

# 《非线性微波电路与系统》教学大纲

## Syllabus of Nonlinear Microwave Circuits and Systems

### 一、教学目标 Course Objectives

#### 1. 知识能力目标

本课程面向博士/硕士研究生，通过微波固态电路非线性理论学习，建立起微波毫米波器件、电路和系统的非线性概念，理解器件的非线性等效电路模型建立与参数提取，熟悉四种非线性分析方法和几种重要的微波毫米波固态电路的非线性分析设计过程和方法，熟悉非线性微波毫米波前端系统的分析和设计原理，熟悉接收机和发射机的总体设计思路 and 理念。帮助博士研究生选择和发现具有学术价值的非线性微波电路与系统研究领域，帮助硕士研究生建立非线性微波电路与系统全局观和实践观。

#### 2. 课程思政目标

以立德树人、核心素质教育为宗旨，将思想政治教育有机融入专业知识教育，教学内容；立足非线性微波电路与系统相关技术的发展，实现知识学习、能力培养、价值塑造同步并进，培养学生严谨的思维方式、求真务实的工作作风、淡泊名利刻苦攻关的科学精神，打破国际社会对我国高端非线性微波电路技术封锁现状，厚植学生献身祖国的家国情怀。

### 二、教学内容与要求 Course Content and Requirements

本课主要讲述非线性微波毫米波固态电路的理论分析和工程设计，并介绍前端系统的分析和设计原理。内容基本包含四部分：

#### 第一部分：基本概念与器件建模 [4 学时]

了解：

1. 非线性的基本概念，以及频率的产生；
2. 半导体材料和微波器件的基本结构
3. 微波二极管和三极管器件的非线性等效电路模型建立和参数提取。

掌握：

1. 微波电路的非线性现象；
2. 微波固态器件物理结构与工作机理。

重点与难点：

微波三极管非线性等效电路模型。

作业：

非线性电路产生新频率分量的分析与计算

课程思政设计：

通过对固态电路的发展过程，帮助学生建立正确的历史观，正视我国在高科技发展中的短板，培养学生建立打破西方封锁的信心，通过知识学习打下坚实基础，为祖国科技发展添砖加瓦。

第二部分：非线性电路的理论分析方法【8学时】

了解：

1. 四种重要的非线性理论分析方法的特点；
2. 微波非线性电路响应的分类和依据；
3. 非线性电路的冲击响应函数求解；
4. 幂级数和 Volterra 级数分析方法及其求解方法；
5. 非线性电路的最近理论研究成果和发展趋势。

掌握：

1. 谐波方程的建立和四种求解方法；
2. 变换矩阵的推导建立方法。

重点与难点：

1. 谐波方程的建立过程中非线性电容和非线性电导的矩阵推导；
2. 变换矩阵的结果与电路参数的联系；
3. 1dB 压缩点与交调截断点功率的关系。

实践环节：

1) 查阅近期参考文献，对多频、大信号激励的强非线性电路进修分析研究，得出最新研究的分析方法。

2) 查阅近期参考文献，对目前非线性电路尚未解决的问题进行归类，展望有可能的解决措施。

作业：

1. 对象：硕士/博士研究生结果形式：研究报告类型：平时作业；题目：自拟，例如《非线性电路最新研究成果》。

课程思政设计：

通过非线性电路分析方法的学习，培养学生理论分析能力。通过实践环节，提高学生非线性电路 CAD 软件开发的兴趣，帮助学生树立为国内 CAD 软件发展奉献的目标。

### 第三部分：微波毫米波电路的非线性分析与设计[17 学时]

了解：

1. 小信号放大器的工作原理及设计方法；
2. 功率放大器设计方法和谐波平衡分析方法；
3. FET 倍频器的谐波平衡分析方法；
4. FET 振荡器的非线性分析方法；
5. 功率放大器的线性化理论与技术；
6. 混频器的基本工作原理和频谱特征。

掌握：

1. 二极管混频器的工作原理及设计方法；
2. 二极管混频器的大信号-小信号分析方法；
3. 小信号放大器的线性优化方法；
4. 功率放大器的工作原理；
5. FET 混频器的大信号-小信号分析方法
6. FET 上/下变频器的基本原理及设计方法；
7. FET 倍频器的工作原理及设计方法；
8. FET 振荡器的工作原理及设计方法。

重点与难点：

1. 对于不同电路非线性分析中非线性转移函数的计算；
2. 不同类型混频器的频谱分析；
3. 电路中各种非线性现象的产生机理及优化方法；

实践环节：

1. 结合具体实例，运用 ADS 软件对各种电路进行设计；
2. 通过具体计算，了解不同电路参数对非线性的影响。

作业：

1. 对象：硕士/博士研究生结果形式：研究报告类型：平时作业；题目：自拟，例如《运用 ADS 软件对各种电路的设计》。

课程思政设计：

通过多种非线性电路的分析和设计，培养学生正确认识问题、分析问题和解决问题的能力，培养学生坚守永攀科学技术高峰的责任感和使命感。

#### 第四部分：微波毫米波前端系统的非线性分析与综合设计[3 学时]

了解：

1. 了解元器件、电路部件和系统的区别和基本概念；
2. 了解雷达、通信和电子对抗的基本概念、构成、工作原理和分类。

掌握：

1. 平衡电路对谐波和交调分量的抑制分析和具体计算；
2. 各种直接连接电路的谐波分量分析，得出外部电流和环路电流包含的奇偶谐波分量；
3. 线性和非线性电路部件直接级联的系统参数分析和计算；
4. 接收和发射系统的链路分析。

重点与难点：

多个二端网络直接级联的非线性分析与综合。

实践环节：

在课堂上展示常见的雷达、通信和电子对抗体系架构设计方案，包括 PD 和 FMCW 雷达、VAST 卫星通信地面站、堵塞干扰和欺骗干扰的实际解决方案，帮助研究生积累电子系统知识和提高系统分析与综合设计能力。

作业：

1. 3dB90 度电桥平衡电路仅具有一定的三阶交调分量抑制能力；
2. 反向并联和反向串联电路的外部总电流和环路电流的交调分量分析；
3. 多个二端网络直接级联的系统非线性特性计算。

课程思政设计：

通过多种非线性微波系统的分析和综合，培养学生创造性思维能力，激发学生探索未知的勇气。

### 三、教学方式 Teaching Methods

1. 以讲义、中文课件为主和英文参考参考资料为辅的双语教学
2. 以课堂讲授为主，讲授内容以课件为主线，辅以各种高质量权威综述报告、最新进展学术文章、关键问题深度解析材料、科研项目实际案例文稿等。
3. 根据需要开展课内或课外的主题式研讨活动。

#### **四、教材及主要参考书目 Teaching Materials & References (Including Author, Title, Publisher and Publishing Time)**

教材：讲义

参考书目：Nonlinear Microwave and RF Circuits (Second Edition), Stephen A. Mass,  
Artech House, 2003