

KARTA PRZEDMIOTU

Nazwa w języku polskim: **Napędy elektryczne**

Nazwa w języku angielskim: **Electrical Drives**

Kierunek studiów (jeśli dotyczy): **Mechatronika**

Poziom i forma studiów: **I stopień, stacjonarne**

Rodzaj przedmiotu: **obowiązkowy**

Kod przedmiotu: **MCR035301**

Grupa kursów: **nie**

| | Wykład | Ćwiczenia | Laboratorium | Projekt | Seminarium |
|---|---------|-----------|---------------------|---------|------------|
| Liczba godzin zajęć zorganizowanych w Uczelni (ZZU) | 30 | | 30 | | |
| Liczba godzin całkowitego nakładu pracy studenta (CNPS) | 90 | | 60 | | |
| Forma zaliczenia | Egzamin | | Zaliczenie na ocenę | | |
| Grupa kursów | | | | | |
| Liczba punktów ECTS | 3 | | 2 | | |
| w tym liczba punktów odpowiadająca zajęciom o charakterze praktycznym (P) | | | 2 | | |
| w tym liczba punktów ECTS odpowiadająca zajęciom wymagającym bezpośredniego kontaktu (BK) | 1.8 | | 1.4 | | |

WYMAGANIA WSTĘPNE W ZAKRESIE WIEDZY, UMIEJĘTNOŚCI I KOMPETENCJI SPOŁECZNYCH

1. Ma podstawową wiedzę z zakresu fizyki, w tym z elektrodynamiki i elektromagnetyzmu.
2. Ma podstawową wiedzę w zakresie elektrotechniki, ze szczególnym uwzględnieniem teorii obwodów elektrycznych prądu stałego i przemiennego.
3. Potrafi poprawnie i efektywnie zastosować wiedzę z rachunku różniczkowego i całkowego funkcji jednej zmiennej do jakościowej i ilościowej analizy zagadnień matematycznych powiązanych ze studiowaną dyscypliną inżynierską.

CELE PRZEDMIOTU

- C1. Zapoznanie studenta z zagadnieniami statyki i dynamiki napędów elektrycznych.
C2. Zapoznanie studenta z podstawowymi układami napędowymi prądu stałego i przemiennego, z metodami sterowania prędkością w napędach mechatronicznych (serwonapędach)
C3. Wyrobienie umiejętności stosowania wcześniej poznanych metod i technik pomiarowych w badaniu układów napędowych prądu stałego i przemiennego

PRZEDMIOTOWE EFEKTY UCZENIA SIĘ

I. Z zakresu wiedzy:

PEK_W01 - Ma wiedzę o podstawowych elementach przekształtnikowego układu napędowego i stanach jego pracy oraz potrafi je definiować i opisywać. Potrafi rozróżniać i objaśniać zasady działania i charakterystyki statyczne podstawowych silników elektrycznych i maszyn roboczych.

PEK_W02 - Potrafi scharakteryzować i wytłumaczyć poszczególne metody sterowania prędkością silników prądu stałego i przemiennego.

PEK_W03 - Potrafi omówić podstawowe struktury sterowania prędkością i momentem silników prądu stałego i przemiennego w układach otwartych i zamkniętych, w tym struktury i metody wektorowego sterowania serwonapędami

II. Z zakresu umiejętności:

PEK_U01 - Potrafi obliczyć podstawowe wielkości charakteryzujące pracę silników prądu stałego i przemiennego.

PEK_U02 - Potrafi dobierać aparaturę pomiarową do silników różnej mocy stosowanych w wybranych układach napędowych.

PEK_U03 - Potrafi zrealizować pomiary charakterystyk statycznych i dynamicznych różnych układów napędowych, przeanalizować i zinterpretować uzyskane wyniki.

