

附件 9:

# 兰州理工大学研究生课程教学大纲

(2024 版)

研究生类别：博士/硕士

学院/部(公章)：电信学院

主编（签名）：相关课程负责人

主审（签名）： 蒋栋平 黄玲 谢兴峰

主管院长（签名）： 李超

# 目 录

《线性系统理论》教学大纲.....	1
《最优控制与最优估计》教学大纲.....	6
《机器学习》教学大纲.....	9
《系统辨识》教学大纲.....	11
《智能控制》教学大纲.....	14
《自适应控制》教学大纲.....	16
《工程伦理》教学大纲.....	19
《机器人控制技术》教学大纲.....	24
《信号检测理论与技术》教学大纲.....	26
《鲁棒控制》教学大纲.....	30
《Python 语言与大数据分析》教学大纲.....	34
《预测控制与软测量》教学大纲.....	39
《动态系统故障诊断、预测与健康维护》教学大纲.....	42
《现代控制理论》教学大纲.....	46
《最优控制与状态估计》教学大纲.....	52
《鲁棒控制理论》教学大纲.....	55
《非线性控制理论》教学大纲.....	59
《机器学习与数据挖掘》教学大纲.....	62
《系统建模与仿真技术》教学大纲.....	65
《多传感器信息融合理论与应用》教学大纲.....	68
《多变量系统分析与设计》课程教学大纲.....	73
《分布式系统与控制网络》教学大纲.....	75
《先进机器人学》教学大纲.....	79
《最优控制与状态估计》教学大纲.....	82
《半导体测试技术》教学大纲.....	85
《半导体器件物理》教学大纲.....	88
《电磁仿真工具应用》教学大纲.....	93
《电子科学与技术学科前沿》课程教学大纲.....	95
《高速 PCB 电路设计》教学大纲.....	102
《光电检测技术》教学大纲.....	105
《雷达信号分析与处理》教学大纲.....	110
《图像处理与计算机视觉》教学大纲.....	115
《微电子制造工艺》教学大纲.....	120
《现代数字信号处理》教学大纲.....	126
《现代无损检测技术》教学大纲.....	133
《现代电路与系统》课程教学大纲.....	136
《电磁兼容原理与应用》教学大纲.....	139
《半导体器件的数值分析与模拟》教学大纲.....	142
《电子测量与仪器》教学大纲.....	146
《模式识别与机器学习》教学大纲.....	150
《数值最优化算法与理论》教学大纲.....	155
《天线理论与技术》教学大纲.....	158

《微电子封装技术》教学大纲 .....	162
《微纳光子学》教学大纲 .....	168
《现代传感技术》教学大纲 .....	173
《信息融合理论与应用》教学大纲 .....	179
《智能测试系统设计》教学大纲 .....	184
《集成电路设计与 EDA》教学大纲 .....	187
《现代电力电子技术》教学大纲 .....	191
《机电能量转换系统建模》教学大纲 .....	196
《新能源电力系统建模与控制》教学大纲 .....	200
《电力能源互联网技术》教学大纲 .....	204
《电气工程新技术专题与典型工程案例》教学大纲 .....	209
《高等电力网络分析》教学大纲 .....	213
《高压电气绝缘及测试技术》教学大纲 .....	221
《交直流柔性输电系统》教学大纲 .....	225
《电力电子系统建模与控制》教学大纲 .....	228
《嵌入式系统原理与应用》教学大纲 .....	233
《现代电机调速理论与控制技术》教学大纲 .....	237
《现代电力系统分析》教学大纲 .....	241
《工程电介质物理》教学大纲 .....	246
《高等电路与网络分析》教学大纲 .....	251

# 《线性系统理论》教学大纲

适用专业：	控制工程	课程性质：	必修 (学位/必修/选修)
学时数：	48	学分数：	3
课程号：	315060010001	开课学期：	秋季学期
大纲执笔人：	李亚洁	大纲审核人：	冯宜伟

## 一、课程的地位和教学目标

本课程为“电子信息”专业硕士研究生的专业必修学位课。线性系统理论是系统与控制科学领域的一门最为基础和最为核心的课程。**树立价值塑造、能力培养、知识传授三位一体的课程目标**，本课程的教学目的是使学生理解线性系统的分析与综合及基本概念，掌握线性系统的分析与综合方法。通过课程学习，要求学生掌握线性系统的状态空间描述，线性系统的运动分析，线性系统的能控性和能观性，系统运动的稳定性，线性系统的时间域综合。为专业方向课程的学习和科学研究提供理论和方法支撑，为利用线性系统的理论和方法解决实际工程问题打下坚实基础。**指导学生树立正确的人生观和价值观，培养科学思维和创新素质，注重强化研究生工程伦理教育，培养研究生精益求精的大国工匠精神，激发研究生科技报国的家国情怀和使命担当。**

## 二、课程教学内容和基本要求

### (一) 线性系统理论的概貌 (2 学时)

#### 教学重点、难点：

线性系统理论的主要内容和研究方法

#### 教学内容和基本要求：

1、系统控制理论的研究对象

2、线性系统理论的基本概貌与发展历程，**从古代到现代，我国劳动人民和科学家为控制理论与技术的发展所作出的贡献**

3、**国内外控制领域科学家的励志成才故事**

要求了解线性系统理论的发展概况、主要研究内容和研究方法；要求了解课程学习方法、课程要求及考核方式；在宏观层次上对线性系统理论有一个总体的认识。

## **(二) 线性系统的状态空间描述 (10 学时)**

### **教学重点、难点:**

状态变量选取的非唯一性, 多输入多输出状态空间表达式的建立, 线性变换的不变性, 状态方程的约当标准型。

### **教学内容和基本要求:**

- 1、状态和状态空间
- 2、线性系统的状态空间描述
- 3、连续变量动态系统按状态空间描述的分类
- 4、由系统输入输出描述导出状态空间描述, **个人成长的状态方程与输出方程建立**
- 5、状态方程的约当规范形
- 6、由状态空间描述导出传递函数矩阵
- 7、线性系统在坐标变换下的相关特性
- 8、组合系统的状态空间描述和传递函数矩阵

要求理解线性系统的数学描述, 状态空间的基本概念; 熟练掌握系统状态空间描述的建立方法; 熟练掌握传递函数矩阵的求解方法; 要求理解线性变换的概念及相关特性。

## **(三) 线性系统的运动分析 (8 学时)**

### **教学重点、难点:**

线性系统解的形式, 状态转移矩阵的定义、性质和求解方法; 线性系统离散化方法。

### **教学内容和基本要求:**

- 1、运动分析的数学实质
- 2、连续时间线性时不变系统的运动分析, **系统的状态全响应引申至内因与外因的**

### **辩证关系**

- 3、连续时间线性时不变系统的状态转移矩阵
- 4、连续时间线性系统的时间离散化
- 5、离散时间线性系统的运动分析

要求熟练掌握状态转移矩阵的定义、性质及多种求解方法; 要求熟练掌握线性定常系统状态方程、线性离散系统状态方程的求解方法; 要求理解线性离散时变系统状态方程的求解方法。

## **(四) 线性系统的能控性和能观性 (10 学时)**

### **教学重点、难点:**

可控、可观测的含义和定义，基于格拉姆矩阵的能控性与能观性判据；对系统做各种线性变换的意义和方法；系统的对偶性原理；系统的规范形与可控可观结构分解。

#### **教学内容和基本要求：**

- 1、能控性和能观性的定义，**基于能控和能观性的中国传统文化渗透教育**
- 2、连续时间线性时不变系统的能控性判据
- 3、连续时间线性时不变系统的能观测性判据
- 4、连续时间线性时变系统的能控性和能观测性判据
- 5、离散时间线性时变系统的能控性和能观测性判据
- 6、对偶性与对偶原理
- 7、能控规范形和能观测规范形：单输入单输出情形
- 8、连续时间线性时不变系统的结构分解基于

要求理解线性系统的可控性与可观测性的基本概念与判据；要求正确理解对偶原理；要求熟练掌握线性定常连续系统和离散系统的可控性与可观测性判据；要求熟练掌握化可控标准型与可观标准型、规范分解的方法。

#### **(五) 系统运动的稳定性 (6 学时)**

#### **教学重点、难点：**

李亚普诺夫第一、第二法的主要定义与定理；李亚普诺夫函数；线性定常系统稳定性定理与判据；李亚普诺夫方程；渐近稳定性的分析与判别；李亚普诺夫函数的意义与构造方法，李亚普诺夫方程的求解。

#### **教学内容和基本要求：**

- 1、外部稳定性和内部稳定性
- 2、李亚普诺夫意义下运动稳定性的一些基本概念
- 3、李亚普诺夫第二方法的主要定理，**国外科学家追求真理的励志故事**
- 4、连续时间线性系统的状态运动稳定性判据
- 5、离散时间系统状态运动的稳定性及其判据
- 6、李亚普诺夫第二方法在线性系统中的应用

要求正确理解稳定性基本概念和李亚普诺夫意义下稳定性概念；要求掌握李亚普诺夫第一法，李亚普诺夫第二方法判稳的基本思想；要求理解非线性系统稳定性定理与判据；熟练掌握线性定常系统渐近稳定性分析的方法。

#### **(六) 线性反馈系统的时间域综合 (10 学时)**

### **教学重点、难点：**

状态反馈与输出反馈的基本结构、性质和有关定理；单输入、单输出系统的极点配置；全维观测器的设计；状态反馈与观测器的工程应用；分离性原理，带观测器的闭环反馈系统设计；解耦控制。

### **教学内容和基本要求：**

- 1、状态反馈和输出反馈，**反馈控制理论升华为方法论 PDCA**
- 2、状态反馈极点配置
- 3、输出反馈极点配置
- 4、状态反馈镇定，**国内科学家的励志故事**
- 5、跟踪控制和扰动抑制，**航空航天领域的发展成就及中国传统文化的渗透**
- 6、全维状态观测器
- 7、基于观测器的状态反馈系统
- 8、解耦控制

要求熟练掌握状态反馈与输出反馈的原理和方法；要求熟练掌握通过状态反馈进行极点配置的方法、全维状态观测器设计方法以及分离原理；要求理解系统解耦的基本思想。

### **三、课内练习环节的教学内容及基本要求、课时分配和场地**

#### **教学内容及基本要求**

##### **(一) 电力拖动系统的建模**

针对 SCM-M 电动机系统，要求学生掌握列写电机系统的状态方程和输出方程的方法，画出状态变量结构图，掌握状态空间描述法的实际应用。

本次课程 1 学时，在上课教室内进行。

##### **(二) 网络化控制系统的研究范例讨论**

针对网络化控制系统，结合课题组的研究内容，介绍线性系统理论的延伸应用，让学生了解线性系统理论在 CPS 中的应用，特别是在通讯与控制协同设计方面的应用，让学生思考能否将已学到的线性系统理论知识或其它理论知识运用到自己的课题研究中去。

本次课程 1 学时，在上课教室内进行。

### **四、本课程教学建议**

#### **(一) 充分的进行学情分析**

学生的基础差异较大，有些学生学过自动控制原理和现代控制理论，有些学生只学过自动控制原理，个别学生甚至连自动控制原理都没有学过，具体情况各年略有不同，因而需要在课程内容的广度与深度方面做适当的取舍与折中。

## **(二) 考虑适当的增加实践教学**

结合工程需求的背景，以实际项目为依托，讲授相关的系统设计方法，并要求学生进行适当的仿真练习。

## **五、本课程评价方式**

本课程的考核方式为闭卷考核。

总评成绩=平时成绩\*30%+期末卷面成绩\*70%

## **六、建议教材和教学参考书**

### **(一) 建议教材**

- [1] 郑大钟. 线性系统理论. 清华大学出版社, 2002.
- [2] 王春侠. 现代控制理论基础. 电子工业出版社, 2016
- [3] 自编讲义. 线性系统理论的 Matlab 实践. 2019

### **(二) 主要参考文献**

- [1] 黄琳. 系统与amp;控制理论中的线性代数. 科学出版社, 1984.
  - [2] Kailath T. Linear System. Englewood Cliffs. 1980.
- Chen Chi-Tsong. Linear system theory and design. Rinechart and Winston, 1984.

# 《最优控制与最优估计》教学大纲

适用专业：	控制科学与工程	课程性质：	学位
学时数：	32	学分数：	2
课程号：	315060010002	开课学期：	春季
大纲执笔人：	赵小强	大纲审核人：	李炜

## 一、课程的地位和教学目标

通过本课程的学习，首先使学生明确最优控制和最优估计问题在现代控制理论中的地位和作用，在掌握进行最优控制与最优估计的数学算法的基础上，熟知最优估计中的各种滤波方法，最优控制中的最小值原理，二次型指标线性控制与动态规划方法等，为毕业后从事控制领域工作打下坚实的理论基础。

## 二、课程教学内容和基本要求

### （一）最优控制的数学描述（2学时）

**教学重点、难点：**最优控制问题分类

**教学内容和基本要求**

- 1、了解数学描述举例和最优控制基本概念。
- 2、理解最优控制问题求解方法。
- 3、掌握最优控制问题分类。

### （二）最优控制数学基础（4学时）

**教学重点、难点：**参数最优化问题

**教学内容和基本要求**

- 1、了解矩阵。
- 2、理解函数极值。
- 3、掌握参数最优化问题。

### （三）变分法及其在最优控制中的应用（4学时）

**教学重点、难点：**Euler 方程

**教学内容和基本要求**

- 1、了解变分法的基本概念。
- 2、理解变分法在最优控制中的应用。
- 3、掌握 Euler 方程。

#### **(四) 极小值原理 (4 学时)**

**教学重点、难点：**极小值原理推导

**教学内容和基本要求**

- 1、理解极小值原理的几种常见具体形式。
- 2、掌握极小值原理推导。

#### **(五) 时间最优控制 (4 学时)**

**教学重点、难点：**Bang-Bang 控制原理

**教学内容和基本要求**

- 1、理解线性时不变系统时间最优控制。
- 2、掌握 Bang-Bang 控制原理。

#### **(六) 动态规划 (4 学时)**

**教学重点、难点：**离散控制系统的动态规划和递推方程

**教学内容和基本要求**

- 1、了解多段决策问题及最优性原理。
- 2、理解连续控制系统的动态规划——哈密尔顿 - 雅可比方程。
- 3、掌握离散控制系统的动态规划和递推方程。

#### **(七) 线性二次型最优控制 (4 学时)**

**教学重点、难点：**有限时间状态调节器

**教学内容和基本要求**

- 1、了解线性二次型问题。
- 2、理解无限时间状态调节器。
- 3、掌握有限时间状态调节器。

#### **(八) 最小二乘法 (4 学时)**

**教学重点、难点：**递推最小二乘法

**教学内容和基本要求**

- 1、了解线性系统参数估计的最小二乘法。
- 2、理解最小二乘法在线性参数估计中的应用。
- 3、掌握递推最小二乘法。

#### **(九) 最小二乘法 (2 学时)**

**教学重点、难点：**极大似然法

## 教学内容和基本要求

- 1、了解线性系统的状态估计。
- 2、理解预报误差法。
- 3、掌握极大似然法。

### 三、课内练习环节的教学内容及基本要求、课时分配和场地

## 教学内容及基本要求

- (一) 通过作业加深对最优控制与最优估计的理解。

### 四、本课程教学建议

- (一) 建议教学方法的改进。

### 五、本课程评价方式

本课程采用综合测评与闭卷考试相结合的评价方式。

### 六、建议教材和教学参考书

- (一) 巨永锋, 李登峰. 最优控制. 重庆大学出版社. 2005
- (二) 解学书. 最优控制—理论与应用. 清华大学出版社. 1986
- (三) 吴沧浦. 最优控制理论与方法. 国防工业出版社. 2000
- (四) 王朝珠, 秦化淑. 最优控制理论. 科学出版社. 2003
- (五) 秦寿康. 最优控制. 电子工业出版社. 1984
- (六) 陈新海. 最佳估计理论. 北京航空航天大学出版社. 1987
- (七) 孟宪仲. 最优控制理论. 北京航空航天大学出版社. 1987
- (八) 塞奇怀特(美), 汪寿基等译. 最优系统控制. 水利水电出版社. 1985

