

# PRZEDMIOTY SPECJALNOSCI TBM

## (Techniki bezprzewodowe i multimedialne)

Konspekty (opr. 2019, wersje nieco skrócone, zestawienie informacyjne) v.1.4

### ZAWARTOŚĆ:

ZESTAWIENIE PRZEDMIOTÓW SPECJALNOŚCI TBM .....	2
PRZEDMIOTY OBOWIAZKOWE .....	3
A) TECHNIKA DŹWIĘKOWA (TD) .....	3
B) TECHNIKA OBRAZOWA (TO) .....	6
C) TRANSMISJA RADIOWA (TRRA) .....	8
D) TECHNIKA MIKROFALOWA W TELEKOMUNIKACJI (TMT) .....	10
E) RADIO PROGRAMOWALNE W TELEKOMUNIKACJI (RAPT) .....	14
WYBRANE PRZEDMIOTY OBIERALNE .....	18
F) ANTENY (ANT) .....	18
G) APLIKACJE MULTIMEDIALNE (APM) .....	20
H) DZWIEKOWA TECHNIKA STUDYJNA (DTS) .....	22
I) INTERFEJSY RADIOWE SYSTEMÓW INTERNETU RZECZY (IRI) .....	25
K) KONSTRUKCJA URZĄDZEŃ AUDIO WYSOKIEJ JAKOŚCI (KUA) .....	27
L) AKWIZYCJA I PRZETWARZANIE DANYCH MULTIMEDIALNYCH I RADIOWYCH Z WYKORZYSTANIEM LABVIEW (LABVT) .....	30
M) ŁĄCZNOŚĆ SATELITARNA (LS) .....	33
N) POMIARY W RADIOELEKTRONICE (POR) .....	34
O) PODSTAWY RADIOLOKACJI I RADIONAWIGACJI (PRIR) .....	36
P) PODSTAWY SYSTEMÓW KOMÓRKOWYCH (PSK) .....	39
R) SYMULACJA UKŁADÓW RADIOELEKTRONICZNYCH (SUREL) .....	41
S) SYSTEMY KOMÓRKOWE 4 I 5 GENERACJI (SYK45) .....	43

## ZESTAWIENIE PRZEDMIOTÓW SPECJALNOŚCI TBM

### Przedmioty obowiązkowe

		ECTS	W C L P	koordynator	uruchomienie
TD	Technika dźwiękowa	4	15 15 15	dr inż. Piotr Bobiński	21Z
TO	Technika obrazowa	5	20 10 15 15	dr inż. Grzegorz Galiński	21Z
TRRA	Transmisja radiowa	5	24 18 15 -	dr inż. Konrad Godziszewski	21Z
TMT	Technika mikrofalowa w telekomunikacji	4	30 - 15 -	dr hab. inż. Wojciech Wojtasiak, prof. uczelni	21Z
RAPT	Radio programowane w telekomunikacji	4	20 10 18 -	dr inż. Dawid Rosołowski	22L

### Przedmioty obieralne

AM	Akustyka muzyczna	3	30 - 15 -	prof. Jan Żera	22L
DTS	Dźwiękowa technika studyjna	3	12 - 30 -	dr inż. Marcin Lewandowski	21Z
KUA	Konstrukcja urządzeń audio wysokiej jakości	3	30 15 - -	dr inż. Grzegorz Makarewicz	21Z
APEM	Aplikacje multimedialne	4	6 24 - 24	dr inż. Andrzej Buchowicz	22L
LVRTM	Akwizycja i przetwarzanie danych multimedialnych i radiowych z wykorzystaniem LabView	4	3 15 12 15	dr inż. Robert Łukaszewski	21Z
ANT	Anteny	4	24 6 15 -	prof. Yevhen Yashchyshyn	21Z
IRI	Interfejsy radiowe Internetu Rzeczy	3	30 - - 15	dr inż. Jerzy Kołakowski	21L, 22L
LS	Łączność satelitarna	3	30 - 15	dr inż. Krzysztof Kurek	21Z
PRIR	Podstawy radiolokacji i radionawigacji	4	20 10 - 15	dr inż. Daniel Gryglewski	21Z
PSK	Podstawy systemów komórkowych	4	30 - 15 -	dr inż. Jerzy Kołakowski	21Z
POR	Pomiary w radioelektronice	4	20 10 15 -	dr inż. Jacek Cichocki	22L
SUREL	Symulacja układów radioelektronicznych	4	20 10 - 15	dr inż. Daniel Gryglewski	22L
SYK45	Systemy komórkowe 4 i 5 generacji	4	30 - 15 -	dr inż. Jerzy Kołakowski	22L
SRIT	Systemy radiofoniczne i telewizyjne	4		dr inż. Wojciech Kazubski	22L

# PRZEDMIOTY OBOWIAZKOWE

## A) TECHNIKA DŹWIĘKOWA (TD)

### *Sound Technique*

**Autor:** dr inż. Piotr Bobiński

**Semestr nominalny (tylko dla przedmiotów obowiązkowych):** 5

#### **Cel przedmiotu:**

Głównym celem przedmiotu jest zapoznanie słuchaczy z zagadnieniami szeroko pojętej techniki dźwiękowej, a więc aspektów fizycznych i technicznych dźwięku związanych z jego wytwarzaniem, propagacją, detekcją i percepcją. W szczególności z:

- fizycznymi zjawiskami występującymi podczas propagacji fal dźwiękowych i ich wpływu na procesy rejestracji, obróbki i prezentacji materiału dźwiękowego,
- wiedzę dotyczącą budowy systemu słyszenia człowieka i wynikających z niej zjawisk mających wpływ na percepcję dźwięków oraz wpływu na układ słyszenia,
- wiedzę z zakresu akustyki wewnątrz poprzez zastosowanie wybranych modeli propagacji fal dźwiękowych w pomieszczeniach zamkniętych,
- zasadami działania przetworników elektroakustycznych, konstrukcją głośników i mikrofonów oraz ich podstawowymi parametrami użytkowymi,
- wykorzystaniem nabytej wiedzy w typowych zastosowaniach w studio dźwiękowym, a w szczególności z elementami wyposażenia studia dźwiękowego i podstawowymi etapami procesu realizacji nagrań dźwiękowych w studio nagraniowym.

#### **Treść kształcenia:**

WYKŁADY i ĆWICZENIA (forma zintegrowana):

**Podstawowe właściwości dźwięku.** Istota dźwięku. Drgania sprężyste. Fala akustyczna. Propagacja w wolnej przestrzeni. Podstawowe właściwości sygnałów akustycznych. (2h)

**Rozchodzenie się fal akustycznych.** Wielkości charakterystyczne fali akustycznej. Swobodna fala akustyczna. Rodzaje fal. Energia fali akustycznej. Miary dźwięku. Przestrzenne ograniczenia fali. Dźwięk w ośrodku ograniczonym. Odbicie, załamanie, ugięcie i interferencja fal. Fale stojące. Rodzaje pól akustycznych. (2h)

**Podstawy psychoakustyki.** Budowa i fizjologia układu słuchowego. Krzywe izofoniczne i powierzchnia słyszalności. Jednostki subiektywne. Percepcja głośności sygnału. Percepcja wysokości sygnału. Rozdzielczość częstotliwościowa i czasowa systemu słuchowego. Maskowanie czasowe i częstotliwościowe. Przestrzenna percepcja dźwięków. (4h)

**Akustyka wewnątrz.** Zachowanie się dźwięku w pomieszczeniu zamkniętym. Podstawowe parametry akustyczne pomieszczeń: odpowiedź impulsowa, echogram, czas pogłosu. Sposoby kształtowania akustyki wewnątrz za pomocą ustrojów akustycznych i korektorów elektronicznych. (4h)

**Przetworniki elektroakustyczne.** Ogólne właściwości i rodzaje przetworników elektroakustycznych. Przetworniki dynamiczne, pojemnościowe i piezoelektryczne. Głośniki: otwarte i tubowe. podstawowe parametry i charakterystyki skuteczności, zespoły głośnikowe, obudowy. Mikrofony: podstawowe parametry i charakterystyki skuteczności, charakterystyki kierunkowości, rodzaje konstrukcji, mikrofony ciśnieniowe i gradientowe. (4h)

**Dźwięk przestrzenny.** Standardy dźwięku przestrzennego. Wielokanałowe systemy odsłuchowe. Realizacja nagrań przestrzennych. Macierze mikrofonowe i głośnikowe. Modelowanie, symulacja i auralizacja dźwięku przestrzennego. (3h)

**Hałas i ochrona przed hałasem.** Definicja i charakterystyka hałasu. Normy dotyczące ochrony przed hałasem, dopuszczalne i graniczne wartości poziomu dźwięku na stanowisku pracy oraz w środowisku. Ochrona przed hałasem, środki organizacyjne i indywidualne (2h)

**Analogowe i cyfrowe systemy foniczne.** Przykładowe elementy toru fonicznego: przedwzmacniacze, tłumiki, filtry i korektory. Szумы i zniekształcenia w systemach fonicznych Specyfika pomiarów akustycznych. Pomiarы elektroakustyczne. Pomiarы obiektywne i słuchowa ocena jakości dźwięku. (4h)

**Podstawy techniki studyjnej.** Elementy toru fonicznego w studio nagrań. Etapy realizacji nagrań: rejestracja, edytowanie, miksowanie, dodawanie efektów, mastering. (3h)

**Podstawy techniki nagłośnieniowej.** Wybrane elementy toru fonicznego. Etapy realizacji nagłośnień: analiza, kalibracja charakterystyki przenoszenia, ustawianie proporcji, regulacje barwy, regulacja panoramy, ustawienie odsłuchów scenicznych. (2h)

Zajęcia opisane wyżej będą zawierały w dużym stopniu (około 50% czasu zajęć) elementy warsztatowe, nadające tym zajęciom charakter zajęć zintegrowanych. Przykładowo:

- podczas dwóch pierwszych wykładów studenci będą realizować zadania symulacyjne w środowisku Matlab ilustrujące istotę omawianych zjawisk,
- w trakcie wykładu poświęconego psychoakustyce przeprowadzone będą podstawowe badania psychoakustyczne ilustrujące omawiane zjawiska,
- podczas omawiania zagadnień związanych z akustyką wewnątrz przeprowadzane będą symulacje wybranych pomieszczeń ilustrujące omawiane zjawiska i metody analizy pola akustycznego,
- podczas wykładu poświęconego hałasowi studenci będą przeprowadzać pomiary i symulacje ilustrujące pojęcie poziomu równoważnego i dozy hałasu,
- podczas omawiania analogowych i cyfrowych systemów fonicznych przeprowadzane będą symulacje wybranych układów elektronicznych obrazujące ich parametry,
- zagadnienia związane z pracą w studio nagraniowym zostaną szczegółowo omówione podczas pokazu, na którym studenci poznają podstawowe etapy pracy w studio nagraniowym przy realizacji nagrania dźwiękowego.

LABORATORIA:

**Badanie właściwości sygnałów fonicznych.** Celem ćwiczenia jest poznanie podstawowych właściwości różnego rodzaju sygnałów akustycznych, analogowych i cyfrowych (3h).

**Badanie właściwości przetworników elektroakustycznych.** Celem ćwiczenia jest poznanie i wykonanie podstawowych pomiarów podstawowych parametrów głośników i mikrofonów. (3h).

**Symulacje właściwości akustycznych wewnątrz.** Celem ćwiczenia jest poznanie narzędzi pozwalających na symulację warunków akustycznych we wnętrzach i wykonanie symulacji akustyki wybranego pomieszczenia oraz zaproponowanie jego adaptacji akustycznej. (3h)

**Badanie właściwości akustycznych wewnątrz.** Celem ćwiczenia jest poznanie podstawowych rodzajów pól akustycznych we wnętrzach oraz parametrów stosowanych do ich opisywania. W ramach ćwiczenia wykonywane są pomiary parametrów pola akustycznego we wnętrzach o różnych właściwościach pogłosowych (3h)

**Badania właściwości psychoakustycznych.** Celem ćwiczenia jest przeprowadzenie pomiaru podstawowych cech słuchu w zakresie progu słyszenia, maskowania, głośności i prawa Webera-Fechnera. Ćwiczenie obejmuje pomiary z zakresu audiometrii klinicznej, maskowania i percepcji głośności (3h)

**Egzamin: nie**

**Literatura i oprogramowanie:**

1. J. Blauert, N. Xiang, Acoustics for Engineers 2<sup>nd</sup> edition, Springer-Verlag, 2014
2. A. Dobrucki, Przetworniki elektroakustyczne, WNT 2007
3. F. A. Everest, The Master Handbook of Acoustics, TAB Books, 2009
4. T. Holman, Sound for Film and Television 3<sup>rd</sup> edition, 2010
5. U. Jorasz, Wykłady z psychoakustyki, WN UAM 1998
6. T. D. Rossing (ed.), Springer Handbook of Acoustic 2<sup>nd</sup> edition, Springer 2014
7. K. Sztekmler, Podstawy nagłośnienia i realizacji nagrań, WKŁ 2008
8. Z. Żyszkowski, Miernictwo Elektroakustyczne, WNT 1987.



## B) TECHNIKA OBRAZOWA (TO)

### *Image Techniques*

Zespół autorski: dr inż. Grzegorz Galiński, dr inż. Andrzej Buchowicz

Semestr nominalny (tylko dla przedmiotów obowiązkowych): 5

Wymagania wstępne, zalecane przedmioty poprzedzające:

Podstawy Multimediów (PMUT)

**Cel przedmiotu:**

Głównym celem przedmiotu jest zapoznanie studentów z zagadnieniami szeroko pojętej techniki obrazowej, w szczególności z:

- opisem światła i percepcją wrażeń świetlnych przez człowieka
- zasadami działania przetworników elektrooptycznych
- technikami przetwarzania i analizy danych obrazowych

**Treść kształcenia:**

WYKŁADY:

- Charakterystyka i sposoby opisu światła; podstawy fotometrii i kolorimetrii; system widzenia człowieka (*Human Visual System – HVS*); reprezentacja obrazów cyfrowych – obraz fizyczny, dyskretyzacja obrazu, obraz cyfrowy; przestrzenie kolorów; schematy podpróbkowywania chrominancji; miary jakości rekonstrukcji obrazów. (8h)
- Analiza wizyjna: podstawowe procesy (formaty analizy, przetwarzanie optoelektroniczne, zapamiętywanie, adresowanie) oraz parametry przetworników analizujących. (3h)
- Wyświetlacze obrazów: rodzaje wyświetlaczy obrazów, podstawowe parametry procesu syntezy wizyjnej. (3h)
- Kompresja i kodowanie obrazów i sekwencji wizyjnych: koder obrazu i hybrydowy koder wideo, predykcja wewnątrzobrazowa i międzyobrazowa (kompensacja ruchu), kodowanie transformacyjne, kwantyzacja, kodowanie entropijne; standardy kodowania JPEG, MPEG, H.26x; kodowanie skalowalne, kodowanie wielowidokowe (8h)
- Analiza danych obrazowych, typowy schemat analizy semantycznej obrazu; detekcja, śledzenie i rozpoznawanie obiektów; wykorzystanie sieci neuronowych do analizy obrazów, rozpoznawania obiektów i kompresji danych (8h)

ĆWICZENIA – Zajęcia zintegrowane:

Zakres ćwiczeń obejmuje pokazy i zadania demonstracyjno-projektowe ilustrujące i rozszerzające zagadnienia omawiane na wykładzie. Przykładowo:

- ilustracja postrzegania wrażeń świetlnych, wpływ zmiany parametrów światła na dostrzeganie różnic (jasności, koloru),
- metody reprezentacji obrazów cyfrowych i miary jakości rekonstrukcji obrazów,
- ilustracja zasad działania omawianych technik i algorytmów kompresji i analizy, np. kodowania transformacyjnego, predykcji, kodowania entropijnego, detekcji i rozpoznawania obiektów, obserwacja wpływu parametrów na wyniki działania.

LABORATORIA:

1. Badanie właściwości statystycznych danych obrazowych (3h)
2. Badanie koderów obrazu (3h)
3. Badanie koderów sekwencji obrazu (3h)
4. Zanurzanie informacji w obrazie (znakowanie wodne, steganografia) (3h)
5. Rozpoznawanie obiektów z wykorzystaniem sieci neuronowych (3h)

**PROJEKT:**

Celem projektu jest własna implementacja wybranego algorytmu kompresji lub analizy danych obrazowych bądź opracowanie systemu przetwarzania danych obrazowych. Projekty będą realizowane w zespołach 3-4 osobowych, w konsultacji z prowadzącymi przedmiot.

**Egzamin: nie****Literatura i oprogramowanie:**

S. Winkler, *Digital Video Quality: Vision Models and Metrics*, Wiley, 2005  
 G. H. Holst, *CMOS/CCD Sensors and Camera Systems*, JCD Publishing/SPIE Press, 2007  
 J.-H. Lee, D. N. Liu, S.-T. Wu, *Introduction to Flat Panel Displays*, Wiley, 2008  
 M. Domański, *Obraz cyfrowy*, WKŁ, Warszawa 2010  
 K. Sayood, *Kompresja danych - wprowadzenie*, Wydawnictwo RM, Warszawa 2000  
 I. E. G. Richardson, *The H.264 Advanced Video Compression Standard*, Second Edition, Wiley, 2010  
 W. Malina, M. Smiatacz, *Cyfrowe przetwarzanie obrazów*, AOW EXIT, Warszawa 2005  
 język programowania Python  
 biblioteka openCV

**Wymiar godzinowy zajęć (w sem.):**

W	C	L	P	Z
20	10	15	15	–

**Wymiar w jednostkach ECTS: 5 pkt.****Przewidywane formy kształcenia i organizacja przedmiotu**

Podstawową formą kształcenia jest wykład prowadzony dla wszystkich studentów zapisanych na przedmiot wzbogacony o ćwiczenia obejmujące pokazy i zadania demonstracyjno-projektowe. Na zajęcia ćwiczeniowe sala zajęciowa powinna być wyposażona w stanowiska komputerowe (minimum jedno na dwóch studentów).

Informacje przekazane podczas wykładu są uzupełniane i rozszerzane podczas zajęć laboratoryjnych. Zajęcia są prowadzone w grupach 8 – 10 osobowych, których tematyka jest skorelowana z zagadnieniami omawianymi w trakcie wykładów.

Informacje zdobyte przez studentów są praktycznie wykorzystywane przez studentów podczas realizacji projektu, w ramach którego studenci samodzielnie implementują wybrane algorytmy bądź realizują system przetwarzania danych obrazowych. Zadani projektowe realizowane są w zespołach kilkuosobowych, pod opieką i w konsultacji z nauczycielem.

**Efekty uczenia się:**

Efekty uczenia się dla przedmiotu	Opis efektów uczenia się	Odniesienie do efektów uczenia się dla kierunku
<b>Wiedza</b>		
W01	Student wymienia parametry światła mających wpływ na ich percepcję przez człowieka, charakteryzuje właściwości układu widzenia człowieka, opisuje układy kolorymetryczne, przestrzenie barw oraz formaty reprezentacji obrazów cyfrowych	K_W09
W02	Student opisuje budowę i zasadę działania przetworników elektrooptycznych (CCD/CMOS, LCD/OLED), charakteryzuje zjawiska fizyczne leżące u ich podstaw	K_W05
W03	Student opisuje metody i algorytmy kompresji oraz analizy danych obrazowych, w tym istniejące standardy kompresji	K_W10 K_W15
<b>Umiejętności</b>		
U01	Student wyznacza i charakteryzuje podstawowe parametry statystyczne obrazów cyfrowych	K_U11
U02	Student charakteryzuje oraz analizuje właściwości standardów i metod związanych z przetwarzaniem treści wizualnych (w szczególności z kompresją i analizą), dokonuje oceny ich działania, a także dobiera wartości parametrów i określa ich wpływ na uzyskiwane wyniki	K_U11 K_U12

U03	Student przygotowuje aplikację komputerową realizującą wybrany algorytm przetwarzania danych multimedialnych	K_U01 K_U06 K_U09
Kompetencje społeczne		
K01	potrafi pracować indywidualnie i w zespole	K_K06

#### Formy weryfikacji efektów kształcenia:

Zamierzone efekty	Forma zajęć	Sposób weryfikacji	Zgodność z EUK
W01, W02, W03	wykład, zajęcia zintegrowane	sprawdziany audytoryjne, sprawdziany na zajęciach laboratoryjnych	K_W05, K_W09, K_W10, K_W15
U01, U02	laboratorium, projekt	ocena realizacji zadań oraz uzyskanych wyników na podstawie sprawozdań z laboratoriów i projektu	K_U11, K_U12
U03	projekt	ocena stworzonego programu/systemu oraz sprawozdania z realizacji projektu	K_U01, KU_06, K_U09
K01	laboratorium, projekt	ocena realizacji zadań i uzyskanych efektów na podstawie sprawozdań i stworzonego oprogramowania, aktywność podczas laboratoriów i konsultacji projektowych	K_K06

## C) TRANSMISJA RADIOWA (TRRA)

### *Radio transmission*

**Autor:** dr inż. Konrad Godziszewski

**Semestr nominalny (tylko dla przedmiotów obowiązkowych):** 5

**Wymagania wstępne, zalecane przedmioty poprzedzające:** TBAT

**Cel przedmiotu:**

Głównym celem przedmiotu jest zapoznanie słuchaczy z wybranymi zagadnieniami teoretycznymi współczesnych systemów radiokomunikacyjnych, w szczególności systemów łączności mobilnej. Przedstawione są najważniejsze modele propagacji i sposoby szacowania tłumienia kanału w różnych środowiskach propagacyjnych. Omawiany jest także wpływ kanału radiowego na odbierane sygnały i sposoby ich korekcji.