III. Z zakresu kompetencji społecznych:

TREŚCI PROGRAMOWE

| Forma zajęć – Wykład | | Liczba godzin |
|----------------------|--|---------------|
| Wy1 | Wprowadzenie. Definicja i elementy składowe układu napędowego. Charakterystyki silników i maszyn roboczych, obszary pracy układu napędowego. | 2 |
| Wy2 | Równanie ruchu, stany dynamiczne i ustalone, równowaga statyczna. Wpływ rodzaju połączenia mechanicznego na postać równania ruchu. | 2 |
| Wy3 | Układy napędowe z silnikiem obcowzbudnym prądu stałego: budowa i działanie silnika, model matematyczny silnika, właściwości dynamiczne. Przekształtnikowe układy zasilania silników prądu stałego. | 2 |
| Wy4 | Układy napędowe z silnikiem obcowzbudnym prądu stałego: sterowanie prędkością i hamowaniem. | 2 |
| Wy5 | Struktura szeregową regulacji momentu i prędkości silnika obcowzbudnego prądu stałego. Metoda doboru regulatorów, właściwości dynamiczne. | 2 |

| | | |
|----------------------------|--|---------------|
| Wy6 | Układy napędowe z silnikiem indukcyjnym: budowa i działanie silnika, charakterystyki statyczne i metody ich kształtowania. Przekształtnikowe układy zasilania silników prądu przemiennego. | 2 |
| Wy7 | Układy napędowe z silnikiem indukcyjnym: Metody sterowania prędkością, metody hamowania. | 2 |
| Wy8 | Podstawowa metoda częstotliwościowego sterowania prędkością i momentem silnika indukcyjnego - sterowanie skalarne: zasada sterowania, struktura, właściwości. | 2 |
| Wy9 | Podstawy sterowania wektorowego momentem i prędkością silnika indukcyjnego: sterowanie połowo zorientowane - idea metody, struktura sterowania, właściwości dynamiczne napędu, zastosowania. | 2 |
| Wy10 | Bezpośrednie sterowanie momentem silnika indukcyjnego - idea metody, struktura sterowania, właściwości dynamiczne napędu, zastosowania. | 2 |
| Wy11 | Silniki bezszczotkowe prądu stałego i przemiennego z magnesami trwałymi; budowa i zasada działania, podstawy sterowania momentem i prędkością. | 2 |
| Wy12 | Sterowanie wektorowe momentem silnika synchronicznego z magnesami trwałymi (PMSM) - struktury, właściwości dynamiczne. | 2 |
| Wy13 | Podstawowe wymagania i parametry napędów pozycyjnych. Silniki elektryczne stosowane w napędach pozycyjnych: silniki z magnesami trwałymi prądu stałego i przemiennego, silniki krokowe; podstawowe wymagania i parametry. | 2 |
| Wy14 | Budowa serwonapędów z silnikami prądu stałego i przemiennego - struktura, analogie i różnice w zależności od rodzaju silnika napędowego. Zasada doboru regulatora położenia i kształtowania dynamiki serwonapędu. | 2 |
| Wy15 | Tendencje rozwojowe w napędzie elektrycznym. | 2 |
| | | Suma: 30 |
| Forma zajęć – Laboratorium | | Liczba godzin |
| Lab1 | Wprowadzenie - ogólne zapoznanie się ze stanowiskami laboratoryjnymi; omówienie zasad wykonywania pomiarów wielkości elektrycznych i mechanicznych przyrządami analogowymi i cyfrowymi. Kształtowanie charakterystyk silnika obcowzbudnego prądu stałego w różnych stanach pracy | 3 |
| Lab2 | Badanie układu napędowego z silnikiem obcowzbudnym zasilanym z nawrotnego prostownika sterowanego. | 3 |
| Lab3 | Układy rozruchowe silników indukcyjnych klatkowych i pierścieniowych | 3 |
| Lab4 | Badanie układu napędowego z silnikiem indukcyjnym i falownikiem napięcia - sterowanie skalarne | 3 |
| Lab5 | Badania symulacyjne układu napędowego z silnikiem prądu stałego w strukturze szeregowej z połączeniem sztywnym i sprężystym | 3 |
| Lab6 | Badania eksperymentalne układu napędowego z silnikiem prądu stałego w strukturze szeregowej z połączeniem sztywnym i sprężystym w realizacji cyfrowej (z procesorem sygnałowym) | 3 |
| Lab7 | Badania symulacyjne układu napędowego z silnikiem indukcyjnym i falownikiem napięcia – sterowanie wektorowe. | 3 |