# 《机器学习》教学大纲

适用专业： 控制科学与工程、电气工 课程性质： 学位  
程、机械工程

学 时 数： 32 学 分 数： 2

课 程 号： 325060020002 开课学期： 春季学期

大纲执笔人： 惠永永 大纲审核人： 蒋栋年

## 一、课程的地位和教学目标

课程旨在学习和研究如何利用机器学习方法来模拟，优化和求解相关实际问题，使学生了解机器学习的最新发展与研究动向，掌握学习的核心算法和理论，利用机器学习方法，深度学习框架和神经网络模型来解决不同的实际问题。

## 二、课程教学内容和基本要求

### （一）绪论（2学时）

**教学重点、难点：** 学习的结构特点

**教学内容和基本要求**

- 1、了解学习的基本内容、意义与现状。
- 2、理解学习的发展历程。
- 3、掌握学习的基本术语。

### （二）模型评估与选择、线性模型、决策树（8学时）

**教学重点、难点：** 模型度量

**教学内容和基本要求**

- 1、了解经验误差与过拟合、评估方法、性能度量。
- 2、理解线性回归、对数几率回归、线性判别分析。。
- 3、掌握决策树的基本流程、划分选择、减枝处理以及多变量决策树。

### （三）神经网络（8学时）

**教学重点、难点：** 神经网络学习算法

**教学内容和基本要求**

- 1、了解神经元模型、感知与多层网络。
- 2、理解误差传播算法、全局最小与局部最小。
- 3、掌握几种典型的神经网络模型。

#### **(四) 支持向量机 (4 学时)**

**教学重点、难点：支持向量回归**

**教学内容和基本要求**

- 1、了解间隔与支持向量、对偶问题和核函数。
- 2、理解软间隔与正则化。
- 3、掌握支持向量回归的基本应用。

#### **(五) 贝叶斯分类器 (4 学时)**

**教学重点、难点：贝叶斯网络**

**教学内容和基本要求**

1. 了解贝叶斯决策论和极大似然估计。
2. 理解朴素贝叶斯分类器。
3. 掌握贝叶斯网和 EM 算法。

#### **(六) 聚类、降维与度量学习 (8 学时)**

**教学重点、难点：特征降维**

**教学内容和基本要求**

1. 了解聚类任务和性能度量方法。
2. 理解 k 近邻学习及低维嵌入方法。
3. 掌握主成分分析算法。

三、课内练习环节的教学内容及基本要求、课时分配和场地

**教学内容及基本要求**

(一) 通过实践性小作业的形式加深对智能控制理论的理解。

四、本课程教学建议

(一) 建议开设仿真实验。

五、本课程评价方式 考试

六、建议教材和教学参考书

(一) 《机器学习》 周志华 清华大学出版社 2016 年.

(二) 《动手学机器学习》张伟楠, 赵寒焯, 俞勇, 人民邮电出版社 2023 年.

(三) 《机器学习》 Tom, M.Mitchell 著, 曾华军 等译, 机械工业出版社 2021 年

(四) 《Machine learning in action》 Peter Harrington, Manning Publications 2012.

(五) 《Machine Learning》 Alexander Jung, Springer Singapore 20

# 《系统辨识》教学大纲

适用专业：	控制科学与工程、电气工程、 机械工程等	课程性质：	必修
学时数：	32	学分数：	2
课程号：	315060020007	开课学期：	春季学期
大纲执笔人：	孟凡成、何俊学	大纲审核人：	李二超、王志文

## 一、课程的地位和教学目标

系统辨识是研究建立系统数学模型的一种理论和方法。分析系统的行为特性和运动规律、设计系统的控制策略或估计系统的状态，通常须首要建立系统的数学模型。而系统辨识正是基于数据的实验统计建模方法，是某种准则意义下定量研究表征系统复杂因果关系的一门应用范围很广泛的学科。本课程主要系统地论述了辨识的基本理论和各种辨识方法，分析了各种方法的特点和内在联系，并介绍了辨识技术的实际应用及其最新研究进展。通过本课程的学习，使学生理解基本的辨识理论和辨识技术；能够利用计算机独立解决实际问题，掌握一些现代辨识方法。

## 二、课程教学内容和基本要求

### （一）系统辨识的一般概念（2学时）

**教学重点、难点：**系统辨识的定义、内容、步骤及分类

#### 教学内容和基本要求

- 1、了解模型的含义、表现形式及分类、建立数学模型的基本方法。
- 2、理解建模中需要遵循的基本原则、系统辨识的定义、内容、步骤及分类。
- 3、掌握辨识中常用的误差准则。

### （二）系统辨识常用输入信号（4学时）

**教学重点、难点：**M序列的产生

#### 教学内容和基本要求

- 1、了解系统辨识输入信号选择准则。
- 2、理解白噪声的定义，掌握均匀分布伪随机数及正态分布伪随机数的产生方法。
- 3、掌握伪随机二进制M序列的原理、性质及其产生方法。

### （三）最小二乘法辨识（8学时）

**教学重点、难点：**递推最小二乘法、增广递推最小二乘法

### **教学内容和基本要求**

- 1、了解最小二乘类一次完成算法之间的内在联系及递推辨识算法的一般结构。
- 2、掌握最小二乘辨识方法、加权最小二乘法、递推最小二乘法的原理及算法。
- 3、掌握增广递推最小二乘法原理及实现；了解多变量最小二乘法。

#### **(四) 非最小二乘法辨识 (6 学时)**

### **教学重点、难点：极大似然法辨识**

### **教学内容和基本要求**

- 1、了解预报误差方法与极大似然法的联系及区别。
- 2、理解预报误差方法。
- 3、掌握系统参数的极大似然估计，递推极大似然法。

#### **(五) 经典辨识方法 (4 学时)**

### **教学重点、难点：相关分析法**

### **教学内容和基本要求**

- 1、了解系统常用数学描述方法。
- 2、理解阶跃响应法。
- 3、掌握相关分析法；掌握非参数模型转化为参数模型的方法。

#### **(六) 现代辨识方法 (4 学时)**

### **教学重点、难点：Bayes 方法**

### **教学内容和基本要求**

- 1、了解最优估计准则及最小方差估计方法。
- 2、掌握 Bayes 方法及模型参考自适应参数估计方法。
- 3、掌握离散时间系统的 Kalman 滤波。

#### **(七) 智能辨识方法 (4 学时)**

### **教学重点、难点：神经网络、模糊辨识**

### **教学内容和基本要求**

- 1、掌握典型 BP 神经网络辨识原理。
  - 2、掌握模糊系统辨识原理。
- 三、课内练习环节的教学内容及基本要求、课时分配和场地

### **教学内容及基本要求**

(一) 通过课堂练习加深对辨识理论和方法的理解, 学生自备个人电脑, 在教师的指导下进行随堂练习。

#### 四、本课程教学建议

(一) 建议开设仿真实验。

#### 五、本课程评价方式 综合测评

#### 六、建议教材和教学参考书

(一) 萧德云等编著.系统辨识理论及应用[M].清华大学出版社,2017.8

(二) 刘金琨等编著.系统辨识理论及 MATLAB 仿真[M].电子工业出版社,2013.2

(三) Rolf Isermann. Identification of Dynamic Systems: An Introduction with Applications [M]. Springer Publishing Company, Incorporated, 2014.

(四) 庞中华等编著.系统辨识与自适应控制 MATLAB 仿真[M].北京航空航天大学出版社,2017.7

# 《智能控制》教学大纲

适用专业：	控制科学与工程、电气工程、机械工程	课程性质：	选修	(学位/必修/选修)
学时数：	32	学分数：	2	
课程号：	315060020008	开课学期：	春季学期	
大纲执笔人：	蒋栋年	大纲审核人：	李亚洁	

## 一、课程的地位和教学目标

智能控制是自动控制领域的前沿学科之一，它涉及控制科学与工程、计算机科学和人工智能等多个学科，被称为自动控制理论发展的第三阶段。课程设置的目的在于全面介绍智能控制的基本原理，讲授利用智能化方法进行控制系统分析和设计的基本思想，使学生具备利用智能化手段解决复杂工程控制问题的能力，培养学生对智能控制新理论的把握能力和研究能力。

## 二、课程教学内容和基本要求

### (一) 绪论 (2 学时)

**教学重点、难点：**智能控制系统的结构特点

**教学内容和基本要求**

- 1、了解智能控制课程的学习内容。
- 2、理解智能控制系统发展现状。
- 3、掌握智能控制系统的结构特点。

### (二) 模糊控制理论 (8 学时)

**教学重点、难点：**模糊关系的合成

**教学内容和基本要求**

- 1、了解模糊控制发展与现状，了解模糊集合以及隶属度函数的基本概念。
- 2、理解模糊逻辑推理、模糊逻辑运算、模糊关系合成的基本原理。
- 3、掌握模糊控制器的设计方法，能够针对复杂控制系统完成模糊控制器的设计。

### (三) 神经网络理论 (6 学时)

**教学重点、难点：**神经网络学习算法

**教学内容和基本要求**

- 1、了解神经网络的基本原理和发展现状。

2、理解典型神经网络学习算法的基本原理，具备利用典型神经网络解决实际应用问题的能力。

3、掌握如 BP、RBF、RNN 等典型的神经网络模型，并能基于其原理应用于具体问题。

#### **(四) 控制系统优化设计 (6 学时)**

**教学重点、难点：控制系统的优化设计**

**教学内容和基本要求**

4、了解遗传算法、粒子群算法、NSGA-II 等优化算法的基本原理。

5、理解上述优化算法近年来的典型改进和改进机理。

6、掌握上述优化算法在控制系统设计中的应用。

#### **(五) 典型深度学习算法在控制系统设计中的应用 (10 学时)**

**教学重点、难点：遗传算法的改进**

**教学内容和基本要求**

1、了解强化学习、LSTM 和 Transformer 等典型深度学习算法的基本原理。

2、理解上述优化算法近年来的典型改进和改进机理。

3、掌握上述深度学习算法在控制系统设计中的应用。

三、课内练习环节的教学内容及基本要求、课时分配和场地

**教学内容及基本要求**

(一) 通过实践性小作业的形式加深对智能控制理论的理解。

四、本课程教学建议

(一) 建议开设仿真实验。

五、本课程评价方式 综合测评

六、建议教材和教学参考书

(一) 刘金琨. 《智能控制》(第五版), 电子工业出版社, 2021 年.

(二) 李国勇. 《神经.模糊.预测控制及其 MATLAB 实现》(第 4 版), 电子工业出版社, 2018 年.

(三) 伊恩·古德费洛. 《深度学习》, 人民邮电出版社, 2017 年.

# 《自适应控制》教学大纲

适用专业：	控制科学与工程	课程性质：	选修
学时数：	32	学分数：	2
课程号：	315060020013	开课学期：	春季学期
大纲执笔人：	祝超群	大纲审核人：	王志文

## 一、课程的地位和教学目标

自适应控制是自动控制领域的前沿学科之一，主要介绍自适应控制系统的工程控制理论和设计方法，是为了适应控制类专业研究生的培养目标而开设的选修课程。通过该课程的学习，使得学生能够掌握系统参数辨识、模型参考自适应控制和自校正控制等自适应控制的经典内容，理解经典理论的创造性思维方式和主要研究方法，从而进一步培养学生解决复杂工程控制问题的能力。

## 二、课程教学内容和基本要求

### （一）自适应控制理论基础（8学时）

**教学重点、难点：**自适应控制的前提课程及相关结论

#### 教学内容和基本要求

- 1、了解自适应控制方法提出的背景，理解自适应控制的基本原理和应用；
- 2、掌握学习自适应控制的线性系统理论、Lyapunov 稳定性理论的必要知识；
- 3、了解超稳定性理论相关知识。

### （二）动态模型与参数估计（4学时）

**教学重点、难点：**离散时间随机线性模型；最小二乘估计的基本原理及算法

#### 教学内容和基本要求

- 1、了解离散时间随机线性模型描述方法；
- 2、理解基于最小二乘法的参数辨识理论；
- 3、掌握基本最小二乘算法、递推最小二乘算法、具有遗忘因子的递推最小二乘算法和增广最小二乘算法的参数辨识理论与方法。

### （三）模型参考自适应控制（8学时）

**教学重点、难点：**模型参考自适应控制的基本概念和设计方法

### **教学内容和基本要求**

- 1、理解模型参考自适应控制的基本原理；
- 2、掌握基于局部参数最优化方法的模型参考自适应控制设计方法；
- 3、掌握基于 Lyapunov 稳定性理论的模型参考自适应控制设计方法；
- 4、理解基于超稳定性理论的模型参考自适应控制设计方法。

#### **(四) 自校正控制 (8 学时)**

### **教学重点、难点：自校正控制的基本概念和设计方法**

### **教学内容和基本要求**

- 1、理解自校正控制的基本原理；
- 2、理解最小方差预报与最小方差控制原理；
- 3、掌握最小方差自校正调节器设计方法；
- 4、掌握广义最小方差自校正控制器设计方法；
- 5、掌握零极点配置自校正控制器设计方法。

#### **(五) 自适应控制技术的应用 (4 学时)**

### **教学重点、难点：自适应控制理论与技术的工程应用**

### **教学内容和基本要求**

- 1、了解采用自适应控制思想解决工程实际问题的方法；
- 2、了解基于模型的自适应控制策略的应用；
- 3、了解自校正控制策略的应用。

### **三、课内练习环节的教学内容及基本要求、课时分配和场地**

### **教学内容及基本要求**

- (一) 学会基于 Matlab 和 Simulink 软件的自适应控制系统仿真；
- (二) 通过实践作业的形式加深自适应控制理论的理解。

### **四、本课程教学建议**

- (一) 课堂讲授：以教师讲授为主，采用多媒体辅助教学。
- (二) 课内讨论：注重理论联系实际，精选教学案例，进行互动讨论。

### **五、本课程评价方式**

## 综合测评

### 六、建议教材和教学参考书

- (一) 《自适应控制》 柴天佑 清华大学出版社 2016 年.
- (二) 《自适应控制》 韩曾晋 清华大学出版社, 1995 年.
- (三) 《自适应控制》 韩正之、陈彭年、陈树中 清华大学出版社, 2011 年.
- (四) 《线性系统理论》 郑大钟 清华大学出版社, 2002 年.
- (五) 《系统辨识理论及应用》 萧德云 清华大学出版社, 2014.

