



KARTA OPISU PRZEDMIOTU - SYLABUS

Nazwa przedmiotu

Przetwarzanie sygnałów [S1AiR2P>PS]

Przedmiot

Kierunek studiów

Automatyka i robotyka

Rok/Semestr

2/3

Studia w zakresie (specjalność)

–

Profil studiów

praktyczny

Poziom studiów

pierwszego stopnia

Język oferowanego przedmiotu

polski

Forma studiów

stacjonarne

Wymagalność

obligatoryjny

Liczba godzin

Wykład

30

Laboratorium

15

Inne

0

Ćwiczenia

15

Projekty/seminaria

0

Liczba punktów ECTS

4,00

Koordynatorzy

prof. dr hab. inż. Adam Dąbrowski

adam.dabrowski@put.poznan.pl

Wykładowcy

Wymagania wstępne

Student rozpoczynający ten przedmiot powinien posiadać podstawową wiedzę z matematyki i statystyki. Powinien posiadać umiejętność korzystania z komputera, arkusza kalkulacyjnego, a także wykazywać chęć nauki korzystania z innych programów komputerowych, takich jak Matlab. Student powinien umieć pozyskiwać informację ze wskazanych źródeł. Powinien również rozumieć konieczność poszerzania swoich kompetencji, umieć poszukiwać źródeł informacji i być gotowy do podjęcia współpracy w ramach zespołu. Ponadto, w zakresie kompetencji społecznych, student musi przejawiać takie postawy i cechy jak: uczciwość, odpowiedzialność, wytrwałość, ciekawość poznawczą, kreatywność, twórcze myślenie, pilność, rzetelność, kulturę osobistą, dobre wychowanie, szacunek dla innych ludzi, dbałość o sprzęt laboratoryjny.

Cel przedmiotu

1. Przekazanie studentom podstaw wiedzy o technikach przetwarzania sygnałów oraz nauczanie wykorzystywania tej wiedzy w praktyce. 2. Rozwijanie umiejętności rozwiązywania problemów związanych z doбором odpowiednich technik przetwarzania sygnałów do konkretnych celów, z wykorzystaniem systemów komputerowych. 3. Nauczanie prawidłowego stosowania metod analizy i przetwarzania sygnałów.

Przedmiotowe efekty uczenia się

Wiedza:

Student zdobywa wiedzę w zakresie matematyki obejmującą algebrę, geometrię, analizę, probabilistykę oraz elementy matematyki dyskretnej i logiki (K1_W1, K1_W5), w tym metody matematyczne i metody numeryczne niezbędne do: opisu i analizy własności liniowych i podstawowych nieliniowych systemów dynamicznych i statycznych, opisu i analizy wielkości zespolonych, opisu procesów losowych i wielkości niepewnych, opisu i analizy systemów logicznych kombinacyjnych i sekwencyjnych, opisu algorytmów sterowania i analizy stabilności systemów dynamicznych, opisu, analizy oraz metod przetwarzania sygnałów w dziedzinie czasu i częstotliwości, numerycznej symulacji systemów dynamicznych w dziedzinie czasu ciągłego i czasu dyskretnego. Student zdobywa także podstawową wiedzę z zakresu obsługi i wykorzystania narzędzi informatycznych służących do tych celów (K1_W10).

Umiejętności:

W wyniku przeprowadzonych zajęć student powinien wykazać się umiejętnościami w zakresie korzystania z podstawowych metod przetwarzania i analizy sygnałów w dziedzinie czasu i częstotliwości oraz ekstrahować informacje z analizowanych sygnałów (K1_U9).

Kompetencje społeczne:

Student jest gotów do krytycznej oceny zdobywanej wiedzy, rozumie i odczuwa potrzebę ciągłego dokształcania się oraz podnoszenia kompetencji zawodowych, osobistych i społecznych, potrafi inspirować i organizować proces uczenia się innych osób (K1_K1). Jest także świadomy konieczności profesjonalnego i odpowiedzialnego podejścia do zagadnień technicznych, skrupulatnego zapoznania się z dokumentacją oraz warunkami środowiskowymi wykorzystywanych urządzeń. Ponadto jest gotów do przestrzegania zasad etyki zawodowej i wymaga tego od innych, szanuje różnorodność poglądów (K1_K5).

