

**Zespół Autorski:**

dr inż. Krzysztof Madziar, dr inż. Agnieszka Szymańska,  
dr inż. Piotr Witoński, dr inż. Jerzy Piotrowski

**Fotonika Mikrofalowa  
Microwave Photonics**

Kod przedmiotu (USOS)<sup>1</sup>: .....  
Grupa/Grupy przedmiotów (USOS)<sup>2</sup>: .....

**Poziom kształcenia:** *drugiego stopnia*  
**Forma studiów i tryb prowadzenia przedmiotu:** *studia stacjonarne*  
**Kierunek studiów:** *Elektronika*  
**Profil studiów:** *ogólnoakademicki*  
**Specjalność:** *Systemy Zintegrowanej Elektroniki i Fotoniki*  
**Jednostka prowadząca:** *Wydział Elektroniki i Technik Informacyjnych*  
**Jednostka realizująca:** *Instytut Mikroelektroniki i Optoelektroniki*  
**Koordinator przedmiotu:**  
**Poziom przedmiotu:** *zaawansowany*  
**Status przedmiotu:** *obieralny*  
**Język prowadzenia zajęć:** *polski*  
**Semestr nominalny:**  
**Minimalny numer semestru:** *---*  
**Wymagania wstępne/zalecane przedmioty poprzedzające:** *---*  
**Dyskonta** *---*  
**Limit liczby studentów:** *40*

**Powód zgłoszenia przedmiotu:**

*nowy program studiów II stopnia na kierunku Elektronika*

**Cel przedmiotu:** Celem przedmiotu jest zapoznanie studentów z systemami fotoniki mikrofalowej, które dzięki interakcji na linii systemy elektroniczne – systemy foniczne, otwierają bardzo szerokie spektrum możliwości rozszerzenia funkcjonalności dotychczas wykorzystywanych systemów mikrofalowych. W ramach przedmiotu studenci zostaną

<sup>1</sup> Kod przedmiotu uzupełnia Dziekanat WEiTI

<sup>2</sup> W przypadku nowego programu studiów grupy przedmiotów wprowadza Dziekanat WEiTI, w innym przypadku grupy przedmiotów, do których ma należeć zgłoszony przedmiot podaje koordynator przedmiotu

zapoznani z zasadą działania i projektowania fonicznych układów filtracji, wzmacniania i generacji sygnałów mikrofalowych, a także opto-mikrofalowych układów przemiany częstotliwości. Przedstawione zostaną analogie między światem układów mikrofalowych, a światem układów fonicznych. Wskazane zostaną fizyczne ograniczenia obu tych technik oraz punkty, w których mogą się one wzajemnie uzupełniać.

### **Skrócony opis przedmiotu (max 1000 znaków):**

Przedmiot stanowi przegląd zastosowań techniki fonicznej w przetwarzaniu, wytwarzaniu i przesyłaniu sygnałów mikrofalowych. W jego ramach mieści się przedstawienie szeregu procesów, które są dobrze znane i opisane w domenie mikrofalowej, jednak ze względu na znacznie szersze możliwości i większy potencjał układów fonicznych, są zdecydowanie bardziej efektywne kiedy przeprowadzi się je w domenie fonicznej. W ramach przedmiotu, student pozna te mechanizmy, zapozna się z typowymi układami realizującymi opisywane funkcjonalności i z metodologią ich projektowania.

### **Skrócony opis przedmiotu w języku angielskim (max 1000 znaków):**

The goal of the course is an overview of the applications of photonic technology in the processing, production and transmission of microwave signals. It includes the presentation of a number of processes that are well known and described in the microwave domain, but due to the much wider possibilities and greater potential of photonic systems, they are definitely more effective when carried out in the photonic domain. As part of the course, the student will learn these mechanisms, learn about typical systems implementing the described functionalities and the methodology of their design.