# 《工程伦理》教学大纲

适用专业：	控制工程（专硕）	课程性质：	必修
学时数：	16	学分数：	1.0
课程号：	315060020017	开课学期：	春季学期
大纲执笔人：	赵正天、段晓燕	大纲审核人：	惠永永

## 一、课程的地位和教学目标

工程伦理课程设置的目的在于培养学生高度的工程伦理敏感性，综合地运用伦理学理论、知识和方法，对现实中复杂工程伦理问题进行分析的能力，培养学生的职业责任感和道德感。

## 二、课程教学内容和基本要求

### （一）工程与伦理（2学时）

**教学重点、难点：**如何理解工程；如何理解伦理；工程实践中的伦理问题；如何处理工程实践中的伦理问题。

#### 教学内容和基本要求

- 1、理解工程的内涵与外延。
- 2、了解伦理的内涵与外延。
- 3、理解工程实践中的伦理问题，掌握工程伦理问题的特点。
- 4、了解处理工程伦理问题的基本原则和基本思路。

**【课程思政】**在教学过程中通过实际案例充分融入德育元素，引导研究生树立正确世界观、人生观、价值观，在走出社会、面对未来和解决实际工程伦理问题时始终保持工程伦理意识和社会责任感，自觉成为具有家国情怀和使命担当的大国工匠。

### （二）工程中的风险、安全与责任（2学时）

**教学重点、难点：**工程风险的来源及防范；工程风险的伦理评估；工程风险中的伦理责任。

#### 教学内容和基本要求

- 1、理解工程风险的可接受性。
- 2、了解工程风险的伦理评估原则、途径和方法。
- 3、了解工程伦理责任的主体和类型。

**【课程思政】**在教学过程中实现——目标 1：掌握安全和安全管理的基本理论和安全管理方法，能够应用安全管理技术和方法，实现系统安全和本质安全。目标 2：具备事故调查、现场处置与组织协调能力，掌握事故预防技术与机制，使其为提高我国安全管理水平和居民安全意识而服务。目标 3：理解安全文化的作用，关注国家安全，培养学生的国家安全意识；将安全管理知识与日常生活紧密结合起来，培养学生健康、安全的生活方式。深入挖掘中国传统的安全文化，培养学生的民族自豪感；与目前时政热点相结合，树立学生正确的安全观、人生观和价值观。

### **（三）工程中的价值、利益与公正（2 学时）**

**教学重点、难点：**工程的价值及其特点；工程所服务的对象与可及性；工程实践中的攸关方与社会成本承担；公正原则在工程的实现。

#### **教学内容和基本要求**

- 1、理解工程的价值及其特点。
- 2、了解工程所服务的对象与可及性。
- 3、理解工程实践中的攸关方与社会成本承担。
- 4、理解公正原则在工程的实现。

**【课程思政】**现代科学技术尤其是其成果的工程化，产业化，改善了人们的生活，提高了生活质量。工程的社会价值并不只是正向积极的一面，例如对社会分层的作用就具有正负双面性，数字鸿沟是既有社会经济分层的反应，甚至会进一步加剧社会的不平等。

### **（四）工程活动中的环境伦理（2 学时）**

**教学重点、难点：**工程活动中环境伦理观念的确立；工程活动中的环境价值与伦理原则；工程师的环境伦理。

#### **教学内容和基本要求**

- 1、理解工程环境伦理的核心问题。
- 2、了解工程活动中的环境伦理原则。
- 3、理解工程师的环境伦理责任。

**【课程思政】**一般人认为，工科就是冷冰冰的机器和枯燥深奥的方程式，既缺乏人文环境，又缺乏人文精神。而事实上，理工科不仅重逻辑知识，也重人文思想。如果我们教育出来的人缺乏生态保护意识，制造业、建筑业就会出环境问题；如果我们教育出来的人缺乏人文关怀，医疗改革就很难成功；如果我们教育出来的人缺乏诚信，互联网经

济就会缺乏支柱。应当情景契合、内容融合，巧妙地结合好当前新闻时讯，用学生感兴趣的事和物来引导他们感悟、发自内心的认同。

#### **(五) 工程师的职业伦理 (2 学时)**

**教学重点、难点：**工程职业；工程职业伦理；工程师的职业伦理规范。

##### **教学内容和基本要求**

- 1、理解工程职业。
- 2、了解工程职业伦理。
- 3、理解工程师的职业伦理规范。

**【课程思政】**核心价值观融入工程实践、教学实践各项活动，“于实践处见效”需要做到以下三点。一是要善于讲授工程实践案例，把工程伦理案例中的失德、违规、聆讯作为反面教材，结合核心价值观，融入课程思政理论。用小案例讲清大道理，用典型案例以及惩罚措施教育和警示学生，赢得工程专业大学生的价值认同。二是引导工程专业大学生，展开工程实践，在对工程伦理的道德困境的分析和解决中，认识核心价值观，坚定马克思主义信仰。三是精心组织课堂讨论，认识再升华，让学生学以致用。

#### **(六) 环境工程的伦理问题 (2 学时)**

**教学重点、难点：**环境工程伦理问题的产生；环境工程中的生产安全与公共安全；环境工程中的社会公正与环境生态安全；经济发展与环境工程师的社会责任；环境人的职业精神与科学态度。

##### **教学内容和基本要求**

- 1、理解工程环境伦理的核心问题。
- 2、了解工程活动中的环境伦理原则。
- 3、理解工程师的环境伦理责任。

**【课程思政】**我国正在大力推进“五位一体”(经济建设、政治建设、文化建设、社会建设、生态文明建设)建设。“生态文明、资源节约、环境友好”既是经济发展模式的目标取向，也是“大气污染控制工程”课程思政教学改革的价值取向。这些都要求“大气污染控制工程”课程思政教学改革要服务于“五位一体”建设，更好地为环境可持续发展提供支撑。

#### **(七) 生物医药工程的伦理问题 (2 学时)**

**教学重点、难点：**生物医药工程伦理分析框架；制药工程伦理。

##### **教学内容和基本要求**

- 1、理解生物医药工程伦理分析框架。
- 2、了解生物医药工程伦理准则。
- 3、理解制药企业的社会责任。

**【课程思政】**经典案例“反应停”，体现了药物的上市审批要切实贯彻以人为本和安全可靠原则；“熊猫药”与罕见病药物的供需矛盾，可以聚焦到生物医药研发必须遵从关爱生命和公平正义原则的立场；抗生素生产企业滥排污水事件，则是违背关爱自然原则的典型案例。教学案例选择：一是时效性，即尽可能选择新近发生的案例，尤其是正在引起较大社会反响或广泛关注的事件。二是切身性，指能够与学生自己的专业、生活或者经历建立联系的案例，例如生命学院教师在绿色化工与生物制造领域取得的高水平科研成果。三是代表性，依据工程实践的不同领域、不同环节，或者不同的热点问题，分别设计有针对性的案例分析。就生物/医药工程领域而言，既可以考虑从基础研究、知识产权保护、成果转化、工程设计、项目施工、企业管理和市场营销等若干环节挑选代表性案例；也可以基于国家发展战略需求，从生物安全、新冠疫苗、基因编辑、耐药微生物、合成生物学、实验动物伦理等角度出发进行案例分析。

### 三、课内练习环节的教学内容及基本要求、课时分配和场地

#### **教学内容及基本要求**

自选案例公开讨论，要求学生选择社会热点问题，对其中复杂工程伦理问题进行分析，掌握工程伦理分析的基本方法，树立坚强职业责任感和道德感。

**【课程思政】**教学中应结合课程教材、教师、实践操作等情况，采用案例教学法实施“教、学、做”一体化教学，通过模拟演示、现场参观等教学方式，有意识地系统地培养具有管理科学理念、工程意识、工程素质、实践能力、创新创业精神、沟通和组织协调管理能力的高素质人才。

#### **课时分配**

2 学时

#### **场地**

教室

### 四、本课程教学建议

(一) 课内练习环节的教学建议采用：角色扮演、模拟法庭、专家讨论等形式，以

学生作为过程主体，教师作为辅助角色，协助学生推进环节的实施。

(二) 实施形式：社会热点分析、工程师采访、自选案例公开讨论。

## 五、本课程评价方式

综合测评成绩= 课内练习环节30% + 大作业70%

## 六、建议教材和教学参考书

(一) 《工程伦理学概论》 李世新，中国社会科学出版社，2008

(二) 查尔斯·E·哈里斯，迈克尔·S·普里查德，迈克尔·J·雷宾斯，《工程伦理概念和案例(第3版)》，北京理工大学出版社，2006

# 《机器人控制技术》教学大纲

适用专业：	控制理论与控制工程、	课程性质：	选修
	控制工程、控制理论与		
	控制工程（国际硕士）		
学时数：	32	学分数：	2.0
课程号：	315060020067	开课学期：	春季学期
大纲执笔人：	张浩琛	大纲审核人：	李二超

## 一、课程的地位和教学目标

机器人的控制问题是与其运动学和动力学问题密切相关的。机器人系统整体是一个多变量耦合、时变、非线性系统，已经有很多复杂的控制方法被应用在机械臂中以实现轨迹的跟踪控制。本课程是控制科学与工程专业机器人控制方向选修课程，课程目的在于使研究生理解和掌握臂型机器人线性控制、非线性控制的基础原理、常见基本方法、控制性能分析，使研究生能够针对臂型机器人设计满足控制要求的线性、非线性控制器，并进行稳定性分析，为后续工作打下基础。

## 二、课程教学内容和基本要求

### （一）绪论（4学时）

**教学重点、难点：**臂型机器人的基础知识

#### 教学内容和基本要求

- 1、了解课程意义。
- 2、了解臂型机器人正逆运动学、微分运动、动力学模型。
- 3、关节空间内的轨迹规划方法；
- 4、笛卡尔空间内的轨迹规划方法。

### （二）臂型机器人轨迹跟踪线性控制方法（8学时）

**教学重点、难点：**关节空间下的轨迹控制

#### 教学内容和基本要求

- 1、单关节的点到点线性控制方法；
- 2、单关节的连续轨迹跟踪控制方法；
- 3、多关节机械臂轨迹跟踪控制

### （三）臂型机器人轨迹跟踪非线性控制方法（12学时）

### **教学重点、难点：连续轨迹的自适应控制方法**

#### **教学内容和基本要求**

- 1、臂型机器人稳定性分析方法；
- 2、臂型机器人的自适应控制方法；
- 3、网络臂型机器人非线性控制方法。

#### **（四）臂型机器人的力交互控制方法（8学时）**

### **教学重点、难点：阻抗控制与导纳控制**

#### **教学内容和基本要求**

- 1、机械臂力交互控制基础；
- 2、机械臂的阻抗线性控制方法；
- 3、机械臂非线性阻抗控制方法；
- 4、机械臂的力交互控制初步。

#### **三、课内练习环节的教学内容及基本要求、课时分配和场地**

#### **教学内容及基本要求**

围绕机器人控制方法开展实施。通过讲述与仿真实践讨论的形式加深对相关理论的理解。

#### **课时分配和场地**

学时为课外穿插课内进行，地点为上课教室。

#### **四、本课程教学建议**

建议开设仿真实验。

#### **五、本课程评价方式**

综合测评，总评成绩=课内汇报讨论\*50%+仿真报告\*50%。

#### **六、建议教材和教学参考书**

- （一）约翰 J·克雷格. 机器人学导论（第四版）[M]. 北京: 机械工业出版社, 2018 .
- （二）刘金锟, 机器人控制系统的设计与 MATLAB 仿真——基本设计方法[M]. 清华大学出版社, 2022.
- （三）Saeed B. Niku 著, 孙富春等译. 机器人学导论——分析、控制及应用（第 2 版）[M]. 电子工业出版社, 2019.
- （四）布鲁诺·西西里安诺. 机器人学建模、规划与控制[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2015 .

# 《信号检测理论与技术》教学大纲

适用专业：	控制科学与工程、电气工	课程性质：	选修	(学位/必修/选
	程			修)
学时数：	32	学分数：	2	
课程号：	315060020010	开课学期：	春季学期	
大纲执笔人：	刘仲民	大纲审核人：	张浩洋	

## 一、课程的地位和教学目标

信号检测与估计作为现代信息理论的一个重要分支，是以信息论为理论基础，以概率论、数理统计和随机过程为数学工具，以受噪信号处理为对象，以提取有用信息为目标，综合系统理论与通信工程的一门学科；是通信、雷达、声呐、自动控制等技术的理论基础，在通信信号处理、生物医学信号处理、地震信号处理等领域得到广泛应用。通过学习该课程后，使学生系统地了解信号检测与估计的基础知识和基本理论，掌握对受噪信号处理的基本方法。其基本要素是运用数理统计的理论与方法，对统计的通信信号进行分析，如检测信号状态、估计信号参量等。而且使学生学会一种从实际问题到建立数学模型到分析问题到解决问题的思路和方法，为今后科学研究打下一个坚实的基础。

## 二、课程教学内容和基本要求

### (一) 概论 (2 学时)

#### 教学内容和基本要求：

- 1、掌握信号检测与估计的研究对象，熟悉信息传输系统地香农模型
- 2、了解信号检测与估计理论的发展历程

### (二) 随机信号及其统计描述 (2 学时)

#### 教学重点、难点：

**重点：**随机过程的基本概念，平稳随机过程，随机过程的正交级数表示

**难点：**希尔伯特变换，高斯过程、高斯白噪声和有色噪声，信号和随机参量信号及其统计描述

#### 教学内容和基本要求：

1、掌握随机过程的基本概念、统计描述方法，以及平稳随机过程的数字特征与概率密度函数；

2、熟悉高斯噪声、白噪声、有色噪声及其统计特性。

### **(三) 经典检测理论 (6 学时)**

#### **教学重点、难点:**

**重点:** 信号检测的基本概念, 贝叶斯准则

**难点:** 派生贝叶斯准则, M 元检测准则, 参量信号的统计监测

#### **教学内容和基本要求:**

- 1、熟悉信号检测理论的基本概念;
- 2、熟练掌握经典检测的检测准则。

### **(四) 确知信号的检测 (6 学时)**

#### **教学重点、难点:**

**重点:** 确知信号检测的基本概念, 二元确知信号的检测, 多元确知信号的检测

**难点:** 高斯白噪声中确知信号的检测, 匹配滤波器

#### **教学内容和基本要求:**

- 1、掌握高斯白噪声背景下确知信号检测接收机的设计, 检测性能评价;
- 2、熟悉常用的相干相移键控系统、相干频移键控系统地检测性能;
- 3、了解匹配滤波器和广义匹配滤波器的设计方法和基本性质。

### **(五) 随机参量信号的检测 (4 学时)**

#### **教学重点、难点:**

**重点:** 随机参量信号检测的基本概念及检验准则, 随机相位信号的检测, 随机振幅信号的检测

**难点:** 随机频率信号的检测, 随机时延信号的检测

#### **教学内容和基本要求:**

- 1、熟悉复合假设检验中的多种准则;
- 2、掌握随机相位、振幅、频率和时延信号的检测原理及检测性能。

### **(六) 经典估计理论 (4 学时)**

#### **教学重点、难点:**

**重点:** 经典估计准则, 估计量性质

**难点:** Cramer Rao 不等式, 最大似然估计, 最小二乘估计

### 教学内容和基本要求:

- 1、掌握多种经典估计准则;
- 2、熟悉估计量的无偏性、一致性、充分性和有效性等性能分析;
- 3、掌握 Cramer Rao 不等式, 最大似然估计, 最小二乘估计的应用。

### **(七) 信号参量的估计 (6 学时)**

#### 教学重点、难点:

**重点:** 单参量估计的基本概念, 单参量估计的通式, 振幅估计, 相位估计

**难点:** 时延估计, 频率估计

#### 教学内容和基本要求:

- 1、掌握单参量估计的通用公式和性能分析;
- 2、熟悉振幅、相位、时延和频率等参量的估计方法及性能分析。

### **(八) 功率谱估计 (2 学时)**

#### 教学重点、难点:

**重点:** 经典谱估计法, 现代谱估计法

**难点:** AR 模型谱估计法, 白噪声中正弦信号的谱估计

#### 教学内容和基本要求:

- 1、掌握间接法和直接法两种经典谱估计法;
- 2、掌握 AR 模型谱估计法;
- 3、熟悉白噪声中正弦信号的谱估计。

### **三、课内练习环节的教学内容及基本要求、课时分配和场地**

#### 教学内容及基本要求

(无)

#### **四、本课程教学建议**

先修概率论与数理统计、随机过程

#### **五、本课程评价方式**

期末考试 70% , 课程论文 30%

#### **六、建议教材和教学参考书**

(一) 建议教材:

[1]赵树杰等. 信号检测与估计理论, 北京: 清华大学出版社, 2005.11

[2]张立毅等. 信号检测与估计（第2版）著, 北京: 清华大学出版社, 2014.10

（二）教学参考书:

[1] 沈凤麟等. 信号统计分析与处理, 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2001

[2] 陆根源. 信号检测与参数估计,北京:科学出版社, 2004.8

[3] 李道本. 信号的统计检测与估计理论（第二版）, 北京: 科学出版社, 2004.10

[4] 罗鹏飞等译. 统计信号处理基础——估计与检测理论, 北京: 电子工业出版社,  
2003.8

# 《鲁棒控制》教学大纲

适用专业：	控制理论与控制工程	课程性质：	选修
学时数：	32	学分数：	2
课程号：	315060030024	开课学期：	第2学期
大纲执笔人：	王君	大纲审核人：	李炜

## 一、课程的地位和教学目标

控制系统设计中，被控对象的动态特性一般都难以用精确的数学模型进行描述；有时即使能获得被控对象的精确数学模型，但由于过于复杂，利用现有的控制系统设计手段也无法实现，因而不得不进行简化；此外，随着生产过程中工作条件环境变化，众多因素导致所建立的数学模型和实际的被控对象之间不可避免的存在误差及不确定性。这就导致了鲁棒控制问题的产生和发展，并逐渐成为控制理论界和工程应用界研究中一个非常活跃的领域。本课程设置的目的是使硕士研究生在掌握线性控制理论的基础上，进一步学习控制系统鲁棒性分析和综合的相关方法。通过该课程的学习，要求学生了解鲁棒控制理论的历史和发展现状；掌握鲁棒控制的基本理论和线性鲁棒控制系统的设计方法，为进行控制理论的研究准备好基础。