Metody weryfikacji efektów uczenia się i kryteria oceny

Efekty uczenia się przedstawione wyżej weryfikowane są w następujący sposób:

Ocena formująca:

- a) w zakresie wykładów - na podstawie odpowiedzi na pytania dotyczące materiału omówionego na poprzednich wykładach,
- b) w zakresie laboratoriów/ćwiczeń - na podstawie oceny znajomości i zrozumienia bieżących zagadnień prezentowanych w ramach przedmiotu.

Ocena podsumowująca:

- a) w zakresie wykładów weryfikowanie założonych efektów kształcenia jest realizowane przez: ocenę wiedzy i umiejętności wykazanych na teście o charakterze problemowym,
 - b) w zakresie ćwiczeń weryfikowanie założonych efektów kształcenia jest realizowane przez: ocenę przygotowania studenta do poszczególnych zajęć, ocenianie ciągle, na każdych zajęciach (odpowiedzi ustne) - premiowanie przyrostu umiejętności posługiwania się poznanymi zasadami i metodami, ocenę rozwiązywania zadań rozwiązywanych samodzielnie częściowo w trakcie zajęć, a częściowo po ich zakończeniu, ocenę wiedzy i umiejętności związanych z rozwiązywaniem zadań poprzez kolokwium zaliczeniowe,
 - c) w zakresie laboratoriów weryfikowanie założonych efektów kształcenia jest realizowane przez: ocenę przygotowania studenta do poszczególnych zajęć laboratoryjnych oraz ocenę umiejętności związanych z realizacją ćwiczeń laboratoryjnych, ocenianie ciągle, na każdych zajęciach (odpowiedzi ustne) - premiowanie przyrostu umiejętności posługiwania się poznanymi zasadami i metodami, ocenę sprawozdania przygotowywanego częściowo w trakcie zajęć, a także po ich zakończeniu (ocena ta uwzględnia również umiejętność pracy w zespole 2/3-osobowym).
- Istnieje możliwość uzyskiwania dodatkowych punktów za aktywność podczas zajęć, w szczególności za:
- omówienia dodatkowych aspektów zagadnienia, efektywność zastosowania zdobytej wiedzy podczas rozwiązywania zadanego problemu,
 - umiejętność współpracy w ramach zespołu praktycznie realizującego zadanie szczegółowe w laboratorium,
 - uwagi związane z udoskonaleniem materiałów dydaktycznych, wskazywanie trudności percepcyjnych studentów, umożliwiające bieżące doskonalenie procesu dydaktycznego.

Treści programowe

Treści programowe przedmiotu Przetwarzanie sygnałów obejmują podstawową wiedzę o sygnałach, ich rodzajach i klasyfikacji, ich rejestrowaniu, filtracji, separacji i metodach ich przetwarzania i transmisji.

Program wykładu obejmuje następujące zagadnienia:

1. Podstawowe parametry sygnałów (składowa stała i składowa przemienne sygnału, energia, moc sygnału i wartość skuteczna sygnału, sygnały ortogonalne, współczynnik korelacji sygnałów, odchylenie standardowe i wariancja sygnału, macierz kowariancji, histogram sygnału, normalizacja energetyczna i mocowa sygnału, środek i długość sygnału, poziom sygnału).
2. Energia i moc sygnałów (sygnały skończone i nieskończone w czasie, sygnały okresowe, sygnały ortogonalne, moc sumy sygnałów i sygnały ortogonalne).
3. Szeregi i transformacje Fouriera (pojęcie transformacji sygnału, szereg Fouriera, szereg Fouriera w postaci zespolonej - widmo sygnału (DFS), zjawisko Gibbsa, transformacja Fouriera (FT), twierdzenie Parsevala-Rayleigha, przykłady transformacji Fouriera, impuls (pseudofunkcja Diraca), dyskretno-czasowa transformacja Fouriera (DtFT), dyskretna transformacja Fouriera (DFT), wielowymiarowe przekształcenie Fouriera).
4. Reprezentacja sygnałów ciągłych (transformacja Laplace'a a transformacja Fouriera, twierdzenia graniczne, odpowiedzi przejściowe i ustalone w układach automatyki).
5. Dyskretna transformacja Fouriera (DFT) (odmiany DFT, "motylek" dwupunktowej DFT, złożoność obliczeniowa DFT, szybka transformacja Fouriera (FFT) - "divide and conquer" czyli "dziel i rządź", rozmieszczenie próbek DFT na płaszczyźnie zespolonej, rozkład sygnału na harmoniczne, optyczna transformacja Fouriera, obliczanie DFT w środowisku Matlab, dwu- i wielowymiarowa DFT, standardowa i optyczna transformata 2D DFT, dyskretne transformacje trygonometryczne (DTTs), dyskretne transformacje cosinusowe (DCTs), dyskretne transformacje sinusowe (TSTs), standard kompresji obrazów JPEG).
6. Próbkowanie sygnałów (przykład fotografii cyfrowej, koncepcja i proces próbkowania, próbkowanie nieidealne, widmo sygnału spróbkowanego, odtworzenie sygnału ciągłego - twierdzenie o próbkowaniu, pobieranie próbek sygnału, widmo sygnału idealnie spróbkowanego, reprezentacja Fouriera, dwie interpretacje widma sygnału dyskretnego, ściśle sformułowanie twierdzenia o próbkowaniu, próbkowanie sygnałów pasmowych, rekonstrukcja sygnału ciągłego, współczynnik Kella).
7. Interpretacje twierdzenia Shannona (szereg kardynalny, aliasing i efekt stroboskopowy).
8. Kwantowanie sygnałów (sygnał cyfrowy - strumień binarny, szum kwantyzacji, kompresja i ekspansja, różnicowa reprezentacja PCM, modulacja delta, modulacja szerokości impulsów (PWM), modulacja sigma-delta).
9. Binarne reprezentacje próbek sygnałów (czy można bezkrytycznie wierzyć komputerom?, reprezentacje binarne liczb naturalnych, reprezentacje ósemkowe i szesnastkowe liczb, bity "ujemne" - reprezentacje binarne liczb całkowitych, kod CSD, liczby i obliczenia w kodzie U2, konwersja liczb całkowitych do systemu binarnego, uzupełnienia do maksymalnej cyfry i do podstawy systemu pozycyjnego, kody BCD, reprezentacje ułamkowe, format Qn, reprezentacje zmiennoprzecinkowe).
10. Splot (splot ciągły, dyskretny splot liniowy i kołowy, splot a korelacja, interpretacja geometryczna, odpowiedź układu liniowego, wyznaczanie splotu metodą DFT).
11. Przekształcenie Z (świat ciągły-analogowy a świat dyskretny-cyfrowy, pojęcie przekształcenia Z, obszary zbieżności przekształcenia Z, jednoznaczność prawostronnego przekształcenia Z, szeregi Laurenta, funkcje holomorficzne i równania Cauchy'ego-Riemanna, residuum, twierdzenie o residuach, właściwości przekształcenia Z, twierdzenia o wartościach granicznych, tablica transformat Z, splot sygnałów i transformaty splotu, odwrotne przekształcenia Z).
12. Dyskretny układ dynamiczny (pojęcie i właściwości liniowych stacjonarnych układów dyskretnych, stabilność układu dyskretnego, opis liniowych stacjonarnych układów dyskretnych, splot sygnałów dyskretnych, struktury filtrów cyfrowych, rekursywne filtry cyfrowe - filtry o nieskończonej odpowiedzi impulsowej (IIR), nierekursywne filtry cyfrowe - filtry o skończonej odpowiedzi impulsowej (FIR), podstawowe realizacje filtrów cyfrowych).
13. Sygnały losowe i korelacje sygnałów (pojęcie zmiennej losowej, pojęcie procesu stochastycznego, ergodyczny proces stochastyczny, sekwencja autokorelacji, kowariancja, podstawy estymacji, estymatory funkcji korelacji).
14. Filtracja sygnałów dyskretnych (opis filtrów cyfrowych, rekursywne filtry cyfrowe (filtry IIR), nierekursywne filtry cyfrowe (filtry FIR), podstawowe realizacje (bezpośrednie) filtrów cyfrowych IIR, grafy przepływu sygnałów i wzór Masona, realizacje kaskadowe i równoległe filtrów IIR, opis układów dyskretnych w przestrzeni stanów, realizacje filtrów cyfrowych FIR, filtry FIR o liniowej charakterystyce fazowej, zalety i wady filtrów FIR w porównaniu z filtrami IIR).
15. Wielomiany Hurwitza (pojęcie wielomianu Hurwitza i zmodyfikowanego wielomianu Hurwitza, warunki konieczne jakie musi spełniać wielomian Hurwitza, kryterium stabilności Hurwitza, kryterium stabilności Routha, ułamek testowy, kryterium realizowalności ułamka testowego jako immitancji dwójnika LC).