| | | |
|-------|--|----------|
| Lab8 | Badania eksperymentalne układu napędowego z silnikiem indukcyjnym i falownikiem napięcia – sterowanie wektorowe. | 3 |
| Lab9 | Badania symulacyjne układu napędowego z silnikiem PMSM i falownikiem napięcia – sterowanie wektorowe. | 3 |
| Lab10 | Badania eksperymentalne układu napędowego z silnikiem PMSM i falownikiem napięcia – sterowanie wektorowe. Zaliczenie. | 3 |
| | | Suma: 30 |

STOSOWANE NARZĘDZIA DYDAKTYCZNE

- N1. wykład tradycyjny z wykorzystaniem transparencji i slajdów
N2. konsultacje
N3. praca własna – samodzielne studia i przygotowanie do egzaminu
N4. praca własna – przygotowanie do laboratorium
N5. eksperyment laboratoryjny

OCENA OSIĄGNIĘCIA PRZEDMIOTOWYCH EFEKTÓW UCZENIA SIĘ (Wykład)

| Oceny (F – formująca (w trakcie semestru), P – podsumowująca (na koniec semestru)) | Numer efektu uczenia się | Sposób oceny osiągnięcia efektu uczenia się |
|--|---------------------------|---|
| F1 | PEK_W01, PEK_W02, PEK_W03 | kartkówka, egzamin pisemny |
| P = F1 | | |

OCENA OSIĄGNIĘCIA PRZEDMIOTOWYCH EFEKTÓW UCZENIA SIĘ (Laboratorium)

| Oceny (F – formująca (w trakcie semestru), P – podsumowująca (na koniec semestru)) | Numer efektu uczenia się | Sposób oceny osiągnięcia efektu uczenia się |
|--|---------------------------|--|
| F1 | PEK_U01 | Ocena przygotowania do ćwiczeń laboratoryjnych - wejściówka. |
| F2 | PEK_U02, PEK_U03 | Aktywność na zajęciach laboratoryjnych. |
| F3 | PEK_U01, PEK_U02, PEK_U03 | Ocena sprawozdań z wykonanych ćwiczeń laboratoryjnych. |
| P = 0,2*F1+0,4*F2+0,4*F3 | | |

LITERATURA PODSTAWOWA I UZUPEŁNIAJĄCA

LITERATURA PODSTAWOWA

Napęd elektryczny, praca zbiorowa pod red. Z. Grunwalda, WNT, 1987

Napęd elektryczny – laboratorium, praca zbiorowa pod red. T. Orłowskiej-Kowalskiej, Oficyna Wyd. P.Wr., 2000

T. Orłowska-Kowalska, Bezczujnikowe sterowanie układów napędowych z silnikami indukcyjnymi, Oficyna Wyd. P. Wr. 2003

K. Zawirski, Sterowanie silnikiem synchronicznym o magnesach trwałych, Wyd. P. Poznańskiej, 2005

LITERATURA UZUPEŁNIAJĄCA

Koczara W., Wprowadzenie do napędu elektrycznego, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2012

P.Kaźmierkowski, H.Tunia, Automatyka napędu przekształtnikowego, PWN, 1987

OPIEKUN PRZEDMIOTU

Prof. dr hab. inż. Teresa Orłowska-Kowalska email: Teresa.Orlowska-Kowalska@pwr.edu.pl