### **Treści kształcenia:**

#### *Wykład:*

- 1. Wprowadzenie do komunikacji opto-mikrofalowej.** Idea opto-radiowej transmisji sygnałów z wykorzystaniem fali nośnej. Idea łącza radiowego, światłowodowego, ewolucja systemów, łącza analogowe i cyfrowe.
- 2. Elementy teorii obwodów I.** Obwody z elementami nieliniowymi: nieliniowa rezystancja i nieliniowa pojemność. Metoda perturbacji. Analiza obwodu w dziedzinie częstotliwości i czasu.
- 3. Elementy teorii obwodów II.** Warunki stabilności dwuwrotników mikrofalowych. Techniki dopasowania obwodów mikrofalowych, szerokopasmowe obwody dopasowujące. Modelowanie i ekstrakcja parametrów diod i tranzystorów mikrofalowych. Modelowanie nieliniowości.
- 4. Rezonatory i filtry w układach fotoniki mikrofalowej.** Rezonatory: parametry i podstawowe struktury. Techniki przestrajania obwodów rezonansowych. Podstawowe struktury filtrów mikrofalowych i fonicznych. Zasady projektowania filtrów.
- 5. Anteny foniczne.** Podstawowe struktury i zasady działania anten radiowych i mikrofalowych. Podstawowe parametry anten. Fotonika w układach formowania wiązki. Równanie transmisji mocy. Transmisja mocy w łączy optycznym i w wolnej przestrzeni. Anteny inteligentne.
- 6. Wzmacnianie sygnałów mikrofalowych na drodze fonicznej.** Mikrofalowe tranzystory HBT i HEMT. Tranzystorowe wzmacniacze mikrofalowe. Wzmacniacze wielostopniowe. Wzmacniacze szerokopasmowe. Praca w warunkach nieliniowych. Praca wielotonowa i zniekształcenia intermodulacyjne. Wykorzystanie układów fonicznych do wzmacniania sygnałów mikrofalowych.

7. **Mikrofalowe tranzystorowe wzmacniacze mocy.** Praca wzmacniacza w warunkach silnego wystawienia. Metody zwiększania sprawności wzmacniaczy. Modelowanie obwodów wyjściowych na częstotliwościach harmonicznych. Wzmacniacze Doherty'ego. Zasady projektowania wzmacniaczy mocy.
8. **Fotoniczna i optoelektroniczna generacja sygnałów mikrofalowych.** Modele i warunki generacji oscylatorów optoelektronicznych. Zasady projektowania generatorów tranzystorowych.
9. **Praca oscylatora w warunkach nieliniowych.** Generacja harmonicznych. Histereza i nieciągłości. Szumy oscylatora. Techniki stabilizacji częstotliwości oscylatorów. Techniki powielania częstotliwości. Synteza częstotliwości.
10. **Modulacja sygnałów optycznych, zaawansowane schematy modulacji.** Rodzaje modulacji sygnałów. Modulatory elektrooptyczne i elektroabsorpcyjne. Wielostanowa modulacja amplitudy i fazy sygnałów mikrofalowych. Synteza sygnałów mikrofalowych o zmiennej amplitudzie i fazie.
11. **Procesy optoelektronicznej przemiany częstotliwości.** Zasady przemiany częstotliwości. Parametry mieszaczy. Mieszacze zrównoważone. Mieszacze tranzystorowe. Konfiguracje mieszaczy opto-mikrofalowych i optofalowych.
12. **Radiolinie mikrofalowe.** Podstawowa struktura łącza radiowego. Konstrukcja układów nadajników. Konstrukcja układów odbiorników. Szumy łącza. Bilans mocy i stosunek sygnał szum.
13. **Fotoniczne systemy radiokomunikacji ruchomej i satelitarnej.** Złożone systemy komunikacyjne. Systemy komunikacji mobilnej. Systemy komunikacji satelitarnej. Systemy komunikacji kablowej.
14. **Systemy radiowo-światłowodowe.** Podstawowa struktura systemów radiowo-światłowodowych, techniki modulacji i transmisji danych, generacja nośnej w pasmach milimetrycznych. Przykłady zastosowań, układy odwrócone, rozwiązania eksperymentalne.

*Laboratoria:*

1. Badanie filtrów i rezonatorów w układach fotoniki mikrofalowej.
2. Badanie oscylatorów optoelektronicznych.
3. Badanie wzmacniaczy sygnału wykorzystujących układy fotoniki mikrofalowej.
4. Badanie układów opto-mikrofalowej przemiany częstotliwości.
5. Badanie układów elektrooptycznych modulatorów mikrofalowych.

*Projekt:*

1. projektowanie wzmacniaczy mikrofalowych (niskoszumne, szerokopasmowe, mocy),
2. projektowanie optoelektronicznych oscylatorów mikrofalowych,
3. projektowanie opto-mikrofalowych układów przemiany częstotliwości,
4. projektowanie odbiorników w układach fotoniki mikrofalowej.

**Egzamin:** *Tak*

**Literatura:**

- [1] S. Iezekiel, Microwave Photonics: Devices and Applications. Chichester, U.K.; Hoboken, NJ, 2009.
- [2] D. Jäger and A. Stöhr, "Microwave Photonics," in Microwave Conference, 2001. 31st European, Sep. 2001, pp. 1–4, doi: 10.1109/EUMA.2001.339044.
- [3] A. Vilcot, B. Cabon, and J. Chazelas, Eds., Microwave Photonics: From Components to Applications and Systems, Softcover reprint of the original 1st ed. 2003 edition. New York; London: Springer, 2010.

[4] C. H. Lee, Microwave Photonics. Boca Raton: CRC Press, 2006.

