

**Jednostka prowadząca: Wydział Techniczny**

**Kierunek studiów: Elektronika i telekomunikacja**

**Nazwa przedmiotu: Technika bardzo wielkich częstotliwości**

**Charakter przedmiotu:** kierunkowy, obowiązkowy

**Typ studiów:** inżynierskie I-go stopnia, stacjonarne/niestacjonarne

**Formy dydaktyczne i terminarz:**

| Forma przedmiotu          | Wykład  | Ćwiczenia | Laboratorium | Projekt      | Seminarium |
|---------------------------|---------|-----------|--------------|--------------|------------|
| Rok studiów/Semestr       | 3/5     |           |              | 3/5          |            |
| Liczba godzin w semestrze | 30/18   |           |              | 30/18        |            |
| Forma zaliczenia          | Egzamin |           |              | zal.na ocenę |            |
| Liczba punktów ECTS       | 2/2     |           |              | 3/3          |            |

## **WYKŁAD**

**Wymagania wstępne:**

Brak wymagań wstępnych.

**Cele kształcenia:**

Celem przedmiotu jest przekazanie studentowi wiedzy dotyczącej techniki wielkich i bardzo wielkich częstotliwości, analizy i projektowania elementów i układów b. w. cz. oraz miernictwa mikrofalowego. Uczestnictwo w wykładzie umożliwi studentowi poznanie podstawowych pojęć i problematyki związanej z obwodami i układami pracującymi w zakresie wielkich i bardzo wielkich częstotliwości, analizą, projektowaniem i techniką pomiarów mikrofalowych. Wiedzą tą posługiwać się będą studenci rozwiązujący w ramach zajęć projektowych zadania projektowe i problemowe, ważne w praktyce inżynierskiej, a także studenci podejmujący się rozwiązania określonego zadania inżynierskiego z zakresu techniki b. w. cz. w ramach pracy dyplomowej. Wykład wprowadza w problematykę techniki mikrofalowej. Po określeniu zakresu częstotliwości, omówieniu specyfiki, właściwości i zastosowań techniki mikrofalowej, przedstawiane są następujące zagadnienia: linie i falowody, opis układów za pomocą falowych macierzy rozproszenia i transmisji, dopasowanie impedancji, elementy i układy pasywne, generatory i wzmacniacze tranzystorowe, wzmacniacze z sumowaniem mocy, technika Mikrofalowych Układów Scalonych (MUS) i Systemów Mikro-Elektro-Mechanicznych (MEMS), oraz podstawowe pomiary mikrofalowe.

**Metody dydaktyczne:**

Wykład prowadzony w zasadzie z wykorzystaniem rzutnika multimedialnego. Istotne zagadnienia, wymagające szczegółowych wyjaśnień, prezentowane są metodą tradycyjną, z wykorzystaniem kredy i tablicy. Materiały do wykładu przygotowane w formie elektronicznej udostępniane są studentom na pierwszym wykładzie.

### **Zasady i kryteria zaliczenia:**

Pozytywny wynik egzaminu pisemnego w pierwszym terminie lub egzaminu ustnego w drugim terminie. Egzamin pisemny składa się z opisu wybranych zagadnień problemowych i odpowiedzi w postaci testu sprawdzającego wiadomości szczegółowe. Na egzaminie ustnym student odpowiada na trzy pytania z listy podstawowych zagadnień problemowych, przedstawionej i udostępnionej studentom na pierwszym wykładzie.