**Treść kształcenia:**

WYKŁADY:

Wprowadzenie – ogólna koncepcja transmisji radiowej, właściwości kanału radiowego – przypomnienie – 1 godz.

Propagacja fal radiowych – uzupełnienie – wpływ przeszkód terenowych (klinowej, okrągłej), model dwudrogowy – 1 godz.

Radiolinie – podstawowe zasady projektowania, uwzględnienie występowania przeszkód terenowych, wpływ opadów i gazów atmosferycznych na tłumienie trasy – 2 godz.

Modele propagacji dla systemów łączności ruchomej – modele Okumury-Haty, COST 231, modele propagacji w mikrokomórkach, dodatkowe straty wnikania do wnętrza budynku – 2 godz.

Propagacja wielodrogowa – przyczyny i skutki, interferencje międzysymbolowe, zaniki wolne i szybkie – modelowanie (rozkład logarytmiczno-normalny, Rayleigha, Rice'a), liczba przejść przez zadany poziom, praktyczne aspekty związane z projektowaniem systemów łączności mobilnej – 2 godz.

Kanał radiowy zmienny w czasie – modelowanie (odpowiedź impulsowa, transmitancja, funkcje rozproszenia dopplerowskiego), kanał WSSUS, funkcje autokorelacji i wynikający z nich profil opóźnień i widmo dopplerowskie, czas i pasmo koherencji i ich wpływ na transmisję sygnałów (w tym odniesienie do techniki OFDM) – 4 godz.



Odbiór sygnałów z modulacjami cyfrowymi – odbiornik synchroniczny i niesynchroniczny, filtracja sygnałów i jej wpływ na transmisję sygnałów, rola filtra „podniesiony kosinus” – odniesienie do konkretnych systemów radiowych – 4 godz.

Estymacja i korekcja odpowiedzi impulsowej kanału – podstawowe algorytmy liniowe i nieliniowe – 2 godz.

#### ĆWICZENIA – ZAJĘCIA ZINTEGROWANE:

Zajęcia stanowią uzupełnienie treści wykładowych i są realizowane w formie demonstracji i ćwiczeń obliczeniowych połączonych z odpowiednim objaśnieniem.

Zawartość merytoryczna obejmuje:

- obliczenia tłumienia kanału radiowego w środowisku wielodrogowym,
- wizualizację skutków propagacji wielodrogowej, np. zaniki selektywne, interferencje międzysymbolowe,
- obliczanie prawdopodobieństwa poprawnego odbioru sygnału przy założeniu występowania zaników wolnych i/lub szybkich o zadanych rozkładach,
- wyznaczanie pasma i czasu koherencji kanału radiowego,
- demonstrację zmian transmitancji i funkcji rozproszenia dopplerowskiego kanału radiowego,
- demonstrację przykładowych profili opóźnień wybranych kanałów propagacyjnych.

#### LABORATORIA:

1. Odpowiedź impulsowa i transmitancja kanału radiowego – badania przeprowadzane dla różnych pomieszczeń, różnego usytuowania anten, polaryzacji, z i bez bezpośredniej widoczności – 3 godz.
2. Badania wpływu propagacji wielodrogowej na odbierane sygnały – określenie wpływu tej propagacji na moc oraz jakość odbieranego sygnału, badania prowadzone dla sygnałów wąsko- i szerokopasmowych (w tym OFDM) – 3 godz.
3. Właściwości sygnałów różnych systemów radiokomunikacyjnych – np. Bluetooth, WiFi – obserwacja przebiegów czasowych, widma, konstelacji, zawartości sygnału (np. sygnałów pilotów); badanie odporności sygnałów na zakłócenia – 3 godz.
4. Badanie algorytmów korekcji kanału radiowego – m.in. wyznaczanie BER i EVM przy zastosowaniu różnych algorytmów korekcji – 3 godz.
5. Propagacja fal radiowych w środowiskach na zewnątrz budynków – badania symulacyjne przeprowadzane dla różnych zakresów częstotliwości i różnych środowisk propagacyjnych – 3 godz.

**Egzamin: nie**

#### Literatura i oprogramowanie:

- K. Wesołowski, „Podstawy cyfrowych systemów telekomunikacyjnych”, WKiŁ, 2003
- S. Haykin, „Systemy telekomunikacyjne”, WKiŁ, 2004
- R. Katulski, „Propagacja fal radiowych w telekomunikacji bezprzewodowej”, WKiŁ, 2009
- D. Tse, P. Viswanath, „Fundamentals of Wireless Communication”, Cambridge University Press, 2005
- A. Grami, „Introduction to Digital Communications”, Elsevier, 2015
- H. Kim, „Wireless Communications Systems Design”, Wiley, 2015
- S.R. Saunders, A. Aragón-Zavala, „Antennas and Propagation for Wireless Communication Systems”, Wiley, 2007
- Rekomendacje ITU dostępne na: <http://www.itu.int/rec/R-REC-P/en>
- Materiały dydaktyczne dostępne na platformie e-learningowej MIT OpenCourseWare: <https://ocw.mit.edu>

<b>Wymiar godzinowy zajęć (w sem.):</b>	W	C	L	P
	24	18	15	-

**Wymiar w jednostkach ECTS:** 5 pkt.

#### Przewidywane formy kształcenia i organizacja przedmiotu

Przedmiot realizowany jest w formie wykładów audytoryjnych (2 godz. tygodniowo), ćwiczeń/zajęć zintegrowanych (2 godz. co dwa tygodnie i zamiennie w terminie wykładu) oraz ćwiczeń laboratoryjnych

(4 ćwiczenia w semestrze). Ćwiczenia uzupełniają treści przedstawiane na wykładach o demonstracje wybranych zagadnień (np. zmian transmitancji kanału radiowego i funkcji rozproszenia dopplerowskiego opóźnień) oraz ćwiczenia obliczeniowe (związane np. z tłumieniem przeszkód terenowych, propagacją fal w środowisku miejskim, czasem i pasmem koherencji kanału).

#### Efekty uczenia się:

##### Formy weryfikacji efektów kształcenia:

Zamierzone efekty	Forma zajęć	Sposób weryfikacji	Zgodność z EUK
W01: Zna modele propagacji dla współczesnych systemów mobilnych i odpowiednie metody obliczeniowe.	wykład, ćwiczenia	sprawdzian audytoryjny, aktywność na ćwiczeniach	K_W09 K_W13
W02: Zna zasadnicze parametry kanałów radiowych, zna narzędzia do ich opisu.	wykład, ćwiczenia	sprawdzian audytoryjny, aktywność na ćwiczeniach	K_W09
W03: Ma podstawową wiedzę teoretyczną dotyczącą odbioru sygnałów cyfrowych w obecności szumów.	wykład, zajęcia laboratoryjne	sprawdzian audytoryjny, sprawozdanie z wykonania ćw. laboratoryjnego	K_W06 K_W09 K_W10
U01: Umie wykorzystać aparaturę do pomiaru parametrów kanału radiowego i zinterpretować uzyskane wyniki.	zajęcia laboratoryjne	sprawozdanie z wykonania ćw. laboratoryjnego	K_U11 K_U14
U02: Potrafi obliczyć tłumienie kanału radiowego w systemach łączności mobilnej.	ćwiczenia	sprawdzian audytoryjny, aktywność na ćwiczeniach	K_U06
U03: Umie zmierzyć podstawowe właściwości sygnałów radiowych wybranych systemów bezprzewodowych.	zajęcia laboratoryjne	sprawozdanie z wykonania ćw. laboratoryjnego	K_U14 K_U16
U04: Potrafi zaprojektować wybrane typy łącza radiowego.	wykład, ćwiczenia	sprawdzian audytoryjny, aktywność na ćwiczeniach	K_U06
K01: Potrafi pracować w zespole i przyjmować w nim różne role.	zajęcia laboratoryjne	ocena udziału w ćwiczeniach laboratoryjnych	K_K06

## D) TECHNIKA MIKROFALOWA W TELEKOMUNIKACJI (TMT)

### RF & Microwave Engineering in Telecommunications

**Autor:** dr hab. inż. Wojciech Wojtasiak, prof. uczelni

**Semestr nominalny (tylko dla przedmiotów obowiązkowych):** 5

**Wymagania wstępne, zalecane przedmioty poprzedzające:** PELP, FOGT, POFAT, ULET

#### Cel przedmiotu:

*Celem przedmiotu jest zapoznanie studentów ze specyfiką opisu, projektowania i realizacji układów RF i mikrofalowych powszechnie stosowanych w różnych rozwiązaniach bloków radiowych współczesnych systemów łączności bezprzewodowej.*

#### Treść kształcenia:

*W pierwszej części przedmiotu studenci zdobywają wiedzę nt. opisu obwodowego zjawisk falowych i wielkości fizycznych poznanych na przedmiotach FOGT i POFAT uzupełniony o macierzowy opis liniowego obwodu mikrofalowego zbudowanego z elementów o stałych rozłożonych i skupionych. Ponadto studenci nabywają umiejętności posługiwania się poznanymi parametrami obwodu mikrofalowego oraz metodami ich pomiaru. W drugiej części przedmiotu słuchacze nabywają kompetencje w zakresie projektowania prostych obwodów RF i mikrofalowych także przy pomocy symulatora obwodowego. Trzecia część przedmiotu obejmuje zapoznanie studentów z podstawowymi rozwiązaniami bloków radiowych tzw. Front-End współczesnych systemów łączności bezprzewodowej wraz z omówieniem głównych podzespołów, których istotne parametry będą mierzone w trakcie ćwiczeń laboratoryjnych. Integralną częścią przedmiotu są ćwiczenia laboratoryjne, których celem jest ugruntowanie nabytych umiejętności i nauka współpracy studentów w zespole.*

#### WYKŁADY:

- **Wstęp** – RF i mikrofałe, podział na pasma i przykłady zastosowań (m.in. kuchenka mikrofalowa);

- **Obwodowy 1-wymiarowy model linii długiej w dziedzinie czasu i częstotliwości**

Rozwiązanie równań Telegrafistów dla pobudzenia sinusoidalnego. Parametry obwodowe – pojęcia podstawowe: napięcie, prąd, impedancja, stała propagacji, prędkość grupowa i fazowa, impedancja charakterystyczna linii, współczynnik odbicia i fali stojącej, rozkład amplitud;

- **Transformacja impedancji i wykres Smitha** – zagadnienie dopasowania i metody dopasowania impedancji;

- **Podstawowe przewodnice falowe – przypomnienie**

Konstrukcja i parametry takich przewodnic falowych jak linia współosiowa, linie paskowa niesymetryczna (NLP) i symetryczna (SLP);

- **Metody pomiaru mocy mikrofalowej**

Detektor i mieszacz, pomiar modułu współczynnika odbicia i fali stojącej (WFS) (ćw. laboratoryjne);

- **Macierzowy opis liniowych N-wrotników mikrofalowych ( $N \leq 4$ )**

Zespolone unormowane amplitudy napięcia fal padających i odbitych – macierz rozproszenia [S] – klasyfikacja układów (odwracalność, symetria, stratność), przykłady macierzy [S] prostych 2-wrotników, definicja macierzy transmisyjnej [T];

- **Wektorowy analizator obwodów mikrofalowych (VNA)**

Metody kalibracji analizatora obwodów VNA (pomoc: rozwiązywanie prostych grafów przepływu sygnału), pomiar macierzy [S] 2-wrotnika w układzie analizatora obwodów VNA (zadanie projektowe na ćw. laboratoryjne: weryfikacja modeli elementów SMD RLC i projekt obwodu dopasowującego zadaną impedancję);

- **Projektowanie podstawowych pasywnych układów mikrofalowych**

Przegląd symulatorów mikrofalowych, metoda pobudzenia w fazie i w przeciw fazie i przykłady projektowania takich układów jak tłumiki, dzielniki mocy, sprzęgacze;

- **Podstawowe rozwiązania układowe bloków radiowych systemów bezprzewodowych**

Podstawowe struktury bloków Front-End systemów bezprzewodowych. Kluczowe podzespoły każdego bloku radiowego: duplexer/przełącznik N/O, wzmacniacz mocy nadajnika, wzmacniacz niskoszumny w odbiorniku, zespół przemiany częstotliwości, filtry i cyrkulatory;

- **Zasilanie DC mikrofalowych elementów aktywnych**

Rodzaje tranzystorów (Si-BJT, MESFET, LDMOSFET, HBT, HEMT) – technologia, parametry i zastosowania, punkt pracy, model małosygnałowy, dane katalogowe;

- **Dywersyfikacja sygnałów mikrofalowych w dziedzinie czasu i częstotliwości**

Duplexer – zwrotnica mikrofalowa – przykłady filtrów, cyrkulator i przełącznik N/O;

- **Wzmacniacz mocy**

Parametry i rozwiązania układowe, uproszczona metoda projektowania z wykorzystaniem podejścia małosygnałowego, definicje zniekształceń istotnych dla transmisji bezprzewodowej;

- **Wzmacniacz niskoszumny (LNA)**

Pojęcie i rodzaje szumów, temperatura i współczynnik szumów, projektowanie LNA ze względu na minimum współczynnika szumów, czułość odbiornika (uproszczone podejście);

- **Generatory mikrofalowe**

Warunki generacji, konstrukcja mikrofalowych generatorów VCO i CCO, stabilność długo- i krótko terminowa, pomiar poziomu szumów fazowych, pętla fazowa PLL, synteza częstotliwości;

- **Blok przemiany częstotliwości**

Rodzaje i konstrukcje, wybór optymalnej częstotliwości pośredniej;

LABORATORIA (przegotowanie: wykład, materiały do laboratorium, konsultacje)

1. **Detektor, mieszacz, wektorowy analizator sieci (VNA)**

2. **Zagadnienie dopasowania impedancji** – weryfikacja opracowanych modeli elementów SMD RLC i pomiar wykonanych obwodów dopasowujących zaprojektowanych podczas wykładu i samodzielnego przygotowania do ćwiczenia. W ramach wykładu poprzedzającego ćw.lab.2 studenci zdobywają umiejętności posługiwania się symulatorem obwodowym (wersja open) w stopniu umożliwiającym modelowanie rzeczywistych elementów SMD RLC i prostych obwodów NLP w celu zaprojektowania obwodu dopasowującego zadaną impedancję. W trakcie samodzielnej pracy wykonują projekt, który będzie sprawdzany eksperymentalnie w czasie ćw. lab.2.
3. **Badanie duplexera, przełącznika N/O, wzmacniacza mocy i wzmacniacza LNA** - typowych elementów stosowanych do realizacji torów radiowych systemów z rozdziałem czasowym lub częstotliwościowym.
4. **Generator VCO i syntezer PLL** – obserwacja widma wolnobieżnego generatora VCO, oraz tego samego układu umieszczonego w pętli PLL, badanie wpływu parametrów filtra FDP na działanie pętli. Filtry pętli zostaną opracowane i symulowane podczas wykładu i samodzielnego przygotowania do ćwiczenia. W trakcie przygotowania do ćwiczenia na wykładzie studenci zapoznają się z procesem projektowania syntezer PLL, którego najistotniejszym elementem jest opracowanie dolnopasmowego filtra pętli. Proces ten zostanie wsparty symulacjami działania układu. Studenci samodzielnie projektują filtr pętli PLL o zadanych parametrach, które zostaną zweryfikowane w czasie ćwiczenia.
5. **Badanie łącza radiowego** – podstawowe elementy składowe torów radiowych zmierzone w ramach poprzedzających ćwiczeń zostaną użyte do budowy odbiornika bądź nadajnika łącza radiowego. W trakcie ćwiczenia zostaną zmierzone takie parametry jak czułości, odporność na sygnały blokujące w przypadku odbiornika lub widmo i poziomu mocy wyjściowej w przypadku nadajnika.

#### PROJEKT:

Nie przewiduje się oddzielnych zajęć projektowych, studenci będą jednak przygotowywali małe projekty do ćwiczeń laboratoryjnych

#### Formy weryfikacji efektów kształcenia:

- a) w zakresie wykładu

Egzamin część 1, ocena realizacji założonych efektów nauczania w zakresie rozumienia takich pojęć jak transformacja impedancji, współczynnik odbicia i fali stojącej, zagadnienie dopasowania, macierzowy opis liniowych obwodów pasywnych w pasmie mikrofal, projektowanie prostych układów mikrofalowych.

Egzamin część 2, ocena realizacji założonych efektów nauczania w zakresie rozumienia takich treści jak nowoczesne rozwiązania układowe radiowych bloków nadawczych i odbiorczych oraz ich parametry takie odpowiednio jak bilans mocy i wzmocnienia oraz obliczanie czułości i całkowitego współczynnika szumów, główne podzespoły bloków Front-End, elementy aktywne: dioda PIN i waraktorowa, tranzystory – rodzaje i przeznaczenie, projektowanie: układu zasilania DC elementu aktywnego, wzmacniacza niskoszumnego i wzmacniacza mocy z wykorzystaniem podejścia małosygnałowego.

- b) w zakresie ćw. laboratoryjnych

Lab.1 – weryfikacja założonych efektów nauczania: na początku ćwiczenia w formie sprawdzianu wiedzy z wykładu oraz z materiałów laboratoryjnych i na końcu ćwiczenia – podsumowanie realizacji pomiarów w postaci sprawozdania i dyskusja wyników.

Lab.2 – sprawdzenie efektów kształcenia w formie projektu wykonanego na podstawie treści z wykładu. Studenci weryfikują projekt zrealizowany w praktyce.

Lab.3 i 5 – ocena poziomu efektów nauczania w postaci sprawdzianu wstępnego oraz podsumowania ćwiczenia na jego końcu.

Lab.4 – efekty nauczania są weryfikowane w formie praktycznej realizacji filtra pętli PLL na płytce ewaluacyjnej syntezer na podstawie symulacji wartości elementów filtra pętli PLL, analiza wyników pomiarów generatora i syntezer zaplanowanych w ćwiczeniu.

#### Egzamin: TAK

#### Literatura i oprogramowanie:

1. S. Rostoniec: *Liniowe obwody mikrofalowe*, WKiŁ, Warszawa 1999
2. B. Galwas: *Miernictwo mikrofalowe*, WKiŁ, Warszawa 1985

3. T. Morawski, W. Gwarek: *Pola i fale elektromagnetyczne*, WNT, wyd. 5, 2018
4. J. Osowski, J. Szabatin: *Podstawy teorii obwodów*, WNT, Warszawa 1995, tom III
5. J. Dobrowolski: *Technika wielkich częstotliwości*, Oficyna Wyd. PW, 2001
6. J. Dobrowolski: *Technika wielkich częstotliwości – zadania*, Oficyna Wyd. PW, 2002
7. QUICKS – symulator obwodów mikrofalowych
8. W. Wojtasiak: *Materiały do wykładu z Techniki Mikrofalowej*

<b>Wymiar godzinowy zajęć:</b>	W	C	L	P
	30		15	- (w semestrze)

**Wymiar w jednostkach ECTS: 4 pkt.**

**Przewidywane formy kształcenia i organizacja przedmiotu**

*Zajęcia są prowadzone w formie: wykładów audytoryjnych i laboratoryjnych.*

**Organizacja:**

- wykład ma formę zajęć audytoryjnych w miarę możliwości interaktywnych ze sporym udziałem przykładów i zadań obliczeniowych, wymiar wykładu – 3 godz./tydzień;
- zajęcia laboratoryjne 5 ćwiczeń w wymiarze 3 godz./ćw., grupa laboratoryjna – 8 studentów, zespół wykonujący ćwiczenie na jednym stanowisku – 2 osoby

**Wiedza i umiejętności studenta przychodzącego na przedmiot**

- rozumienie zjawisk falowych w ośrodku nieograniczonym i w przewodnicach falowych, podstawowe właściwości ośrodków i fali elektromagnetycznej, fala padająca prostopadle na granicę dwóch ośrodków i propagacja fali w ośrodkach uwarstwionych – przedmioty FOGT, POFA;
- umiejętność rozwiązywania równań różniczkowych zwyczajnych II rzędu o stałych współczynnikach i rozwijania funkcji w szereg Taylora/Maclaurina przedmioty ANL1T, ANL2T
- rozumienie podstawowych praw i zagadnień teorii obwodów i przetwarzania sygnałów w odniesieniu do opisu obwodowego w stanie ustalonym dla pobudzeń okresowych, głównie sinusoidalnych, podejście małosygnałowe – przedmioty PELP, PSYG i SYST
- wybrane elementy elektroniczne: bierne SMD RLC, aktywne diody i tranzystory oraz układy m.in. wzmacniacz operacyjny – przedmiot ELE i ULE

**Efekty uczenia się:**

**Formy weryfikacji efektów kształcenia:**

Efekty uczenia się/uczenia się	forma zajęć/ technika kształcenia	sposób weryfikacji (oceny)*	odniesienie do efektów uczenia się dla programu
<b>Wiedza w zakresie:</b>			
<b>W01:</b> obwodowego opisu odcinka linii długiej w dziedzinie częstotliwości dla pobudzenia sinusoidalnego, nt. takich wielkości jak: impedancja charakterystyczna linii, stała propagacji w linii, prędkość rozchodzenia się fali w linii, współczynnik odbicia i fali stojącej (WFS) oraz transformacji impedancji wzdłuż linii oraz dopasowania zadanej impedancji.	wykład, ćw. lab.	ćw. lab., egzamin	K_W01, K_W02, K_W06
<b>W02:</b> budowy, zasady działania i parametrów detektora, mieszacza i przyrządów pomiarowych takich jak: mierniki mocy z sensorami kalorymetrycznymi, termistorowymi i termoelektrycznymi oraz wektorowego analizatora obwodów;	wykład, ćw. lab.	ćw. lab., egzamin	K_W05, K_W07
<b>W03:</b> opisu liniowych N-wrotników ( $N \leq 4$ ) przy pomocy macierzy rozproszenia [S] i macierzy transmisyjnej [T] takich układów jak odcinki linii, tłumiki, sprzęgacze, dzielniki/sumatory mocy, a także rozwiązywania prostych grafów przepływu sygnału;	wykład, ćw. lab.	ćw. lab., projekt, egzamin	K_W01, K_W02, K_W06
<b>W04:</b> struktur i parametrów bloków radiowych Front-End i ich głównych podzespołów takich jak wzmacniacze mocy i niskoszumne, przełączniki N/O, dupleksery/filtry, generatory VCO i syntezy PLL, a także nt. technologii mikrofalowych przyrządów aktywnych, takich jak: dioda Schottky'ego, PIN, waraktor, tranzystory – Si-BJT, MESFET, HEMT, HBT;	wykład, ćw. lab.	ćw. lab., projekt, egzamin	K_W05, K_W06, K_W09, K_W13