[5] W. S. C. Chang, Ed., RF Photonic Technology in Optical Fiber Links, 1 edition. Cambridge, UK; New York: Cambridge University Press, 2007.

**Wymiar godzinowy zajęć:** 60 godzin

<b>Formy prowadzonych zajęć</b>	<b>Wymiar godzinowy zajęć</b>
<i>Wykład</i>	- 30 godzin
<i>Zajęcia Projektowe</i>	- 15 godzin
<i>Laboratoria</i>	- 15 godzin

### **Organizacja zajęć:**

Przedmiot składa się z części wykładowej, laboratoryjnej oraz projektowej. Do zaliczenia przedmiotu wymagane jest uzyskanie co najmniej 50 % maksymalnej oceny z każdej ww. części. W ramach części laboratoryjnej, każdy uczestnik kursu uczestniczy w pięciu ćwiczeniach laboratoryjnych, za które może uzyskać maksymalnie 30 punktów. W ramach części projektowej każdy uczestnik kursu wykonuje projekt indywidualny za który może uzyskać do 30 punktów. W ramach wykładu przewidziany jest egzamin, za który można uzyskać maksymalnie do 40 punktów. Łącznie można uzyskać 100 punktów, zaś ocena końcowa z przedmiotu jest wystawiana według poniższej reguły:

91-100 punktów	ocena: 5.0
81-90 punktów	ocena: 4.5
71-80 punktów	ocena: 4.0
61-70 punktów	ocena: 3.5
51-60 punktów	ocena: 3.0
do 50 punktów	ocena: 2.0

### **Liczba godzin pracy studenta związanych z osiągnięciem efektów kształcenia (opis):**

- liczba godzin kontaktowych – 60 godz., w tym*
  - obecność na wykładach 30 godz.,*
  - obecność na zajęciach projektowych – 15 godz.,*
  - obecność na ćwiczeniach laboratoryjnych – 15 godz.,*
- praca własna studenta – 80 godz., w tym*
  - przygotowanie do egzaminu – 22 godz.,*
  - wykonywania zadań projektowych – 35 godz.,*
  - przygotowania do ćwiczeń laboratoryjnych – 10 godz.*
  - przygotowanie sprawozdań z ćwiczeń laboratoryjnych – 13 godz.*

**Łączny nakład pracy studenta wynosi 140 godz., co odpowiada 5 pkt ECTS.**

**Liczba punktów ECTS na zajęciach wymagających bezpośredniego udziału nauczycieli akademickich: 3 pkt ECTS, co odpowiada 45 godz. kontaktowym.**

**Liczba punktów ECTS, którą student uzyskuje w ramach zajęć o charakterze praktycznym: 2 pkt ECTS, co odpowiada 30 godz. zadań projektowych i laboratoryjnych**

**Efekty kształcenia/uczenia się:**

<b>Efekty kształcenia/uczenia się</b> student, który zaliczył przedmiot:	<b>forma zajęć/ technika kształcenia</b>	<b>sposób weryfikacji (oceny)</b>	<b>odniesienie do efektów uczenia się dla programu</b>
<b>WIEDZA</b>			
Ma uporządkowaną, podbudowaną teoretycznie wiedzę w zakresie zjawisk zachodzących we współczesnych elementach i układach mikrofalowych i fotonicznych.	wykład	egzamin	P7U_W01 P7U_W03
Ma szczegółową wiedzę w obszarze elementów i technologii mikrofalowych i fotonicznych	wykład	egzamin	P7U_W03 P7U_W04
Ma uporządkowaną wiedzę o obecnym stanie oraz najnowszych trendach rozwojowych fotoniki i techniki mikrofalowej.	wykład	egzamin	P7U_W03 P7U_W04
<b>UMIĘJĘTNOŚCI</b>			
Potrafi pozyskiwać informacje z literatury, baz danych oraz innych źródeł, także w języku angielskim; potrafi integrować uzyskane informacje, dokonywać ich interpretacji, a także wyciągać wnioski oraz formułować i uzasadniać opinie.	Projekt wykład	projekt egzamin	P7U_U01 P7U_U09
Potrafi przygotować w języku polskim i języku angielskim, dobrze udokumentowane opracowanie problemów z zakresu fotoniki.	projekt	projekt	P7U_U03
Ma umiejętność samokształcenia się.			P7U_U05
Potrafi wykorzystać poznane metody oraz modele matematyczne do analizy podstawowych zagadnień fizycznych i technicznych.	projekt	projekt	P7U_U07 P7U_U08
Potrafi zastosować poznane metody, modele matematyczne i narzędzia do analizy elementów fotonicznych.	wykład	Projekt laboratorium	P7U_U07
<b>KOMPETENCJE SPOŁECZNE</b>			
Potrafi odpowiednio określić priorytety służące realizacji określonego przez siebie lub innych zadania.	projekt	projekt	P7U_K01