### **Treści programowe:**

1. Zakres częstotliwości, specyfika, właściwości i zastosowania techniki b.w.cz. w telekomunikacji, nauce, medycynie, przemyśle i urządzeniach powszechnego użytku. Oddziaływanie pola b.w.cz. na organizmy żywe.
2. Linie transmisyjne i falowody – parametry obwodowe i falowe. Technologia i podstawowe parametry przewodnic współosiowych, falowodowych i zintegrowanych. Struktury mikropaskowe, koplanarne i szczelinowe.
3. Fala stojąca, współczynnik odbicia, transformacja impedancji wraz z długością linii. Wykres Smitha i dopasowanie impedancji. Układy dopasowujące wąsko- i szerokopasmowe.
4. Opis macierzowy układów wielowrotowych. Falowe macierze rozproszenia i transmisji. Interpretacja fizyczna parametrów rozproszenia. Związki pomiędzy parametrami rozproszenia wynikające z symetrii, wzajemności i bezstratności.
5. Elementy i układy pasywne b.w.cz. – przesuwniki fazy, sprzęgacze kierunkowe i dzielniki mocy, układy niewzajemne – izolatory i cyrkulatory ferrytowe.
6. Filtry mikrofalowe. Rozwiązania układowe, przykładowe projekty i konstrukcje.
7. Zintegrowane układy półprzewodnikowe – mikrofalowe generatory, wzmacniacze tranzystorowe i mieszacze. Wzmacniacze z klasycznym – obwodowym i przestrzennym sumowaniem mocy.
8. Hybrydowe i monolityczne mikrofalowe układy scalone. Układy mikro-elektromechaniczne. Najnowsze osiągnięcia.
9. Technika fal milimetrowych.
10. Podstawowe metody i techniki pomiarów w zakresie b.w.cz.

### **Literatura podstawowa:**

1. Dobrowolski J., *Technika wielkich częstotliwości*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1998, 2001.
2. Szóstka J., *Mikrofałe. Układy i systemy*. WKŁ, Warszawa 2006.
3. Rosłonec S., *Liniowe obwody mikrofalowe. Metody analizy i syntezy*. WKŁ, Warszawa 1999.

### **Literatura uzupełniająca:**

1. Litwin R., Suski M., *Technika mikrofalowa*. WNT, Warszawa 1972.
2. Galwas B., *Mikrofalowe generatory i wzmacniacze tranzystorowe*. WKŁ, Warszawa 1991.
3. Galwas B., *Miernictwo mikrofalowe*. WKŁ, Warszawa 1985.
4. Edwards T., *Foundations for microstrip circuit design*. John Wiley & Sons, 1992.
5. Pozar D. M., *Microwave Engineering*. John Wiley & Sons, 1998.
6. Dobrowolski J., *Monolityczne mikrofalowe układy scalone. Modelowanie, projektowanie, pomiary*. WNT, Warszawa 1999.

### **Efekty kształcenia:**

Poznanie i zrozumienie podstawowych zjawisk falowych zachodzących w liniach transmisyjnych i falowodach, powstawania rozkładu fali stojącej i jej parametrów, takich jak

współczynnik fali stojącej, współczynnik odbicia i transformacja impedancji wraz ze zmianą przekroju linii, w którym wykonywany jest pomiar. Zrozumienie podstawowych technik prowadzenia i rozpraszania fal w liniach transmisyjnych oraz układach pasywnych i aktywnych b. w. cz. Umiejętności i kompetencje w zakresie: interpretacji fizycznej obliczanych lub mierzonych parametrów rozproszenia ogólnie wielowrotowego układu mikrofalowego; projektowania podstawowych elementów i układów b. w. cz. oraz posługiwania się obwodami zastępczymi złożonymi z odcinków linii transmisyjnych i elementów o parametrach skupionych w analizie układów b. w. cz.

***Język wykładowy:*** polski.

## **PROJEKT**

### ***Wymagania wstępne:***

Brak wymagań wstępnych.

### ***Cele kształcenia:***

Praktyczne opanowanie materiału omawianego na wykładzie poprzez rozwiązanie podstawowych inżynierskich zadań projektowych i problemowych. Poznanie możliwości oferowanych przez profesjonalny *software* wspomagający projektowanie wybranych elementów i układów mikrofalowych, a także zdobycie umiejętności posługiwania się nim w praktyce inżynierskiej. Samodzielne rozwiązanie dwóch zadań projektowych oraz przygotowanie i prezentacja wyników wykonanych projektów.