Umiejętności			
<b>U01:</b> potrafi wykreślić rozkład amplitud prądu i napięcia w przewodnicy falowej, zaprojektować obwód dopasowujący daną impedancję do linii o zadanej impedancji charakterystycznej metodą graficzną z wykorzystaniem wykresu Smitha oraz przy pomocy symulatora.	wykład, ćw. lab.	ćw. lab. egzamin	K_U06
<b>U02:</b> potrafi posługiwać się detektorem, miernikiem mocy oraz w zakresie podstawowym wektorowym analizatorem obwodów.	wykład, ćw. lab.	ćw. lab. egzamin	K_U14 K_U21
<b>U03:</b> potrafi wyznaczyć macierz [s] wybranych 1- i 2-wrotników, umie zastosować metodę pobudzeń w fazie i w przeciwfazie w projektowaniu prostych 2-wrotników mikrofalowych i wyznaczyć model elementów RLC SMD	wykład, ćw. lab., projekt	ćw. lab., projekt egzamin	K_U03 K_U13 K_U06 K_U14 K_U20
<b>U04:</b> potrafi podać podstawowe struktury bloków Front-End, zmierzyć, obliczyć i zinterpretować ich istotne parametry, umie zaprojektować: obwód zasilania DC diody lub tranzystora, wzmacniacz dla uzyskania maksymalnej mocy wyjściowej oraz stopień niskoszumny, potrafi zmierzyć poziom szumów fazowego generatora i syntezerą,	wykład, ćw. lab., projekt	ćw. lab., projekt egzamin	K_U03 K_U13 K_U14 K_U18 K_U21
Kompetencje społeczne			
<b>K01:</b> potrafi określić cele, priorytety niezbędne do realizacji zadania oraz umie rozdzielić zadanie podczas wykonywania projektu w grupie.	ćw. lab., projekt	ćw. lab., projekt	K_K03 K_K06
<b>K02:</b> rozumie znaczenie etycznej współpracy w zespole.	ćw. lab., projekt	ćw. lab., projekt	K_K03

## E) RADIO PROGRAMOWALNE W TELEKOMUNIKACJI (RAPT)

### Software Defined Radio for Telecommunication

Zespół autorski: dr inż. Dawid Rosołowski

Semestr nominalny (tylko dla przedmiotów obowiązkowych): 6

Wymagania wstępne, zalecane przedmioty poprzedzające: TBAT, TRRA, TMT

Cel przedmiotu:

*Celem przedmiotu jest ugruntowanie i rozszerzenie wiedzy na temat budowy współczesnych bezprzewodowych urządzeń radiowych, ze szczególnym uwzględnieniem aspektów definiowania i rekonfiguracji funkcjonalności na poziomie oprogramowania. W myśl zasady: od anteny przez tor analogowy i przetwornik do cyfrowego przetwarzania sygnałów radiowych, przypomniane zostaną podstawowe architektury torów radiowych stosowane we współczesnym sprzęcie bezprzewodowym, a następnie wskazana niebagatelna rola przetworników A/C i C/A, które w zasadzie kształtują parametry dzisiejszych systemów radiowych. Większość kursu poświęcona jest podstawowym algorytmom stosowanym w cyfrowych realizacjach bloków radiowych, takich jak: cyfrowa przemiana częstotliwości, filtry kanałowe, modulatory i demodulatory oraz procedurom synchronizacji odbiornika, poziomowania sygnału, czy zmianie przepływności strumienia danych. Istotnym elementem uzupełniającym wykład będą zajęcia zintegrowane (ćwiczenia) oraz laboratoria, pozwalające na implementację i testy samych algorytmów przetwarzania oraz łączenie ich w całe tory o funkcjonalności odbiorników lub nadajników na poziomie symulatora (GNURadio) a następnie w rzeczywistych warunkach przy użyciu platform sprzętowych SDR.*

Treść kształcenia:

WYKŁADY:

- 1. Architektury systemów bezprzewodowych – przypomnienie.** Porównanie architektury z przemianą do pasma podstawowego (ZIF) z przemianą na niezerową pośrednią (IF). Wskazanie wad i zalet obu rozwiązań. Prezentacja przykładowych rozwiązań układowych wybranych na podstawie urządzeń powszechnego użytku.
- 2. Trendy w systemach bezprzewodowych: IoT, Massive MiMo, etc.** Radio Sterowane Programowo vs Radio Programowalne (HDR vs SDR), czyli różne oblicza programowalności. Wskazanie na konieczność niskopoziomowej konfiguracji nastaw (częstotliwość, wzmocnienie, ścieżka przepływu sygnału, itp.)

układów zintegrowanych wchodzących w skład torów systemów bezprzewodowych oraz rosnącą potrzebę rekonfiguracji funkcjonalności przez wymianę oprogramowania w części przetwarzania cyfrowego toru radiowego.

3. **Rola przetworników A/C i C/A we współczesnych urządzeniach radiowych.** Zdefiniowanie ograniczeń współczesnych przetworników wedle kryterium: pasmo pracy/częstotliwość próbkowania/dynamika przetwarzania. Zdefiniowanie wymagań na przetworniki w przypadku systemów z architekturą IF i ZIF.
4. **Przetwarzania w kwadraturze – przypomnienie.** Opis matematyczny i analiza zawartości widma dla klasycznej przemiany dwuwstęgowej i przemiany zespolonej. Dolnopasmowy ekwiwalent sygnału radiowego w pasmie podstawowym. Transformacja Hilberta. Modulacje analogowe AM, PM, FM – opis zespolony, realizacja algorytmiczna.
5. **Modulacje cyfrowe. Mapowanie danych na symbole oraz kształtowanie widma.** Procedura konwersji strumienia szeregowego na symbole zgodnie z wybranym schematem modulacji cyfrowej(MPSK, MQAM) na przykładzie nadajnika. Widmo po mapowaniu bez i z kształtowaniem. Przepływność symbolowa i bitowa.
6. **Przemiana cyfrowa (DUC, DDC).** Mieszacz cyfrowy, generator cyfrowy (NCO), realizacja przemiany w dół lub w górę. Analiza produktów rzeczywistej i zespolonej przemiany cyfrowej oraz czystości widmowej NCO w zależności od rozdzielczości bitowej generatora.
7. **Filtracja cyfrowa.** Podstawowe implementacje filtrów dolno- i pasmowo- przepustowych typu FIR i IIR. Przykłady aplikacji radiowych: filtr kanałowy, usuwanie składowej stałej (DC offset)
8. **Zmiana szybkości próbkowania – multirating.** Dacymacja i interpolacja. Filtracja polifazowa. Filtry grzebieniowe (CIC).
9. **Nadajnik Cyfrowy.** Implementacja nadajnika cyfrowego realizującego jeden ze schematów modulacji. Analiza czasowa i częstotliwościowa przebiegów sygnałów na wyjściu kolejnych bloków toru. Symulacja uzupełniona o modelowanie zniekształceń wprowadzonych przez kanał radiowy.
10. **Synchronizacja odbiornika.** Pętla Costasa. Synchroniczny odbiór AM, demodulator FM. Procedury synchronizacji częstotliwości i ramki. Sekwencje treningowe.
11. **Poziomowanie sygnałów w odbiorniku.** Realizacja procedury automatycznej regulacji wzmocnienia. Detekcja mocy i poziomu sygnału.
12. **Odbiornik Cyfrowy.** Realizacja odbiornika cyfrowego z synchronizacją pozwalającego na odbiór wybranego schematu modulacji. Wyznaczenie podstawowych parametrów oceny jakości łącza: EVM, wykres oka, itp.
13. **Wpływ niezrównoważenia kwadratury na parametry nadajnika i odbiornika.** Skończone tłumienie sąsiedniej wstęgi, dc offset. Porównanie modulatorów/demodulatorów kwadraturowych w realizacjach analogowych i cyfrowych.
14. **Ograniczenia sprzętowe i programowe w systemach bezprzewodowych.** Podsumowanie obecnych ograniczeń w realizacji systemów bezprzewodowych. Odpowiedź na pytanie, czy osiągnięto już postulowany poziom gotowości technologicznej dla technologii SDR.

ĆWICZENIA – zajęcia zintegrowane:

Wybrane wykłady, podczas których omawiane będą algorytmy przetwarzania sygnałów będą miały charakter zajęć zintegrowanych wspartych eksperymentami symulacyjnymi realizowanymi przez prowadzącego z wykorzystaniem ogólnodostępnego oprogramowania (np. GNURadio Companion) oraz platform sprzętowych z rodziny USRP. Tam, gdzie to możliwe, do pokazów zostaną użyte łatwo dostępne odbiorniki RTL\_SDR, które powinny pozwolić na aktywny udział studentów, a nawet eksperymentowanie na własną rękę. Wykład poświęcony przetwarzaniu w kwadraturze zostanie uzupełniony ćwiczeniami obliczeniowymi.

LABORATORIA:

1. **Radio Sterowane Programowo.** Laboratorium ma na celu pokazanie, że nowoczesny tor radiowy zbudowany na bazie wyspecjalizowanych układów scalonych wymaga niskopoziomowego

programowania nastaw konfiguracyjnych za pomocą interfejsów ISP lub I2C. Zadanie laboratoryjne polega na zaprogramowaniu wybranego układu (syntezator, tłumik, detektor, przetworniki, etc.) z poziomym mikrokontrolera lub komputera jednoukładowego (np. Raspberry Pi).

2. **Badania przetworników A/C i C/A.** Ocena wpływu filtra antyaliasingowego na widmo sygnału syntezowanego/analizowanego, wpływ jittera zegara na jakość próbkowania, praca przetworników w wyższych strefach Nyquista.
3. **Pierwsze symulacje w GNURadio.** W ramach zapoznania studentów z platformą symulacyjną *GNURadio Companion* studenci opracują prosty odbiornik radiowy korzystając z dostępnych bloków: mieszacza jednowstęgowego, generatora, filtrów, decymatora oraz demodulatora. W kolejnych krokach uruchamiają projekt na platformie SDR oraz dokonują analizy sygnałów na poszczególnych etapach przetwarzania sygnałów. Rozszerzenie zadania polegać będzie na implementacji demodulatora dla wybranej modulacji analogowej.
4. **Implementacja Nadajnika Cyfrowego.** Zajęcia poświęcone będą implementacji nadajnika z wybranym rodzajem modulacji cyfrowej. Na wstępie studenci przeprowadzą symulacje, a następnie przejdą do zaprogramowania platformy SDR. Istotnym elementem laboratorium będą pomiary jakości sygnału na wyjściu realizowanego nadajnika.
5. **Implementacja Odbiornika Cyfrowego.** W ramach laboratorium zespoły studenckie opracują na poziomie symulatora a następnie zaimplementują na zadanej platformie SDR odbiornik cyfrowy. Szczególnie istotne będzie zapewnienie synchronizacji odbiornika. Efektem końcowym laboratorium będzie odbiór i dekodowanie transmisji radiowej.
6. **Badanie wpływu niezrównoważenia kwadratury oraz przeniku nośnej na parametry systemów.** Celem laboratorium będzie ocena wpływu niezrównoważenia kwadratury na jakość transmitowanego i odbieranego sygnału.

PROJEKT:

Zakłada się możliwość zmiany sposobu realizacji jednego z laboratoriów na mini-projekt.

**Egzamin: nie**

**Literatura i oprogramowanie:**

1. Kennington, P. B. "RF and Baseband Techniques for Software Defined" Radio. Norwell, MA: Artech House, 2005.
2. Roupheal, Tony J. "RF and Digital Signal Processing for Software-Defined Radio: A Multi-Standard Multi Mode Approach" Newnes, 2009, 2009.
3. Laskar, Joy, Babak Matinpour, and Sudipto Chakraborty. "Modern receiver front-ends: systems, circuits, and integration" John Wiley & Sons, 2004.
4. Lyons, Richard G. "Wprowadzenie do cyfrowego przetwarzania sygnałów", WKŁ 2006
5. Gatherer, Alan, and Edgar Auslander. "The Application of programmable DSPs in mobile communications" John Wiley & Sons, Inc., 2002.
6. Materiały dedykowane:
  - Materiały do wykładów zamieszczone na stronie przedmiotu
  - Instrukcje do ćwiczeń laboratoryjnych
  - Instrukcja posługiwania się wybranym oprogramowaniem

Oprogramowanie: GNURadio, MicrowaveOffice, Python

<b>Wymiar godzinowy zajęć:</b>	W	C	L	P	
	20	10	18	-	(w semestrze)

**Wymiar w jednostkach ECTS:** 4 pkt.

**Przewidywane formy kształcenia i organizacja przedmiotu**

Wykład w formie klasycznej prezentacji treści z omówieniem zagadnień teoretycznych stanowi podstawową formę przekazywania nowej i ugruntowywania dotychczasowej wiedzy. Istotnym uzupełnieniem ułatwiającym zrozumienie omawianych algorytmów i trudniejszych fragmentów materiału będą zajęcia



zintegrowane z użyciem narzędzi symulacyjnych i platform SDR. Zajęcia zintegrowane będą pełnić również rolę wstępu do laboratoriów.

Celem laboratoriów będzie weryfikacja wiedzy z wykładu i wykorzystanie jej w praktyce podczas przeprowadzanych badań kluczowych elementów torów radiowych oraz implementacji cyfrowych bloków radiowych. Zakłada się, że podczas dwóch ostatnich laboratoriów zespoły studenckie oprogramują bezprzewodowe łącze radiowe złożone z odbiornika i nadajnika SDR i prześlą poprawnie informację na odległość.

### **Wiedza i umiejętności studenta przychodzącego na przedmiot**

Zakłada się, że student rozpoczynający kurs posiada już podstawową wiedzę z zakresu przetwarzania sygnałów cyfrowych oraz modulacji a także transmisji radiowej. Potrafi posługiwać się aparatem matematycznym koniecznym do opisu sygnałów w kwadraturze.

### **Efekty uczenia się:**

#### **Formy weryfikacji efektów kształcenia:**

<b>Zamierzone efekty</b>	<b>Forma zajęć</b>	<b>Sposób weryfikacji</b>	<b>Zgodność z EUK</b>
<p>W01:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>znajomość budowy oraz potencjalnych wad i zalet architektur torów radiowych z zerową (ZIF) i niezerową (IF) przemianą częstotliwości</li> <li>ugruntowana wiedza systemowa na temat kluczowych elementów analogowego i cyfrowego toru radiowego ze szczególnym uwzględnieniem roli przetworników A/C i C/A oraz układów programowalnych i mikroprocesorowych</li> </ul>	wykład, ćwiczenia, laboratoria	kolokwia wstępne na laboratoriach, aktywność podczas ćwiczeń, egzamin końcowy	K_W01, K_W04, K_W05, K_W15, K_W17
W02: ugruntowana wiedza o matematycznym opisie sygnałów radiowych i modulacji w szczególności o przetwarzaniu sygnałów w kwadraturze	wykład, zajęcia zintegrowane, laboratoria	kolokwia wstępne na laboratoriach, laboratoria, aktywność podczas ćwiczeń, egzamin końcowy	K_W01, K_W06, K_W10
W03: znajomość podstawowych algorytmów cyfrowych używanych do przetwarzania sygnałów radiowych we współczesnych nadajnikach bądź odbiornikach z pominięciem kodowania źródłowego	wykład, zajęcia zintegrowane, laboratoria	kolokwia wstępne na laboratoriach, laboratoria, aktywność podczas ćwiczeń, egzamin końcowy	K_W01, K_W05, K_W06, K_W10
W04: wypracowane nowoczesne, interdyscyplinarne podejście do systemu radiowego stanowiącego połączenie wiedzy z zakresu radiowej i mikrofalowej techniki analogowej oraz cyfrowego przetwarzania sygnałów	zajęcia zintegrowane, laboratoria	kolokwia wstępne na laboratoriach, laboratoria, aktywność podczas ćwiczeń, egzamin końcowy	K_W01, K_W05, K_W09, K_W10
U01: umiejętność analizowania schematów blokowych urządzeń bezprzewodowych oraz doboru podstawowych elementów w torze analogowym i cyfrowym	zajęcia zintegrowane, laboratoria,	kolokwia wstępne na laboratoriach, laboratoria, aktywność podczas ćwiczeń, egzamin końcowy	K_U02, K_U17, K_U18
U02: student, który zaliczył przedmiot potrafi implementować i testować najważniejsze algorytmy przetwarzania cyfrowych sygnałów radiowych	zajęcia zintegrowane, laboratoria	kolokwia wstępne na laboratoriach, laboratoria, aktywność podczas ćwiczeń,	K_U06, K_U18
U03: student, który zaliczył przedmiot potrafi symulować i programować w stopniu podstawowym urządzenia klasy SDR, potrafi zaimplementować warstwę programową w prostym odbiorniku lub nadajniku realizowanym na platformie klasy SDR	zajęcia zintegrowane, laboratoria	kolokwia wstępne na laboratoriach, laboratoria, aktywność podczas ćwiczeń,	K_U06, K_U11, K_U13
U04: student, który zaliczył przedmiot potrafi wykorzystać typowe narzędzia do analizy jakości cyfrowego łącza radiowego, interpretuje wykresy oka, diagramy sygnałów odebranych oraz widma sygnałów emitowanych.	zajęcia zintegrowane, laboratoria	kolokwia wstępne na laboratoriach, laboratoria, aktywność podczas ćwiczeń, egzamin końcowy	K_U07, K_U14, K_U17,

# WYBRANE PRZEDMIOTY OBIERALNE

## F) ANTENY (ANT)

### *Antennas*

**Autor:** prof., dr hab. inż. Yevhen Yashchyshyn- *IRTM*

**Grupa przedmiotów:** obieralny specjalności TBM

**Minimalny numer semestru:** 4

**Wymagania wstępne, zalecane przedmioty poprzedzające:** POFAT, TBAT

**Cel przedmiotu:**

Celem przedmiotu jest zapoznanie studentów z różnymi typami anten oraz z ich charakterystykami. Szczególny nacisk jest położony na omówienie nowych rodzajów anten.

**Treść kształcenia:**

WYKŁADY:

1. *HISTORIA POWSTAWANIA ANTEN* (2 godz.).

Krótki zarys historii techniki antenowej. Przegląd typów anten i właściwości anten.

2. *MECHANIZM PROMIENIOWANIA* (2 godz.).

Definicje anten. Rodzaje anten. Mechanizm promieniowania. Rozkład prądu na cienkim przewodzie.

3. *PARAMETRY ANTEN I METODY POMIAROWE* (6 godz.).

Podstawowe charakterystyki anten. Pomiary charakterystyki kierunkowości oraz zysku anten. Pomiary polaryzacyjne. Pomiary w strefie bliskiej. Metody pomiarowe charakterystyk anten oraz terminali mobilnych.

4. *OBLICZENIA CHARAKTERYSTYKI KIERUNKOWEJ ANTENY* (4 godz.).

Charakterystyka kierunkowa przewodu prostego w zależności od rozkładu prądu. Charakterystyka kierunkowa grupy radiatorów, czyli szyku antenowego.

5. *RODZAJE ANTEN I ICH WŁAŚCIWOŚCI* (5 godz.).

Klasyfikacja anten (częstotliwość pracy; kształt wiązki; szerokość pasma; rozmiary; sposoby zasilania, itd.). Anteny dipolowe, anteny aperturowe (reflektorowe, soczewkowe, tubowe), szyki antenowe.

6. *NOWOCZESNE TECHNIKI ANTENOWE* (5 godz.).

Anteny systemów komórkowych. Anteny stacji bazowych. Anteny radiolinii. Wpływ parametrów anteny na stan kompatybilności oraz poziom interferencji międzykanałowej. Anteny systemów bezprzewodowych. Metody odbioru. Odbiór zbiorczy – czasowy, częstotliwościowy, polaryzacyjny, przestrzenny. Anteny do systemów ze zwielokrotnieniem - FDMA, TDMA, CDMA, SDMA. Systemy antenowe do technik MIMO. Zasady technik MIMO. Wady i zalety technik MIMO. Anteny do technik MIMO. Wprowadzenie do systemów inteligentnych, ich zalety i wady.

ĆWICZENIA:

1. Bilans mocy i rola anteny. Wpływ zysku anten (2 godz.).
2. Charakterystyki kierunkowe anten. Wpływ rozkładu prądu/pola w aperturze anteny na charakterystykę kierunkową (2 godz.).
3. Wymiary anteny - rozmiary geometryczne i efektywne. Oszacowanie kierunkowości i zysku anten (2 godz.).