## 二、课程教学内容和基本要求

### （一）绪论（2学时）

#### 教学重点、难点：

鲁棒性的概念，线性鲁棒控制理论

#### 教学内容和基本要求

- 1、了解鲁棒控制的发展历史与现状
- 2、理解鲁棒控制主要研究内容

### （二）数学基础（6学时）

#### 教学重点、难点：

范数、Lyapunov 方程

#### 教学内容和基本要求

- 1、掌握向量和矩阵的范数
- 2、掌握矩阵奇异值
- 3、掌握函数的范数

- 4、掌握算子及其范数
- 5、掌握 Lyapunov 方程
- 6、理解 Riccati 方程
- 7、理解正实性
- 8、了解 Hamilton-Jacobi-Bellman 方程

### **(三) 稳定性 (6 学时)**

#### **教学重点、难点:**

稳定性、稳定定理

#### **教学内容和基本要求**

- 1、掌握 BIBO 稳定性
- 2、掌握小增益定理
- 3、掌握 Lyapunov 稳定性
- 4、掌握 Lyapunov 稳定定理
- 5、掌握 La Salle 不变集定理
- 6、理解 Riccati 方程
- 7、理解终值定理

### **(四) 鲁棒控制基础 (6 学时)**

#### **教学重点、难点:**

稳定性、稳定定理

#### **教学内容和基本要求**

- 1、掌握鲁棒控制基本思想
- 2、掌握不确定性的描述
- 3、掌握线性不确定系统频域模型
- 4、掌握鲁棒稳定性的频域判据
- 5、理解鲁棒稳定性的时域判定条件
- 6、了解绝对稳定性
- 7、理解鲁棒性能准则及其充分条件

### **(五) 线性鲁棒控制系统设计 (4 学时)**

#### **教学重点、难点:**

$H_\infty$  控制问题

## 教学内容和基本要求

- 1、掌握  $H_\infty$  控制问题
- 2、了解 Riccati 方程解法
- 3、理解一般被控对象建模原则
- 4、了解  $\mu$  设计与鲁棒性能
- 5、了解鲁棒  $H_\infty$  性能的充分必要条件

### **(六) 鲁棒控制-LMI (8 学时)**

#### 教学重点、难点:

控制系统综合, 不确定系统的分析与综合

## 教学内容和基本要求

- 1、掌握 LMI 处理方法
- 2、理解系统性能分析
- 3、掌握控制系统综合
- 4、理解不确定系统的分析与综合
- 5、理解保性能控制
- 6、理解时滞系统的分析与综合
- 7、了解滤波器的设计

### 三、课内练习环节的教学内容及基本要求、课时分配和场地

## 教学内容及基本要求

- (一) 学会操作 MATLAB 工具箱 LMI, 在各自实验室自学。
- (二) 掌握对所学控制方法进行仿真验证的 LMI 编程技术, 在各自实验室编程, 一周后提交仿真结果。

### 四、本课程教学建议

- (一) 教师讲授与学生自学并讲解相结合
- (二) 学生学习课堂知识与课下仿真实验相结合

### 五、本课程评价方式

综合测评 (包括课堂学习、课堂讲解、仿真实验、开卷考试四部分)。

### 六、建议教材和教学参考书

#### 建议教材:

- (一) 梅生伟, 申铁龙, 刘康志. 现代鲁棒控制理论与应用 (第 2 版). 清华大学出版社,

2008

(二) 俞立. 鲁棒控制. 清华大学出版社, 2002

**教学参考书:**

(一) 苏宏业等. 鲁棒控制基础理论 (第二版). 科学出版社, 2021

(二) 诸健, 俞立. 鲁棒控制理论及应用. 浙江大学出版社, 2005

(三) 吴敏, 桂卫华, 何勇. 现代鲁棒控制(第 2 版). 中南大学出版社, 2006

(四) 解学书, 钟宜生. H-inf 控制理论. 清华大学出版社, 1994

(五) 毛剑琴, 钟宜生(译). 鲁棒最优控制(第一版). 国防工业出版社出版, 2002

(六) 王德进编著.  $H_2$  和 H-inf 优化控制理论. 哈尔滨工业大学出版社, 2001

(七) Kemin Zhou, John C. Doyle. Essentials of Robust Control. Prentice Hall, 1998

# 《Python 语言与大数据分析》教学大纲

适用专业:	控制科学与工程、电气工程、电子科学与技术、控制工程、仪器仪表工程		
课程性质:	选修 (学位/必修/选修)		
学时数:	32	学分数:	2.0
课程号:	315060030036	开课学期:	春季学期
大纲执笔人:	何俊学	大纲审核人:	王志文

## 一、课程的地位和教学目标

大数据分析作为数据存储和数据分析的前沿技术,已经渗透到每一个行业和业务职能领域,逐渐成为重要的生产要素。大数据分析技术将帮助各行业在合理时间内攫取、管理、处理、整理海量数据,为企业经营决策提供依据。通过课程学习,学生应该掌握大数据分析的基本理论和方法,例如:Python 程序设计语言的基础知识,包括数据类型、语法规则、函数、面向对象特性、文件处理等;数据分析的基本思想,包括典型数据处理库和表格处理库等;进行数据获取和预处理的基本方法,包括对多种格式数据的加载、处理和存储;数据可视化方法及典型的库等等。为专业方向课程的学习和科学研究提供理论和方法支撑,为利用专业知识解决实际科学和工程问题打下坚实基础。

## 二、课程教学内容和基本要求

### (一) Python 程序设计语言的基本语法 (10 学时)

#### **教学重点、难点:**

Python 语言环境的安装与设置;重要的 Python 库;Python 程序设计语言的语法。

#### **教学内容和基本要求:**

- 1、Python 语言环境的安装与设置
- 2、重要的 Python 库
- 3、Python 解释器
- 4、IPython 基础
- 5、Python 语言基础
- 6、数据结构和序列
- 7、函数
- 8、文件与操作系统

要求掌握语言开发环境的安装与设置，掌握常用重要的包的功能及安装方法。要求掌握 IPython 功能及使用方法，了解 Python 语言语法特点。熟练掌握元组，列表，字典，集合，字符串等的操作方法，掌握函数的定义及调用。了解大数据分析的主要研究内容和方法；

## **(二) NumPy 基础：数组与向量化计算 (2 学时)**

### **教学重点、难点：**

NumPy 的功能及使用方法，ndarray 多维数组对象。

### **教学内容和基本要求：**

- 1、NumPy ndarray：多维数组对象
- 2、通用函数：快速的逐元素数组函数
- 3、使用数组进行面向数组编程
- 4、使用数组进行文件输入和输出
- 5、线性代数
- 6、伪随机数生成
- 7、示例

掌握 NumPy 多维数组的使用方法。

## **(三) 数据分析库 pandas (2 学时)**

### **教学重点、难点：**

数据结构，相关性和协方差。

### **教学内容和基本要求：**

- 1、pandas 数据结构
- 2、基本功能
- 3、描述性统计的概述与计算

掌握数据分析库 pandas 的使用方法。

## **(四) 数据载入、存储及文件格式 (2 学时)**

### **教学重点、难点：**

文本格式数据的读写；JSON 数据读写；XML 和 HTML 格式读写；Microsoft Excel 文件读取；数据库读取。

### **教学内容和基本要求：**

- 1、文本格式数据的读写

- 2、二进制格式
- 3、与 Web API 交互
- 4、与数据库交互

掌握常用格式数据的读取方法。

#### **(五) 数据清洗与准备 (2 学时)**

##### **教学重点、难点：**

数据的过滤、补全、置换和随机抽样。

##### **教学内容和基本要求：**

- 1、处理缺失值
- 2、数据转换
- 3、字符串操作

掌握数据的清洗与转换。

#### **(六) 数据规整：连接、联合与重塑 (2 学时)**

##### **教学重点、难点：**

数据的连接、联合与重塑。

##### **教学内容及基本要求**

- 1、分层索引
- 2、联合与合并数据集
- 3、重塑和透视

掌握数据的连接、联合与重塑。

#### **(七) 绘图与可视化 (4 学时)**

##### **教学重点、难点：**

使用 Matplotlib API 绘图。

##### **教学内容及基本要求**

- 1、Matplotlib API
- 2、使用 pandas 和 seaborn 绘图
- 3、其他 Python 可视化工具

掌握数据可视化方法。

#### **(八) 数据聚合与分组操作 (2 学时)**

##### **教学重点、难点：**

数据分组与数据聚合。

### **教学内容及基本要求**

- 1、分组机制
- 2、数据聚合
- 3、应用：通用拆分-应用-联合
- 4、数据透视表与交叉表

掌握数据分组与数据聚合方法。

### **(九) 时间序列 (2 学时)**

#### **教学重点、难点：**

时间序列数据处理。

### **教学内容及基本要求**

- 1、日期和时间数据的类型及工具
- 2、时间序列基础
- 3、日期范围、频率和移位
- 4、重新采样与频率转换

掌握时间序列数据的处理方法。

### **(十) 数据分析示例 (4 学时)**

#### **教学重点、难点：**

使用 pandas 进行时区计数。

### **教学内容及基本要求**

- 1、使用 pandas 进行时区计数
- 2、美国农业部食品数据库
- 3、联邦选举委员会数据库

掌握使用 pandas 进行数据分析的实例操作方法。

### **三、课内练习环节的教学内容及基本要求、课时分配和场地**

#### **教学内容及基本要求**

本课程的内容实践性极强，为了更有效地提升学生的专业能力，通过课堂练习加深对大数据分析和方法的理解，学生在教师的指导下进行随堂练习。

### **四、本课程教学建议**

#### **(一) 充分地进行学情分析**

学生的专业学习能力个体差异较大，有一些同学已经具有软件方面的基本知识，例如：C/C++，数据库等，但有些同学根本不具备软件方面的任何经验和能力，因而需要在课程内容的广度与深度方面做适当的取舍与折中。

## **(二) 考虑适当地充实和增加案例教学**

结合工程需求的背景，以实际项目为依托，适当地充实和增加大数据分析案例，讲授相关的大数据分析和设计方法，并要求学生适当地练习。

## **五、本课程评价方式**

本课程的考核方式为综合测评。

## **六、建议教材和教学参考书**

### **(一) 建议教材**

[4] Wes McKinney.利用 Python 进行数据分析(第二版).机械工业出版社. 2017.

[5] [美]埃里克·马瑟斯(Eric Matthes), 袁国忠 (译). Python 编程：从入门到实践. 人民邮电出版社. 2016

[6] 张良均, 王路等. Python 数据分析与挖掘实战. 机械工业出版社. 2017.

### **(二) 主要参考文献**

[3] 嵩天,礼欣,黄天羽.Python 语言程序设计基础(第 2 版).高等教育出版社.2017.

[4] [美]卫斯理春(Wesley Chun), 孙波翔等(译).《Python 核心编程(第 3 版)》.人民邮电出版社. 2016.

[5] [美]戴维 I.施耐德(David I. Schneider). 《Python 程序设计》.机械工业出版社.2016.

[6] [美] Mahesh Venkitachalam,王海鹏(译).《Python 极客项目编程》.人民邮电出版社.2017.

# 《预测控制与软测量》教学大纲

适用专业： 控制理论与控制工程、控制工程、控制理论与控制工程（国际硕士） 课程性质： 选修 （学位/必修/选修）

学时数： 32 学分数： 2  
课程号： 315060030074 开课学期： 春季学期  
大纲执笔人： 张浩琛 大纲审核人： 刘微容

## 一、课程的地位和教学目标

本课程主要让学生了解预测控制的背景和发展现状，深入理解和熟练掌握推理与内模控制、动态预测与预测控制、软测量的原理、算法及其特点，理解智能预测控制和过程优化的基本思想和原理。培养学生合理利用预测控制的诸多方法有效地解决复杂工业过程测量与控制难题的能力，为学生在相关领域开展科学理论研究或工程实践应用奠定坚实基础。

## 二、课程教学内容和基本要求

### （一）绪论（2学时）

**教学重点、难点：**预测控制与软测量的发展历史与研究现状；

**教学内容和基本要求：**

了解预测控制与软测量的研究内容、发展历史与研究现状；

### （二）最优估计（4学时）

**教学重点、难点：**理解最优估计的原理

**教学内容和基本要求**

理解常见的模型建立方法与过程，线性系统的动态最优预测原理；掌握单步最优预测算法，理解多步最优预测算法；理解最优预测显式算法和隐式算法的区别与联系。

### （三）预测控制方法与应用（12学时）

**教学重点、难点：**预测控制的原理和算法实现

**教学内容和基本要求**

理解预测控制思想和原理；理解基于阶跃响应的无约束预测控制、基于脉冲响应的无约束预测控制、基于状态空间模型的预测控制、广义预测控制的原理、算法与性能分析；理解预测控制方法应用中存在的问题；理解线性系统约束预测控制；了解智能预测控制。

#### **（四）推理与内模控制（4 学时）**

**教学重点、难点：推理与内模控制的原理和算法实现**

##### **教学内容和基本要求**

理解推理控制的原理；掌握推理控制系统的组成结构、设计方法；理解模型误差对推理控制系统性能的影响；掌握输出可测条件下的推理控制（即内模控制）的原理和设计方法；了解多变量推理控制。

#### **（五）软测量技术（8 学时）**

**教学重点、难点：不同软测量技术原理和方法**

##### **教学内容和基本要求**

掌握回归分析方法、主元分析法、部分最小二乘法、非线性多元回归法、数据处理分组方法等不同软测量技术的原理和算法；了解神经网络、支持向量机和核等回归方法的原理。

#### **（六）过程优化（2 学时）**

**教学重点、难点：过程优化的思想和原理；**

##### **教学内容和基本要求**

理解过程控制中的模型优化、算法优化和控制优化的原理

三、课内练习环节的教学内容及基本要求、课时分配和场地

##### **教学内容及基本要求**

无。

#### **四、本课程教学建议**

（一）课程内容以教师在课堂讲授为主，结合课堂研讨，合理运用多媒体辅助教学；

（二）课程内容教学过程中注重培养学生发现问题、分析问题和提出解决方案的科研能力。

五、本课程评价方式 综合测评，本课程采用综合测评方式进行考核，总成绩为 100 分，其中课程作业和平时成绩分别占 70 分和 30 分。

#### **六、建议教材和教学参考书**

（一）建议教材

1. 席裕庚. 预测控制 (第 2 版). 国防工业出版社, 2013
2. 王桂增, 王诗宓. 高等过程控制. 清华大学出版社, 2002
3. 陈虹. 模型预测控制. 科学出版社, 2013.
4. 李国勇, 杨丽娟. 神经·模糊·预测控制及其 MATLAB 实现 (第 4 版), 电子工业出版社, 2018

## (二) 教学参考书和参考文献

1. 潘立登, 李大宇, 马俊英. 软测量技术原理与应用, 中国电力出版社, 2009
2. Camacho E F, Alba C B. Model predictive control, Springer press, 2007
3. Luigi F, Salvatore G, Alessandro R, Maria G X. Soft sensors for monitoring and control of industrial processes, Springer press, 2007

# 《动态系统故障诊断、预测与健康维护》教学大纲

适用专业：	控制工程	课程性质：	选修
学时数：	32	学分数：	2
课程号：	325060030001	开课学期：	春季学期
大纲执笔人：	毛海杰	大纲审核人：	李炜

## 一、课程的地位和教学目标

《动态系统故障诊断、预测与健康维护》课程，是控制工程及相关学科硕士研究生的一门选修课程。本课程旨在人才培养过程中，使学生对动态过程故障诊断、预测与健康维护等涉及系统安全性方面的理论、方法及发展前沿，有一较为全面的了解和掌握。课程要求学生重点掌握基于定量分析和定性分析的故障诊断方法、基于统计过程与机器学习的寿命预测方法、基于容错控制与延寿控制的健康维护等，使学生具备分析和改善复杂系统的安全性和可靠性的能力，为学生在相关领域开展科学研究工作或工程实践应用奠定坚实的基础。