### ***Metody dydaktyczne:***

W ramach projektu studenci rozwiązują dwa wybrane zadania inżynierskie z zakresu techniki b. w. cz. z wykorzystaniem opisanych w literaturze metod analizy, projektowania i symulacji obwodowych i elektromagnetycznych, w tym technik CAD.

### ***Zasady i kryteria zaliczenia:***

Warunkiem zaliczenia projektu są pozytywne oceny z dwóch wykonanych projektów i prezentacji uzyskanych wyników.

### ***Treści programowe:***

1. Prezentacja przykładowych, dostępnych programów komputerowych, wspomagających analizę i projektowanie prostych elementów i złożonych układów mikrofalowych.
2. Przykładowe projekty i rozwiązania zadań inżynierskich z wykorzystaniem dostępnego oprogramowania.
3. Samodzielne rozwiązanie zadania projektowego polegającego na analizie i zaprojektowaniu układu pasywnego b. w. cz. (obwodu dopasowującego, filtru mikrofalowego, sprzęgacza kierunkowego, dzielnika mocy, przesuwnika fazy). Przykładowymi tematami pierwszego projektu są następujące zadania inżynierskie:
  - 3.1 Zaprojektować obwód dopasowujący impedancję  $Z_L = (100 - j50) \Omega$  do linii o impedancji charakterystycznej  $Z_0 = 50 \Omega$ ,  $f_0 = 3 \text{ GHz}$ . Parametry obwodu dobrać wykorzystując „Serenadę/Smith Tool”. Wykreślić charakterystykę częstotliwościową refleksyjności mierzonej na wejściu układu linia transmisyjna – obwód dopasowujący o parametrach rozłożonych – impedancja  $Z_L$  w prostokątnym układzie współrzędnych i na wykresie Smitha. Obliczyć i zmierzyć też straty powrotu, współczynniki odbicia i fali stojącej oraz stosunek mocy wydzielonej w obciążeniu przed i po dołączeniu obwodu dopasowania impedancyjnego.
  - 3.2 Zaprojektować szeregowy i równoległy obwód rezonansowy RLC o częstotliwości rezonansowej  $f_0 = 10 \text{ GHz}$  i dobroci  $Q_0 = 10\,000$ , sprzężony reakcyjnie z torem transmisyjnym. Posługując się Serenadą wykreślić krzywe refleksyjności i transmitancji w układzie współrzędnych prostokątnych i na wykresie biegunowym. Współczynnik sprzężenia obwodu rezonansowego z linią transmisyjną  $\beta = 0.1$  w pierwszym wariacie i  $\beta = 2$  w drugim.
  - 3.3 Stworzyć schemat ideowy gałęziowego sprzęgacza kierunkowego wykonanego techniką idealnych linii transmisyjnych, zaprojektowanego przy następujących danych:  $Z_0 = 50 \Omega$ ,  $f_0 = 5 \text{ GHz}$ ,  $Z_1 = 70.71 \Omega$ ,  $Z_2 = 50 \Omega$ . Wykreślić charakterystyki częstotliwościowe sprzęgacza ( $|S_{ii}|$ ,  $|S_{ij}|$  w mierze dB oraz różnicowych przesunięć fazy  $\text{Arg } S_{ji} - \text{Arg } S_{ki}$  w stopniach). Przyjmując, że sprzęgacz ma być zrealizowany na