LABORATORIA:

1. Pomiary charakterystyk anten mikrofalowych.
  - Pomiary charakterystyk kierunkowych anten mikrofalowych;
  - Pomiary impedancji wejściowej, szerokości pasma i dopasowania anten mikrofalowych;

- Obróbka i analiza danych pomiarowych.
2. Badanie sprzężeń wzajemnych między radiatorami.
    - Pomiar impedancji wzajemnej między antenami liniowymi;
    - Obliczenie impedancji wzajemnej między antenami liniowymi;
    - Porównanie i analiza wyników.
  3. Badanie właściwości polaryzacyjnych pola elektromagnetycznego i anten.
    - Badanie charakterystyk polaryzacyjnych anten;
    - Badanie sposobów uzyskania polaryzacji eliptycznej;
    - Analiza danych pomiarowych.
  4. Badanie rozkładu pola na aperturze anteny.
    - Pomiar rozkładu pola na powierzchni wybranej anteny;
    - Obliczenie pola promieniowania anteny;
    - Analiza porównawcza wyników.

**Egzamin: nie**

**Wymiar godzinowy zajęć:**

W	C	L	P	Z
24	6	15	-	-

**Wymiar w jednostkach ECTS:** 4 pkt.

**Przewidywane formy kształcenia i organizacja przedmiotu**

Organizacja: wykład oraz trzy zajęcia zintegrowane uzupełnione czterema ćwiczeniami oraz laboratoriami (cztery ćwiczenia)

Formy weryfikacji wiedzy:

1. Ocena zaliczenia przedmiotu jest równa średniej z ocen z kolokwium, z średniej z ćwiczeń laboratoryjnych i obliczeniowych oraz zajęć zintegrowanych.
2. Konieczne jest wykonanie i zaliczenie wszystkich czterech ćwiczeń laboratoryjnych i obliczeniowych i trzech zajęć zintegrowanych
3. Należy uzyskać co najmniej połowę maksymalnej liczby punktów zarówno z kolokwium jak i ze wszystkich ćwiczeń.

**Efekty kształcenia:**

**Formy weryfikacji efektów kształcenia:**

Zamierzone efekty	Forma zajęć	Sposób weryfikacji
<b>W02:</b> posiada wiedzę w zakresie fizyki, w tym w zakresie mechaniki klasycznej, elektrodynamiki i optyki w zakresie typowym dla uniwersytetu technicznego, ze szczególnym uwzględnieniem zagadnień pól i fal elektromagnetycznych	wykład, ćwiczenia audytoryjne i zintegrowane	np. 2 sprawdziany audytoryjne (kolokwia), aktywność podczas ćwiczeń
<b>W07:</b> ma wiedzę na temat zasad przeprowadzania i opracowywania wyników pomiarów, rodzajów niepewności pomiarowych i sposobów ich wyznaczenia	wykład, ćwiczenia laboratoryjne	Sprawozdania z ćwiczeń laboratoryjnych
<b>W11:</b> ma uporządkowaną wiedzę w zakresie urządzeń wchodzących w skład sieci telekomunikacyjnych, w tym sieci bezprzewodowych oraz konfigurowania tych urządzeń w sieciach lokalnych i dostępowych	wykład, ćwiczenia audytoryjne i zintegrowane	np. 2 sprawdziany audytoryjne (kolokwia), aktywność podczas ćwiczeń
<b>W13:</b> ma uporządkowaną wiedzę w wykorzystania fal radiowych w systemach transmisyjnych, lokalizacyjnych i radiodyfuzyjnych oraz specyfiki zastosowań mikrofal	wykład, ćwiczenia audytoryjne i zintegrowane	np. 2 sprawdziany audytoryjne (kolokwia), aktywność podczas ćwiczeń
<b>U01:</b> Potrafi zdobywać informacje z dostępnych źródeł (literatura, bazy danych itp.), integrować i interpretować te informacje oraz formułować wnioski.		

<b>U02:</b> Potrafi przygotować dokumentację prostego zadania inżynierskiego i opis wyników realizacji zadania i przedstawić je przy pomocy różnych technik.		
<b>U03:</b> Potrafi przygotować i przedstawić prezentację wyników realizacji prostego zadania inżynierskiego oraz krytycznie dyskutować na tematy związane z telekomunikacją.		
<b>U05:</b> Ma umiejętność samo-kształcenia.		
<b>U07:</b> Potrafi zaplanować i przeprowadzić eksperyment oraz krytycznie omówić jego wyniki		
<b>U14:</b> potrafi posłużyć się właściwie dobranymi metodami i urządzeniami umożliwiającymi pomiar podstawowych wielkości charakteryzujących sygnały, urządzenia i systemy		

## **G) APLIKACJE MULTIMEDIALNE (APM)**

### *Multimedia Applications*

**Zespół autorski:** dr inż. Andrzej Buchowicz, dr inż. Piotr Bobiński, dr inż. Grzegorz Galiński, dr inż. Marcin Lewandowski

**Status przedmiotu:** obieralny

**Minimalny numer semestru:** 5

**Wymagania wstępne, zalecane przedmioty poprzedzające:** PMUT, PAIM/PIU

**Cel przedmiotu:**

Głównym celem przedmiotu jest zapoznanie studentów z metodami i technologiami tworzenia aplikacji multimedialnych na trzech najpopularniejszych platformach sprzętowo-programowych: urządzeniach mobilnych z systemem operacyjnym Android, urządzeniach z systemem operacyjnym MS Windows oraz przeglądarkach internetowych zgodnych ze standardem HTML5.

**Treść kształcenia:**

WYKŁADY:

- System operacyjny Android: architektura, kategorie urządzeń kompatybilnych z systemem; opracowywanie i uruchamianie aplikacji w środowisku Android Studio; podstawowe komponenty graficznego interfejsu użytkownika (3h)
- Windows UWP: typy urządzeń obsługiwanych przez system operacyjny MS Windows 10, jednolity interfejs programistyczny UWP, rozwijanie aplikacji UWP w środowisku Visual Studio, definiowanie interfejsu graficznego, obsługa multimediiów (3h)
- Aplikacje internetowe: znaczniki standardu HTML5 wykorzystywane w aplikacjach multimedialnych, sterowanie akwizycją, przetwarzaniem i odtwarzaniem multimediiów z poziomu języka Javascript, dostosowywanie graficznego interfejsu użytkownika do orientacji i rozdzielczości ekranu (3h)

ĆWICZENIA - ZAJĘCIA ZINTEGROWANE:

- System Android (8h):
  - graficzny interfejs użytkownika: rozmieszczanie komponentów, obsługa zdarzeń
  - wyświetlanie obrazów i odtwarzanie dźwięku
  - akwizycja obrazu i dźwięku
  - kodowanie danych multimedialnych, osadzanie w kontenerach
  - komunikacja sieciowa
  - obsługa czujników i urządzeń peryferyjnych (m.in. akcelerometr, GPS)
- Windows UWP (8h):
  - graficzny interfejs użytkownika: reprezentacja w XAML, definiowanie interfejsu z wykorzystaniem XAML Designera
  - obiekty XAML do obsługi multimediiów

- przetwarzanie danych multimedialnych z wykorzystaniem kodeków systemowych
- komunikacja sieciowa i dostęp do zasobów
- obsługa czujników i urządzeń peryferyjnych
- Aplikacje internetowe (8h):
  - dokumenty HTML5: odtwarzanie dźwięku, wyświetlanie wideo i grafiki 2D
  - definiowanie graficznego interfejsu użytkownika, kaskadowe arkusze stylów (CSS), dostosowywanie interfejsu do parametrów urządzenia
  - webAudio: przetwarzanie i synteza dźwięku
  - WebGL: grafika 3D
  - webRTC: akwizycja i strumieniowanie danych multimedialnych

**PROJEKT:**

Celem projektu jest opracowanie aplikacji multimedialnych o zbliżonej funkcjonalności dla każdej z trzech platform omawianych w trakcie wykładu i zajęć zintegrowanych. Projekty będą realizowane w zespołach 3-4 osobowych.

**Egzamin: nie**

**Literatura i oprogramowanie:**

Android Developers, Developer Guides, <https://developer.android.com/guide/>  
 Design and code UWP apps, <https://developer.microsoft.com/en-us/windows/apps/design>  
 HTML5 Tutorial, <https://www.w3schools.com/html/default.asp>

<b>Wymiar godzinowy zajęć:</b>	W	C	L	P	
	6	24	-	24	(w semestrze)

**Wymiar w jednostkach ECTS:** 4 pkt.

**Przewidywane formy kształcenia i organizacja przedmiotu**

Zajęcia prowadzone w ramach przedmiotu będą podzielone na trzy bloki trwające ok. 5 tygodni. W ramach każdego bloku będzie omawiana jedna platforma. Każdy blok będzie się rozpoczynał od wykładu wprowadzającego (tydzień 1). Następnie (tygodnie 1-3) będą prowadzone zajęcia zintegrowane ilustrujące wybrane zagadnienia związane z rozwijaniem aplikacji dla platformy będącej tematem bloku. W końcowej części bloku (tygodnie 4-5) studenci będą realizować swoje projekty w konsultacji i pod nadzorem prowadzących przedmiot.

**Wiedza i umiejętności studenta przychodzącego na przedmiot**

Student przychodzący na przedmiot APM powinien znać podstawowe zagadnienia związane z przetwarzaniem danych multimedialnych w zakresie omawianym na przedmiocie PMUM. Powinien znać języki programowania Java, C++ lub C# oraz Javascript, a także umieć posługiwać się podstawowymi narzędziami programistycznymi (IDE).

**Efekty uczenia się:**

Efekty uczenia się dla przedmiotu	Opis efektów uczenia się	Odniesienie do efektów uczenia się dla kierunku
<b>Wiedza</b>		
W01	zna zasady projektowania graficznego interfejsu użytkownika narzędzia programistyczne używane do opracowywania aplikacji dla systemów Android, Windows 10 oraz przeglądarek internetowych	K_W03
<b>Umiejętności</b>		
U01	potrafi zaprojektować i zrealizować graficzny interfejs użytkownika aplikacji multimedialnych dla systemów Android, Windows 10 oraz przeglądarek internetowych	K_U09 K_U13 K_U19
U02	potrafi zrealizować aplikację multimedialną dla systemu android, Windows 10 oraz przeglądarek internetowych	K_U06 K_U09 K_U13

U03	potrafi przygotować dokumentację dla opracowywanych w ramach projektu aplikacji	K_U02
Kompetencje społeczne		
K01	potrafi pracować indywidualnie i w zespole	K_K06

#### Formy weryfikacji efektów kształcenia:

Zamierzone efekty	Forma zajęć	Sposób weryfikacji	Zgodność z EKK
W01	wykład, zajęcia zintegrowane	3 sprawdziany audytoryjne (kolokwia), aktywność podczas zajęć zintegrowanych	
U01, U02, U03, K 01	Zajęcia zintegrowane, projekt	Aktywność podczas zajęć zintegrowanych, ocena aplikacji opracowanych w ramach projektu	

## H) DZWIĘKOWA TECHNIKA STUDYJNA (DTS)

### Sound Recording Technique

**Autor:** dr inż. Marcin Lewandowski                      pok. 125, tel. 7637

**Grupa przedmiotów:** Przedmioty obieralne specjalności TBM

**Minimalny numer semestru:** 5

**Wymagania wstępne, zalecane przedmioty poprzedzające:** TD Technika Dźwiękowa

#### Cel przedmiotu:

Głównym celem przedmiotu jest zapoznanie słuchaczy z techniką realizacji nagrań dźwiękowych. W jego ramach studenci poznają zasady techniki mikrofonowej, podstawy nagrań i cyfrowego montażu, elementy post produkcji, edycji i reżyserii dźwięku. W rezultacie studenci otrzymują niezbędną wiedzę teoretyczną w postaci wykładu i zajęć zintegrowanych, a następnie w ramach laboratorium wykonują konkretne nagranie. Każdy z zespołów laboratoryjnych wybiera, przygotowuje i samodzielnie wykonuje nagranie, które po obróbce i masteringu jest zapisywane na nośniku. Wykonane w ten sposób nagrania są na końcu zajęć dyskutowane i oceniane publicznie. Przedmiot ma charakter praktyczny.

#### Treść kształcenia:

##### WYKŁADY:

**Techniki rejestracji sygnałów dźwiękowych (4h):** budowa toru fonicznego oraz jego podstawowe właściwości; charakterystyki i właściwości mikrofonów, ich podział ze względu na budowę oraz zasadę działania; konsekwencje umieszczenia mikrofonu w polu akustycznym; metody rejestracji sygnałów audio, techniki mikrofonowe monofoniczne oraz stereofoniczne; przenośne rejestratory sygnału; karty dźwiękowe; ogólne zasady towarzyszące subiektywnej i obiektywnej ocenie jakości dźwięku; opóźnienia w torach fonicznych analogowych i cyfrowych; synchronizacja ścieżek dźwiękowych w oprogramowaniu muzycznym DAW.

**Efekty dźwiękowe, oprogramowanie DAW i stół mikserski (4h):** rodzaje efektów dźwiękowych z podziałem na efekty amplitudowo-częstotliwościowe (korektory charakterystyk częstotliwościowych sygnałów oraz kompresory dynamiki), modulacyjne (m.in. *chorus*, *flanger*, *phaser*) i opóźnieniowe (m.in. *echo*, *ping*) oraz ich wpływ na brzmienie przetwarzanych sygnałów dźwiękowych; filtracja cyfrowa oraz jej wykorzystanie w przetwarzaniu sygnałów w inżynierii dźwięku; zależności i schematy blokowe najczęściej wykorzystywanych algorytmów przetwarzania sygnałów wraz z przykładami dźwiękowymi; najczęściej wykorzystywane rodzaje efektów w oprogramowaniu do edycji dźwięku oraz w stołach mikserskich.

**Miksowanie materiału muzycznego (4h):** omówienie funkcji, jakie spełnia operacja miksowania sygnałów dźwiękowych; nauka procesu miksowania - podział na trzy etapy, tj. wizję, analizę i ocenę materiału dźwiękowego w trakcie operacji miksowania; omówienie procesu miksowania - aranżacji, edycji, montażu i toku postępowania dla różnych gatunków muzycznych; opis zjawisk maskowania dźwięków w dziedzinie częstotliwości, poziomów, stereofonii i głębi oraz możliwe sposoby unikania wzajemnego maskowania się instrumentów i warstw aranżacji; wprowadzenie do masteringu gotowego miksu; omówienie typowych kontrolnych systemów odsłuchowych oraz pomieszczeń odsłuchowych; przygotowywanie i powielanie wzorca.

## LABORATORIA:

**Stereofoniczne i monofoniczne techniki mikrofonowe oraz obsługa stołu mikserskiego (4h):** Ćwiczenie ma na celu zapoznanie studentów ze sprzętem laboratoryjnym dostępnym w studiu nagraniowym oraz praktyczne wykorzystanie poznanych technik mikrofonowych do oceny akustyki sali nagraniowej. Jednocześnie studenci poznają obsługę cyfrowego stołu mikserskiego oraz schemat połączeń sygnałowych między studiem nagraniowym, reżysernią i komorą bezechową.

**Wstępne nagranie utworu muzycznego lub słownego (5h):** Ćwiczenie ma na celu praktyczne wykorzystanie wiedzy studentów z zakresu technik mikrofonowych oraz rejestracji wybranych w scenariuszu nagrania źródeł dźwięku. W trakcie ćwiczenia studenci poznają także organizację pracy w studiu nagraniowym przy rejestrowaniu utworu muzycznego lub audycji słownej.

**Nagranie utworu muzycznego lub słownego (5h):** Ćwiczenie ma na celu praktyczne wykorzystanie wiedzy studentów z zakresu technik mikrofonowych oraz zapisu dźwięku. W trakcie ćwiczenia studenci dogrywają brakujące partie instrumentalne lub wokalne i dokonują wstępnej korekcji nagranych materiałów.

**Montaż oraz korekcja zarejestrowanego materiału (4h):** Ćwiczenie ma na celu praktyczne wykorzystanie wiedzy studentów z zakresu obróbki dźwięku. Zarejestrowany materiał jest korygowany pod względem amplitudy (korekcja wzmocnienia) i częstotliwości (korekcja za pomocą filtrów cyfrowych). Ponadto studenci dopasowują brzmienie poszczególnych elementów nagrania oraz przygotowują je do dalszej obróbki.

**Efekty dźwiękowe w nagraniu stereofonicznym (5h):** Ćwiczenie ma na celu praktyczne wykorzystanie wiedzy z zakresu tworzenia efektów dźwiękowych. Studenci badają wpływ efektów na zarejestrowany materiał dźwiękowy oraz wykorzystują wybrane efekty w celu jego wzbogacenia.

**Miksowanie utworu muzycznego lub słownego (5h):** Celem ćwiczenia jest poznanie techniki miksowania utworu oraz nabycie umiejętności odpowiedniego, wzajemnego dopasowywania do siebie składników utworu, aby uzyskać pożądany efekt. Studenci wykorzystują w tym ćwiczeniu materiał nagrany w trakcie ćwiczeń 2 i 3 i poddany obróbce w trakcie ćwiczeń 4 i 5. Ich zadaniem jest zmiksowanie poszczególnych ścieżek do postaci stereofonicznego pliku dźwiękowego. Wynikiem ćwiczenia są stereofoniczne pliki dźwiękowe zawierające gotowy utwór.

**Subiektywna oraz obiektywna ocena nagrań (2h):** Ćwiczenie ma na celu subiektywną oraz obiektywną ocenę nagranych materiałów poddanych obróbce na ćwiczeniach od 2 do 6. Każdy z gotowych utworów muzycznych lub słownych jest komentowany przez prowadzących pod kątem aspektów technicznych realizacji dźwięku oraz poddany dyskusji z udziałem wszystkich uczestników laboratorium.

\* \* \*

Zajęcia opisane wyżej jako „wykłady” i część laboratorium w około 70% zawierają elementy warsztatowe, nadające tym zajęciom charakter zajęć zintegrowanych. W szczególności:

**Techniki rejestracji sygnałów dźwiękowych:** prezentacje oraz omówienie na przykładach technik mikrofonowych wykorzystywanych podczas rejestracji sygnału pochodzącego z różnych instrumentów za pomocą mikrofonów o różnej budowie oraz charakterystykach kierunkowych; wykorzystanie klawiatury sterującej MIDI oraz oprogramowania muzycznego DAW do produkcji muzyki.

**Efekty dźwiękowe, oprogramowanie DAW i stół mikserski:** prezentacje wpływu działania wybranych efektów dźwiękowych na brzmienie sygnałów oraz dyskusja na temat ich wykorzystania w trakcie produkcji utworu muzycznego, w szczególności uwaga skupiona na korekcji dynamiki oraz charakterystyk amplitudowo-częstotliwościowych sygnałów dźwiękowych pochodzących z najbardziej popularnych grup instrumentów wykorzystywanych podczas pracy w studio nagraniowym i rejestrowanych różnymi technikami mikrofonowymi; praktyczne wykorzystanie wiedzy z zakresu filtracji cyfrowej oraz subiektywnej oceny jakości sygnałów dźwiękowych.

**Miksowanie materiału muzycznego:** praktyczne wykorzystanie trzech omawianych w trakcie wykładu etapów procesu miksowania, tj. wizji, analizy i oceny miksów w środowiskach muzycznych DAW na przykładzie wcześniej przygotowanej sesji nagraniowej i materiału muzycznego; nauka obsługi oprogramowania do edycji i montażu zarejestrowanego materiału; praktyczne wykorzystanie dostępnych w środowiskach DAW narzędzi do edycji materiału w dziedzinie częstotliwości, poziomów, stereofonii oraz głębi nagrania.

**Egzamin: nie**

**Literatura i oprogramowanie:**

1. B. Urbański, Magnetofony i gramofony cyfrowe, WKŁ, Warszawa (1989)
2. B. and J. Bartlett, Practical Recording Techniques - The Step-By-Step Approach to Professional Audio Recording, Focal Press, 2002
3. D. M. Huber, Modern Recording Techniques, Focal Press, 2001
4. Czyżewski, Dźwięk cyfrowy, AOW EXIT, Warszawa (1998)
5. K. B. Benson, Audio Engineering Handbook, McGraw Hill (1988)
6. K. C. Pohlman, Principles of digital audio, McGraw Hill (1995)
7. R. Derry, PC Audio Editing, Focal Press, 2003
8. R. Izhaki, Mixing Audio: Concepts, Practices and Tools, Focal Press (2008)
9. B. Katz, Mastering Audio, the art and the science, Focal Press (2002)
10. K. Sztekmiler, Podstawy nagłośnienia i realizacji nagrań, Narodowe Centrum Kultury (2003)
11. D. Gibson, The Art of Mixing: A visual guide to Recording, Engineering, and Production, Mix Books (1997)
12. B. Owsinski, The Mixing Engineer's Handbook 2nd edition, Thomson Course Technology (2006)
13. B. Owsinski, The Recording Engineer's Handbook 2nd edition, Course Technology PTR (2009)
14. <https://ccrma.stanford.edu/~jos/pasp/>
15. <http://www.theatreorgans.com/hammond/faq/mystery/mystery.html>
16. <http://matlab.atspace.org/teoria/dzwiek/dzwiek.html>

Oprogramowanie Cakewalk by Bandlab (Sonar Professional), Adobe Audition oraz Waves Gold Bundle.

<b>Wymiar godzinowy zajęć (w sem.):</b>	W	C	L	P
	12	-	30	-

**Wymiar w jednostkach ECTS:** 3 pkt.

**Przewidywane formy kształcenia i organizacja przedmiotu**

Przedmiot będzie prowadzony w postaci wykładów wzbogaconych o zajęcia zintegrowane: pokazy, przykłady dźwiękowe z komentarzem i dyskusją, warsztaty związane z rejestracją sygnałów dźwiękowych oraz wykorzystaniem podstawowych algorytmów przetwarzania sygnałów dźwiękowych w procesie edycji i miksowania materiału muzycznego, ale przede wszystkim będzie zawierał sześć ćwiczeń laboratoryjnych oraz jedno spotkanie dyskusyjne, na którym omówiona zostanie semestralna praca każdej grupy laboratoryjnej. Ze względu na zajęcia zintegrowane oraz specyfikę odtwarzanych przykładów dźwiękowych, a także naukę oceny ich brzmienia sala, w której prowadzone będą wykłady powinna być wyposażona w sprzęt multimedialny odpowiedniej jakości.