## 二、课程教学内容和基本要求

### （一）绪论（4学时）

#### 教学重点、难点：

主要包括：动态系统故障诊断、预测与健康维护的发展历史与现状、故障诊断、预测与健康维护的基本概念和主要研究内容。

#### 教学内容和基本要求

- 1、了解动态系统故障诊断、预测与健康维护的发展历史与现状，本领域主要研究内容。
- 2、理解故障诊断、预测与健康维护的基本概念。

### （二）动态系统故障的模型化与统计检测原理（4学时）

#### 教学重点、难点：

主要包括：系统运动行为的描述、系统运动行为的统计特性、系统故障的数学描述、系统故障的可检测性、系统故障模型的相互转化、二元假设检验、多元假设检验、复合假设检验、数据窗检验和序贯概率比检验。

#### 教学内容和基本要求

- 1、理解系统运动行为的描述、系统运动行为的统计特性、系统故障的数学描述、系统故障的可检测性、系统故障模型的相互转化等基础知识。
- 2、掌握二元假设检验、多元假设检验、复合假设检验、数据窗检验和序贯概率比检验。

### **(三) 基于定量和定性分析的故障诊断方法 (10 学时)**

#### **教学重点、难点:**

主要包括：基于解析模型和基于数据驱动的定量故障诊断方法以及基于模糊逻辑、专家系统和故障树的定性故障诊断方法。其中基于解析模型的故障诊断方法有状态估计法、参数估计法和等价空间法等；基于数据驱动的故障诊断方法有机器学习法、多元统计分析法和小波分析法等；基于定性故障诊断方法主要包括模糊逻辑法、专家系统和故障树等。

#### **教学内容和基本要求**

- 1、了解参数估计法和等价空间法，掌握状态估计法。
- 2、掌握小波分析法、机器学习法和多元统计分析法。
- 3、了解专家系统、故障树的故障诊断方法，掌握模糊逻辑法的故障诊断方法。

### **(四) 基于统计过程与机器学习的寿命预测方法 (4 学时)**

#### **教学重点、难点:**

主要包括：寿命预测的相关基本概念、基于统计过程与机器学习的寿命预测方法。

#### **教学内容和基本要求**

- 1、了解寿命预测的相关基本概念。
- 2、掌握基于 Wiener 退化模型的剩余寿命预测方法。
- 3、理解基于机器学习的剩余寿命预测方法。

### **(五) 基于容错控制与延寿控制的健康维护方法 (10 学时)**

#### **教学重点、难点:**

主要包括：容错控制与延寿控制的基本概念、几种主被动容错控制以及延寿控制方法。

#### **教学内容和基本要求**

- 1、了解容错控制与延寿控制的基本概念。
- 2、掌握基于 LMI 被动容错控制设计方法。
- 3、掌握基于多模型主动容错控制、故障调节及传感器软冗余容错等方法。
- 4、了解故障诊断与容错控制的集成设计思想。

5、掌握基于模型预测控制的延寿控制方法，掌握基于强化学习的延寿控制方法。

### 三、课内练习环节的教学内容及基本要求、课时分配和场地

#### 教学内容及基本要求

利用课外时间，学会掌握课程核心内容的 MATLAB 仿真。

#### 四、本课程教学建议

(一) 本课程涉及内容较多，发展速度较快，目前尚无完备教材，学生需广泛阅读相关书籍及文献。

(二) 目前，随着新理论、新技术的发展，现代系统的规模及复杂度日益增强，系统安全性已上升到前所未有的高度，学习课程应结合自己的研究内容，广泛了解，重点掌握。

#### 五、本课程评价方式

课程成绩采用考试、相关内容讲述、仿真等进行综合评定，其中：考试（开卷）占 50%，相关内容讲述占 20%，仿真占 30%。

#### 六、建议教材和教学参考书

- (一) 闻新，张洪钺. 控制系统的故障诊断和容错控制[M]. 机械工业出版社，2000
- (二) 周东华，叶银忠. 现代故障诊断与容错控制[M]. 清华大学出版社，2000
- (三) 胡昌华，许化龙. 控制系统的故障诊断与容错控制的分析与设计[M]. 国防工业出版社，2002
- (四) 姜斌，冒泽慧，杨浩. 控制系统的故障诊断与故障调节[M]. 国防工业出版社，2009
- (五) 周东华，李刚，李元. 数据驱动的工业过程故障诊断技术[M]. 科学出版社，2011
- (六) L.H.Chiang, E.L.Russell and R.D.Braatz. Fault Detection and Diagnosis in Industrial Systems[M]. Springer, 2001
- (七) Mogens Blanke, Michel Kinnaert, Jan Lunze, Marcel Staroswiecki. Diagnosis and Fault-Tolerant Control(2nd Edition) [M]. Springer, 2006
- (八) Rolf Isermann. Fault-Diagnosis Systems- An Introduction from Fault Detection to Fault Tolerance [M]. Springer, 2006
- (九) Hassan Noura, Didier Theilliol, Jean-Christophe Ponsart, Abbas

Chamseddine. Fault-Tolerant Control Systems-Design and Practical Applications[M]. Springer, 2009

(十) Rolf Isermann. Fault-Diagnosis Applications-Model based Condition Monitoring: Actuators, Drives, Machinery, Plants, Sensors, and Fault-tolerant Systems[M]. Springer, 2011

(十一) 周东华, 陈茂银, 徐正国.可靠性预测与最优维护技术[M].中国科学技术大学出版社, 2013

(十二) 司小胜, 胡昌华.数据驱动的设备剩余寿命预测理论与应用[M].国防工业出版社, 2016

(十三) Subhjit Guha. Prognostics and Health Management (PHM) of Dynamic Systems: Principles and Practices[M]. CRC Press, 2019

(十四) Jin Wang. Condition Monitoring and Control for Intelligent Manufacturing [M]. Springer, 2018

(十五) Jianmin Jiang. Machine Learning for Fault Diagnosis and Health Prognosis of Rotating Machinery[M]. CRC Press, 2019

(十六) Richard S.Sutton, Andrew G.Barto 著, 俞凯译. 强化学习 (第二版) [M]. 电子工业出版社, 2019

# 《现代控制理论》教学大纲

适用专业： 控制理论与控制工程、电 课程性质：必修 （学位/必修/选修）  
力系统及其自动化、模式  
识别与智能系统、高电压  
与绝缘技术等

学 时 数： 48 学 分 数： 3  
课 程 号： 315060010045 开课学期： 秋季学期  
大纲执笔人： 李亚洁 大纲审核人： 王志文

## 一、课程的地位和教学目标

本课程为“控制理论与控制工程”学术硕士研究生的专业必修学位课。现代控制理论是系统与控制科学领域的一门基础核心课程。本课程的教学目的是使学生理解线性系统的分析与综合及基本概念，掌握线性系统的分析与综合方法。通过课程学习，要求学生掌握线性系统的状态空间描述，线性系统的运动分析，线性系统的能控性和能观性，系统运动的稳定性，线性系统的时间域综合，了解线性系统的复频率域理论基础。为专业方向课程的学习和科学研究提供理论和方法支撑，为利用线性系统的理论和方法解决实际工程问题打下坚实基础。同时，指导学生树立正确的人生观和价值观，体会工匠精神与家国情怀在个人职业发展和国家科技发展中的重要性，培养科学思维和创新素质。

## 二、课程教学内容和基本要求

### （一）现代控制理论的概貌（2学时）

#### 教学重点、难点：

现代控制理论的主要内容和研究方法

#### 教学内容和基本要求：

- 1、系统控制理论的研究对象
- 2、现代控制理论的基本概貌
- 3、国内外控制领域科学家的励志成才故事

要求了解现代控制理论的发展概况、主要研究内容和研究方法；要求了解课程学习方法、课程要求及考核方式；在宏观层次上对线性系统理论有一个总体的认识。

### （二）状态空间描述（8学时）

#### 教学重点、难点：

状态变量选取的非唯一性，多输入多输出状态空间表达式的建立，线性变换的不变性，状态方程的约当标准型。

#### **教学内容和基本要求：**

- 1、状态和状态空间
- 2、线性系统的状态空间描述
- 3、连续变量动态系统按状态空间描述的分类
- 4、由系统输入输出描述导出状态空间描述
- 5、线性时不变系统的特征结构
- 6、状态方程的约当规范形
- 7、由状态空间描述导出传递函数矩阵
- 8、线性系统在坐标变换下的相关特性
- 9、组合系统的状态空间描述和传递函数矩阵
- 10、个人成长的状态方程与输出方程建立**

要求理解线性系统的数学描述，状态空间的基本概念；熟练掌握系统状态空间描述的建立方法；熟练掌握传递函数矩阵的求解方法；要求理解线性变换的概念及相关特性。

### **(三) 系统运动分析 (6 学时)**

#### **教学重点、难点：**

线性系统解的形式，状态转移矩阵的定义、性质和求解方法；线性系统的脉冲响应函数（阵），线性系统离散化方法。

#### **教学内容和基本要求：**

- 1、运动分析的数学实质
- 2、连续时间线性时不变系统的运动分析，**内因与外因的辩证关系**
- 3、连续时间线性时不变系统的状态转移矩阵
- 4、连续时间线性时不变系统的脉冲响应矩阵
- 5、连续时间线性时变系统的运动分析
- 6、连续时间线性系统的时间离散化
- 7、离散时间线性系统的运动分析

要求熟练掌握状态转移矩阵的定义、性质及多种求解方法；要求熟练掌握线性定常系统状态方程、线性离散系统状态方程的求解方法；要求理解线性连续时变系统状态方程、线性离散时变系统状态方程的求解方法。

#### **(四) 能控性和能观性 (10 学时)**

##### **教学重点、难点:**

可控、可观的含义和定义, 基于格拉姆矩阵的能控性与能观性判据; 对系统做各种线性变换的意义和方法; 系统的对偶性原理; 系统的规范形与可控可观结构分解。

##### **教学内容和基本要求:**

- 1、能控性和能观性的定义
- 2、连续时间线性时不变系统的能控性判据
- 3、连续时间线性时不变系统的能观测性判据
- 4、连续时间线性时变系统的能控性和能观测性判据
- 5、离散时间线性时变系统的能控性和能观测性判据
- 6、对偶性
- 7、离散线性化线性系统保持能控性和能观测性的条件
- 8、能控规范形和能观测规范形: 单输入单输出情形
- 9、能控规范形和能观测规范形: 多输入多输出情形
- 10、连续时间线性时不变系统的结构分解
- 11、**基于能控能观性的传统文化渗透教育**

要求理解线性系统的可控性与可观测性的基本概念与判据; 要求正确理解对偶原理; 要求熟练掌握线性定常连续系统和离散系统的可控性与可观测性判据; 要求熟练掌握化可控标准型与可观标准型、规范分解的方法。

#### **(五) 系统运动的稳定性 (6 学时)**

##### **教学重点、难点:**

李亚普诺夫第一、第二法的主要定义与定理; 李亚普诺夫函数; 线性定常系统稳定性定理与判据; 李亚普诺夫方程; 渐近稳定性的分析与判别; 李亚普诺夫函数的意义与构造方法, 李亚普诺夫方程的求解。

##### **教学内容和基本要求:**

- 1、外部稳定性和内部稳定性
- 2、李亚普诺夫意义下运动稳定性的一些基本概念
- 3、李亚普诺夫第二方法的主要定理
- 4、构造李亚普诺夫函数的规则化方法
- 5、连续时间线性系统的状态运动稳定性判据

6、连续时间线性时不变系统稳定自由运动的衰减性能的估计

7、离散时间系统状态运动的稳定性及其判据

8、**从稳定性理论的严谨性看科学家崇尚科学、追求真理的思政案例(李雅普诺夫和关肇直)**

要求正确理解稳定性基本概念和李亚普诺夫意义下稳定性概念；要求掌握李亚普诺夫第一法，李亚普诺夫第二方法判稳的基本思想；要求理解非线性系统稳定性定理与判据；熟练掌握线性定常系统渐近稳定性分析的方法；要求了解离散系统渐近稳定性分析方法和判据。

### **(六) 线性反馈系统的时间域综合 (10 学时)**

#### **教学重点、难点：**

状态反馈与输出反馈的基本结构、性质和有关定理；单输入、单输出系统的极点配置；全维观测器的设计；降维观测器的设计；状态反馈与观测器的工程应用；分离性原理，带观测器的闭环反馈系统设计；解耦控制；最优控制。

#### **教学内容和基本要求：**

- 1、状态反馈和输出反馈
- 2、状态反馈极点配置
- 3、输出反馈极点配置
- 4、状态反馈镇定
- 5、状态反馈动态解耦
- 6、状态方程静态解耦
- 7、跟踪控制和扰动抑制
- 8、全维状态观测器
- 9、降维状态观测器
- 10、基于观测器的状态反馈系统
- 11、解耦控制
- 12、线性二次型最优控制

#### **13、反馈控制理论升华为方法论 PDCA**

要求熟练掌握状态反馈与输出反馈的原理和方法；要求熟练掌握通过状态反馈进行极点配置的方法、全维状态观测器设计方法以及分离原理；要求了解降维观测器设计的思路和方法；要求理解系统解耦的基本思想；要求了解线性二次型最优控制。

## **(七) 系统的频域分析与综合 (4 学时)**

### **教学重点、难点:**

线性反馈系统的频域分析与综合。

### **教学内容及基本要求**

- 1、传递函数矩阵的矩阵分式描述
- 2、传递函数矩阵的结构特性
- 3、传递函数矩阵的状态空间实现
- 4、线性时不变系统的多项式矩阵描述
- 5、线性时不变控制系统的复频域分析
- 6、线性时不变反馈系统的复频域综合

要求了解线性系统的频域理论及设计方法

### **三、课内练习环节的教学内容及基本要求、课时分配和场地**

#### **教学内容及基本要求**

##### **(一) 电力拖动系统的建模**

针对 SCM-M 电动机系统, 要求学生掌握列写电机系统的状态方程和输出方程的方法, 画出状态变量结构图, 掌握状态空间描述法的实际应用。

本次课程 1 学时, 在上课教室内进行。

##### **(二) 网络化控制系统的研究范例讨论**

针对网络化控制系统, 结合课题组的研究内容, 介绍线性系统理论的延伸应用, 让学生了解线性系统理论在 CPS 中的应用, 特别是在通讯与控制协同设计方面的应用, 让学生思考能否将已学到的线性系统理论知识或其它理论知识运用到自己的课题研究中去。

本次课程 1 学时, 在上课教室内进行。

### **四、本课程教学建议**

#### **(一) 充分的进行学情分析**

学生的基础差异较大, 有些学生学过自动控制原理和现代控制理论, 有些学生只学过自动控制原理, 个别学生甚至连自动控制原理都没有学过, 具体情况各年略有不同, 因而需要在课程内容的广度与深度方面做适当的取舍与折中。

#### **(二) 考虑适当的增加实践教学**

结合工程需求的背景，以实际项目为依托，讲授相关的系统设计方法，并要求学生进行适当的仿真练习。

## 五、本课程评价方式

本课程的考核方式为闭卷考核。

总评成绩=平时成绩\*30%+期末卷面成绩\*70%

## 六、建议教材和教学参考书

### (一) 建议教材

[7] 郑大钟. 线性系统理论. 清华大学出版社, 2002.

[8] 王春侠. 现代控制理论基础. 电子工业出版社, 2016

[9] 自编讲义. 线性系统理论的 Matlab 实践. 2019

### (二) 主要参考文献

[7] 黄琳. 系统与控制理论中的线性代数. 科学出版社, 1984.

[8] Kailath T. Linear System. Englewood Cliffs. 1980.

Chen Chi-Tsong. Linear system theory and design. Rinechart and Winston, 1984.

