkowitego rzędu oraz warunki stabilności systemów niecałkowitego rzędu | SDA3A_W01        | Kolokwium   |
| M_W002                | Doktorant posiada podstawową wiedzę z zakresu zastosowania rachunku niecałkowitego rzędu do modelowania i sterowania systemów dynamicznych.  | SDA3A_W01        | Kolokwium   |
| Umiejętności: potrafi |  |                  |   |

|                                      |  |   |                                   |
|--------------------------------------|--|---|-----------------------------------|
| M_U001                               | Doktorant potrafi poprawnie zamodelować system dynamiczny niecałkowitego rzędu z wykorzystaniem podstawowych metod aproksymacji. | SDA3A_U02,<br>SDA3A_U01,<br>SDA3A_U04               | Wykonanie ćwiczeń laboratoryjnych |
| M_U002                               | Doktorant potrafi zaprojektować i przetestować system sterowania niecałkowitego rzędu dla wybranych systemów dynamicznych.       | SDA3A_U06,<br>SDA3A_U02,<br>SDA3A_U01,<br>SDA3A_U04 | Wykonanie ćwiczeń laboratoryjnych |
| Kompetencje społeczne: jest gotów do |  |   |                                   |
| M_K001                               | Doktorant ma świadomość zasadności użycia rachunku niecałkowitego rzędu w naukach technicznych.                                  | SDA3A_K01,<br>SDA3A_K03, SDA3A_K02                  | Aktywność na zajęciach            |

### Liczba godzin zajęć w ramach poszczególnych form zajęć

| Suma | Forma zajęć dydaktycznych |                       |                         |                      |                |                     |                    |                  |                     |                               |          |
|------|---------------------------|-----------------------|-------------------------|----------------------|----------------|---------------------|--------------------|------------------|---------------------|-------------------------------|----------|
|      | Wykład                    | Ćwiczenia audytoryjne | Ćwiczenia laboratoryjne | Ćwiczenia projektowe | Konwersatorium | Zajęcia seminaryjne | Zajęcia praktyczne | Zajęcia terenowe | Zajęcia warsztatowe | Prace kontrolne i przejściowe | Lektorat |
| 25   | 15                        | 0                     | 10                      | 0                    | 0              | 0                   | 0                  | 0                | 0                   | 0                             | 0        |

### Matryca kierunkowych efektów uczenia się w odniesieniu do form zajęć i sposobu zaliczenia, które pozwalają na ich uzyskanie

| Kod MEU               | Student, który zaliczył moduł zajęć zna i rozumie/potrafi/jest gotów do  | Forma zajęć dydaktycznych |                       |                         |                      |                |                     |                    |                  |                     |                               |          |
|-----------------------|--|---------------------------|-----------------------|-------------------------|----------------------|----------------|---------------------|--------------------|------------------|---------------------|-------------------------------|----------|
|                       |  | Wykład                    | Ćwiczenia audytoryjne | Ćwiczenia laboratoryjne | Ćwiczenia projektowe | Konwersatorium | Zajęcia seminaryjne | Zajęcia praktyczne | Zajęcia terenowe | Zajęcia warsztatowe | Prace kontrolne i przejściowe | Lektorat |
| Wiedza: zna i rozumie |  |                           |                       |                         |                      |                |                     |                    |                  |                     |                               |          |
| M_W001                | Doktorant posiada podstawową wiedzę z zakresu rachunku niecałkowitego rzędu, obejmującą podstawowe definicje i metody aproksymacji operatora niecałkowitego rzędu oraz warunki stabilności systemów niecałkowitego rzędu | +                         | -                     | +                       | -                    | -              | -                   | -                  | -                | -                   | -                             | -        |
| M_W002                | Doktorant posiada podstawową wiedzę z zakresu zastosowania rachunku niecałkowitego rzędu do modelowania i sterowania systemów dynamicznych.  | +                         | -                     | +                       | -                    | -              | -                   | -                  | -                | -                   | -                             | -        |

| Umiejętności: potrafi                |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|--------------------------------------|--|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| M_U001                               | Doktorant potrafi poprawnie zamodelować system dynamiczny niecałkowitego rzędu z wykorzystaniem podstawowych metod aproksymacji. | + | - | + | - | - | - | - | - | - | - | - |
| M_U002                               | Doktorant potrafi zaprojektować i przetestować system sterowania niecałkowitego rzędu dla wybranych systemów dynamicznych.       | + | - | + | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Kompetencje społeczne: jest gotów do |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| M_K001                               | Doktorant ma świadomość zasadności użycia rachunku niecałkowitego rzędu w naukach technicznych.                                  | + | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