Laboratoria powinny być realizowane w zespołach maksymalnie 6-osobowych, przede wszystkim ze względu na dostęp do specjalistycznej aparatury i pomieszczeń (studio nagrań dźwiękowych, reżysernia dźwiękowa i komora bezchowa).

**Efekty kształcenia:**

**Formy weryfikacji efektów kształcenia:**

Zamierzone efekty	Forma zajęć	Sposób weryfikacji	Zgodność z EUK
W01: Ma wiedzę o podstawowych właściwościach i parametrach mikrofonów oraz kart dźwiękowych, źródłach opóźnień czasowych w analogowym i cyfrowym torze audio, a także o technikach rejestracji sygnałów dźwiękowych generowanych przez konkretne źródło dźwięku w danych warunkach akustycznych.	wykład, zajęcia zintegrowane	Sprawdzian przed rozpoczęciem ćwiczenia laboratoryjnego nr 2, 3 oraz 4	K_W09 K_W15
W02: Ma wiedzę o podstawowych strukturach efektów dźwiękowych oraz stosowanych w nich algorytmach cyfrowego przetwarzania sygnałów, wpływie cyfrowego przetwarzania sygnałów na brzmienie sygnałów dźwiękowych oraz wiedzę na temat domen oceniania jakości sygnałów dźwiękowych.	wykład, zajęcia zintegrowane	Sprawdzian przed rozpoczęciem ćwiczenia laboratoryjnego nr 5	K_W15



W03: Ma wiedzę na temat toku postępowania i funkcjach procesu miksowania sygnałów dźwiękowych oraz zagrożeniach związanych z nieodpowiednim doбором narzędzi służących do cyfrowego przetwarzania sygnałów dźwiękowych w domenie ich częstotliwości, poziomów, stereofonii i głębi.	wykład, zajęcia zintegrowane	Sprawdzian przed rozpoczęciem ćwiczenia laboratoryjnego nr 6	K_W15
U01: Potrafi dobrać odpowiedni rodzaj mikrofonów oraz technikę rejestracji sygnałów dźwiękowych dla rejestracji konkretnego źródła dźwięku w danych warunkach akustycznych, obsługiwać cyfrowy stół mikserski oraz współpracujące ze stołem oprogramowanie muzyczne, przygotować oraz uporządkować połączenia toru audio od mikrofonów, przez cyfrowy stół mikserki do karty dźwiękowej, a także dostosować poziomy rejestrowanych sygnałów dźwiękowych tak, aby uniknąć zniekształceń sygnału.	zajęcia laboratoryjne	Sprawozdanie z wykonania zadań laboratoryjnych ćwiczenia nr 1, 2, 3 oraz 4	K_U14 K_U20
U02: Potrafi zinterpretować nagrany materiał dźwiękowy w domenie częstotliwości, poziomów, stereofonii i głębi oraz wyszukać i wykorzystać dostępne w oprogramowaniu muzycznym narzędzia służące do cyfrowego przetwarzania sygnałów dźwiękowych (efekty dźwiękowe) w celu dopasowania poszczególnych elementów nagrania i jego przygotowania do dalszego przetwarzania.	zajęcia laboratoryjne	Sprawozdania z wykonania zadań laboratoryjnych ćwiczeń nr 5	K_U06 K_U14
U03: Potrafi posługiwać się wybranymi przez siebie efektami dźwiękowymi i sposobami przetwarzania sygnałów dźwiękowych w celu minimalizacji efektów maskowania sygnałów w dziedzinie częstotliwości i poziomów, analizować wpływ wybranych algorytmów cyfrowego przetwarzania sygnałów dźwiękowych na zarejestrowany materiał dźwiękowy oraz dobierać odpowiednie parametry efektów dźwiękowych w celu wzbogacenia nagrania.	zajęcia laboratoryjne	Sprawozdania z wykonania zadań laboratoryjnych ćwiczeń nr 6, gotowy utwór słowno-muzyczny na nośniku	K_U06 K_U11
K01: Potrafi zorganizować pracę w studio nagraniowym oraz dbać o dobre relacje i współpracę pomiędzy studentami i artystami, a także zaplanować i zrealizować napięty harmonogram prac laboratoryjnych poprzez odpowiedni podział obowiązków.	zajęcia laboratoryjne	Sprawozdania z wykonania zadań laboratoryjnych ćwiczeń nr 1, 2, 3, 4, 5 i 6	K_K02 K_K06

## **I) INTERFEJSY RADIOWE SYSTEMÓW INTERNETU RZECZY (IRI)**

### *IoT radio interfaces*

**Autorzy:** dr inż. Jerzy Kołakowski, mgr inż. Vitomir Djaja-Joško

**Grupa przedmiotów:** obieralne TBM

**Status przedmiotu:** obieralny

**Minimalny numer semestru:** 6

**Cel przedmiotu:**

Głównym celem przedmiotu jest zapoznanie studentów z interfejsami radiowymi wykorzystywanymi w systemach internetu rzeczy (IoT - Internet of Things). W trakcie wykładu zostaną przedstawione zarówno rozwiązania stosowane obecnie jak również standardy, których wdrożenie jest spodziewane w najbliższym czasie np. wąskopasmowe wersje standardu LTE czy też sieci 5G. Zdobyta wiedza umożliwi słuchaczom świadomy dobór interfejsu radiowego oraz organizacji sieci z uwzględnieniem wymaganej przepływności transmisji, energochłonności, zasięgu, dostępnych zasobów widmowych.

## Treść kształcenia:

### WYKŁADY:

**Wprowadzenie** Idea internetu rzeczy, zastosowania. Podstawowe funkcjonalności sieci (transmisja danych, lokalizacja węzłów) Architektury sieci radiowych IoT. Rola chmury i mgły obliczeniowej w sieciach IoT. Wymagania dotyczące interfejsów radiowych (przepływności, niezawodność transmisji). Regulacje prawne. Dostępne zasoby widmowe.

**Energooszczędne techniki transmisji radiowej** Kanał radiowy w systemach IoT (specyfika kanału wewnątrz pomieszczeń, kanał radiowy sieci WBAN - Wireless Body Access Networks). Wpływ parametrów transmisji (pasma, przepływności, zakładanej stopy błędów) na zasięg i jakość łączności. Rodzaje modulacji i ich efektywność. Techniki kodowania. Bilans łącza.

**Zarządzanie zasobami radiowymi w sieciach IoT** Tryby pracy urządzeń, Techniki przydziału zasobów radiowych. Transmisja z potwierdzeniem. Wielodostęp. Techniki kooperacyjnego odbioru i transmisji. Sieci kratowe (mesh).

**Techniki lokalizacji węzłów w systemach IoT** Mierzone parametry. Algorytmy lokalizacyjne. Wykorzystanie systemów wąskopasmowych. Systemy ultraszerokopasmowe

**Zarządzanie zużyciem energii w urządzeniach sieciowych** Wpływ trybów pracy modułu radiowego na pobór energii. Zarządzanie trybami pracy. Techniki odbioru nieciągniętego DRX, regulacja mocy, wypełnienie transmisji.

**Standardy sieci dalekiego zasięgu** Standardy: LoRaWAN, Sigfox, DASH7, LTN (architektury, łącza radiowe, protokoły).

**Standardy sieci bliskiego zasięgu** Standardy: Bluetooth (Bluetooth Low Energy, Bluetooth 5). IEEE 802.15.4, Z-Wave, 6LoWPAN, Wireless M-Bus - przedstawienie architektur, łączy radiowych

**Standardy sieci WBAN** Standardy smartBAN, IEEE 802.15.6 (architektury, łącza radiowe, protokoły).

**Standardy sieci komórkowych w systemach internetu rzeczy.** Architektury rozwiązań. Koncepcja i realizacja systemu EC-GSM-IOT. Wersje standardu LTE LTE-M/NB-IoT (architektura, interfejsy radiowe, protokoły, zarządzanie zasobami radiowymi) **Sieci 5G** Założenia trybu mMTC w sieciach 5G. tryby pracy urządzeń . Wersje interfejsu NR do obsługi sieci IoT.

**Tendencje rozwojowe w sieciach radiowych IoT** Systemy kognitywne, Sieci samoorganizujące się. Systemy pozyskiwania energii przez węzły sieci.

### PROJEKT:

W ramach projektu zadaniem studentów będzie zaprojektowanie sieci radiowej systemu internetu rzeczy. Zakres zadania obejmie m.in. określenie wymagań stawianych systemowi (przepustowości poszczególnych łączy, dopuszczalne stopy błędów, wymagań energetycznych związanych z zasilaniem węzłów) wybór standardu sieci radiowej, określenie architektury systemu, specyfikacja interfejsu radiowego, określenie zasięgów transmisji w zadanym środowisku propagacyjnym,

**Egzamin: nie**

### Literatura i oprogramowanie:

1. S. Cirani, G. Ferrari, M. Picone, L. Veltri, Internet of Things: Architectures, Protocol and Standards, John Wiley & Sons, 2018
2. Q. F. Hassan, Internet of Things A to Z: Technologies and Applications
3. , John Wiley & Sons, 2018
4. S. Misra, S. Goswami, Network Routing: Fundamentals, Applications, and Emerging Technologies, John Wiley & Sons, 2017
5. H. Fattah, 5G LTE Narrowband Internet of Things (NB-IoT), CRC Press, 2018
6. C. Siu, IoT and Low-Power Wireless: Circuits, Architectures, and Techniques, CRC Press, 2018
7. standardy sieci omawianych podczas wykładu
8. strony: [www.3gpp.org](http://www.3gpp.org), [lora-alliance.org](http://lora-alliance.org), [www.bluetooth.com](http://www.bluetooth.com), [www.etsi.org](http://www.etsi.org)

### Wymiar godzinowy zajęć:

W	C	L	P
30	-	-	15

**Wymiar w jednostkach ECTS:** 3 pkt.

### **Przewidywane formy kształcenia i organizacja przedmiotu**

W ramach przedmiotu przewidywane są dwie formy kształcenia zajęcia audytoryjne oraz zajęcia projektowe. W trakcie wykładu prezentowane są zagadnienia dotyczące treści przedmiotu, cztery godziny wykładowe są poświęcone na organizację sprawdzianów (dwóch sprawdzianów oraz sprawdzianu poprawkowego).

W ramach przedmiotu studenci będą mieli za zadanie wykonać projekt systemu IoT. Zadanie to będzie realizowane w zespołach 2-3 osobowych. Przewidywana jest organizacja dodatkowych spotkań dla całej grupy, podczas których zostaną omówione przykładowe rozwiązania zadań projektowych. Ponadto zostanie wyznaczony termin konsultacji, z których mogą skorzystać poszczególne zespoły. W ramach spotkań zostaną także omówione wyniki oceny projektów.

### **Wiedza i umiejętności studenta przychodzącego na przedmiot**

Student uczestniczący w przedmiocie powinien posiadać podstawową znajomość zagadnień związanych z telekomunikacją (przedmiot WDT - Wprowadzenie do telekomunikacji) oraz technik kodowania i modulacji (TEKM Techniki kodowania i modulacji) oraz podstaw transmisji bezprzewodowej, właściwości kanału radiowego i techniki antenowej (TBA - Transmisja bezprzewodowa i anteny).

### **Efekty uczenia się:**

#### **Formy weryfikacji efektów kształcenia:**

<b>Zamierzone efekty</b>	<b>Forma zajęć</b>	<b>Sposób weryfikacji</b>	<b>Zgodność z EUK</b>
W01 Student zna architekturę sieci IoT, potrafi określić rolę urządzeń tworzących sieć	Wykład	2 sprawdziany audytoryjne (kolokwia),	K_W15
W02 Student zna techniki transmisji radiowej oraz techniki zarządzania zasobami radiowymi w sieciach IoT	Wykład, projekt	2 sprawdziany audytoryjne (kolokwia), Wykonany projekt sieci IoT	K_W09 K_W13
W03 Student zna podstawowe techniki lokalizacji węzłów w sieciach IoT	Wykład	sprawdzian audytoryjny (kolokwia),	K_W13
U01 Student potrafi porównać interfejsy radiowe systemów IoT pod względem przepustowości, zasięgu, wymaganych zasobów widmowych	Wykład, projekt	2 sprawdziany audytoryjne (kolokwia), Wykonany projekt sieci IoT	K_U12 K_U16
U02 Student potrafi dokonać wyboru standardu sieci radiowej do realizacji sieci IoT o założonym zastosowaniu	Projekt	Wykonany projekt sieci IoT	K_U01
U03 Student potrafi przeprowadzić podstawowe obliczenia bilansu łącza systemu IoT	Wykład, projekt	2 sprawdziany audytoryjne (kolokwia), Wykonany projekt sieci IoT	K_U14
K01 Student potrafi zorganizować pracę własną (przygotować się do kolokwiów, zaprojektować prosty system IoT)	Praca własna	2 sprawdziany audytoryjne (kolokwia), Wykonany projekt sieci IoT	K_K06

## **K) KONSTRUKCJA URZĄDZEŃ AUDIO WYSOKIEJ JAKOŚCI (KUA)**

### ***Construction of high quality audio equipment***

**Autor:** dr inż. Grzegorz Makarewicz

**Grupa przedmiotów:** obieralne specjalności TBM

**Status przedmiotu:** obieralny

**Minimalny numer semestru:** 4/5

**Wymagania wstępne, zalecane przedmioty poprzedzające:**

- Układy elektroniczne (ULET)
- Podstawy przetwarzania sygnałów (PSYG)
- Technika dźwiękowa (TD)

## Cel przedmiotu:

Głównym celem przedmiotu jest zapoznanie studentów podstawami konstrukcji urządzeń audio wysokiej jakości z uwzględnieniem aktualnych trendów projektowania i stosowanych technologii. Ze względu na wzrastające zainteresowanie zastosowaniem lamp elektronowych w urządzeniach audio wysokiej jakości dodatkowym celem jest przybliżenia studentom technologii lamp elektronowych i rozwiązań układowych w obszarze przetwarzania sygnałów audio.

## Treść kształcenia:

### WYKŁADY:

- Elementy składowe toru elektroakustycznego (2h)
  - Omówienie rozwoju urządzeń audio w kontekście historycznym (ważny aspekt praktyczny z uwagi na powrót do stosowania lamp elektronowych w odniesieniu do urządzeń audio).
  - Podział toru elektroakustycznego na elementy składowe.
  - Parametry i wskaźniki jakościowe urządzeń audio.
- Wzmacniacze elektroakustyczne (16h)
  - Konfiguracje układowe: wzmacniacze niesymetryczne, przeciwsobne, transformatorowe, OTL, mostkowe.
  - Klasy pracy analogowych i impulsowych wzmacniaczy audio.
  - Zagadnienie sprzężenia zwrotnego w kontekście wzmacniaczy audio.
  - Wzmacniacze półprzewodnikowe: stopnie napięciowe, wzmacniacze mocy, układy dopasowujące i korekcyjne, układy zabezpieczające.
  - Wzmacniacze lampowe: podstawy działania i podział lamp elektronowych, stopnie napięciowe, wzmacniacze mocy, lampowe układy dopasowujące i korekcyjne, inwertery fazy, układy zabezpieczające, transformatory międzystopniowe i głośnikowe.
  - Wzmacniacze hybrydowe: wzmacniacze lampowe z tranzystorowymi stopniami mocy (wyjściowymi), wzmacniacze tranzystorowe z lampowymi stopniami wyjściowymi.
  - Wzmacniacze impulsowe.
- Układy zasilające (1h)
  - Zasilanie półprzewodnikowych układów audio: zasilanie stopni napięciowych i stopni wyjściowych.
  - Zasilanie układów lampowych: zasilacze anodowe, źródła przedpięcia siatek sterujących, układy zasilania żarzenia.
- Podstawowe źródła sygnałów audio (2h)
  - Omówienie parametrów istotnych z punktu widzenia współpracy źródeł sygnału z torami wzmacniającymi.
  - Podstawy dotyczące zasady działania i najważniejsze parametry mikrofonów, gramofonów, odtwarzaczy płyt kompaktowych, przetworników C/A.
- Zespoły głośnikowe i słuchawki (3h)
- Elementy elektroniczne i mechaniczne urządzeń audio (1h)
  - Elementy bierne (rezystory, potencjometry, kondensatory).
  - Elementy czynne (diody tranzystory, lampy elektronowe).
  - Gniazda (wejściowe/sygnałowe i głośnikowe) i kable (montażowe, sygnałowe, głośnikowe, zasilające).
- Uruchamianie i pomiar parametrów urządzeń audio (3h)
- Analiza konstrukcji urządzeń audio wysokiej jakości na przykładzie praktycznych rozwiązań (1h)
- Rola subiektywnej oceny jakości urządzeń audio wykonanych z zastosowaniem różnych technologii – układy półprzewodnikowe analogowe i impulsowe, układy lampowe analogowe (0.5h)
- Współczesne trendy rozwojowe urządzeń audio wysokiej jakości z uwzględnieniem rosnącej roli urządzeń mobilnych (0.5h)

### ĆWICZENIA - ZAJĘCIA ZINTEGROWANE:

- Zapoznanie się z możliwościami i zasadami programu LTSpice przeznaczonego do symulacji analogowych i mieszanych układów elektronicznych (2h).
- Modele lamp elektronowych wykorzystywanych w urządzeniach audio i ich implementacja w programie LTSpice (1h)

- Badanie prostych układów półprzewodnikowych i lampowych oraz poznawanie możliwości programu LTSpice w zakresie analizy podstawowych parametrów oraz ich graficznej prezentacji (charakterystyki częstotliwościowe, przejściowe, zniekształcenia itd.) (2h)
- Tworzenie schematów ideowych układów audio (1h)
- Analiza układów audio na przykładzie konkretnych schematów ideowych (9h)

**Egzamin: nie**

**Literatura i oprogramowanie:**

Analog Devices, LTSpice, program do symulacji i wspomaganie projektowania analogowych i mieszanych układów elektronicznych  
 Boksa J., Analogowe układy elektroniczne, BTC, 2007  
 Carr J. J., Zasilacze urządzeń elektronicznych, BTC, 2004  
 Cordell B., Designing audio power amplifiers, McGraw-Hill, 2011  
 Gołaszewski J., Wzmacniacze audio, BTC, 2008  
 Jones M., Building valve amplifiers, 2-nd edition, Elsevier, 2014  
 Rozenblit B., Tubes and circuits, Transcendent Sound Inc., 2012  
 Self D., Audio power amplifier design handbook, 3-rd edition, Newnes, 2002,  
 Self D., Small signal audio design, Focal Press, 2010,  
 Serwis Internetowy , <http://www.trioda.com/index.php/pl/>  
 Tatuś A., Proste konstrukcje lampowe audio, BTC, 2010  
 Zawada A, Lampy elektronowe w aplikacjach audio, wyd. 2, BTC, 2011

<b>Wymiar godzinowy zajęć (w sem.):</b>	W	C	L	P
	30	15	-	-

**Wymiar w jednostkach ECTS: 3 pkt.**

**Przewidywane formy kształcenia i organizacja przedmiotu**

Podstawową formą kształcenia jest wykład prowadzony zgodnie z przedstawionym planem przedmiotu. Każde spotkanie w ciągu tygodnia obejmuje dwie godziny wykładu i jedną godzinę ćwiczeń (zajęć zintegrowanych). Sala wykładowa wyposażona jest w komputery z zainstalowanym oprogramowaniem LTSpice przeznaczonym do symulacji układów elektronicznych. W początkowej fazie wykładu zajęcia zintegrowane polegają na poznaniu podstawowych funkcji programu LTSpice i nabyciu przez studentów umiejętności tworzenia schematów ideowych oraz zasad przeprowadzania symulacji ich działania.

Od trzeciego wykładu ćwiczenia powiązane są bezpośrednio z tematyką wykładu. Po wykonaniu symulacji pokazujących zasady pracy lamp elektronowych (w ich podstawowych konfiguracjach układowych) studenci będą tworzyć schematy ideowe konkretnych układów półprzewodnikowych, lampowych i hybrydowych do przetwarzania sygnałów audio i wykonywać symulacje działania tych układów. W ramach symulacji będą analizować wpływ zmian konfiguracji oraz wartości poszczególnych elementów na parametry układów audio.