# 《最优控制与状态估计》教学大纲

适用专业：	控制理论与工程	课程性质：	选修	学位
学时数：	32	学分数：	2	
课程号：	315060010051	开课学期：	春季学期	
大纲执笔人：	唐伟强	大纲审核人：	赵小强	

## 一、课程的地位和教学目标

《最优控制与状态估计》是控制科学与工程学科专业的核心课程，主要讲授最优控制的基本原理，包括变分法、线性二次型指标最优控制、极小值原理、动态规划和状态估计等内容。通过课程学习，学生可以了解最优控制与状态估计的发展及其历史地位、相关原理及应用。课程涉及大量的定理证明与公式推导，要求学生掌握最优控制基本原理的推导与证明过程。通过训练学生的数学思维，提高理论研究和应用能力，为今后从事控制领域的科研与工作打下坚实的基础。

## 二、课程教学内容和基本要求

### （一）导论（2学时）

**教学重点、难点：最优控制的定义与性能指标**

**教学内容和基本要求**

- 1、了解最优控制的发展历史。
- 2、理解最优控制问题的描述。
- 3、掌握最优控制性能指标类型。

### （二）最优控制中的变分法（4学时）

**教学重点、难点：欧拉方程与横截条件**

**教学内容和基本要求**

- 1、了解泛函与变分。
- 2、理解欧拉方程与横截条件的推导过程。
- 3、掌握变分法求解最优控制问题。

### （三）极小值原理及其应用（6学时）

**教学重点、难点：极小值原理**

**教学内容和基本要求**

- 1、了解极小值原理的相关背景。

- 2、理解连续系统极小值原理的推导。
- 3、掌握时间最优控制、燃料最优控制和时间-燃料最优控制。

#### **(四) 动态规划 (6 学时)**

**教学重点、难点：离散动态规划**

**教学内容和基本要求**

- 7、了解多级决策过程。
- 8、理解离散动态规划的求解。
- 9、掌握离散动态规划在控制系统中的应用。

#### **(五) 线性最优状态调节器 (6 学时)**

**教学重点、难点：状态调节器**

**教学内容和基本要求**

- 1、了解线性二次型问题。
- 2、理解状态调节器的设计。
- 3、掌握离状态调节器在控制系统中的应用。

#### **(六) 线性最优输出调节器与跟踪系统 (4 学时)**

**教学重点、难点：输出调节器**

**教学内容和基本要求**

- 1、了解输出调节问题。
- 2、理解输出调节器的设计。
- 3、掌握输出调节器在控制系统中的应用。

#### **(七) 最优状态估计 (4 学时)**

**教学重点、难点：卡尔曼滤波器**

**教学内容和基本要求**

- 1、了解状态估计问题。
- 2、理解离散时间随机系统的预测与滤波。
- 3、掌握卡尔曼估计在控制系统中的应用。

三、课内练习环节的教学内容及基本要求、课时分配和场地

**教学内容及基本要求**

(一) 通过小作业的形式加深对最优控制与最优估计理论的理解。

四、本课程教学建议

(一) 在授课过程中加入最优控制与状态估计的最新理论， 让学生了解前沿动态。

#### 五、本课程评价方式

采用综合测评评价方式， 即平时成绩 (30%) + 期末考试成绩 (70%) 。

#### 六、建议教材和教学参考书

(一) 《最优控制理论与系统》 胡寿松、王执铨和胡维礼 科学出版社 2017 年.

(二) 《随机控制与滤波技术》 刘伟和董国华 国防工业出版社 2016 年.

(三) 《最优控制—理论与应用》 解学书, 清华大学出版社 1986 年

(四) 《最优控制理论与方法》 吴沧浦 国防工业出版社 2000 年

(五) 《Optimal Control Theory An Introduction》 Donald E. Kirk Dover Publications Inc.

2004

# 《鲁棒控制理论》教学大纲

适用专业：	控制科学与工程	课程性质：	选修
学时数：	32	学分数：	2
课程号：	115060020004	开课学期：	第2学期
大纲执笔人：	王君	大纲审核人：	李炜

## 一、课程的地位和教学目标

控制系统设计中，被控对象的动态特性一般都难以用精确的数学模型进行描述；有时即使能获得被控对象的精确数学模型，但由于过于复杂，利用现有的控制系统设计手段也无法实现，因而不得不进行简化；此外，随着生产过程中工作条件环境变化，众多因素导致所建立的数学模型和实际的被控对象之间不可避免的存在误差及不确定性。这就导致了鲁棒控制问题的产生和发展，并逐渐成为控制理论界和工程应用界研究中一个非常活跃的领域。本课程设置的目的是使博士研究生在掌握线性控制理论的基础上，进一步学习控制系统鲁棒性分析和综合的相关方法。通过该课程的学习，要求学生了解鲁棒控制理论的历史和发展现状；掌握鲁棒控制的基本理论和线性/非线性鲁棒控制系统的设计方法，为进行控制理论的研究准备好基础。

## 二、课程教学内容和基本要求

### （一）绪论（2学时）

#### 教学重点、难点：

鲁棒性的概念，线性鲁棒控制理论

#### 教学内容和基本要求

- 1、了解鲁棒控制的发展历史与现状
- 2、理解鲁棒控制主要研究内容

### （二）数学基础（6学时）

#### 教学重点、难点：

范数、Lyapunov 方程

#### 教学内容和基本要求

- 1、掌握向量和矩阵的范数
- 2、掌握矩阵奇异值
- 3、掌握函数的范数

- 4、掌握算子及其范数
- 5、掌握 Lyapunov 方程
- 6、理解 Riccati 方程
- 7、理解正实性
- 8、了解 Hamilton-Jacobi-Bellman 方程

### **(三) 稳定性 (6 学时)**

#### **教学重点、难点:**

稳定性、稳定定理

#### **教学内容和基本要求**

- 1、掌握 BIBO 稳定性
- 2、掌握小增益定理
- 3、掌握 Lyapunov 稳定性
- 4、掌握 Lyapunov 稳定定理
- 5、掌握 La Salle 不变集定理
- 6、理解 Riccati 方程
- 7、理解终值定理

### **(四) 鲁棒控制基础 (6 学时)**

#### **教学重点、难点:**

稳定性、稳定定理

#### **教学内容和基本要求**

- 1、掌握鲁棒控制基本思想
- 2、掌握不确定性的描述
- 3、掌握线性不确定系统频域模型
- 4、掌握鲁棒稳定性的频域判据
- 5、理解鲁棒稳定性的时域判定条件
- 6、了解绝对稳定性
- 7、理解鲁棒性能准则及其充分条件

### **(五) 线性鲁棒控制系统设计 (3 学时)**

#### **教学重点、难点:**

$H_{\infty}$  控制问题

### 教学内容和基本要求

- 1、掌握  $H_\infty$  控制问题
- 2、了解 Riccati 方程解法
- 3、理解一般被控对象建模原则
- 4、了解鲁棒  $H_\infty$  性能的充分必要条件

#### **(六) 非线性系统鲁棒控制基础 (3 学时)**

### 教学重点、难点:

$L_2$  性能准则

### 教学内容和基本要求

- 1、理解无源性与稳定性
- 2、掌握耗散性与  $L_2$  性能准则
- 3、了解  $L_2$  增益与 HJI 不等式

#### **(七) 鲁棒控制-LMI (6 学时)**

### 教学重点、难点:

控制系统综合，不确定系统的分析与综合

### 教学内容和基本要求

- 1、掌握 LMI 处理方法
- 2、理解系统性能分析
- 3、掌握控制系统综合
- 4、理解不确定系统的分析与综合
- 5、了解保性能控制
- 6、了解时滞系统的分析与综合

### 三、课内练习环节的教学内容及基本要求、课时分配和场地

### 教学内容及基本要求

- (一) 学会操作 MATLAB 工具箱 LMI，在各自实验室自学
- (二) 掌握对所学控制方法进行仿真验证的 LMI 编程技术，在各自实验室编程，一周后提交仿真结果。

### 四、本课程教学建议

- (一) 教师讲授与学生自学并讲解相结合
- (二) 学生学习课堂知识与课下仿真实验相结合

## 五、本课程评价方式

综合测评（包括课堂学习、课堂讲解、仿真实验、开卷考试四部分）。

## 六、建议教材和教学参考书

### 建议教材：

（一）梅生伟, 申铁龙, 刘康志. 现代鲁棒控制理论与应用（第 2 版）. 清华大学出版社, 2008

（二）俞立. 鲁棒控制. 清华大学出版社, 2002

### 教学参考书：

（一）苏宏业等. 鲁棒控制基础理论（第二版）. 科学出版社, 2021

（二）诸健, 俞立. 鲁棒控制理论及应用. 浙江大学出版社, 2005

（三）吴敏, 桂卫华, 何勇. 现代鲁棒控制(第 2 版). 中南大学出版社, 2006

（四）解学书, 钟宜生.  $H_\infty$  控制理论. 清华大学出版社, 1994

（五）毛剑琴, 钟宜生(译). 鲁棒最优控制(第一版). 国防工业出版社出版, 2002

（六）王德进编著.  $H_2$  和  $H_\infty$  优化控制理论. 哈尔滨工业大学出版社, 2001

（七）Kemin Zhou, John C. Doyle. Essentials of Robust Control. Prentice Hall, 1998

# 《非线性控制理论》教学大纲

适用专业：	控制科学与工程、电气工程	课程性质：	选修	(学位/必修/选修)
学时数：	32	学分数：	2	
课程号：	115060020005	开课学期：	春季学期	
大纲执笔人：	刘微容	大纲审核人：	李炜	

## 一、课程的地位和教学目标

伴随社会进步，各种大型复杂系统不断涌现，此类复杂控制系统普遍具有非线性特征，传统线性控制方法在面对非线性系统时存在一定的局限性。因此，非线性控制理论越来越得到广泛重视和应用。课程设置的目的在于较为全面的介绍非线性控制理论中的基本概念、核心原理与重要方法，以及部分现代非线性理论与技术，培养学生运用非线性控制方法开展相关理论研究、解决实际复杂控制工程问题的能力。

## 二、课程教学内容和基本要求

### (一) 非线性控制概述 (2 学时)

**教学重点、难点：**非线性系统的主要特性、分析与设计方法

#### 教学内容和基本要求

- 1、了解非线性系统理论的发展过程与研究现状。
- 2、掌握非线性系统的主要特性。

### (二) 非线性控制系统经典分析方法 (2 学时)

**教学重点、难点：**借助于相平面分析法研究分析二阶系统

#### 教学内容和基本要求

- 1、掌握利用相平面法分析非线性系统的方法。
- 2、理解描述函数法。

### (三) 李雅普诺夫方法及其在非线性和系统分析与设计中的应用 (6 学时)

**教学重点、难点：**李雅普诺夫稳定性定义及其分析方法、绝对稳定性

#### 教学内容和基本要求

- 1、掌握李雅普诺夫稳定性定义及其分析方法。
- 2、掌握基于李雅普诺夫方法的非线性系统设计方法。
- 3、理解小增益定理，掌握绝对稳定性。

#### **(四) 非线性控制系统的精确线性化方法 (10 学时)**

**教学重点、难点：**反馈线性化的条件以及精确线性化方法

**教学内容和基本要求**

- 1、理解微分几何基础理论、李导数李括号运算。
- 2、掌握局部坐标变换、输入-输出、输入-状态反馈精确线性化原理与方法。
- 3、理解反馈线性化原理与方法在渐进稳定、跟踪控制等方面的应用。
- 4、了解多输入多输出非线性系统反馈线性化初步理论。

#### **(五) 非线性系统的滑模变结构控制方法 (8 学时)**

**教学重点、难点：**伴随型非线性系统和仿射非线性系统的滑模变结构控制器设计方法

**教学内容和基本要求**

- 1、理解非线性系统的滑模变结构控制概念和基本原理。
- 2、掌握伴随型、仿射非线性系统的滑模变结构控制器设计方法。
- 3、理解滑模变结构控制的抖振问题及其削弱方法。
- 4、了解几种新型的滑模变结构控制器设计方法。

#### **(六) 非线性自适应控制的基本理论与方法 (2 学时)**

**教学重点、难点：**自适应控制系统的基本概念和鲁棒性

**教学内容和基本要求**

- 1、理解自适应控制系统的基本概念和自适应控制系统鲁棒性。
- 2、了解严参数反馈型非线性系统的状态反馈自适应反演控制和输出反馈型非线性系统自适应反演控制。

#### **(七) 非线性系统 $H^\infty$ 鲁棒控制的基本理论与方法 (2 学时)**

**教学重点、难点：**非线性  $H^\infty$  鲁棒控制理论的设计思想

**教学内容和基本要求**

- 1、理解  $H^\infty$  鲁棒控制基本理论。
- 2、了解非线性  $H^\infty$  鲁棒控制理论的基本设计思想。

### **三、课内练习环节的教学内容及基本要求、课时分配和场地**

**教学内容及基本要求**

无

### **四、本课程教学建议**

(一) 课程内容教学以师生互动研讨式为主，合理运用多媒体辅助教学；

(二) 课程内容教学过程中注重培养学生发现问题、分析问题和提出解决方案的科研能力。

## 五、本课程评价方式

本课程采用综合测评方式进行考核。

## 六、建议教材和教学参考书

### (一) 教材

(1) Hassan k. 非线性系统. 电子工业出版社 (第三版). 2017

(2) 方勇纯. 非线性系统理论. 非线性控制系统理论与应用. 清华大学出版社. 2014

### (二) 参考书

(1) 贺昱曜, 闫茂德. 非线性控制理论及应用. 西安电子科技大学出版社. 2007

(2) 马克茂, 刘小河. 非线性控制. 机械工业出版社. 2014

(3) 高为炳. 非线性控制系统导论. 科学出版社. 1991

# 《机器学习与数据挖掘》教学大纲

适用专业：	控制科学与工程	课程性质：	必修
学时数：	32	学分数：	2
课程号：	115060020009	开课学期：	春季学期
大纲执笔人	曹慧超	大纲审核人：	李炜

## 一、课程的地位和教学目标

《机器学习与数据挖掘》课程是控制科学与工程及相关学科博士研究生的一门专业必修课程。课程涉及概率论、统计学、优化理论等多门学科，旨在从海量数据中自动分析获得规律，并利用规律对未知数据进行预测或决策，具有广泛的应用前景。通过本课程的学习使学生了解机器学习领域的最新发展动向及现状，掌握机器学习的方法原理及其应用情况，能够运用机器学习方法来解决实际问题；能够掌握数据挖掘的基本概念，了解数据挖掘的定义和功能以及实现数据挖掘的主要步骤和具体实现方法，掌握数据挖掘算法的基本原理，为学生在相关领域进一步深入开展科学研究工作或工程实践应用奠定坚实的基础。

## 二、课程教学内容和基本要求

### （一）绪论（2学时）

#### **教学重点、难点：**

机器学习与数据挖掘技术概论、发展历史与现状、基本概念和主要研究内容。

#### **教学内容和基本要求**

- 1、了解机器学习与数据挖掘的发展历史与现状、主要应用领域及主要研究内容；
- 2、理解机器学习与数据挖掘的基本概念。

### （二）机器学习基本理论（12学时）

#### **教学重点、难点：**

机器学习基础知识、基于浅层机器学习和基于深度学习的方法。其中基于浅层机器学习方法包含神经网络、支持向量机、贝叶斯分类法等；基于深度学习的方法有基于深度神经网络的方法、基于深度置信网络的方法、基于卷积神经网络的方法、基于递归神经网络的方法和强化学习方法。

#### **教学内容和基本要求**

- 1、掌握模型评估与选择、线性模型等机器学习数学基础知识；

- 2、理解贝叶斯分类法、掌握神经网络和支持向量机法；
- 3、掌握基于深度神经网络的方法、基于深度置信网络的方法、基于卷积神经网络的方法及基于递归神经网络的方法；
- 4、了解强化学习基本概念、理解深度 Q 网络方法。

### **(三) 数据挖掘基本理论 (12 学时)**

#### **教学重点、难点：**

认识数据和数据预处理技术、数据仓库和联机分析处理、模式挖掘与关联分析、分类、聚类及离群点检测。

#### **教学内容和基本要求**

- 1、理解数据预处理概念，掌握数据清理与集成、数据规约、数据变换及数据离散化等数据预处理技术；
- 2、理解数据仓库和联机分析处理、模式挖掘与关联分析基本概念和一般实现方法；
- 3、理解数据分类的基础概念，掌握决策树归纳、贝叶斯分类和基于规则的分类方法；了解多类分类、半监督分类、主动学习和迁移学习高级分类方法；
- 4、掌握数据聚类的基本概念和方法，掌握从监督力度及方法角度检测离群点的方法。

### **(四) 机器学习与数据挖掘技术应用 (6 学时)**

#### **教学重点、难点：**

机器学习与数据挖掘学习软件仿真平台及开发环境、Alpha Go 及科学与工程中的数据挖掘案例学习。

#### **教学内容和基本要求**

- 1、掌握 Tensor Flow 平台的使用方法、了解其他机器学习平台；
- 2、理解基于深度强化学习的 Alpha Go 的基本原理、实现步骤；
- 3、了解入侵检测与预测数据挖掘、科学与工程中的数据挖掘案例。

#### **三、课内练习环节的教学内容及基本要求、课时分配和场地**

#### **教学内容及基本要求**

通过实践性小作业的形式加深对机器学习、数据挖掘技术基本研究方法的理解。四、本课程教学建议

(一) 本课程涉及内容较多，发展速度较快，目前尚无完备教材，学生需广泛阅读相关书籍及文献。

(二) 目前, 随着新理论、新技术的发展, 学生学习课程应结合自己的研究内容, 广泛了解, 重点掌握。

## 五、本课程评价方式

课程成绩采用开卷考试、平时仿真作业等进行综合评定。其中: 考试(开卷)占 50%, 仿真作业占 50%。

## 六、建议教材和教学参考书

- [1] 周志华. 机器学习[M]. 清华大学出版社, 2016.
- [2] 焦李成, 赵进. 深度学习、优化与识别[M]. 清华大学出版社, 2017.
- [3] Jiawei Han Micheline Kamber Jian Pei 著, 范明 译. 数据挖掘概念与技术[M]. 机械工业出版社, 2019.
- [4] 张良均, 谭立云. Python 数据分析与数据实战[M]. 机械工业出版社. 2020.
- [5] 黄安埠. 深入浅出深度学习原理剖析与 Python 实践[M]. 电子工业出版社, 2017.
- [6] 冯超. 强化学习精要核心算法与 TensorFlow 实现[M]. 电子工业出版社, 2018.
- [7] Ian H. Witten, Eibe Frank, Mark A. Hall. Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques[M]. Morgan Kaufmann Publishers, 2016.
- [8] Richard S. Sutton, Andrew G. Barto 著. 俞凯等 译. 强化学习[M]. 电子工业出版社. 2019.