## Nakład pracy studenta (bilans punktów ECTS)

| Forma aktywności studenta                 | Obciążenie studenta |
|---|---------------------|
| Udział w zajęciach dydaktycznych/praktyka | 25 godz             |
| Samodzielne studiowanie tematyki zajęć    | 10 godz             |
| Sumaryczne obciążenie pracą studenta      | 35 godz             |
| Punkty ECTS za moduł                      | 3 ECTS              |

## Pozostałe informacje

### Szczegółowe treści kształcenia w ramach poszczególnych form zajęć (szczegółowy program wykładów i pozostałych zajęć)

#### Wykład

Wykład obejmuje 3 spotkania po 5 godzin o następującej tematyce:

1. Uwagi wstępne i organizacyjne.
2. Pojęcia wstępne: kompletna i niekompletna funkcja Gamma, funkcja Mittag-Lefflera jedno- i dwuargumentowa, pojęcie operatora różniczko-całki niecałkowitego rzędu.
3. Podstawowe definicje operatora niecałkowitego rzędu: Grunvalda-Letnikova (GL), Riemanna-Liouville'a (RL) i Caputo © oraz warunki ich równoważności.
4. Transformata Laplace'a operatorów RL i C, transmitancja niecałkowitego rzędu, charakterystyki czasowe i częstotliwościowe podstawowych obiektów niecałkowitego rzędu, równanie stanu niecałkowitego rzędu ciągłe i dyskretne.
5. Podstawowe aproksymacje ciągłe elementu niecałkowitego rzędu: Oustaloupa (ORA) i Charefa.
6. Podstawowe aproksymacje dyskretne: dyskretny operator GL, aproksymacje PSE i CFE.
7. Stabilność systemów niecałkowitego rzędu: Twierdzenie Matignona, stabilność

praktyczna układu aproksymowanego., stabilność dyskretnych systemów niecałkowitego rzędu.

8. Modele niecałkowitego rzędu superkondensatorów oraz procesów cieplnych.

9. Regulator PID niecałkowitego rzędu (FOPID).

10. Projektowanie układów regulacji niecałkowitego rzędu.

11. Przykłady.

12. Kolokwium końcowe z wykładu.

### **Ćwiczenia laboratoryjne**

Laboratorium obejmuje 2 spotkania po 5 godzin. Tematy ćwiczeń laboratoryjnych:

1. Aproksymacje ciągłe układów niecałkowitego rzędu (ORA i Charefa)

2. Aproksymacje dyskretne układów niecałkowitego rzędu (dyskretny operator GL, aproksymacje PSE i CFE).

3. Modele niecałkowitego rzędu procesu przewodnictwa cieplnego w ośrodku jednowymiarowym oraz systemu elektrycznego ogrzewania powietrza w pomieszczeniu.

4. Zamknięty układ regulacji z ułamkowym regulatorem PID (FOPID) dla obiektu z opóźnieniem.

5. Kolokwium końcowe z laboratorium.

### **Metody i techniki kształcenia:**

Wykład: Tradycyjny wykład, prezentacje przygotowane z użyciem PowerPoint lub LaTeX. Obowiązkowe sporządzanie notatek.

Ćwiczenia laboratoryjne: Zajęcia laboratoryjne prowadzone na komputerach z wykorzystaniem środowiska MATLAB/SIMULINK.

### **Warunki i sposób zaliczenia poszczególnych form zajęć, w tym zasady zaliczeń poprawkowych, a także warunki dopuszczenia do egzaminu:**

Zaliczenie wykładu odbywa się na podstawie oceny z kolokwium wykładowego. Kolokwium wykładowe obejmuje zagadnienia teoretyczne z zakresu wykładu, niezbędne do samodzielnej realizacji zadań podczas laboratorium. Zaliczenie kolokwium wykładowego jest warunkiem koniecznym dopuszczenia do laboratorium.