**Efekty uczenia się:**

**Formy weryfikacji efektów kształcenia:**

Zamierzone efekty	Forma zajęć	Sposób weryfikacji	Zgodność z EUK
W01: Posiada podbudowaną teoretycznie wiedzę w zakresie zasad działania analogowych elementów elektronicznych w zakresie przetwarzania sygnałów małej częstotliwości (audio)	Wykład Ćwiczenia	Kolokwium Samodzielne rozwiązywanie problemów w ramach zajęć zintegrowanych	K_W05
W02: Posiada podstawową wiedzę w zakresie teorii obwodów elektrycznych oraz teorii sygnałów i ich przetwarzania w układach elektroakustycznych.	Wykład Ćwiczenia	Kolokwium Samodzielne rozwiązywanie problemów w ramach zajęć zintegrowanych	K_W06
W03: Zna zasady działania przetworników elektroakustycznych. Posiada wiedzę dotyczącą parametrów mikrofonów i głośników.	Wykład	Kolokwium	K_W09

W04: Posiada podstawową wiedzę na temat cyklu życia urządzeń wchodzących w skład systemów audio wysokiej jakości.	Wykład	Kolokwium	K_W16
W05: Posiada podstawową wiedzę w zakresie trendów rozwojowych dotyczących systemów audio wysokiej jakości.	Wykład	Kolokwium	K_W17
U01: Potrafi wykorzystać symulacje komputerowe (oprogramowanie do symulacji układów SPICE) do analizy i projektowania układów do przetwarzania sygnałów małej częstotliwości (audio)	Ćwiczenia	Samodzielne rozwiązywanie problemów w ramach zajęć zintegrowanych	K_U06
K01: Potrafi pracować zarówno samodzielnie jak i w ramach małego zespołu.	Ćwiczenia	Rozwiązywanie problemów projektowych w ramach zajęć zintegrowanych.	K_K06

## **L) AKWIZYCJA I PRZETWARZANIE DANYCH MULTIMEDIALNYCH I RADIOWYCH Z WYKORZYSTANIEM LABVIEW (LABVT)**

### *Acquisition and processing of multimedia and radio data using LabVIEW*

#### **Zespół autorski:**

Prof. dr hab. inż. Wiesław Winiński, dr inż. Piotr Bobiński, dr inż. Robert Łukaszewski, dr inż. Sebastian Kozłowski

**Grupa przedmiotów:** Przedmioty obieralne specjalności TBM

**Status przedmiotu:** obieralny

**Minimalny numer semestru:** 5

#### **Cel przedmiotu:**

Głównym celem przedmiotu jest nabycie umiejętności w projektowaniu w środowisku LabVIEW oprogramowania systemów pomiarowych do akwizycji i przetwarzania danych multimedialnych i radiowych.

#### **Treść kształcenia**

##### WYKŁADY

Wprowadzenie do systemów pomiarowo-sterujących (definicje, klasyfikacja, podział funkcjonalny, konfiguracje, organizacja transmisji w SP, struktury, interfejsy pomiarowe, przyrządy wirtualne). (3h)

##### ĆWICZENIA - ZAJĘCIA ZINTEGROWANE:

Wprowadzenie do graficznego środowiska programowego LabVIEW (koncepcja programowania graficznego, okna środowiska, panel sterowania, graficzny kod źródłowy). Podstawowe obiekty wejściowe, wyjściowe i funkcyjne (kontrolki numeryczne, pętle, wykresy). (3h)

Podstawowe i zaawansowane funkcje analizy i przetwarzania danych multimedialnych. Projektowanie wirtualnego przyrządu pomiarowego w środowisku LabVIEW. (3h)

Komunikacja z rzeczywistymi przyrządami pomiarowymi i układami akwizycji danych. Akwizycja i przetwarzanie danych multimedialnych. (3h)

Przykłady zastosowań LabVIEW w technice radiowej: koncepcja radia programowalnego (SDR – Software Defined Radio), sterowanie nastawami fizycznych komponentów modułu SDR, przetwarzanie sygnałów po stronie nadawczej i odbiorczej systemu SDR. (3h)

##### LABORATORIA:

1. Wprowadzenie do graficznego środowiska programowego LabVIEW (3h)

Zapoznanie ze środowiskiem, realizacja prostego kalkulatora z wykorzystaniem obiektów graficznych i podstawowych działań matematycznych, operacje na prostych typach danych, operacje na tablicach,

pojęcie podprogramu i realizacja jednowymiarowego źródła danych w postaci podprogramu oraz przelicznika skali temperatury, realizacja programu z wykorzystaniem podprogramów symulującego działanie termometru i monitora temperatury.

2. Projektowanie paneli graficznych i przetwarzanie sygnałów pomiarowych w LabVIEW (3h)

Projekt prostego generatora sygnałowego oraz generatora szumu z wykorzystaniem. Projekt graficznego panelu (płyty czołowej) generatora. Operacje na obiektach graficznych panelu. Badanie postaci czasowej i częstotliwościowej sygnałów okresowych i losowych. Badanie możliwości odszumiania sygnałów użytecznych. Analiza właściwości czasowych sygnałów złożonych.

3. Oprogramowanie prostego systemu pomiarowo-sterującego z przetwarzaniem danych multimedialnych (generator, multimetr, DAQ, mikrofon, kamera) w środowisku LabVIEW (3h)

Zapoznanie z konfiguracją systemu i komunikacja z przyrządami za pomocą oprogramowania National Instruments Measurement & Automation Explorer (NI MAX). Projekt prostego oprogramowania sterującego pracą multimetru HP34401A oraz generatora funkcyjnego HP33210. Komunikacja z kartą akwizycji danych firmy Advantech, kamerą IP i kartą dźwiękową. Akwizycja i proste przetwarzanie danych z karty DAQ, kamery IP i karty dźwiękowej.

4. Oprogramowanie systemu radiowego (Software Defined Radio - SDR) w środowisku LabVIEW (3h)

Projekt oprogramowania analizatora widma. Sterowanie częstotliwością środkową odbiornika, wzmocnieniem i częstotliwością próbkowania (szerokość obserwowanego widma). Budowa prostego nadajnika (filtracja podniesionym kosinusem).

PROJEKT:

Oprogramowanie w LabVIEW systemów akwizycji i przetwarzania danych multimedialnych wykorzystujących karty przetworników A/C, przetworniki audio i video, SDR. (15h)

**Egzamin: nie**

**Literatura i oprogramowanie:**

1. W. Winięcki, Organizacja Komputerowych Systemów Pomiarowych, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1997.
2. D. Świsulski, Przykłady cyfrowego przetwarzania sygnałów w LabVIEW, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2014
3. M. Chruściel, LabVIEW w praktyce, Wydawnictwo BTC, 2008
4. T. P. Zieliński, Cyfrowe przetwarzanie sygnałów: od teorii do zastosowań, WKiŁ, 2005
5. D. Stranneby, Cyfrowe przetwarzanie sygnałów: metody, algorytmy, zastosowania, Wydawnictwo BTC, 2004
6. S. W. Smith, Cyfrowe przetwarzanie sygnałów. Praktyczny poradnik dla inżynierów i naukowców, Wydawnictwo BTC, 2007
7. Y. Yashchyshyn, S. Kozłowski, A. Łysiuk, "Nowe techniki transmisji radiowej. Laboratorium." , rozdział 1.1.

Oprogramowanie LabVIEW, wersje 2012, 2016, 2018

<b>Wymiar godzinowy zajęć:</b>	W	C	L	P	
	3	15	12	15	(w semestrze)

**Wymiar w jednostkach ECTS: 4 pkt.**

**Przewidywane formy kształcenia i organizacja przedmiotu**

W pierwszym tygodniu zajęć zaplanowano przedstawienie podstawowych informacji z dziedziny systemów pomiarowych na wykładzie audytoryjnym. W tygodniach od drugiego do dziesiątego zaplanowano cztery cykle zajęć zintegrowanych (ćwiczeń) i zajęć laboratoryjnych. Na ćwiczeniach prowadzonych w sali laboratoryjnej, podane zostaną podstawowe informacje z zakresu obsługi środowiska LabVIEW oraz dostępnych metod akwizycji i analizy danych w tym środowisku. Elementy prezentowane na wykładach będą od razu ćwiczone przez studentów na stanowiskach laboratoryjnych z wykorzystaniem komputerów i rzeczywistych urządzeń akwizycji danych. Po zaprezentowaniu każdej części materiału w postaci zajęć zintegrowanych studenci będą

wykorzystywali wiedzę do realizacji samodzielnych zadań na ćwiczeniach laboratoryjnych. Zajęcia w tygodniach od 11 do 15 zostały zaplanowane na rozwiązanie samodzielnych zadań projektowych.

Na całkowitą ocenę postępów każdego słuchacza przedmiotu wchodzić będzie ocena uzyskana ze sprawdzianu audytoryjnego, ocen z odbytych czterech ćwiczeń laboratoryjnych oraz oceny z realizacji projektu.

### **Wiedza i umiejętności studenta przychodzącego na przedmiot**

Podstawowa wiedza w zakresie zasad przeprowadzania i opracowywania wyników pomiarów. (PELP)

Wiedza w zakresie matematyki, obejmująca algebrę (w tym algebrę liczb zespolonych), analizę, rachunek prawdopodobieństwa i metody statystyczne, konieczne do opisu i analizy algorytmów przetwarzania sygnałów. (ALGT, ANL1T, ANL2T, PROBT, OIN)

Podstawowa wiedza z zakresu przetwarzania sygnałów, w szczególności analizy sygnałów jedno i wielowymiarowych oraz prostych systemów przetwarzania sygnałów w dziedzinie czasu i częstotliwości. (PSYG, SYST)

Podstawowa wiedza w zakresie technik multimedialnych (w tym: technik dźwiękowych i obrazowych, metod cyfrowego przetwarzania sygnałów fonicznych i wizyjnych). (PMUT)

Podstawowa wiedza w zakresie podstaw informatyki, w tym: systemów komputerowych, algorytmów i struktur danych, programowania strukturalnego i obiektowego. Umiejętność tworzenia oprogramowania w językach wysokiego poziomu wykorzystując podejście strukturalne, obiektowe i zdarzeniowe. (PRMT2, SYKT)

Podstawy radiokomunikacji w zakresie - znajomość pojęć takich jak konstelacja sygnału, symbol, prędkość bitowa i symbolowa, kanał radiowy. (TMKT, TBAT)

### **Efekty uczenia się :**

#### **Formy weryfikacji efektów kształcenia:**

<b>Zamierzone efekty</b>	<b>Forma zajęć</b>	<b>Sposób weryfikacji</b>	<b>Zgodność z EKK</b>
W01 Student posiada podstawową wiedzę z organizacji systemów pomiarowych	wykład	sprawdzian audytoryjny	K_W07
W02 Student posiada wiedzę w zakresie programowania w graficznym języku wysokiego poziomu „G”	ćwiczenia (zajęcia zintegrowane)	sprawdzian audytoryjny	K_W03
W03 Student posiada wiedzę w zakresie projektowania wirtualnych przyrządów pomiarowych w środowisku LabVIEW	ćwiczenia (zajęcia zintegrowane)	sprawdzian audytoryjny	K_W07
W04 Student posiada wiedzę w zakresie projektowania oprogramowania do akwizycji, analizy i przetwarzania danych multimedialnych w środowisku LabVIEW	ćwiczenia (zajęcia zintegrowane)	sprawdzian audytoryjny	K_W07, K_W15
W05 Student posiada podstawową wiedzę o możliwościach i ograniczeniach modułów SDR	ćwiczenia (zajęcia zintegrowane)	sprawdzian audytoryjny	K_W09
W06 Student posiada podstawową wiedzę w zakresie metod przetwarzania w systemach radiowych sygnałów w paśmie podstawowym.	ćwiczenia (zajęcia zintegrowane)	sprawdzian audytoryjny	K_W09
U01 Student posiada umiejętność projektowania wirtualnych przyrządów pomiarowych w środowisku LabVIEW	laboratoria i projekt	sprawozdanie z wykonanego ćwiczenia laboratoryjnego, sprawozdanie z wykonanego projektu	K_U09
U02 Student posiada umiejętność programowania systemów pomiarowych do akwizycji, analizy i przetwarzania danych multimedialnych w środowisku LabVIEW	laboratoria i projekt	sprawozdanie z wykonanego ćwiczenia laboratoryjnego, sprawozdanie z wykonanego projektu	K_U09, K_U11, K_U14, K_U18



U03 Student posiada umiejętność wykonania modelu laboratoryjnego systemu radiowego za pomocą środowiska programistycznego wysokiego poziomu.	laboratoria i projekt	sprawozdanie z wykonanego ćwiczenia laboratoryjnego, sprawozdanie z wykonanego projektu	K_U09, K_U11, K_U14, K_U18
K01 Student potrafi zorganizować pracę własną oraz brać udział w pracy małego zespołu.	laboratoria i projekt	sprawozdanie z wykonanego ćwiczenia laboratoryjnego, sprawozdanie z wykonanego projektu	K_K06

## **M) ŁĄCZNOŚĆ SATELITARNA (LS)**

### *Sattelite Communications*

**Autor:** dr inż. Krzysztof Kurek

#### **Cel przedmiotu:**

Celem przedmiotu jest zapoznanie studentów z zagadnieniami związanymi z działaniem systemów łączności satelitarnej, wykorzystujących satelity na orbicie wokółziemskiej (geostacjonarnej GEO, konstelacje satelitów na orbitach średnich MEO oraz niskich LEO) do realizacji transmisji programów telewizji satelitarnej w standardach DVB-S/DVB-S2 oraz dwukierunkowej transmisji danych dla użytkowników stacjonarnych i ruchomych (m.in. satelitarne systemy szerokopasmowe i systemy satelitarnej telefonii komórkowej).

#### **Skrócony opis przedmiotu**

W ramach przedmiotu omawiane są zagadnienia związane z architekturą, sposobem realizacji transmisji, typem realizowanych usług w satelitarnych systemach łączności oraz analizą bilansu mocy w łączu satelitarnym. W trakcie wykładu szczegółowo przedstawiona jest tematyka dotycząca:

- architektury systemu łączności satelitarnej oraz sposobem organizacji transmisji pomiędzy użytkownikami przez łącze satelitarne
- rodzajów i parametrów orbit satelitów
- warunków środowiskowych panujących w przestrzeni kosmicznej
- modulacji cyfrowych stosowanych w systemach satelitarnych
- struktury toru nadawczo-odbiorczego przekaźnika satelitarnego i terminali naziemnych
- transmisji radiodyfuzyjnej programów telewizji w standardzie DVB-S/DVB-S2
- szerokopasmowych systemów satelitarnej transmisji danych dla użytkowników stacjonarnych: sieci VSAT, dostęp do Internetu, systemy z satelitami na orbitach średnich MEO i niskich LEO
- satelitarnych systemów telefonii komórkowej i transmisji danych dla użytkowników ruchomych
- analizy bilansu mocy sygnału w łączu satelitarnym (moc sygnału, stosunek sygnał-szum, stosunek sygnał-zakłócenia) dla relacji Ziemia – satelita oraz satelita – Ziemia, tłumienie w atmosferze, tłumienie deszczu, uwzględnienie ruchu satelity na orbicie LEO i MEO względem Ziemi
- transmisji sygnałów z satelity w zastosowaniach niatelekomunikacyjnych: systemy nawigacji satelitarnej i satelitarne systemy obserwacji Ziemi

Ćwiczenia laboratoryjne obejmują następujące zagadnienia:

- odbiór sygnałów z satelitów na orbicie geostacjonarnej GEO
- odbiór sygnałów z satelitów na orbitach niskich LEO
- odbiór sygnałów nawigacji satelitarnej (GPS/Glonass/Galileo)
- modulacje cyfrowe w telewizji satelitarnej standardów DVB-S i DVB-S2
- analiza bilansu mocy sygnału w łączu satelitarnym – projekt obliczeniowy

#### **Literatura:**

1. R. J. Zieliński, „Satelitarne sieci teleinformatyczne”, PWN 2018
2. G. Maral, M. Bousquet, Z. Sun, „Satellite Communication Systems”, Wiley, New York 2020

3. B. Elber, „The Satellite Communication Ground Segment and Earth Station Handbook”, Artech House, 2014;
4. R. Acharya, „Satellite Signal Propagation, Impairments and Mitigation”, Elsevier, 2017;

**Wymiar godzinowy zajęć:**

W	C	L	P
30		15	-

**Wymiar w jednostkach ECTS:** 3 pkt.

## N) POMIARY W RADIOELEKTRONICE (POR)

### *Radioelectronic Measurements*

**Zespół autorski:** dr inż. Jacek Cichocki, mgr inż. Vitomir Djaja-Joško

**Grupa przedmiotów:** obieralne specjalności TBM

**Minimalny numer semestru:** 4

**Wymagania wstępne, zalecane przedmioty poprzedzające:** PELP2, TBAT

**Cel przedmiotu:**

Celem przedmiotu jest przygotowanie studentów do skutecznego rozwiązywania problemów występujących w praktyce pomiarów radioelektronicznych. Zakres przedmiotu obejmuje podstawowe zagadnienia pomiaru przebiegów i układów radioelektronicznych, zwłaszcza obiektów w.cz. Szczególną uwagę poświęcono metodom i technikom analizy widma przebiegów. Omawiane są również zagadnienia pomiaru właściwości nieliniowych i szumowych obiektów. Część laboratoryjna pozwala na praktyczne zapoznanie studentów z możliwościami, ograniczeniami i zasadami wykorzystywania współczesnej aparatury pomiarowej.

**Treść kształcenia:**

WYKŁADY:

**Wybrane zagadnienia podstawowe.** Podstawowe pojęcia metrologii. Modelowanie obiektów i torów pomiarowych. Skale. Szacowanie niepewności wyników pomiaru (3 godz.).

**Wybrane właściwości aparatury pomiarowej.** Generacja przebiegów testowych. Właściwości generatorów sygnałowych. Przetwarzanie przebiegów: przemiana częstotliwości, techniki próbkowania (w czasie rzeczywistym, swobodne, koherentne). Szumy i zniekształcenia nieliniowe w aparaturze pomiarowej. (4 godz.)

**Pomiary przebiegów.** Pomiary oscyloskopowe. Pomiary mocy przebiegów. Pomiary częstotliwości i czasu. Pomiary selektywne. Analizatory widma: heterodynowe i obliczające dyskretną transformatę Fouriera. Wektorowe analizatory sygnałów. Przykładowe zastosowania analizatorów sygnałów. (5-7 godz.)

**Pomiary układów radioelektronicznych** (3-5 godz.). Modele i warunki pomiaru jedno-i dwuwrotników. Pomiary immitancji. Pomiary transmitancji i grupowego czasu przejścia. Pomiary parametrów macierzy rozproszenia; wektorowe analizatory obwodów.

Miary i metody pomiaru właściwości nieliniowych i szumowych dwuwrotników.

**Wstęp do pomiarów urządzeń radiowych** (2 godz.). Podstawowe pomiary nadajników i odbiorników radiokomunikacyjnych.

**Tendencje rozwoju aparatury pomiarowej** (1 godz.).

ĆWICZENIA – ZAJĘCIA ZINTEGROWANE:

W ramach zajęć zintegrowanych (realizowanych wymiennie z wykładami w tych samych terminach) przewiduje się m.in.:

- a) ćwiczenia rachunkowe – wyznaczanie parametrów aparatury na podstawie wyników pomiarów,
- b) szacowanie niepewności wyników pomiarów,
- c) demonstrację metod i urządzeń pomiarowych, które nie mogą być wykorzystane w laboratorium (głównie ze względu na ograniczoną dostępność),
- d) zapoznanie z możliwościami programowania generatora i analizatora sygnałów;
- e) kolokwia.

LABORATORIA (po 3 godziny):

1. **Pomiary oscyloskopowe** - badania różnych trybów wyzwalania oscyloskopu i wyświetlania przebiegów, realizacja pomiarów podstawowych parametrów sygnałów, obserwacja wpływu sond na wyniki pomiarów, analiza sygnałów interfejsów cyfrowych z wykorzystaniem oscyloskopu MSO (*Mixed Signal Oscilloscope*).
2. **Analizatory widma** - podstawowe właściwości analizatorów FFT i analizatora heterodynowego – badanie wpływu parametrów analizy na odwzorowania sygnałów o widmach prążkowych i ciągłych oraz wyznaczanie wybranych parametrów charakteryzujących analizatory.
3. **Pomiary selektywne** - wykorzystanie analizatora widma i wektorowego analizatora sygnałów (współpracującego z rubidowym wzorcem częstotliwości) do: badań zmodulowanych sygnałów w.cz oraz do oceny właściwości generatorów sygnałowych i wzmacniaczy w.cz (również właściwości nieliniowych).
4. **Pomiary reflektometryczne** – wykorzystanie technik reflektometrii czasowej i częstotliwościowej do badania cech impedancyjnych obwodów, w tym – nieidealności torów transmisyjnych.
5. **Generacja i analiza sygnałów z modulacjami cyfrowymi** – wykorzystanie wektorowego generatora sygnałowego i wektorowego analizatora sygnałów, programowanie generowanych sygnałów (z wykorzystaniem programu *WinIQSIM*) i zadań pomiarowych (*VSA*).