Program ćwiczeń obejmuje następujące zagadnienia:

1. Podstawowe parametry sygnałów.
2. Szeregi i transformacje Fouriera.
3. Reprezentacja sygnałów ciągłych (transformacja Laplace'a).
4. Dyskretna transformacja Fouriera (DFT).
5. Próbkowanie sygnałów.
6. Kwantowanie sygnałów.
7. Kolokwium.

Zajęcia laboratoryjne są prowadzone w sali wyposażonej w nowoczesne stanowiska dydaktyczne firmy National Instruments (USA), na które składają się systemy pomiarowe ELVIS II (ang. Educational Laboratory Virtual Instrumentation Suite) z dedykowanymi dla tego przedmiotu nakładkami Emona DATEX. Zestawy te współpracują z komputerami klasy PC za pośrednictwem specjalistycznego oprogramowania - tzw. wirtualnych przyrządów pomiarowych, działających w środowisku LabVIEW.

Podczas zajęć studenci korzystają z różnorodnych przyrządów pomiarowych, służących badaniu i analizie sygnałów, m.in. z wirtualnego analizatora widma, analizatora charakterystyk częstotliwościowych (Bodego), jak również z wirtualnego oscyloskopu. Zapoznają się w praktyce z działaniem podstawowych układów oraz bloków funkcjonalnych związanych z przetwarzaniem sygnałów, takich jak układ próbkująco-pamiętający (S&H), układ mnożący, sumator z regulowanymi wagami, przesuwnik fazowy, komparator, generator szumu białego, filtry przestrajalne, koder/dekoder PCM, generatory sygnałów, sekwencji). Program laboratoriów obejmuje następujące zagadnienia:

1. Wprowadzenie do oprzyrządowania Emona DATEX.
2. Wyznaczanie parametrów sygnałów.
3. Próbkowanie i rekonstrukcja sygnałów.
4. Badanie zjawiska aliasingu.
5. Kodowanie i dekodowanie PCM.
6. Zaszumienie sygnałów i wyznaczanie parametrów SNR.
7. Detekcja sygnałów cyfrowych w kanale transmisyjnym.

Tematyka zajęć

Program wykładu obejmuje następujące zagadnienia:

1. Podstawowe parametry sygnałów (składowa stała i składowa przemieniana sygnału, energia, moc sygnału i wartość skuteczna sygnału, sygnały ortogonalne, współczynnik korelacji sygnałów, odchylenie standardowe i wariancja sygnału, macierz kowariancji, histogram sygnału, normalizacja energetyczna i mocowa sygnału, środek i długość sygnału, poziom sygnału).
2. Energia i moc sygnałów (sygnały skończone i nieskończone w czasie, sygnały okresowe, sygnały ortogonalne, moc sumy sygnałów i sygnały ortogonalne).
3. Szeregi i transformacje Fouriera (pojęcie transformacji sygnału, szereg Fouriera, szereg Fouriera w postaci zespolonej - widmo sygnału (DFS), zjawisko Gibbsa, transformacja Fouriera (FT), twierdzenie Parsevala-Rayleigha, przykłady transformacji Fouriera, impuls (pseudofunkcja Diraca), dyskretno-czasowa transformacja Fouriera (DtFT), dyskretna transformacja Fouriera (DFT), wielowymiarowe przekształcenie Fouriera).
4. Reprezentacja sygnałów ciągłych (transformacja Laplace'a a transformacja Fouriera, twierdzenia graniczne, odpowiedzi przejściowe i ustalone w układach automatyki).
5. Dyskretna transformacja Fouriera (DFT) (odmiany DFT, "motylek" dwupunktowej DFT, złożoność obliczeniowa DFT, szybka transformacja Fouriera (FFT) - "divide and conquer" czyli "dziel i rządź", rozmieszczenie próbek DFT na płaszczyźnie zespolonej, rozkład sygnału na harmoniczne, optyczna transformacja Fouriera, obliczanie DFT w środowisku Matlab, dwu- i wielowymiarowa DFT, standardowa i optyczna transformata 2D DFT, dyskretne transformacje trygonometryczne (DTTs), dyskretne transformacje cosinusowe (DCTs), dyskretne transformacje sinusowe (TSTs), standard kompresji obrazów JPEG).
6. Próbkowanie sygnałów (przykład fotografii cyfrowej, koncepcja i proces próbkowania, próbkowanie nieidealne, widmo sygnału spróbkowanego, odtworzenie sygnału ciągłego - twierdzenie o próbkowaniu, pobieranie próbek sygnału, widmo sygnału idealnie spróbkowanego, reprezentacja Fouriera, dwie interpretacje widma sygnału dyskretnego, ściśle sformułowanie twierdzenia o próbkowaniu, próbkowanie sygnałów pasmowych, rekonstrukcja sygnału ciągłego, współczynnik Kella).
7. Interpretacje twierdzenia Shannona (szereg kardynalny, aliasing i efekt stroboskopowy).
8. Kwantowanie sygnałów (sygnał cyfrowy - strumień binarny, szum kwantyzacji, kompresja i ekspansja, różnicowa reprezentacja PCM, modulacja delta, modulacja szerokości impulsów (PWM), modulacja sigma-delta).