- laminacie ULTRALAM 2000 o parametrach  $\epsilon_r = 2.4$ ,  $h = 30$  mils,  $t = \frac{1}{2}$  oz, Cu,  $\tan \delta = 0.0004$  i korzystając z opcji *Transmission Line*, obliczyć wymiary sprzęgacza w technice linii mikropaskowych, stworzyć schemat ideowy sprzęgacza i zdjąć jego charakterystyki częstotliwościowe. Porównać z charakterystykami sprzęgacza zrealizowanego w technice linii idealnych.
4. Samodzielne rozwiązanie zadania projektowego polegającego na zaprojektowaniu układu aktywnego (mikrofalowego oscylatora tranzystorowego, wzmacniacza, regulowanego prądowo tłumika/ modulatora/ przełącznika z diodami PIN, mieszacza mikrofalowego), optymalizacji parametrów projektowanego układu i wyznaczeniu wynikowych charakterystyk częstotliwościowych. Przykładowymi tematami projektu drugiego są następujące zadania inżynierskie:
    - 4.1 Stworzyć schemat układu absorpcyjnego tłumika z diodami PIN włączonymi między dwa sprzęgacze 3 dB/90° opisane zmierzonymi parametrami rozproszenia plikiem *sprzegacz.s4p* i wyprowadzić wyniki analizy układu. Wykreślić charakterystyki częstotliwościowe tłumika w zależności od prądu diody PIN jako parametru rodziny krzywych i skomentować wyniki analizy.
    - 4.2 Zaprojektować tranzystorowy wzmacniacz wąskopasmowy przy następujących warunkach: tranzystor bezwzględnie stabilny ( $k |f_o| > 1$ ), obwody na wejściu i wyjściu tranzystora dopasowują tranzystor na minimum szumów i maksymalne wzmocnienie w warunkach dopasowania szumowego, linie transmisyjne idealne. Wykreślić charakterystyki częstotliwościowe wzmacniacza ( $|S_{11}|$ ,  $|S_{22}|$ ,  $|S_{21}|$  i współczynnika szumów NF w mierze dB) w zakresie częstotliwości  $\pm 20\%$  wokół częstotliwości środkowej, a także okręgi na płaszczyźnie  $\Gamma_S$  i  $\Gamma_L$  stałych wzmocnień i stałych wartości współczynnika szumów. Z badać stabilność wzmacniacza w całym zakresie częstotliwości i wykreślić przykładowe okręgi stabilności. Skomentować wyniki.

#### **Literatura podstawowa:**

1. Serenade 8.5 Design Environment (Serenade Student Version 8.5), Ansoft New Jersey, <http://www.ansoft.com>.
2. Sonnet® Tutorial, Version Lite 9, Electromagnetic Solver, Sonnet Software, Inc., <http://www.sonnetsoftware.com/>.
3. Dobrowolski J., *Technika wielkich częstotliwości. Zadania*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1996.
4. Rosłonec S., *Liniowe obwody mikrofalowe. Metody analizy i syntezy*. WKŁ, Warszawa 1999.

#### **Literatura uzupełniająca:**

1. Ansoft Designer SV, version 2.2.0, March 2005 (lub późniejsza), Copyright 1984-2005, Ansoft Corporation, <http://ansoft.com>
2. Encyklopedia techniki mikrofalowej na stronie <http://www.microwaves101.com/>.
3. Edwards T., *Foundations for Microstrip Circuit Design*. John Wiley & Sons, 1992.
4. Pozar D. M., *Microwave Engineering*. John Wiley & Sons, 1998.
5. Dobrowolski J., *Monolityczne mikrofalowe układy scalone. Modelowanie, projektowanie, pomiary*. WNT, Warszawa 1999.

#### **Efekty kształcenia:**

Poznanie zasady działania i właściwości podstawowych elementów i układów b.w.cz. realizowanych w różnych technikach – falowodów prostokątnych, falowodów dielektrycznych, planarnych symetrycznych i niesymetrycznych linii paskowych, linii koplarnych i szczelinowych poprzez wykonanie pełnych analiz, szczegółowych obliczeń

projektowych i symulacji komputerowych, a także przygotowanie dokumentacji dwóch projektów.

***Osoby prowadzące:***

dr hab. inż. Krzysztof Sachse

dr inż. Włodzimierz Pawlak