

Program wykładu „Technika Mikrofalowa”

Przeznaczony dla studentów elektroniki 3.roku, którzy pomyślnie zaliczyli zajęcia (wykład i ćwiczenia audytoryjne) z „Elektrodynamiki Falowej” podczas 2. roku studiów.

Dr inż. Jerzy Kral, Katedra Elektroniki AGH.

Specyfika techniki wielkich częstotliwości i mikrofalowej. Elementy teorii linii transmisyjnej. Transformacja impedancji przez odcinek linii transmisyjnej. Geneza wykresu Smith'a i przykłady jego zastosowań. Dopasowanie impedancyjne. Macierz rozproszenia i właściwości jej współczynników. Grafy przepływu sygnałów i reguła Masona. Analiza układu wzmacniającego przy pomocy grafów. Wzmocnienie skuteczne wzmacniacza. Wzmacniacz unilateralny. Kontrolowana redukcja wzmocnienia ; okręgi stałego wzmocnienia. Przykład projektowy. Stabilność dwuwrotnika; okręgi i warunki stabilności. Wzmacniacz bilateralny. Obustronne dopasowanie. Definicje wzmocnienia i ich zastosowanie. Przykład obliczeniowy. Szumy, parametry szumowe i okręgi stałego współczynnika szumów. Przykład projektu wzmacniacza małoszumnego. Nowoczesne tranzystory mikrofalowe (bipolarne homo- i heterozłączowe, MESFET-y i HEMT-y). Elementy pasywne quasi-skupione i ich modelowanie. Planarne linie transmisyjne (szczególnie linia mikropaskowa) i ich nieciągłości. Przegląd układów pasywnych na strukturach o stałych rozłożonych (rezonatory, filtry, sprzęgacze, dzielniki mocy, przesuwniki fazy). Układy zrównoważone. Projektowanie topologii (layout'u) układu. Układy polaryzacji i filtracji stałoprądowej. Przykład projektowy wzmacniacza z uwzględnieniem layout'u. Projektowanie generatora; przykład projektowania. Nieliniowe właściwości układów małosygnałowych (intermodulacje, IP3). Wprowadzenie do wysokosprawnych wzmacniaczy mocy. Mikrofalowe mieszacze częstotliwości. Zarys metod analizy układów (szczególnie metody równoważenia harmonicznego). Zasady działania i wyprowadzenie podstawowych zależności radaru. Podsumowanie.

Laboratorium „Technika Mikrofalowa”

(Wykład dostarcza wiedzy a laboratorium umiejętności)

W ramach laboratorium 'Techniki mikrofalowej' studenci nabywają umiejętności wykorzystania uzyskanej podczas wykładu wiedzy, a to:

1. Ćwiczą zestawianie aparatury mikrofalowej w formę systemów propagacji fal i dokonują pomiarów podstawowych wielkości falowych (długość fali, współczynnik odbicia, współczynniki macierzy rozproszenia) a także badają niektóre właściwości wybranych elementów falowodowych (w tym klistronu refleksowego).

2. Uczą się samodzielnego modelowania i projektowania układów wielkiej częstotliwości i mikrofalowych z wykorzystaniem nowoczesnego software'u (CAD).