Zaliczenie laboratorium odbywa się na podstawie kolokwium końcowego z zakresu zajęć. Kolokwium końcowe obejmuje zagadnienia związane z implementacją systemów ułamkowych w środowisku MATLAB/SIMULINK. Jest ono wykonane z użyciem środowiska MATLAB.

### **Zasady udziału w poszczególnych zajęciach, ze wskazaniem, czy obecność studenta na zajęciach jest obowiązkowa:**

Wykład:

- Obecność obowiązkowa: Nie

- Zasady udziału w zajęciach: Wykład obejmuje 3 bloki po 5 godzin, następnie po zakończeniu wykładów w tym samym terminie będą się odbywać laboratoria.

Ćwiczenia laboratoryjne:

- Obecność obowiązkowa: Tak

- Zasady udziału w zajęciach: Zajęcia laboratoryjne odbywają się w dwóch blokach po 5 godzin, po zakończeniu wykładów. Podczas zajęć doktoranci samodzielnie wykonują zadania podane w instrukcji, zgodnie ze wskazówkami oraz na podstawie wiedzy zdobytej podczas wykładu.

### **Sposób obliczania oceny końcowej**

Ocena końcowa to średnia ocen z obu kolokwiów: wykładowego i laboratoryjnego, przy czym obie te oceny muszą być pozytywne.

## **Sposób i tryb wyrównywania zaległości powstałych wskutek nieobecności studenta na zajęciach:**

Umówienie się na kolokwium poprawkowe z prowadzącym w przypadku nieobecności na kolokwium.

## **Wymagania wstępne i dodatkowe, z uwzględnieniem sekwencyjności modułów**

1. Osoby zgłaszające chęć uczestniczenia w zajęciach muszą posiadać podstawową wiedzę z zakresu automatyki, teorii sterowania i modelowania systemów dynamicznych.

2. Dopuszczenie do laboratorium jest możliwe tylko po uzyskaniu pozytywnej oceny z kolokwium wykładowego.

## **Zalecana literatura i pomoce naukowe**

Notatki z wykładów i laboratorium.

R. Caponetto, G. Dongola, L. Fortuna, and I. Petras. Fractional order systems: Modeling and Control Applications. In: Leon O. Chua, editor, World Scientific Series on Nonlinear Science, University of California, Berkeley, 2010.

T. Kaczorek and K. Rogowski. Fractional Linear Systems and Electrical Circuits. Białystok University of Technology, Białystok, 2014.

Ostalczyk P. (2016) Discrete Fractional Calculus. Applications in control and image processing, Series in Computer Vision, vol. 4, World Scientific Publishing 2016.

## **Publikacje naukowe osób prowadzących zajęcia związane z tematyką modułu**

A memory-efficient noninteger-order discrete-time state-space model of a heat transfer process / Krzysztof OPRZĘDKIEWICZ, Wojciech MITKOWSKI // International Journal of Applied Mathematics and Computer Science ; ISSN 1641-876X. — 2018 vol. 28 no. 4, s. 649-659.

A new algorithm for a CFE-approximated solution of a discrete-time noninteger-order state equation / K. OPRZĘDKIEWICZ, R. Stanisławski, E. Gawin, W. MITKOWSKI // Bulletin of the Polish Academy of Sciences. Technical Sciences ; ISSN 0239-7528. — 2017 vol. 65 no. 4, s. 429-437.

Modeling heat distribution with the use of a non-integer order, state space model / Krzysztof OPRZĘDKIEWICZ, Edyta Gawin, Wojciech MITKOWSKI // International Journal of Applied Mathematics and Computer Science ; ISSN 1641-876X. — 2016 vol. 26 no. 4, s. 749-756.

The practical stability of the discrete, fractional order, state space model of the heat transfer process / Krzysztof OPRZĘDKIEWICZ, Edyta Gawin // Archives of Control Sciences ; ISSN 1230-2384. — 2018 vol. 28 no. 3, s. 463-482. — Bibliogr. s. 480-482

The fractional order PID control of the forced air heating system / Krzysztof OPRZĘDKIEWICZ, Maciej PODSIADŁO // PAR Pomiar Automatyka Robotyka ; ISSN 1427-9126. — 2019 R. 23 nr 1, s. 5-10

## **Informacje dodatkowe**

Brak.