**Egzamin: nie**

#### Literatura pomocnicza:

1. Basu A., Introduction to Microwave Measurements, CRC Press, 2015
2. Dunsmore J.P., Handbook of Microwave Component Measurements, J.Wiley&Sons, 2012
3. Antoszkiewicz K., Generacja i synteza częstotliwości, Ofic. Wyd. PW, 2015
4. Rauscher Ch., Fundamentals of Spectrum Analysis (9<sup>th</sup> ed.), Rohde&Schwarz, 2016
5. Hiebel M., Fundamentals of Vector Network Analysis (7<sup>th</sup> ed.), Rohde&Schwarz, 2016
6. Scott A.W., Frobenius M., RF Measurements for Cellular Phones and Wireless Data Systems, J.Wiley&Sons, 2013
7. Carvalho N.B., Schreurs D., Microwave and Wireless Measurement Techniques, Cambridge Univ. Pres, 2013
8. Golio M., Golio J., RF and Microwave Circuits, Measurements, and Modeling, Taylor & Francis, 2010
9. Kamieniecki A., Współczesny oscyloskop. Budowa i pomiary, Wyd. Btc, 2009
10. Tumański S., Technika pomiarowa, WNT, 2007
11. Cichocki J., Jaszczyszyn E., Kazubski W., Kurek K., Tajchert M., Podstawy radiokomunikacji – laboratorium, Ofic. Wyd. PW, 2004
12. Dusza J., Gortat G., Leśniewski A., *Podstawy miernictwa*, Oficyna Wydawnicza PW, Wyd. 3, 2007
13. Galwas. B., *Miernictwo mikrofalowe*, WKŁ 1985,

<b>Wymiar godzinowy zajęć:</b>	W	C	L	P
	20	10	15	-

**Wymiar w jednostkach ECTS:** 4 pkt.

#### **Przewidywane formy kształcenia i organizacja przedmiotu**

*Tradycyjne wykłady (ale z interakcją słuchaczy) uzupełnione filmami pokazującymi zastosowania współczesnego sprzętu pomiarowego. Zajęcia zintegrowane obejmujące: ćwiczenia rachunkowe, demonstracje unikatowej aparatury pomiarowej oraz wprowadzenie do samodzielnej realizacji ćwiczenia laboratoryjnego „Generacja i analiza....”.*

*Wykłady i zajęcia zintegrowane w tym samym „oknie czasowym” (w poszczególnych tygodniach – albo 2 godziny wykładu, albo – zajęć zintegrowanych). Ćwiczenia laboratoryjne 3-godzinne w zespołach 2..3-osobowych, wyniki omawiane na bieżąco przez prowadzącego, sprawozdania uzupełniane po zakończeniu ćwiczenia.*

#### **Wiedza i umiejętności studenta przychodzącego na przedmiot**

*Wymagane przygotowanie z zakresu podstaw pomiarów (PELP2), podstaw sygnałów i modulacji (TKOM). Zalecane umiejętności z układów elektronicznych (ULET) i równoległe studiowanie przedmiotu TMT.*

## Efekty uczenia się:

### Formy weryfikacji efektów kształcenia:

Zamierzone efekty	Forma zajęć	Sposób weryfikacji	Zgodność z EKK
W01: Ma wiedzę na temat zasad przeprowadzania i opracowywania wyników pomiarów przebiegów i układów radioelektronicznych, rodzajów niepewności pomiarowych i sposobów ich szacowania.	wykład, zajęcia zintegrowane	2 sprawdziany audytoryjne (kolokwia), obecność na zajęciach zintegrowanych	K_W07
W02: Ma wiedzę dotyczącą zasad działania i właściwości urządzeń pomiarowych stosowanych w pomiarach radioelektronicznych, zna tendencje rozwojowe aparatury pomiarowej	wykład, laboratoria zajęcia zintegrowane	2 sprawdziany audytoryjne (kolokwia), obecność na zajęciach zintegrowanych, kolokwia wstępne do laboratoriów, sprawozdania z ćwiczeń laboratoryjnych	K_W07 K_W17
U01: Potrafi ocenić przydatność metod i urządzeń umożliwiającymi pomiar podstawowych wielkości charakteryzujących sygnały i urządzenia wykorzystywane w technikach radiowych	wykład, laboratoria zajęcia zintegrowane	2 sprawdziany audytoryjne (kolokwia), kolokwia wstępne do laboratoriów, sprawozdania z ćwiczeń laboratoryjnych	K_U14
U02: Potrafi sprawnie posługiwać się aparaturą pomiarową wykorzystywaną w pomiarach sygnałów i urządzeń radiowych, przede wszystkim: analizatorami widma, analizatorami obwodów i oscyloskopami, potrafi właściwie dobrać warunki pomiarów i unikać błędów wynikających z ograniczeń aparatury pomiarowej	laboratoria	kolokwia wstępne do laboratoriów, sprawozdania z ćwiczeń laboratoryjnych	K_U07 K_U14
U03: Jest przygotowany do skutecznego rozwiązywania problemów występujących w praktyce pomiarów radioelektronicznych, sprawnie posługuje się skalami decybelowymi, potrafi zweryfikować poprawność wyniku, potrafi interpretować uzyskiwane wyniki	laboratoria zajęcia zintegrowane	obecność na zajęciach zintegrowanych, kolokwia wstępne do laboratoriów, sprawozdania z ćwiczeń laboratoryjnych	K_U07 K_U14
K01: Potrafi pracować w grupie, przyjmując w niej różne role; potrafi określić priorytety służące realizacji zadań pomiarowych		ocena udziału w ćwiczeniach laboratoryjnych	K_K06

## O) PODSTAWY RADIOLOKACJI I RADIONAWIGACJI (PRIR)

### *Basics of Radiolocation and Radionavigation*

**Autor:** dr inż.. Daniel Gryglewski

**Grupa przedmiotów:** Obieralne TBM

**Minimalny numer semestru:** 5

**Wymagania wstępne, zalecane przedmioty poprzedzające:** POFAT, ULET, TMT

**Cel przedmiotu:**

*Celem przedmiotu jest zaznajomienie studentów z podstawowymi zagadnieniami współczesnej radiolokacji i radionawigacji ilustrowane odpowiednimi schematami funkcjonalnymi standardowych urządzeń radiolokacyjnych i radionawigacyjnych oraz licznymi przykładami obliczeniowymi. Przedstawione zostaną rozwiązania konstrukcyjne omawianych urządzeń lub ich najbardziej istotnych bloków funkcjonalnych.*

**Treść kształcenia:**

WYKŁADY:

- Wstęp: Omówienie pojęć radiolokacja, radionawigacja, radiolokacja pierwotna, wtórna i pasywna (rozpoznanie radioelektroniczne). Zjawiska elektrodynamiczne wykorzystywane w radiolokacji do pomiaru odległości i prędkości przemieszczających się obiektów.

- Problem jednoznaczności pomiaru odległości metodą impulsową. Równanie zasięgu systemu radiolokacji pierwotnej. Podstawowe parametry eksploatacyjne impulsowej stacji radiolokacyjnej i ich wpływ na zdolność rozdzielczą stacji w odległości i rozdzielczość kątową
- Równanie zasięgu dla systemu radiolokacji wtórnej. Urządzenie odzewowe " swój - cudzy " (IFF) jako przykład systemu radiolokacji wtórnej. Ograniczenia zasięgów wynikające z krzywizny Ziemi, tłumienia troposfery i refrakcji atmosferycznej
- Metody zwiększania zasięgu stacji radiolokacyjnej poprzez poprawę stosunku sygnału do szumu w układzie odbiornika. Odbiór bezpośredni . Istota odbioru addytywnego. Odbiór korelacyjny - wyznaczenie transmitancji filtra dopasowanego do sygnału radiolokacyjnego
- Filtry dopasowane do wybranych, standardowych sygnałów wykorzystywanych we współczesnej radiolokacji - zagadnienie syntezy. Standardowe konfiguracje odbiorników radiolokacyjnych przystosowanych do odbioru zdeterminowanych, koherentnych sygnałów radiolokacyjnych.
- Sygnał sondujący o liniowo zmieniającej się częstotliwości - metody generacji i kompresji. Filtr dopasowany do tego sygnału. Sygnały z kodową modulacją fazy. Odbiorniki przystosowane do odbioru koherentnych i niekoherentnych sygnałów wielkiej częstotliwości.
- Metody eliminacji odbić fal elektromagnetycznych od obiektów stałych i wolno się przemieszczających. Zasady działania systemów tłumienia ech stałych (TES). Podstawowe metody i urządzenia pasywnego i aktywnego przeciwdziałania radioelektronicznego.
- Metody przeszukiwania trójwymiarowej przestrzeni za pomocą stacji radiolokacyjnej. Radary monoimpulsowe. Obserwacja boczna za pomocą radaru umieszczonego na pokładzie samolotu - zagadnienie tworzenia syntetycznej apertury. Systemy śledzenia i naprowadzania.
- Podstawowe rodzaje anten mikrofalowych wykorzystywanych we współczesnej radiolokacji i radionawigacji: anteny reflektorowe, jedno i dwuwymiarowe szyki antenowe
- Radionamierniki i ich zastosowania w naziemnych systemach radionawigacyjnych. Zasady pracy interferencyjnych i impulsowych, hiperbolicznych systemów radionawigacyjnych (2h).
- Naziemne systemy radionawigacyjne: Decca Navigator, Omega, Loran C. Satelitarne, stadiometryczne i dopplerowskie systemy nawigacyjne: Transit , Czikaada, GPS, Glonass.
- Zasada pracy odbiorników radionawigacyjnych systemu Navstar - GPS. Prezentacja pomiaru nawigacyjnego za pomocą odbiornika GPS (wykorzystanie telefonów komórkowych studentów).
- Zasada pracy układów RFID. Jest to technika która wykorzystuje fale radiowe do przesyłania danych oraz zasilania elektronicznego układu (etykieta RFID) stanowiącego etykietę obiektu przez czytnik, w celu identyfikacji obiektu.

#### ĆWICZENIA - ZAJĘCIA ZINTEGROWANE:

Przewiduje się zajęcia prowadzone w grupach (zamiennie z wykładami ):

- uzupełniające tematykę wykładów i kształtujące umiejętności projektowe
- umożliwiające praktyczne (eksperymentalne i symulacyjne) zademonstrowanie wybranych właściwości omawianych układów.

#### PROJEKT:

W ramach przedmiotu studenci zobowiązani są do samodzielnego rozwiązania (opracowania) 9 mini-zadań projektowych odpowiadającym istotnym zagadnieniom przedstawianym na wykładzie i ćwiczeniach. Rozwiązania wszystkich zadań powinny być przedstawione w formie pisemnej, a ich zaliczenie następuje po dyskusji przeprowadzanej podczas obowiązkowej, ustnej prezentacji. Wybrane zadania projektowe wymagały będą przeprowadzenia symulacji działania wybranych układów stosowanych w technice radiolokacyjnej i nawigacyjnej za pomocą oprogramowania ADS, LTSpice, Matlab lub Matcad.

#### Egzamin: NIE

#### Literatura i oprogramowanie:

**Oprogramowanie** dostępne w wersji „trial” na stronie producenta lub udostępnione w ramach licencji dydaktycznej dla PW:

ADS – [www.keysight.com](http://www.keysight.com)

Mathcad - [www.ptc.com/en/products/mathcad/free-trial](http://www.ptc.com/en/products/mathcad/free-trial)

Matlab - [www.mathworks.com/products/matlab.html](http://www.mathworks.com/products/matlab.html)

## Literatura:

- Rosłonec S., „Podstawy radiolokacji i nawigacji”, WAT 2017
- S Bem D.J., „Systemy telekomunikacyjne, czesc III – radiolokacja i radionawigacja” Wydawnictwa Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1991
- Carpentier M.H., „Principles of modern radar systems”, Artech House Inc., Dedham (MA), 1988
- Holejko K., „Precyzyjne, elektroniczne pomiary odległości i kątów”, WNT, Warszawa 1987
- Januszewski J., „Systemy satelitarne GPS, Galileo i inne”, PWN Warszawa, 2010
- Levanon N., and Eli Mozeson, “Radar signals”, John Wiley and Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2004
- Rosłonec S., „Podstawy techniki antenowej”, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2006
- Skolnik M.L., “Introduction to radar systems”, third edition, McGraw-Hill, New York 2001
- Stevens M.C., “Secondary surveillance radar”, Artech House, Inc., Boston (MA) 1988
- Szymonski M., „Nawigacyjne wykorzystanie sztucznych satelitów Ziemi”, WKł Warszawa 1989

<b>Wymiar godzinowy zajęć:</b>	W	C	L	P
<i>Należy podać liczbę godzin w semestrze, np.:</i>	20	10		15

**Wymiar w jednostkach ECTS:** 4 pkt.

### Przewidywane formy kształcenia i organizacja przedmiotu

*Zajęcia są prowadzone w formie: wykładów audytoryjnych, ćwiczeń -zajęć zintegrowanych i projektów. Ćwiczenia mają za zadanie z jednej strony kształtowanie umiejętności obliczeniowych, z drugiej zaś zademonstrowanie ciekawych przypadków.*

#### Organizacja:

- wykład prowadzony w wymiarze 2 godz. tygodniowo (2h\*10), zamiennie z ćwiczeniami
- ćwiczenia 2 godz. tygodniowo (2h\*5, zamiennie z wykładami) po omówieniu wybranej części materiału, będą polegały na wspólnym wykonaniu symulacji działania wybranych układów lub systemów.
- zajęcia projektowe: w ramach modułu przewidziano realizację przez studentów 9 mini projektów odpowiadających bezpośrednio treściom przedstawianym na wykładzie. Do wykonania wybranych zadań, niezbędne będzie wykorzystanie oprogramowanie typu „cad” do symulacji działania układów i systemów elektronicznych np. „ADS”, „MWO”, lub obliczeniowych MATLAB, MADCAD, których wersje „trial” dostępne są na stronie producenta lub będą dostępne dla studentów podczas realizacji przedmiotu. .
- student może ponadto uczestniczyć w prowadzonych co tydzień w wymiarze 2 godz. konsultacjach.

### Efekty uczenia się:

#### Formy weryfikacji efektów kształcenia:

Zamierzone efekty	Forma zajęć	Sposób weryfikacji	Zgodność z EUK
W01. Student zna, strukturę zasadę działania, radarów pierwotnego, wtórnego, mono i bistatycznego, monoimpulsowego. Zna podstawowe metody pelengacji obiektów nadających sygnał radiowy i metody wykorzystywane w RFID	Wykład (dyskusja, przykłady) ćwiczenia + konsultacje	kolokwium1 kolokwium2	K_W09 K_W13
W02. Student, który zaliczył przedmiot zna zasadę działania naziemnych i satelitarnych systemów nawigacyjnych	Wykład (dyskusja, przykłady) ćwiczenia + konsultacje	kolokwium2	K_W09 K_W13
U01. Student, który zaliczył przedmiot potrafi wyznaczyć lub przewidzieć, ograniczenia systemów radarowych i pelengacyjnych, t.j. zasięg, wpływ Troposfery np. w warunkach podbiegunowych, występowanie prędkości ślepych, cutter, istnienie ech stałych	Wykład (dyskusja, przykłady) zadania przedkolokwialne projekty konsultacje	kolokwium1 kolokwoim2 projekty	KU_02 KU_05 KU_13

U02. Student, który zaliczył przedmiot potrafi zaproponować i zaprojektować strukturę układów do poprawy zasięgu (np. poprzez zastosowanie dopasowanej filtracji do sygnału sondującego), eliminacji ech stałych.	Wykład (dyskusja, przykłady) zadania przed kolokwialne projekty konsultacje	kolokwium1 kolokwoim2 projekty	KU_02 KU_05 KU-18
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------	-------------------------

## P) PODSTAWY SYSTEMÓW KOMÓRKOWYCH (PSK)

### *Cellular Systems Fundamentals*

**Autor:** dr inż. Jerzy Kołakowski

**Grupa przedmiotów:** obieralne specjalności TBM

**Poziom przedmiotu:** podstawowy

**Cel przedmiotu:**

Celem przedmiotu jest zapoznanie studentów z cyfrowymi systemami komórkowymi. Treść wykładu obejmuje: metody realizacji transmisji informacji, architekturę systemów oraz ich funkcjonowanie. Szczególną uwagę zwrócono na realizację interfejsu radiowego oraz zarządzanie zasobami radiowymi. Prezentowane treści są ilustrowane rozwiązaniami zastosowanymi w systemach GSM, GPRS, UMTS, HSPA i LTE. Kończącą część wykładu poświęcono tendencjom rozwojowym systemów komórkowych a zwłaszcza systemom 5G.

Część laboratoryjna pozwala na praktyczne zapoznanie studentów z interfejsami radiowymi systemów TDMA, CDMA i OFDM, podstawowymi procedurami, właściwościami stacji ruchomych systemu GSM oraz metodami badań sygnałów i urządzeń.

**Treść kształcenia:**

WYKŁADY:

**Wprowadzenie.** Geneza i ogólna charakterystyka cyfrowych systemów komórkowych. Generacje systemów komórkowych.

**Usługi w sieciach komórkowych** Teleusługi, Usługi przenoszenia. Usługi multimedialne Realizacja usług.

**Architektury sieci komórkowych** Podsystemy sieci komórkowej. Podstawowe urządzenia sieciowe. Architektury stacji ruchomej. Domeny komutacji łączy i komutacji pakietów. Podstawowa architektura sieci GSM/GPRS. Architektura sieci UMTS/HSPA. Architektura sieci LTE. Podział sieci na obszary. Identyfikacja stacji ruchomej i terminala. Lokalizacja stacji ruchomej.

**Interfejsy radiowe sieci komórkowych** Interfejsy GPRS/GSM (wielodostęp TDMA, kodowanie, modulacja, struktura kanałów). Interfejsy radiowe UMTS/HSPA (wielodostęp CDMA, rozpraszanie, skramblowanie, kodowanie, modulacja, struktura kanałów). Interfejs radiowy LTE (modulacja OFDM, struktura kanałów). Transmisja MIMO. Pomiary wykonywane przez stacje ruchome i bazowe.

**Zarządzanie zasobami radiowymi** Procedury dostępu. Przywołanie stacji ruchomej. Przenoszenie połączeń (przeniesienia twarde i miękkie).

**Podstawowe procedury** Wybór sieci i komórki przez stację ruchomą. Procedura rejestracji. Procedury dołączania i odłączania od sieci. Zabezpieczenia w sieciach komórkowych (uwierzytelnianie, szyfrowanie, kontrola integralności sygnalizacji).

**Transmisja w domenie komutacji łączy** Kodowanie mowy. Kodeki wykorzystywane w sieciach komórkowych. Procedury zestawiania i zwalniania połączeń.

**Transmisja w domenie komutacji pakietów** Dołączenie do sieci pakietowej. Profile QoS. Aktywacja kontekstów PDP. Techniki adaptacji łącza, HARQ i ARQ. Realizacja transmisji pakietowej.

**Tendencje rozwojowe w sieciach komórkowych.** Ewolucja systemów. Systemy 5G.

LABORATORIA: (5 z 6)

- **Generacja i analiza sygnałów TDMA** (wytwarzanie testowych sygnałów systemu GSM z możliwością wprowadzania odstępstw od wymagań standardu; analiza sygnałów w dziedzinie częstotliwości i czasu).

- **Generacja i analiza sygnałów CDMA** (obserwacja i pomiary szerokopasmowego sygnału CDMA, wykorzystanie generatora sygnałowego do generacji złożonych sygnałów CDMA, wykorzystanie wektorowego analizatora sygnałów do oceny jakości sygnału, zapoznanie z metodami pomiarów sygnałów z modulacjami cyfrowymi i stosowanymi miarami zniekształceń.)
- **Generacja i analiza sygnałów OFDM** (obserwacja i pomiary szerokopasmowego sygnału OFDM, wykorzystanie wektorowego analizatora sygnałów do oceny jakości sygnału, zapoznanie z metodami pomiarów sygnałów z modulacjami cyfrowymi i stosowanymi miarami zniekształceń.)
- **Badania stacji ruchomej** (badania za pomocą specjalizowanego testera radiokomunikacyjnego i generatorów sygnałów zakłócających z wykorzystaniem specjalizowanego oprogramowania testowego).
- **Procedury w sieciach komórkowych** (monitorowanie sygnałów stacji bazowych, analiza procedur rejestracji i zestawiania połączeń rozmównych, analiza procedur związanych z realizacją połączeń w domenie komutacji pakietów. W ćwiczeniu jest wykorzystywane oprogramowanie SwissQual wraz z systemem pomiarowym Diversity).
- **Wizyta techniczna w centrum zarządzania siecią komórkową** (zapoznanie z działaniem centrum zarządzania siecią komórkową).

**Egzamin: nie**

**Literatura i oprogramowanie:**

1. S. Haykin, "Systemy telekomunikacyjne, tom I i II", WKiŁ, 1998
2. K. Wesołowski, „Systemy radiokomunikacji ruchomej”, WKiŁ, 2003
3. T.Halonen, J.Romero, J.Merero (ed.) „GSM, GPRS and EDGE Performance - Evolution Towards 3G/UMTS”, John Wiley & Sons, 2003
4. H.Holma, A.Toskala (ed.) "WCDMA for UMTS", John Wiley & Sons, 2000,2006
5. J. Kołakowski, J. Cichocki, „UMTS – system telefonii komórkowej trzeciej generacji”, WKiŁ 2003,2007.
6. H.Holma, A.Toskala (ed.) „LTE for UMTS: Evolution to LTE-Advanced”, John Wiley & Sons, 2011
7. E. Dahlman, 4G, LTE Evolution and the Road to 5G, Elsevier Science Publishing Co Inc, 2016
8. strony: www.5gamericas.org, www.3gpp.org

**Wymiar godzinowy zajęć:**

W	C	L	P	Z
30	-	15	-	-

**Wymiar w jednostkach ECTS:** 4 pkt.

**Przewidywane formy kształcenia i organizacja przedmiotu**

W ramach przedmiotu przewidywane są dwie formy kształcenia zajęcia audytoryjne oraz ćwiczenia laboratoryjne. W trakcie wykładu prezentowane są zagadnienia dotyczące treści przedmiotu, cztery godziny wykładowe są poświęcone na organizację sprawdzianów (dwóch sprawdzianów oraz sprawdzianu poprawkowego).

Oferowane zajęcia laboratoryjne składają się z 4 ćwiczeń realizowanych w zespołach trzyosobowych. W jednym terminie w ćwiczeniach biorą udział cztery grupy studenckie, ze względu na ograniczenia w dostępie do wyspecjalizowanej aparatury i oprogramowania tematyka ćwiczeń jest różna. Podczas ćwiczenia jeden nauczyciel akademicki nadzoruje pracę dwóch trzyosobowych zespołów. Ocenie podlegają wyniki sprawdzianów audytoryjnych, kilkunastominutowych kolokwium poprzedzających ćwiczenia, aktywność studentów podczas zajęć laboratoryjnych oraz sprawozdania z ćwiczeń.

W ramach wizyty technicznej studenci mają okazję do zapoznania się z zakresem prac prowadzonych w laboratoriach operatora sieci komórkowej oraz w centrum zarządzania siecią.