# 《系统建模与仿真技术》教学大纲

适用专业：	控制科学与工程	课程性质：	必修	(学位/必修/选修)
学时数：	32	学分数：	3	
课程号：	115060020023	开课学期：	春季	
大纲执笔人：	安爱民	大纲审核人：	李二超	

## 一、课程的地位和教学目标

系统建模与仿真技术在控制科学与工程专业博士人才培养过程中具有重要的作用。本课程引导攻读控制科学与工程博士学位的研究生熟悉复杂系统的概念和特点及其发展历史。其任务是要求学习本课程的研究生要具备系统建模与控制的基本知识，利用相关数值计算及仿真的技术展开针对相关行业领域的复杂系统进行分析和计算；要求研究生掌握的机理建模、数据驱动建模，以及多变量优化控制算法、智能控制算法的基本理论、基本知识和基本技能；通过学习该课程后，在知识、能力和素质等方面应达到解决化工、电力、交通等领域的复杂控制问题，并可以跟随复杂系统领域未来发展趋势。

## 二、课程教学内容和基本要求

本课程在讲述复杂系统的基本概念、特征、分类以及建模、控制方法的基础上，紧密结合化工、冶金等实际重点工程项目讲述复杂系统的基本特点和发展趋势；对复杂系统的机理建模、辨识建模、基于数据驱动的建模、子空间辨识建模以及灰箱子建模进行描述；分析和分解复杂系统的并行、串行层次性结构，对复杂系统的多变量预测控制、集中式控制、分解式控制、分布式控制以及分层协调式控制进行仿真，并对现有理论在实际工业过程中的应用进行介绍。

### (一) 复杂系统的概念、特点与发展史 (写知识块标题) (6 学时)

**教学重点、难点：**正确理解系统的概念，准确把握复杂系统的概念及其特点和特性，了解复杂系统发展历史。

#### **教学内容和基本要求**

- 1、正确理解系统的概念；
- 2、准确把握复杂系统的概念及其特点和特性；
- 3、了解复杂系统发展历史，从不同阶段来分析有关复杂系统建模方法、控制方法的发展历程。

### (二) 复杂系统建模的方法 (写知识块标题) (10 学时)

**教学重点、难点：**重点理解机理建模的基本原理和方法。理解系统中相互关联的子系统串联、并联结构及其分割方法、参数辨识、数据驱动建模方法

### **教学内容和基本要求**

- 1、理解机理建模的基本原理和基本方法;
- 2、掌握系统分割、参数辨识、数据驱动建模基本方法;
- 3、熟悉安装最新版本的 Matlab 软件，学习掌握使用 System Identification 各种功能，掌握数据处理、数据校正等方法，能够实现 SISO、简单 MIMO 系统的辨识建模方法。

### **(三) 复杂系统控制的方法（写知识块标题）（10 学时）**

**教学重点、难点：**了解基本 PID 控制方法，了解解耦方法，理解多变量耦合系统的控制方法，重点掌握多变量优化控制方法。理解预测控制的基本理论、基本算法。了解几种针对复杂系统的控制方法。集中式控制方法、分解式控制方法、分层协同式控制方法、分布式控制方法、智能控制方法。

### **教学内容和基本要求**

- 1、理解关于复杂系统的高维、非线性、时滞和不确定性以及子系统间的耦合行为特征等;
- 2、重点掌握多变量预测控制算法。变量选择、模型的降阶、变量的约束、优化目标函数的选择和确定;
- 3、重点理解和掌握稳态优化和动态优化算法的求解;
- 4、熟悉安装最新版本的 Matlab 软件，学习掌握使用 Optimization、Model Predictive Control 各种功能，掌握优化类型及优化求解器的选择。能够实现包含 3-5 个系统、变量 10 个以下小型复杂系统的集中式 MPC、分解式 MPC、分布式 MPC 以及分层协同式 MPC 算法的实现。

### **(四) 复杂系统建模与控制应用分析（写知识块标题）（6 学时）**

**教学重点、难点：**选择学生熟知的钢铁厂、石化厂、电力系统、交通网络、供水系统和社会组织方面的 2-3 个具有代表性的小型复杂系统为控制对象，从熟悉工作原理、工艺流程、数学模型建立、动态行为分析、优化控制算法的编制与实现。

### **教学内容和基本要求**

- 1、熟悉典型具有代表性的复杂系统的工作原理、工艺流程;
- 2、重点掌握线性、非线性数学模型的建立与常微分方程的求解方法，熟悉系统的分解和动态行为测试、变量的选取;

3、在 Matlab 环境下实现小型复杂系统的集中式 MPC、分解式 MPC、分布式 MPC 以及分层协同式 MP;

4、学会对仿真结果进行分析和总结。

### 三、课内练习环节的教学内容及基本要求、课时分配和场地

#### 教学内容及基本要求 (小四号宋体加粗)

(一) 在进行复杂系统建模环节学习时, 要求上课地点内配备有多媒体, 多媒体的计算机安装有 System Identification 的 Matlab 软件(3 课时);

(二) 在进行复杂系统控制环节学习时, 要求上课地点内配备有多媒体, 多媒体的计算机安装有 Model Predictive Control 的 Matlab 软件(3 课时);

(按“认识”、“学会”/“会操作”、“掌握”等不同层次的行为动词来说明教学基本要求)

#### 四、本课程教学建议

(一) 选择该课程的学生具备扎实的数学基础。熟悉《高等数学》、《线性代数》、《矩阵理论》;

(二) 已经修完或者自学《自动控制原理》、《现代控制理论》、《优化控制》、《线性系统理论》等相关专业基础课;

(三) 在硕士研究生阶段修完《系统辨识》、《数字计算》等相关课程;

(四) 具备熟练使用 Matlab、Python 等等现代软件, 熟练进行算法开发、数据可视化、数据分析以及数值计算的高级技术计算语言和交互式环境的编程能力。

#### 五、本课程评价方式

本课程采用: 平时作业(40%)+结课论文(50%), 以及上课出勤率(10%)相结合的方法进行评价。

#### 六、建议教材和教学参考书

1 洪奕光,徐相如.复杂系统控制分析综合中的若干新方向[J].系统科学与数学, 2012, 32(10):1266-1273 .

2. Kelso, J. A. S. (Book series editor) Understanding Complex Systems; Springer: Heidelberg, 2005.

3. James B. Rawlings, David Q. Mayne, Model Predictive Control, Theory and Design, US: Madison, Wisconsin, Nob Hill Publishing, 2009.

4 刘兴堂等著, 复杂系统建模理论、方法与技术, 北京: 科学出版社, 2008.6.

5.罗艳红,张化光, 崔黎黎, 复杂非线性系统的自适应优化控制, 北京: 科学出版社, 2013.6.

# 《多传感器信息融合理论与应用》教学大纲

适用专业：	控制科学与工程、电子科学与技术、电气工程等相关专业	课程性质：	选修
学时数：	32	学分数：	2
课程号：	115060030013	开课学期：	第 2 学期
大纲执笔人：	陈辉	大纲审核人：	赵小强

## 一、课程的地位和教学目标

多传感器信息融合是利用计算机技术将来自多传感器或多源的信息和数据，在相关准则下加以自动分析和综合，以完成所需要的决策和估计而进行的信息处理过程。随着传感器应用技术、数据处理技术、计算机软硬件技术、信息技术、现代通信技术和工业化控制技术的发展成熟，多传感器信息融合技术已形成一门热门新兴学科和技术，掌握该技术对于拓展研究生科研思路、推进学科的交叉融合、提高研究生的国际化视野均有非常大的意义。多传感器信息融合技术的应用领域广泛，不仅应用于军事，在民事应用方面也有很大的空间。军事应用是多传感器信息融合技术诞生的奠基石，具体应用包括海洋监视系统和军事防御系统。在民事应用领域方面，主要用于智能处理以及工业化控制，智能处理包括医药方面的机器人微型手术和疾病监测尤其是智能家居等方面。通过本课程的学习，研究生（含国际生）将掌握多传感器信息融合基础理论与方法、目标状态估计、Bayes 方法、Monte Carlo 理论、Dempster-Shafer 理论、估计理论和滤波器理论、随机集理论、估计融合、传感器管理等方面的最新研究方法，同时也详细讲授信息融合的相关基本概念、结构和功能模型。

## 二、课程教学内容和基本要求

### （一）多传感器信息融合概述（2 学时）

#### **教学重点、难点：**

信息融合的定义，信息融合要解决的关键问题，信息融合的级别和通用处理结构和方法。

#### **教学内容和基本要求：**

要求了解多传感器信息融合的发展现状，信息融合的定义、层次和分类以及信息融合的主要研究内容，了解多传感器信息融合的模型、结构和信息融合要解决的关键问题。

- 1、信息融合的一般概念与定义
- 2、多传感器信息融合的优势和应用领域
- 3、信息融合系统的模型和结构
- 4、信息融合的级别和通用处理结构
- 5、多传感器信息融合主要技术和方法
- 6、信息融合要解决的关键问题
- 7、多传感器信息融合的发展起源、现状与未来

## **(二) 统计推断与估计理论基础 (6 学时)**

### **教学重点、难点：**

Kalman 滤波算法原理、非线性动态系统的滤波理论与算法、粒子滤波算法原理和混合系统状态估计理论。

### **教学内容和基本要求：**

要求掌握点估计理论基础、基本 Kalman 滤波器和粒子滤波等，了解非线性动态系统的滤波理论与算法和混合系统状态估计理论。

- 1、点估计理论基础 (BLUE 估计、WLS 估计、ML 估计、RLS 估计与 LMS 估计)
- 2、基本 Kalman 滤波器
- 3、非线性动态系统的滤波理论与算法 (Extended Kalman 滤波, Unscented Kalman 滤波)
- 4、基于随机抽样的过程估计理论与算法 (Markov Chain Monte Carlo 抽样和粒子滤波的一般方法)
- 5、混合系统状态估计理论

## **(三) 智能计算与识别理论基础 (4 学时)**

### **教学重点、难点：**

智能学习与统计模式识别，随机有限集，以及统计学习理论与支持向量机基础。

### **教学内容和基本要求：**

要求了解智能学习与统计模式识别方法和随机有限集，了解证据理论基础和证据推理，掌握支持向量机学习方法。

- 1、智能学习与统计模式识别

- 2、证据理论基础和证据推理
- 3、随机有限集基础
- 4、统计学习理论与支持向量机基础

### **(三) 多目标跟踪方法 (8 学时)**

#### **教学重点、难点:**

数据关联的过程和数据关联门的选择及应用, 几种常用的数据关联方法, 交互多模型 (IMM) 方法, 多目标跟踪方法, 群目标和扩展目标跟踪算法。

#### **教学内容和基本要求:**

要求了解多目标跟踪技术的发展, 理解数据关联的基本步骤、关联门的选择及应用, 掌握常用的数据关联方法 (如最邻近数据关联、概率数据关联、联合概率数据关联方法等), 掌握目标运动模型和通用传感器模型以及多目标跟踪方法, 了解群目标和扩展目标跟踪算法。

- 1、多目标跟踪方法的发展现状和特点
- 2、关联门技术 (滤波残差、矩形跟踪门、椭圆跟踪门和其他跟踪门)
- 3、数据关联方法 (最近邻方法、概率数据关联、联合概率数据关联方法、多假设方法和概率多假设方法)
- 4、目标运动模型和通用的传感器模型
- 5、多目标跟踪方法 (基于数据关联的多目标跟踪方法和基于随机有限集的多目标跟踪方法)
- 6、机动目标跟踪的数学模型和机动目标跟踪算法
- 7、群目标和扩展目标跟踪算法

### **(四) 检测融合 (6 学时)**

#### **教学重点、难点:**

检测融合概念, 串行 (并行) 结构融合系统的最优分布式检测融合算法和分布式量化检测系统。

#### **教学内容和基本要求:**

了解多传感器检测融合的方法分类, 了解多源检测融合系统及特点, 掌握常用的检测融合准则。。

- 1、检测融合概述
- 2、并行结构融合系统的最优分布式检测融合算法
- 3、串行结构融合系统的最优分布式检测融合算法
- 4、树形结构融合系统的最优分布式检测融合算法
- 5、分布式量化检测系统

#### **(五) 估计融合 (6 学时)**

##### **教学重点、难点:**

估计融合系统的基本结构, 一般的集中式融合系统和分布式融合系统, 协方差交叉融合和联邦滤波器。

##### **教学内容和基本要求:**

了解估计融合的一般性概念和估计融合系统的结构, 掌握集中式融合方法和分布式融合方法, 了解协方差交叉融合和联邦滤波器。

- 1、估计融合系统的结构
- 2、集中式融合系统
- 3、分布式融合系统
- 4、协方差交叉融合
- 5、联邦滤波器

### **三、课内练习环节的教学内容及基本要求、课时分配和场地**

#### **教学内容及基本要求:**

(一) 根据课程内容设置若干个讨论专题, 针对不同专题按学生的兴趣分成若干个小组, 要求学生针对课堂专题查找和阅读相关的文献与资料, 在课堂上进行讲解并展开讨论,

#### **(共计 6 学时)**

**专题一:** 多目标跟踪方法及其应用

**专题二:** 粒子滤波方法及其应用

**专题三:** 多传感器估计融合

**专题四:** 多传感器检测融合

(二) 掌握信息融合相关算法的学习与建模过程, 能够用计算机编程实现。

本课程的练习环节可采用课内、课外相结合的方式进行, 成果以大作业和小作业的形式体现, 本课程训练对场地无特殊要求。

#### 四、本课程教学建议

本课程是对该领域研究进展和经典方法及新方法的理论及应用的介绍，理论性与应用性较强，学习过程中应该注意理论与实践的结合，与学生的研究课题相结合，大量查阅资料，了解信息融合理论与应用的最新动态，重点掌握相关融合算法思想与算法实现技术。

#### 五、本课程评价方式

大作业+小作业 60%，课堂讨论、出勤等 40%。

#### 六、建议教材和教学参考书

- (一) :韩崇昭, 朱洪艳, 段战胜等. 多源信息融合 (第 3 版) . 清华大学出版社. 2022.
- (二) Ronald P.S. Mahler. (范红旗, 卢大威, 蔡飞 译). 多源多目标统计信息融合进展. 国防工业出版社. 2016.
- (三) Lawrence A Klein.多传感器数据融合理论及应用 (第二版) .北京理工大学出版社.2004
- (四) 何友. 多传感器信息融合及应用 (第二版) . 电子工业出版社. 2007
- (五) 康耀红. 数据融合理论与应用.西安电子科技大学出版社. 2006
- (六) 杨万海. 多传感器数据融合及其应用.西安电子科技大学出版社. 2004
- (七) 相关网站: <http://www.isif.org/>  
<http://www.fusion2004.foi.se/index.html>