9. Binarne reprezentacje próbek sygnałów (czy można bezkrytycznie wierzyć komputerom?, reprezentacje binarne liczb naturalnych, reprezentacje ósemkowe i szesnastkowe liczb, bity "ujemne" - reprezentacje binarne liczb całkowitych, kod CSD, liczby i obliczenia w kodzie U2, konwersja liczb całkowitych do systemu binarnego, uzupełnienia do maksymalnej cyfry i do podstawy systemu pozycyjnego, kody BCD, reprezentacje ułamkowe, format Qn, reprezentacje zmiennoprzecinkowe).
10. Splot (splot ciągły, dyskretny splot liniowy i kołowy, splot a korelacja, interpretacja geometryczna, odpowiedź układu liniowego, wyznaczanie splotu metodą DFT).
11. Przekształcenie Z (świat ciągły-analogowy a świat dyskretny-cyfrowy, pojęcie przekształcenia Z, obszary zbieżności przekształcenia Z, jednoznaczność prawostronnego przekształcenia Z, szeregi Laurenta, funkcje holomorficzne i równania Cauchy'ego-Riemanna, residuum, twierdzenie o residuach, właściwości przekształcenia Z, twierdzenia o wartościach granicznych, tablica transformat Z, splot sygnałów i transformata splotu, odwrotne przekształcenia Z).
12. Dyskretny układ dynamiczny (pojęcie i właściwości liniowych stacjonarnych układów dyskretnych, stabilność układu dyskretnego, opis liniowych stacjonarnych układów dyskretnych, splot sygnałów dyskretnych, struktury filtrów cyfrowych, rekursywne filtry cyfrowe - filtry o nieskończonej odpowiedzi impulsowej (IIR), nierekursywne filtry cyfrowe - filtry o skończonej odpowiedzi impulsowej (FIR), podstawowe realizacje filtrów cyfrowych).
13. Sygnały losowe i korelacje sygnałów (pojęcie zmiennej losowej, pojęcie procesu stochastycznego, ergodyczny proces stochastyczny, sekwencja autokorelacji, kowariancja, podstawy estymacji, estymatory funkcji korelacji).
14. Filtracja sygnałów dyskretnych (opis filtrów cyfrowych, rekursywne filtry cyfrowe (filtry IIR), nierekursywne filtry cyfrowe (filtry FIR), podstawowe realizacje (bezpośrednie) filtrów cyfrowych IIR, grafy przepływu sygnałów i wzór Masona, realizacje kaskadowe i równoległe filtrów IIR, opis układów dyskretnych w przestrzeni stanów, realizacje filtrów cyfrowych FIR, filtry FIR o liniowej charakterystyce fazowej, zalety i wady filtrów FIR w porównaniu z filtrami IIR).
15. Wielomiany Hurwitza (pojęcie wielomianu Hurwitza i zmodyfikowanego wielomianu Hurwitza, warunki konieczne jakie musi spełniać wielomian Hurwitza, kryterium stabilności Hurwitza, kryterium stabilności Routha, ułamek testowy, kryterium realizowalności ułamka testowego jako immitancji dwójnika LC).

Program ćwiczeń obejmuje następujące zagadnienia:

1. Podstawowe parametry sygnałów.
2. Szeregi i transformacje Fouriera.
3. Reprezentacja sygnałów ciągłych (transformacja Laplace'a).
4. Dyskretna transformacja Fouriera (DFT).
5. Próbkowanie sygnałów.
6. Kwantowanie sygnałów.
7. Kolokwium.