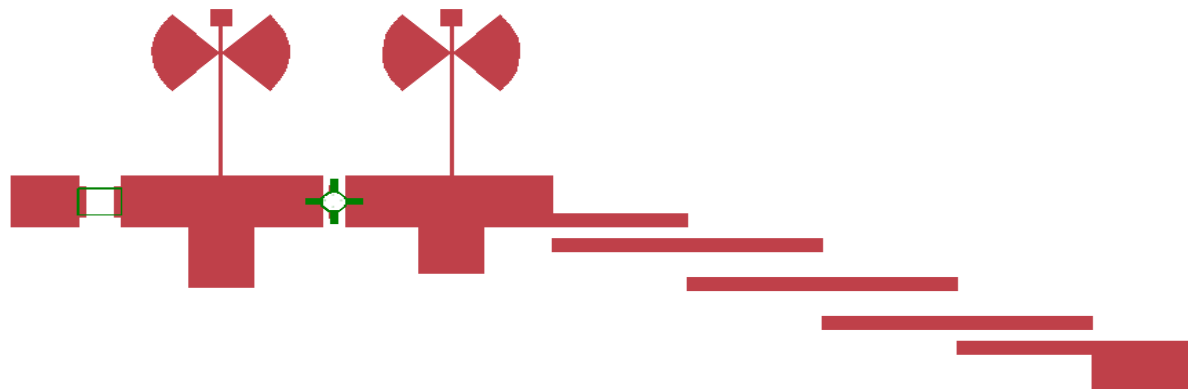
- Kreują modele elementów rzeczywistych (przykładowo - kondensatora w zakresie 2 rezonansów przy pomocy stałych skupionych i stałych rozłożonych),
- Projektują kompletne wzmacniacze (z layout'em łącznie) wielkiej częstotliwości i mikrofalowe, optymalizują je i badają właściwości liniowe i nieliniowe.
- Prowadzą eksperymenty z rozstrajaniem elementów układu (wzmacniacza).
- Przeprowadzają analizę statystyczną (uzysk produkcyjny).
- Pracują z symulatorem elektromagnetycznym jako narzędziem do projektowania dowolnych układów z uwzględnieniem wszelkich zjawisk falowych (propagacji, sprzężeń, promieniowania).
- Projektują generator mikrofalowy.
- Analizują pracę mieszacza mikrofalowego.

Program laboratorium 'Technika Mikrofalowa'

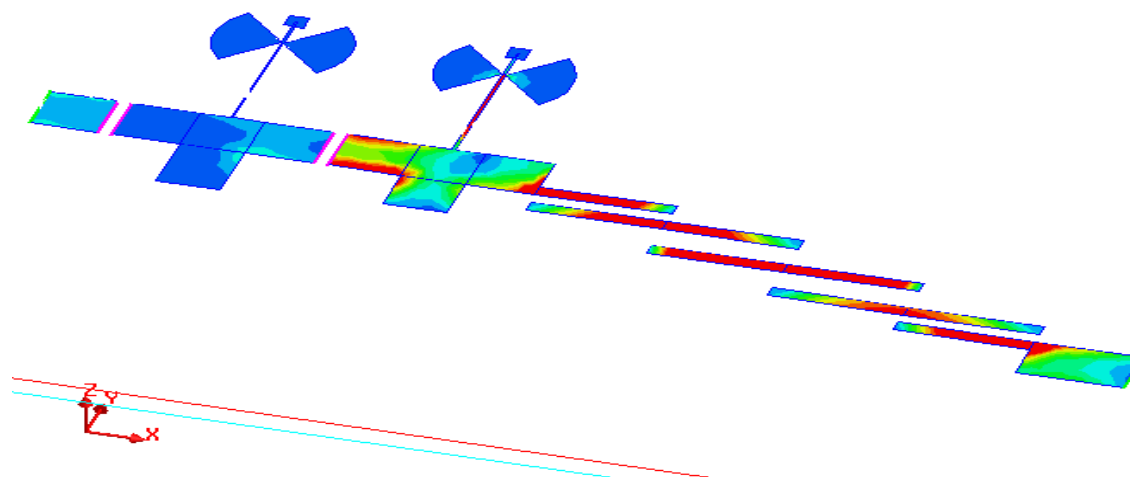
1. Zajęcia wstępne - podział na grupy, omówienie tematyki całosemestralnej i zagadnień na najbliższy cykl zajęć.
 2. Zapoznanie się z elementami mikrofalowego **zestawu falowodowego** pracującego w zakresie pasma X (**8÷12 GHz**). Badanie klistronu refleksowego - obserwacja trybów generacyjnych, ich pomiary i przestrajanie klistronu). Modulacja klistronu przebiegiem prostokątnym i detekcja generowanej fali.
 3. Wywołanie zjawiska fali stojącej - pomiary długości fali, częstotliwości. Skalowanie detektora szczelinowej linii pomiarowej.
 4. Pomiary współczynnika fali stojącej i współczynnika odbicia dla różnych obciążeń toru (zwarcie, rozwarcie, dopasowanie, antena tubowa). Badanie przesuwnika fazy i rozgałęzienia magiczne T.
 5. Pomiary impedancji i współczynników macierzy rozproszenia dwuwrotników odwracalnych przy pomocy linii pomiarowej.
-
6. Zapoznanie się z **symulatorem układów mikrofalowych**.
 7. **Modelowanie** - z uwzględnieniem 2 rezonansów - **kondensatorów** firmy ATC i **cewek** firmy Coilcraft przy pomocy elementów
 - a) o stałych skupionych,
 - b) o stałych rozłożonych.
 8. Badanie modelu liniowego tranzystora bipolarnego. Wyznaczanie przebiegów parametrów S, wzmocnień mocy. Wyznaczanie okręgów stabilności, okręgów stałego wzmocnienia, okręgów stałego współczynnika szumów. Zaprojektowanie obwodów dopasowujących dla maksymalnego wzmocnienia mocy.
 9. **Projektowanie wzmacniacza wielkiej częstotliwości dla odbiornika radiotelefonu komórkowego CDMA IS-95 z tranzystorem bipolarnym** (na minimum szumów i maksimum wzmocnienia):
 - faza 1: projekt modelu liniowego dla składowych zmiennych, badanie wzmacniacza w pasmie częstotliwości,