SUBJECT CARD

Name in Polish: **Napędy elektryczne**

Name in English: **Electrical Drives**

Main field of study (if applicable): **Mechatronics**

Level and form of studies: **I level, full-time**

Kind of subject: **obligatory**

Subject code: **MCR035301**

Group of courses: **no**

| | Lecture | Classes | Laboratory | Project | Seminar |
|---|-------------|---------|----------------------|---------|---------|
| Number of hours of organized classes in University (ZZU) | 30 | | 30 | | |
| Number of hours of total student workload (CNPS) | 90 | | 60 | | |
| Form of crediting | Examination | | Crediting with grade | | |
| Group of courses | | | | | |
| Number of ECTS points | 3 | | 2 | | |
| including number of ECTS points for practical (P) classes | | | 2 | | |
| including number of ECTS points for direct teacher-student contact (BK) classes | 1.8 | | 1.4 | | |

PREREQUISITES RELATING TO KNOWLEDGE, SKILLS AND OTHER COMPETENCES

1. Has basic knowledge in the field of physics, especially electrodynamics and electromagnetism.
2. Has basic knowledge in the field of electrotechnics, including basics of DC and AC circuits theory.
3. Can properly and effectively apply the knowledge on the differential and integral calculus of single variable function for qualitative and quantitative analysis of mathematical problems connected with studying field of engineering.

SUBJECT OBJECTIVES

- C1. Familiarizing students with the basic steady-state and dynamical performances of electrical drives.
- C2. Familiarizing students with the basic converter-fed DC and AC motor drives, with speed control methods of mechatronic drives (including servodrives).
- C3. Perfecting skills for measuring, data acquisition and elaboration of test results, their interpretation and analysis.

SUBJECT LEARNING OUTCOMES

I. Relating to knowledge:

PEK_W01 - Has knowledge on basic elements of converter-fed drive, its operation regimes, can define and describe them. Can explain the principles of the operation and steady-state characteristics of the basic electrical and loading machines.

PEK_W02 - Can characterize and describe the basic methods used for speed control of the DC and AC motor drives.

PEK_W03 - Can characterize and describe the basic control structures of the DC and AC motor drives in open and closed-loop structures, including methods and structures for vector controlled servodrives.

II. Relating to skills:

PEK_U01 - Can calculate basic values characterizing operation of the DC and AC motors

PEK_U02 - Can choose the basic measurements equipment for electrical motors applied in chosen drive systems.

PEK_U03 - Can realize the experimental tests of chosen controlled electrical drives in laboratory set-up including their static and dynamical characteristics and analyse obtained results.

III. Relating to social competences:

PROGRAM CONTENT

| Form of classes – Lecture | | Number of hours |
|---------------------------|--|-----------------|
| Lec1 | Introduction. Electrical drive system - basic definition, components. Steady state characteristics of different types of motors and loading machines, regions of operation. | 2 |
| Lec2 | Motion equation of electrical drive system, static and dynamic states, stable steady-state operation conditions. Influence of different types of mechanical connections to equation of motion. | 2 |
| Lec3 | DC motor drive systems: construction and operation principle of DC motor with separate excitation, its mathematical model, dynamical performances. Converters supplying the DC motor. | 2 |
| Lec4 | DC motor drive systems: speed control, breaking methods. | 2 |
| Lec5 | Cascade structure of the speed and torque control of the DC motor. Controller adjustment methods, transient performances. | 2 |
| Lec6 | Induction motor (IM) drive systems: principle of IM operation, its steady-state characteristics. Basic static converters supplying AC motors. | 2 |
| Lec7 | Induction motor drive systems: speed control, breaking methods. | 2 |
| Lec8 | Basics of frequency speed control method - scalar control: control rule, structure, performances. | 2 |
| Lec9 | Basics of vector control principle of the IM speed and torque - main idea, control structure, dynamical performances, applications. | 2 |
| Lec10 | Direct torque control method for the induction motor - main idea, control structure, dynamical performances, applications. | 2 |