**Wiedza i umiejętności studenta przychodzącego na przedmiot**

Student uczestniczący w przedmiocie powinien posiadać podstawową znajomość zagadnień związanych z ogólnie pojętą telekomunikacją (przedmiot WDT - Wprowadzenie do telekomunikacji) oraz technik kodowania i modulacji (TMKT) oraz podstaw transmisji bezprzewodowej, właściwości kanału radiowego i techniki antenowej ( TBAT- Transmisja bezprzewodowa i anteny).



Realizacja ćwiczeń laboratoryjnych wymaga posiadania podstawowych umiejętności w zakresie obsługi podstawowej aparatury pomiarowej (POR - Pomiar radioelektroniczny, TMT - Technika mikrofalowa w telekomunikacji) oraz obsługi aplikacji w środowisku Windows (podczas ćwiczeń jest wykorzystywane specjalizowane oprogramowanie do monitorowania sieci komórkowych).

#### Efekty uczenia się:

##### Formy weryfikacji efektów kształcenia:

Zamierzone efekty	Forma zajęć	Sposób weryfikacji	Zgodność z EUK
W01 Student zna architektury sieci komórkowych 2 i 3 generacji, potrafi określić rolę urządzeń tworzących sieć	Wykład	2 sprawdziany audytoryjne (kolokwia), 5 krótkich sprawdzianów poprzedzających ćwiczenia laboratoryjne	K_W15
W02 Student zna techniki transmisji radiowej stosowane w sieciach 2G, 3G i 4G	Wykład, ćwiczenia laboratoryjne	2 sprawdziany audytoryjne (kolokwia), 5 krótkich sprawdzianów poprzedzających ćwiczenia laboratoryjne	K_W09 K_W13
W03 Student zna podstawowe procedury realizowane w sieciach komórkowych (związane z rejestracją, zarządzaniem zasobami radiowymi, realizacją transmisji w domenach pakietowej i z komutacją łączy)	Wykład, ćwiczenia laboratoryjne	2 sprawdziany audytoryjne (kolokwia), 5 krótkich sprawdzianów poprzedzających ćwiczenia laboratoryjne	K_W15
U01 Student potrafi porównać sieci komórkowe poszczególnych generacji pod względem przepustowości, opóźnień, wymaganych zasobów radiowych	Wykład, ćwiczenia laboratoryjne	2 sprawdziany audytoryjne (kolokwia), 5 krótkich sprawdzianów poprzedzających ćwiczenia laboratoryjne	K_U12 K_U16
U02 Student potrafi przeprowadzić podstawowe pomiary sygnałów współczesnych systemów komórkowych z wykorzystaniem analizatora widma i analizatora sygnałów	Ćwiczenia laboratoryjne	Ocena aktywności podczas ćwiczenia, sprawozdanie	K_U14
K01 Student potrafi zorganizować pracę własną (przygotować się do kolokwium, ćwiczeń laboratoryjnych, opracować sprawozdanie)	Praca własna	2 sprawdziany audytoryjne (kolokwia), 5 krótkich sprawdzianów poprzedzających ćwiczenia laboratoryjne	K_K06

## R) SYMULACJA UKŁADÓW RADIOELEKTRONICZNYCH (SUREL)

### *Simulation of Radioelectric Circuits*

**Autorzy:** dr inż.. Daniel Gryglewski

**dr hab. inż. Paweł Kopyt**

**Grupa przedmiotów:** Obieralne specjalności TBM

**Minimalny numer semestru:** 5

**Wymagania wstępne, zalecane przedmioty poprzedzające:** POFAT, ULET, TMT

#### Cel przedmiotu:

*Celem przedmiotu jest zaznajomienie studentów z metodami symulacji układów elektronicznych i struktur elektromagnetycznych stosowanych w Radioelektronice. Badania symulacyjne stanowią obecnie podstawową metodę analizy i syntezy układów i struktur. Symulacja jest także istotną pomocą w zrozumieniu ich działania. Pozwalają one na przeprowadzanie eksperymentów dotyczących sprawdzenia poprawności i efektywności działania układów elektronicznych w "rzeczywistości wirtualnej", zanim powstanie ostateczna wersja działającego układu. Studenci powinni umieć samodzielnie wybrać odpowiednią metodę symulacji obwodów i umieć skorzystać z profesjonalnych pakietów symulacyjnych takich jak np. SPICE, ADS, QUICKWAVE, SONNET.*

Zdobyta wiedza w zakresie symulacji obwodów i struktur powinna umożliwić studentom wykonywanie projektów w ramach innych przedmiotów radioelektronicznych oraz prac inżynierskich i magisterskich.

### Treść kształcenia:

#### WYKŁADY:

- Wstęp: Cel stosowania symulacji; Obszary, zastosowania, rodzaje i ograniczenia symulacyjnych metod analizy i syntezy obwodów i struktur radioelektronicznych; Podstawowe programy do symulacji i syntezy, rys historyczny: SPICE, TOUCHSTONE, LIBRA, MICROWAVE OFFICE, ADS (Advanced Design System); (2 godz.)
- Symulowanie, modelowanie i optymalizacja – cele, obszary zastosowań i możliwe ograniczenia. Przegląd podstawowego oprogramowania z zakresu symulacji układów radioelektronicznych (SPICE, TOUCHSTONE, LIBRA, MICROWAVE OFFICE, ADS). Obsługa wybranych symulatorów z poziomu użytkownika.
- Opis elementów elektronicznych stosowany w symulatorach obwodowych.
- Numeryczna analiza DC – stałoprądowe modele elementów aktywnych.
- Małosygnałowe modelowanie diod i tranzystorów powszechnie wykorzystywanych w układach radioelektronicznych.
- Symulowanie obwodów w stanie nieustalonym – analiza chwilowa
- Projektowanie wybranych układów przy pomocy (w środowisku) symulatorów obwodowych takich jak SPICE, ADS, MWO.
- Wielowymiarowe symulatory z zakresu modelowania elektromagnetycznego – zakres stosowania w syntezie układów radioelektronicznych;
- Metody opisu typowych problemów elektromagnetycznych w radioelektronice za pomocą symulatorów falowych.

#### ĆWICZENIA - ZAJĘCIA ZINTEGROWANE:

Przewiduje się zajęcia prowadzone w grupach (wymienne z wykładami):

- uzupełniające tematykę wykładów i kształtujące umiejętności projektowe
- umożliwiające praktyczne wykonanie symulacji i zademonstrowanie wybranych właściwości omawianych układów.

#### PROJEKT:

Dla ugruntowania wiedzy nabytej w trakcie wykładów przewidziano dla każdego ze studentów 2 projekty dotyczące zagadnień związanych z modelowaniem wybranych obwodów i struktur radioelektronicznych. Zakończenie projektu ma miejsce podczas spotkania z prowadzącym, na którym studenci prezentują raport pisemny zawierający wyniki przeprowadzonych symulacji.

Zadanie 1: Przeprowadzenie symulacji i ewentualnej optymalizacji zadanego obwodu w symulatorze obwodowym SPICE lub ADS

Zadanie 2: Przeprowadzenie symulacji wybranej struktury radioelektronicznej za pomocą oprogramowania QUICKWAVE.

#### Egzamin: NIE

#### Literatura i oprogramowanie:

**Oprogramowanie** dostępne w wersji „trial” na stronie producenta lub udostępnione w ramach licencji dydaktycznej dla PW:

- LTSPICE – [www.linear.com](http://www.linear.com)
- ADS – [www.keysight.com](http://www.keysight.com)
- QUICKWAVE – [www.qwed.pl](http://www.qwed.pl).

#### Literatura:

1. J. Porębski, P. Korohoda. „SPICE Program Analizy Nieliniowej Układów Elektronicznych” USE, WNT, Warszawa 1992
2. Praca zbiorowa pod. Red. M. Matuszyka. „ PSpice Pakiet DESIGN Center”, EDU-MIKOM, Warszawa 1996
3. LTSPICE guide, LTSPICE help - strona internetowa - [www.linear.com](http://www.linear.com)
4. ADS MANUAL - strona internetowa - [www.keysight.com](http://www.keysight.com)
6. 7. T. Morawski, W. Gwarek, Pola i Fale elektromagnetyczne - WNT, Warszawa 1998

<b>Wymiar godzinowy zajęć:</b>	W	C	L	P
<i>Należy podać liczbę godzin w semestrze, np.:</i>	20	10		15
<b>Wymiar w jednostkach ECTS:</b>	4 pkt.			

### Przewidywane formy kształcenia i organizacja przedmiotu

Zajęcia są prowadzone w formie: wykładów audytoryjnych, ćwiczeń - zajęć zintegrowanych i projektów. Ćwiczenia mają za zadanie z jednej strony kształtowanie umiejętności obliczeniowych, z drugiej zaś zademonstrowanie ciekawych przypadków.

#### Organizacja:

- wykład prowadzony w wymiarze 2 godz. tygodniowo (2h\*10), zamiennie z ćwiczeniami
- ćwiczenia 2 godz. tygodniowo (2h\*5, zamiennie z wykładami) po omówieniu wybranej części materiału
- zajęcia projektowe: w ramach modułu przewidziano realizację przez studentów 2 projektów podczas których student, korzystając z udostępnionego oprogramowania (które jest dostępne w laboratorium „LTSPICE”, „ADS”, „QUICKWAVE”, ale może być także zainstalowane na prywatnym komputerze studenta „LTSPICE”, „ADS”, „QUICKWAVE” wersje „trial” dostępne na stronie producenta) w oparciu podaną przez prowadzącego specyfikację wykonuje projekt wybranego układu lub struktury radioelektronicznej albo symulację bardziej innego zadanego problemu .
- student może ponadto uczestniczyć w prowadzonych co tydzień w wymiarze 1 godz. konsultacjach.

#### Efekty uczenia się:

##### Formy weryfikacji efektów kształcenia:

Zamierzone efekty	Forma zajęć	Sposób weryfikacji	Zgodność z EUK
W01. Student zna koncepcję, strukturę oprogramowania z zakresu modelowania elektromagnetycznego oraz symulowania układów radioelektronicznych w dziedzinie czasu i częstotliwości.	Wykład (dyskusja, przykłady) ćwiczenia + konsultacje	kolokwium1 kolokwoim2	K_W05 K_W06
W02. Student, który zaliczył przedmiot wie jak opisać i sformułować podstawowe problemy elektromagnetyczne rozwiązywane za pomocą falowych symulatorów elektromagnetycznych	Wykład (dyskusja, przykłady) ćwiczenia + konsultacje	kolokwium1 kolokwoim2	K_W05 K_W06
U01. Student, który zaliczył przedmiot potrafi zastosować odpowiedni typ analizy (mało- lub wielkosygnałowa) dla wyznaczenia zadanego parametru lub założonej charakterystyki układu wykonać symulację za pomocą oprogramowania SPICE, ADS, MWO	Wykład (dyskusja, przykłady), zadania przedkolokwialne projekty konsultacje	kolokwium1 kolokwoim2 projekty	KU_02 KU_05 KU_13 KU_17
U02. Student, który zaliczył przedmiot potrafi przeprowadzić analizę zadanej struktury za pomocą wybranego symulatora falowego oraz zinterpretować wynik obliczeń;	Wykład (dyskusja, przykłady), zadania przedkolokwialne, projekty, konsultacje	kolokwium1 kolokwoim2 projekty	KU_02 KU_05 KU_13 KU-17
K01. Student, który zaliczył przedmiot potrafi pracować indywidualnie i w zespole oraz określić priorytety niezbędne do realizacji postawionych przed nim i grupą zadań	Wykonanie projektów w 2-3 os grupach	projekty	K_K06

## S) SYSTEMY KOMÓRKOWE 4 I 5 GENERACJI (SYK45)

### 4G and 5G Cellular Systems

**Autor:** dr inż. Jerzy Kołakowski

**Grupa przedmiotów:** obieralne specjalności TBM

**Minimalny numer semestru:** 6

**Zalecane przedmioty poprzedzające:** PSK lub CSK

## Cel przedmiotu:

Głównym celem przedmiotu jest zapoznanie studentów z systemami komórkowymi czwartej i piątej generacji (architekturą, zasadami kształtowania sygnałów w łączu radiowym, procedurami systemowymi, budową i zasadą działania urządzeń radiowych, aspektami planowania ruchu i planowania sieci). Część laboratoryjna pozwala na praktyczne zapoznanie studentów z właściwościami sygnałów łącza radiowego, technikami pomiarów tych sygnałów, a także realizacją wybranych procedur systemowych.

## Treść kształcenia:

### WYKŁADY:

**Wprowadzenie.** Ewolucja systemów komórkowych. Geneza i ogólna charakterystyka systemów 4G i 5G. Standardy systemów.

**Architektury sieci 4G.** Ogólna architektura sieci UMTS/HSPA. Architektura sieci radiowej UTRAN i sieci szkieletowej, Podsystem IMS. Usługi i aplikacje.

**Transmisja informacji w systemach HSPA/HSPA+.** Ogólne zasady transmisji informacji. Organizacja transmisji w UTRAN (kanały logiczne, transportowe i fizyczne).

**Interfejs radiowy sieci HSPA+.** Techniki transmisji. Technika MIMO. Realizacja techniki adaptacji łącza i HARQ w systemach HSPA. Zarządzanie zasobami radiowymi w systemach HSPA/HSPA+ (przydział zasobów, przeciwdziałanie przeciążeniom).

**Wybrane procedury w domenie pakietowej.** Dołączenie do sieci i zarządzanie kontekstami PDP. Aktualizacja informacji o lokalizacji stacji ruchomej. Procedury pakietowej transmisji danych.

**System LTE (*Long Term Evolution*).** Założenia systemu. Architektura sieci: sieć E-UTRAN i sieć szkieletowa. Sieci SON.

**Łącze radiowe LTE.** Wielodostęp OFDMA, Modulacja SC-FDMA, Kanały i sygnały w interfejsie radiowym, Struktury ramek, Regulacja mocy i wyprzedzenia czasowego. Transmisja wieloantenowa. Formowanie sygnału w łączu radiowym

**Zarządzanie zasobami radiowymi w systemach LTE.** Przydział zasobów w interfejsie E-UTRA (procedury synchronizacji, dostępu i przywołania). Stany stacji ruchomej. Połączenia RRC.

**Transmisja i wybrane procedury w systemie LTE.** Ogólne zasady transmisji. Protokoły w włączu radiowym. Wybór sieci i komórki. Dołączenie do sieci (initial attach) Procedura Service request. Zabezpieczenia w sieci LTE (uwierzytelnianie, szyfrowanie, kontrola integralności).

**Ewolucja systemu LTE** Standard LTE Advanced. Ewolucja interfejsu radiowego (agregacja kanałów, techniki kooperatywnego odbioru i transmisji - CoMP). Standardy LTE Pro, LTE-U/ LTE-LAA. Standardy interfejsów IoT: LTE-M i LTE-NB.

**Geneza systemów 5G.** Założenia systemów 5. generacji. Zasoby widmowe. Proces standardyzacji. Wdrożenia sieci.

**Architektura systemów 5G** Architektura funkcjonalna sieci. Wersje architektury sieci. Koncepcja "network slicing". Architektura sieci radiowej - urządzenia i interfejsy. Współdziałanie sieci 5G z sieciami LTE.

**Interfejs radiowy w sieciach 5G** Założenia interfejsu 5G NR (New Radio) (wielodostęp, modulacja, kodowanie). Wykorzystanie techniki MIMO. Agregacja kanałów.

**Procedury w interfejsie radiowym 5G:** Algorytmy sterujące transmisją w łączu radiowym. regulacja mocy i wyprzedzenia czasowego, procedura dostępu, przenoszenie połączeń.

**Transmisja danych w sieci 5G** Struktura protokółów. Transmisja w sieci NG-RAN. Struktura i rodzaje kanałów. Transmisja w sieci szkieletowej

**Tendencje rozwojowe sieci 5G** Nowe techniki transmisji: wielodostęp NOMA, duplex IBDF, ewolucja techniki MIMO.

### LABORATORIA:

1. Monitorowanie sieci HSPA+ z wykorzystaniem systemu SwissQual

2. Monitorowanie sygnałów CDMA i LTE
3. Symulacje i pomiary sygnałów łącza radiowego LTE
4. Monitorowanie sieci 4G z wykorzystaniem systemu TEMS
5. Badanie działania stacji ruchomej w sieci LTE

**Egzamin: nie**

**Literatura i oprogramowanie:**

1. H.Holma, A.Toskala, „HSDPA/HSUPA for UMTS” John Wiley & Sons, 2006
2. P.Lescuyer, T. Lucidarme; Evolved Packet System (EPS). The LTE and SAE evolution of 3G UMTS, John Wiley & Sons, 2008
3. K. Fazel, S. Kaiser, Multicarrier and Spread Spectrum Systems. From OFDM and MC-CDMA to LTE and WiMAX , John Wiley & Sons, 2008
4. E. Dahlman, S. Parkvall, J. Sköld, 4G LTE/LTE-Advanced for Mobile Broadband, Elsevier Ltd., 2011
5. A. Ghosh, R. Ratasuk, Essentials of LTE and LTE-A, Cambridge University Press, 2011
6. J. Rodriguez, Fundamentals of 5G Mobile Networks, John Wiley & Sons, Ltd., 2015
7. E. Dahlman, 5G NR: The Next Generation Wireless Access Technology, Academic Press Inc. 2018
8. strony: [www.5gamericas.org](http://www.5gamericas.org), [www.3gpp.org](http://www.3gpp.org)

<b>Wymiar godzinowy zajęć:</b>	W	C	L	P
	30	-	15	-

**Wymiar w jednostkach ECTS:** 4 pkt.

**Przewidywane formy kształcenia i organizacja przedmiotu**

W ramach przedmiotu przewidywane są dwie formy kształcenia zajęcia audytoryjne oraz ćwiczenia laboratoryjne. W trakcie wykładu prezentowane są zagadnienia dotyczące treści przedmiotu, cztery godziny wykładowe są poświęcone na organizację sprawdzianów (dwóch sprawdzianów oraz sprawdzianu poprawkowego)

Oferowane zajęcia laboratoryjne składają się z 5 ćwiczeń realizowanych w zespołach trzyosobowych. W jednym terminie w ćwiczeniach biorą udział cztery grupy studenckie, ze względu na ograniczenia w dostępie do wyspecjalizowanej aparatury i oprogramowania tematyka ćwiczeń jest różna. Podczas ćwiczenia jeden nauczyciel akademicki nadzoruje pracę dwóch trzyosobowych zespołów. Ocenie podlegają wyniki sprawdzianów audytoryjnych, kilkunastominutowych kolokwium poprzedzających ćwiczenia, aktywność studentów podczas zajęć laboratoryjnych oraz sprawozdania z ćwiczeń.

**Wiedza i umiejętności studenta przychodzącego na przedmiot**

Student uczestniczący w przedmiocie powinien posiadać podstawową znajomość architektury, interfejsów radiowych i procedur opisujących działanie sieci komórkowych (PSK - Podstawy systemów komórkowych). Realizacja ćwiczeń laboratoryjnych wymaga posiadania podstawowych umiejętności w zakresie obsługi podstawowej aparatury pomiarowej (POR - Pomiary radioelektroniczne, TMT - Technika mikrofalowa w telekomunikacji) oraz obsługi aplikacji w środowisku Windows (podczas ćwiczeń jest wykorzystywane specjalizowane oprogramowanie do monitorowania sieci komórkowych).

**Efekty uczenia się:**

**Formy weryfikacji efektów kształcenia:**

Zamierzone efekty	Forma zajęć	Sposób weryfikacji	Zgodność z EUK
W01 Student zna architektury sieci komórkowych 4G i 5G, potrafi określić rolę urządzeń tworzących sieć	Wykład	2 sprawdziany audytoryjne (kolokwia), 5 krótkich sprawdzianów poprzedzających ćwiczenia laboratoryjne	K_W15
W02 Student zna techniki transmisji radiowej stosowane w sieciach 4G i 5G	Wykład, ćwiczenia laboratoryjne	2 sprawdziany audytoryjne (kolokwia), 5 krótkich sprawdzianów poprzedzających ćwiczenia laboratoryjne	K_W09 K_W13

W03 Student zna podstawowe procedury realizowane w sieciach komórkowych 4G i 5G (związane z dołączaniem do sieci, aktywacją kontekstów zarządzaniem zasobami radiowymi, realizacją transmisji w domenie komutacji pakietów)	Wykład, ćwiczenia laboratoryjne	2 sprawdziany audytoryjne (kolokwia), 5 krótkich sprawdzianów poprzedzających ćwiczenia laboratoryjne	K_W15
W04 Student zna ewolucję systemów komórkowych kolejnych generacji oraz trendy rozwojowe w tym obszarze	Wykład	2 sprawdziany audytoryjne (kolokwia),	K_W17
U01 Student potrafi porównać sieci komórkowe poszczególnych generacji pod względem przepustowości, opóźnień, wymaganych zasobów radiowych	Wykład, ćwiczenia laboratoryjne	2 sprawdziany audytoryjne (kolokwia), 5 krótkich sprawdzianów poprzedzających ćwiczenia laboratoryjne	K_U12 K_U16
U02 Student potrafi wykorzystać oprogramowanie specjalizowane (TEMS, SwissQual) do interpretacji podstawowych procedur realizowanych w interfejsie radiowym.	Ćwiczenia laboratoryjne	Ocena aktywności podczas ćwiczenia, sprawozdanie	K_U14
K01 Student potrafi zorganizować pracę własną (przygotować się do kolokwiów, ćwiczeń laboratoryjnych, opracować sprawozdanie)	Praca własna	2 sprawdziany audytoryjne (kolokwia), 5 krótkich sprawdzianów poprzedzających ćwiczenia laboratoryjne	K_K06