10. **faza 2:** projekt modelu nieliniowego (w tym obwodów polaryzacji stałoprądowej), dobór właściwego punktu pracy poprzez 'tuning' (regulację wartości elementów). Badanie zaprojektowanej konstrukcji i omówienie rozbieżności z założeniami wstępnymi.
11. **Automatyczna optymalizacja** wzmacniacza w aspekcie wzmocnienia i współczynnika szumów w wymaganym pasmie częstotliwości. Badanie właściwości nieliniowych - trajektoria dynamicznego punktu pracy, wyznaczenia charakterystyki dynamicznej i punktu nasycenia. Przebiegi czasowe zniekształconego sygnału i jego widmo. Wielosygnałowe pobudzenie wzmacniacza - wyznaczenie punktu intermodulacji 3. rzędu. Analiza statystyczna wzmacniacza (z rozrzutem wartości parametrów) metodą **Monte Carlo**.
12. **Projektowanie wzmacniacza mikrofalowego dla potrzeb komunikacji satelitarnej na 5GHz z tranzystorem polowym MESFET.** Badanie wybranego tranzystora. Zaprojektowanie obwodów dopasowujących o stałych rozłożonych. Projekt elektryczny modelu nieliniowego. Projekt fizyczny wzmacniacza dla mikrolinii paskowej i zadanego podłoża (laminatu) i jego automatyczna optymalizacja. Rysunek topologii (layout'u) wzmacniacza. Wielostronne badanie własności wzmacniacza.
13. **Analiza zaprojektowanego wzmacniacza przy pomocy symulatora elektro-magnetycznego.** Zapoznanie się z symulatorem. Wyznaczenia rozkładu prądu w ścieżkach wzmacniacza i jego animacja - obserwacja zjawisk wzmocnienia i fali stojącej w rezonatorach filtru wzmacniacza.
14. **Projektowanie generatora mikrofalowego na częstotliwość 5GHz.** Graficzny dobór elementów niestabilnie aktywujących tranzystor oraz obwodu obciążenia z odbiorem mocy.
15. **Analiza pracy diodowego mieszacza zrównoważonego dokonującego przemiany częstotliwości 24GHz na 2GHz.**
Podsumowujące omówienie zajęć laboratoryjnych.

Przykładowy projekt realizowany przez studentów 3. roku w ramach laboratorium



Layout wzmacniacza mikrofalowego małoszumnego dla potrzeb komunikacji satelitarnej na 5GHz z tranzystorem polowym MESFET, zaprojektowany z użyciem **symulatora układów**.



Analiza zaprojektowanego wzmacniacza przy pomocy **symulatora elektromagnetycznego**. Wyznaczenie rozkładu prądu w ścieżkach wzmacniacza i jego animacja – obserwacja zjawisk wzmocnienia i fali stojącej w rezonatorach filtra wzmacniacza.