Zajęcia laboratoryjne są prowadzone w sali wyposażonej w nowoczesne stanowiska dydaktyczne firmy National Instruments (USA), na które składają się systemy pomiarowe ELVIS II (ang. Educational Laboratory Virtual Instrumentation Suite) z dedykowanymi dla tego przedmiotu nakładkami Emona DATEX. Zestawy te współpracują z komputerami klasy PC za pośrednictwem specjalistycznego oprogramowania - tzw. wirtualnych przyrządów pomiarowych, działających w środowisku LabVIEW. Podczas zajęć studenci korzystają z różnorodnych przyrządów pomiarowych, służących badaniu i analizie sygnałów, m.in. z wirtualnego analizatora widma, analizatora charakterystyk częstotliwościowych (Bodego), jak również z wirtualnego oscyloskopu. Zapoznają się w praktyce z działaniem podstawowych układów oraz bloków funkcjonalnych związanych z przetwarzaniem sygnałów, takich jak układ próbkująco-pamiętający (S&H), układ mnożący, sumator z regulowanymi wagami, przesuwnik fazowy, komparator, generator szumu białego, filtry przestrzajalne, koder/dekoder PCM, generatory sygnałów, sekwencji). Program laboratoriów obejmuje następujące zagadnienia:

1. Wprowadzenie do oprzyrządowania Emona DATEX.
2. Wyznaczanie parametrów sygnałów.
3. Próbkowanie i rekonstrukcja sygnałów.
4. Badanie zjawiska aliasingu.
5. Kodowanie i dekodowanie PCM.
6. Zaszumienie sygnałów i wyznaczanie parametrów SNR.
7. Detekcja sygnałów cyfrowych w kanale transmisyjnym.

Metody dydaktyczne

1. Wykład: prezentacja multimedialna, prezentacja ilustrowana przykładami podawanymi na tablicy,

rozwiązywanie zadań, pokaz multimedialny, demonstracja.

2. Ćwiczenia: rozwiązywanie zadań, rozwiązywanie problemów, studium przypadków.

3. Zajęcia laboratoryjne: ćwiczenia praktyczne, wykonywanie eksperymentów, rozwiązywanie zadań, praca w zespole.

Literatura

Podstawowa:

1. Dąbrowski A., "Teoria i przetwarzanie sygnałów", zestaw sfilmowanych wykładów, www.put.poznan.pl, e-learning Moodle, wykłady otwarte, Politechnika Poznańska, Poznań 2020 oraz materiały do wykładów na stronie www.dsp.put.poznan.pl
2. Dąbrowski A. i in., "Przetwarzanie sygnałów przy użyciu procesorów sygnałowych", Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 1998.
3. Florek A., Mazurkiewicz P., "Sygnały i systemy dynamiczne. Interpretacje - przykłady - zadania", wyd. II, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2015.
4. Smith S.W., "Cyfrowe przetwarzanie sygnałów - praktyczny poradnik dla inżynierów i naukowców", Wydawnictwo BTC, Warszawa 2007.
5. Lyons R.G., "Wprowadzenie do cyfrowego przetwarzania sygnałów", WKŁ, Warszawa 1999.
6. Szabat J., "Podstawy teorii sygnałów", WKŁ, Warszawa 2007.
7. Wojciechowski J., "Sygnały i systemy", WKŁ, Warszawa 2008.
8. Zieliński T.P., "Cyfrowe przetwarzanie sygnałów: od teorii do zastosowań", WKŁ, Warszawa 2013.

Uzupełniająca:

1. MitOpenCourseWare, Massachusetts Institute of Technology, <http://ocw.mit.edu/> (courses: 6.011 "Introduction to Communication, Control, and Signal Processing", 6.003 "Signals and Systems").
2. Oppenheim A.V., Schaffer R.W., "Cyfrowe przetwarzanie sygnałów", WKŁ, Warszawa 1979.
3. Oppenheim A.V., Willsky A.S., Nawab S.H., "Signals & Systems", Pearson, 2016.

Bilans nakładu pracy przeciętnego studenta

	Godzin	ECTS
Łączny nakład pracy	100	4,00
Zajęcia wymagające bezpośredniego kontaktu z nauczycielem	60	2,50
Praca własna studenta (studia literaturowe, przygotowanie do zajęć laboratoryjnych/ćwiczeń, przygotowanie do kolokwium/egzaminu, wykonanie projektu)	40	1,50