| | | |
|------------------------------|--|-----------------|
| Lec11 | Brushless DC and AC permanent magnet motors; construction, principle of operation, basic methods for torque and speed control. | 2 |
| Lec12 | Vector control method of the PMSM torque and speed - structures, dynamical performances. | 2 |
| Lec13 | Basic requirements and parameters of servodrives. Electrical motors used in servodrives; permanent magnet DC and AC motors, step motors; main parameters and requirements. | 2 |
| Lec14 | Design of servodrives with DC and AC motors - structures, analogies and differences depending on driving motor. Design rules for position controller, parameter adjustment, dynamics optimization. | 2 |
| Lec15 | Development trends in electrical drive systems. | 2 |
| | | Total hours: 30 |
| Form of classes – Laboratory | | Number of hours |
| Lab1 | Introduction - general description of laboratory set-ups, measurement equipment and measuring methods. Forming of characteristics of the DC motor with separate excitation in different operation modes. | 3 |
| Lab2 | Testing of the DC motor drive system supplied from the bidirectional controlled rectifier. | 3 |
| Lab3 | Starting systems for squirrel-cage and slip-ring induction motors. | 3 |
| Lab4 | Testing of the induction motor drive supplied from the voltage inverter -scalar control. | 3 |
| Lab5 | Simulation tests of the cascade control structure of the DC drive system, with the stiff and elastic connection. | 3 |
| Lab6 | Experimental tests of the cascade control structure of the DC drive system, with the stiff and elastic connection, in digital realization (with digital processor). | 3 |
| Lab7 | Simulation tests of the field-oriented control of the voltage-inverter-fed induction motor drive system - vector control method. | 3 |
| Lab8 | Experimental tests of the field-oriented control of the voltage-inverter-fed induction motor drive system - vector control method. | 3 |
| Lab9 | Simulation tests of the voltage-inverter-fed PMSM motor drive system - vector control method. | 3 |
| Lab10 | Experimental tests of the voltage-inverter-fed PMSM motor drive system - vector control method. Crediting with grade. | 3 |
| | | Total hours: 30 |

| | | |
|---|--|--|
| TEACHING TOOLS USED | | |
| N1. traditional lecture with the use of transparencies and slides N2. tutorials N3. self study - self studies and preparation for examination N4. self study - preparation for laboratory class N5. laboratory experiment | | |

| | | |
|--|---------------------------|---|
| EVALUATION OF SUBJECT LEARNING OUTCOMES ACHIEVEMENT (Lecture) | | |
| Evaluation (F – forming (during semester), P – concluding (at semester end)) | Learning outcomes number | Way of evaluating learning outcomes achievement |
| F1 | PEK_W01, PEK_W02, PEK_W03 | short tests, written exam |
| P = F1 | | |

| | | |
|--|---------------------------|---|
| EVALUATION OF SUBJECT LEARNING OUTCOMES ACHIEVEMENT (Laboratory) | | |
| Evaluation (F – forming (during semester), P – concluding (at semester end)) | Learning outcomes number | Way of evaluating learning outcomes achievement |
| F1 | PEK_U01 | Evaluation of short tests before laboratory exercises. |
| F2 | PEK_U02, PEK_U03 | Activity in the exercises and discussion. |
| F3 | PEK_U01, PEK_U02, PEK_U03 | Evaluation of the written works and laboratory reports. |
| P = 0,2*F1+0,4*F2+0,4*F3 | | |

| | | |
|---|--|--|
| PRIMARY AND SECONDARY LITERATURE | | |
| <u>PRIMARY LITERATURE</u> W. Leonhard, Control of Electrical Drives, Springer Verlag, 1990 Krishnan R., Electric Motor Drives – modeling, analysis and control, Prentice Hall, 2001 <u>SECONDARY LITERATURE</u> Automatic Control of Converter-fed Drives, Elsevier, 1994 | | |

SUBJECT SUPERVISOR

Prof. dr hab. inż. Teresa Orłowska-Kowalska email: Teresa.Orlowska-Kowalska@pwr.edu.pl