# 《多变量系统分析与设计》 课程教学大纲

课程编号：115060030014

课程名称：多变量系统分析与设计

学 分：2

学 时：32

先修课程：线性系统理论、现代控制理论

适用专业：控制理论与控制工程 系统工程

## 课程目的和基本要求

本课程先修课程为线性系统理论、现代控制理论等课程，设置目的使得研究生进一步掌握多变量系统分析与设计的有关理论与方法及其在实际工程中的应用。通过本课程的学习，学生能够系统掌握多变量系统互联分析，包括多回路控制系统的融合、相对增益阵列、对角优势、失陪角等；掌握串联解耦、线性状态反馈解耦、输出反馈解耦、动态前置补偿和线性状态反馈解耦等方法；学会逆 Nyquist 阵列和特征轨迹设计方法，包括对角优势和 Gershgorin 圆盘定理、稳定性定理，正 Nyquist 阵列设计方法及应用。

## 课程主要内容：

本课程总学时 32 学时，全部内容分为六章，具体内容及基本内容要求如下：

### 第一章 引言 4 学时

内容：介绍多变量系统描述的基本内容和相关的数学基础知识。

学习要求：多变量系统的定义、Smith 标准型、多项式矩阵分式描述、互质分解等数学工具、多变量系统的零极点定义及概念。

### 第二章 稳定性 2 学时

内容：介绍稳定性的基本概念。

学习要求：稳定性定义、反馈基本结构、反馈环适定、内稳性等概念，互质分解与内稳定的关系、控制器参数化。

### 第三章 相对增益分析 8 学时

内容：相对增益的定义以及怎样利用相对增益来分析多变量系统的互联度。

学习要求：相对增益的定义、相对增益矩阵的特征、相对增益的比例性质、相对扰动增益的定义及其特征、如何利用相对增益进行解耦控制。

### 第四章 奇异值分析 8 学时

内容：奇异值分析的方法及如何利用奇异值对多变量系统进行分析与解耦控制。

学习要求：掌握奇异值分解的定义与物理解释、将奇异值分解应用于多变量控制、奇异值解耦器的优点以及奇异值过小或过大带来的问题，怎样利用条件数来分析多变量系统并确定传感位置、如何利用全局方法来分析传感位置以及如何利用奇异值进行控制配对。

### **第五章 多环控制器设计 6 学时**

内容：介绍两种多环控制器设计方法。

学习要求：掌握内模原理，学会如何利用内模原理进行多变量控制器的设计。

### **第六章 Nyquist 阵列设计 4 学时**

内容：熟悉 Nyquist 阵列的定义及在多变量系统中的应用。

学习要求：学会逆 Nyquist 阵列和特征轨迹设计方法，包括对角优势和 Gershgorin 圆盘定理、稳定性定理、Ostrowski 定理及其应用、正 Nyquist 阵列设计方法及应用。

参考教材：

《多变量系统分析和设计》王诗宓 编著，北京：中国电力出版社，1996.

Multivariable Feedback Control: Analysis and Design. Sigurd Skogestad, Ian Postlethwaite, John Wiley & Sons, Inc. 2005.

# 《分布式系统与控制网络》教学大纲

适用专业:	控制科学与工程	课程性质:	必修 (学位/必修/选修)
学时数:	32	学分数:	2
课程号:	115060030015	开课学期:	春季
大纲执笔人:	安爱民	大纲审核人:	王志文

## 一、课程的地位和教学目标

分布式系统与控制网络在控制科学与工程专业博士人才培养过程中具有重要的地位及作用。本课程的指导思想是引导攻读控制科学与工程博士学位的研究生熟悉分布式系统的概念和特点及其发展历史。本课程的任务是要求学习本课程的研究生要具备分布式系统与控制网络的基本知识,可以利用相关数值计算及仿真的技术展开针对相关行业领域的分布式系统进行分析和计算,并进行相应的控制网络设计;本课程要求研究生着重掌握的分布式系统的概念、大型复杂系统的结构分解,以及集中式、分布式控制网络算法、网络协调优化控制算法的基本理论、基本知识和基本技能;研究生通过学习该课程后,在知识、能力和素质等方面应达到解决化工、电力、交通等领域的分布式控制问题,并可以跟随复杂系统领域未来发展趋势。

## 二、课程教学内容和基本要求

本课程在讲述分布式系统的基本概念、特征、分类以及模型分解、网络控制方法的基础上,紧密结合化工、冶金等实际重点工程项目讲述分布式系统的基本特点和发展趋势;对大型复杂系统的模型分割和控制环的解耦、子系统交互分析、子系统间的串并联动态行为进行描述;分析和分解复杂系统的并行、串行结构,对复杂系统的结构分解,单变量PID控制、多变量预测控制、集中式控制、分解式控制、分布式控制以及分层协调式控制进行仿真,并对现有理论在实际工业过程中的应用进行介绍。

### (一) 分布式系统的概念、特点与发展史 (写知识块标题) (6 学时)

**教学重点、难点:** 正确理解分布式系统的基本概念,准确把握分布式系统的概念及其特点和特性,了解分布式系统与分布式控制的发展历史。

#### 教学内容和基本要求

- 1、正确理解分布式系统的概念;
- 2、准确把握分布式系统的概念及其特点和特性;

3、了解分布式系统发展历史，从不同阶段来分析有关分布式系统的模型分割方法、建模与控制方法的发展历程。

### **(二) 分布式系统模型结构与分割方法 (写知识块标题) (10 学时)**

**教学重点、难点：**重点理解分布式系统的基本特点和分析方法。理解分布式系统中调节量、被控制量的特点与选取原则，熟悉不同子系统中变量维数以及相互关联的子系统串联、并联结构及其分割方法、参数辨识与建模方法

#### **教学内容和基本要求**

- 1、理解分布式系统的基本特点和分析方法；
- 2、分布式系统中调节量、被控制量的特点与选取原则；
- 3、不同子系统中变量维数以及相互关联的子系统串联、并联结构及其分割方法

3、熟悉安装最新版本的 Matlab 软件，学习掌握使用 Control System Design 各种功能，掌握动态分析与测试、Simulink 建模等方法，能够实现 SISO 的分析与 PID 控制、简单 MIMO 系统的模型解耦与分割方法。

### **(三) 分布式系统控制网络的方法 (写知识块标题) (10 学时)**

**教学重点、难点：**了解基本 PID 控制方法，了解解耦方法，理解多变量耦合系统的控制方法，重点掌握多变量优化控制方法。理解预测控制的基本理论、基本算法。了解几种针对复杂系统的控制方法。集中式控制方法、分解式控制方法、分层协同式控制方法、分布式协同优化控制方法。

#### **教学内容和基本要求**

1、理解关于分布式控制网络系统的非线性、时滞和不确定性以及子系统间的耦合行为特征等；

2、重点掌握多变量预测控制算法。变量选择、模型的降阶、变量的约束、优化目标函数的选择和确定；

3、重点理解和掌握稳态优化和动态优化算法的求解以及网络因素和子系统间的耦合行为对控制性能的影响；

4、熟悉安装最新版本的 Matlab 软件，学习掌握使用 Optimization、Model Predictive Control 各种功能，掌握优化类型及优化求解器的选择。能够实现一般大型系统的解耦式 PID 控制、集中式 MPC、分解式 MPC、分布式 MPC 以及分层分布式协同 MPC 算法的实现。

### **(四) 分布式系统与控制网络应用分析 (写知识块标题) (6 学时)**

**教学重点、难点：**选择学生熟知的钢铁厂、石化厂、电力系统、交通网络、供水系统和社会组织方面的 2-3 个具有代表性的小型复杂系统为控制对象，从熟悉工作原理、工艺流程、数学模型建立、动态行为分析、模型分割、分布式协同优化控制算法的编制与实现。

#### **教学内容和基本要求**

- 1、熟悉典型具有代表性的分布式系统的工作原理、工艺流程；
- 2、重点掌握线性、非线性数学模型的建立与常微分方程的求解方法，熟悉系统的分解和动态行为测试、变量的选取；
- 3、在 Matlab 环境下实现小型分布式系统的分布式 MPC 以及分层协同式 MPC 控制算法；
- 4、学会对仿真结果进行分析和总结。

#### **三、课内练习环节的教学内容及基本要求、课时分配和场地**

##### **教学内容及基本要求**（小四号宋体加粗）

（一）在进行复杂系统建模环节学习时，要求上课地点内配备有多媒体，多媒体的计算机安装有 System Identification 的 Matlab 软件(3 课时)；

（二）在进行分布式系统与控制网络环节学习时，要求上课地点内配备有多媒体，多媒体的计算机安装有 Model Predictive Control 的 Matlab 软件(3 课时)；

（按“认识”、“学会”/“会操作”、“掌握”等不同层次的行为动词来说明教学基本要求）

#### **四、本课程教学建议**

（一）选择该课程的学生具备扎实的数学基础。熟悉《高等数学》、《线性代数》、《矩阵理论》；

（二）已经修完或者自学《自动控制原理》、《现代控制理论》、《优化控制》、《线性系统理论》等相关专业基础课；

（三）在硕士研究生阶段修完《系统辨识》、《数字计算》等相关课程；

（四）具备熟练使用 Matlab、Python 等等现代软件，熟练进行算法开发、数据可视化、数据分析以及数值计算的高级技术计算语言和交互式环境的编程能力。

#### **五、本课程评价方式**

本课程采用：平时作业(40%)+结课论文(50%)，以及上课出勤率(10%)相结合的方法进行评价。

#### **六、建议教材和教学参考书**

- 1 郑毅, 李少远. 网络信息模式下分布式系统协调预测控制. 自动化学报, 2013, 39(11):1778-1785.
- 魏永松, 郑毅, 李少远, 朱全民. 面向大规模网络化系统的分布式预测控制[J]. 控制理论与应用, 2018, 34(8):997-1006.
- 高敏, 姜顺, 潘丰. 待丢包额网络化控制系统的随机故障检测[J]. 南京理工大学学报, 2018, 42(3):292-298.
- 刘安东, 季鹏. 随机时延网络化系统的模型预测控制[J]. 浙江工业大学学报. 2018, 46(1):67-71.
- 席裕庚. 预测控制[M]. 北京:国防工业出版社, 1993.
- 蔡星, 谢磊, 苏宏业, 古勇. 基于串联结构的分布式模型预测控制[J]. 自动化学报, 2013, 39(5):510-517.
- 朱璐. 化工过程的网络化分布式预测控制策略研究[D]. 兰州理工大学, 2018.
- 8 王志文, 李旋, 祝超群. 多采样率网络化系统的最优保性能控制[J]. 上海交通大学学报, 2018, 52(01):120-126.
- Zhang A, Yin X Y, Liu S, et. al. Distributed economic model predictive control of wastewater treatment plants[J]. Chemical Engineering Research and Design, 2018, 141:144-155.
- 10 戴荔. 分布式随机模型预测控制方法研究. 北京理工大学博士学位论文[D]. 北京:北京理工大学自动化学院, 2016, 31-45.

# 《先进机器人学》教学大纲

适用专业：	控制科学与工程博士，控制科学与工程（国际博士）	课程性质：	非学位
学时数：	32	学分数：	2.0
课程号：	115060030021	开课学期：	春季
大纲执笔人：	张浩琛	大纲审核人：	王志文

## 一、课程的地位和教学目标

本课程为“控制理论与控制工程”博士点博士研究生专业课程，也是认知机器人数学模型描述、设计机器人运动控制器、分析机器人运动特性的重要基础课程。通过本课程的学习期望使研究生能够理解和掌握机器人的两种位置姿态描述方法、理解掌握机器人位置运动学、理解机器人的动力学描述与建模过程、理解和掌握机器人的运动规划和控制。为研究生相关课题的研究和工程问题的分析解决提供理论和方法的支撑。

## 二、课程教学内容和基本要求

### （一）现代机器人学概述（2学时）

#### 教学重点、难点：

机器人学研究的内容和主要作用

#### 教学内容和基本要求：

- 1、机器人学的相关概念
- 2、机器人学研究的内容和主要作用

### （二）机器人学数学基础（2学时）

#### 教学重点、难点：

机器人学相关的数学基础。

#### 教学内容和基本要求：

机器人学相关的数学基础。

### （三）机器人运动学与动力学基础理论（10学时）

#### 教学重点、难点：

机器人学经典理论下：刚体平移旋转变换方法、机器人运动学的建立、机器人动力学的建立和推导。

**教学内容和基本要求：**

- 1、刚体的平移、旋转和变换
- 2、改进 DH 参数
- 3、正、逆运动学的建立
- 4、速度、静力和雅克比矩阵概念
- 5、动力学模型
- 6、动力学模型参数的估计与辨识原理

**(四) 基于旋量理论的现代机器人运动学与动力学理论 (12 学时)**

**教学重点、难点：**

位形空间的拓扑与表示方法、位形和速度关系、运动旋量的基本概念、力旋量的基本概念，基于旋量理论的运动学方法、基于旋量理论的动力学方法。

**教学内容和基本要求：**

- 1、位形空间的拓扑与表示
- 2、旋转矩阵、齐次变换矩阵
- 3、运动旋量与力旋量
- 4、正运动学的求解
- 5、空间与物体的雅克比矩阵
- 6、开链静力学
- 7、开链逆运动学
- 8、动力学的推导

**(四) 机器人运动规划与控制初步 (4 学时)**

**教学重点、难点：**

路径规划常见方法、机器人的非线性控制理论、机器人阻抗力控制方法

**教学内容和基本要求：**

- 1、运动规划概念
- 2、空间关节的轨迹规划
- 3、路径规划基础与常见方法
- 4、机器人控制方法

## 5、机器人的力控制方法

### 三、课内练习环节的教学内容及基本要求、课时分配和场地

#### **课内练习内容及基本要求**

**内容：**结合自己课题的机器人轨迹、路径规划实现，机器人控制器设计和实现；

**学时：**课外穿插课内进行；

**场地和组织：**在上课教室内进行。

### 四、本课程教学建议

以基础理论讲述为主，以应用为出发点，并要求研究生进行仿真练习。

### 五、本课程评价方式

本课程的考核方式为综合测评。

总评成绩=课内汇报讨论\*50%+仿真报告\*50%

### 六、建议教材和教学参考书

1. 约翰·克雷格. 机器人学导论（原书第4版）. 机械工业出版社, 2018.
2. 凯文·M·林奇. 现代机器人学：机构规划与控制. 机械工业出版社, 2019.
3. 刘金琨. 机器人控制系统的设计与 MATLAB 仿真：基本设计方法. 清华大学出版社, 2016.
4. 刘金琨. 机器人控制系统的设计与 MATLAB 仿真：先进设计方法. 清华大学出版社, 2017.

# 《最优控制与状态估计》教学大纲

适用专业：	控制科学与工程	课程性质：	选修	学位
学时数：	32	学分数：	2	
课程号：	115060010024	开课学期：	秋季学期	
大纲执笔人：	唐伟强	大纲审核人：	赵小强	

## 一、课程的地位和教学目标

《最优控制与状态估计》是控制科学与工程学科专业的核心课程，主要讲授最优控制的基本原理，包括变分法、线性二次型指标最优控制、极小值原理、动态规划和状态估计等内容。通过课程学习，学生可以了解最优控制与状态估计的发展及其历史地位、相关原理及应用。课程涉及大量的定理证明与公式推导，要求学生掌握最优控制基本原理的推导与证明过程。通过训练学生的数学思维，提高理论研究和应用能力，为今后从事控制领域的科研与工作打下坚实的基础。

## 二、课程教学内容和基本要求

### （一）导论（2学时）

**教学重点、难点：最优控制的定义与性能指标**

#### **教学内容和基本要求**

- 1、了解最优控制的发展历史。
- 2、理解最优控制问题的描述。
- 3、掌握最优控制性能指标类型。

### （二）最优控制中的变分法（4学时）

**教学重点、难点：欧拉方程与横截条件**

#### **教学内容和基本要求**

- 1、了解泛函与变分。
- 2、理解欧拉方程与横截条件的推导过程。
- 3、掌握变分法求解最优控制问题、角点条件与内点约束。

### （三）极小值原理及其应用（4学时）

**教学重点、难点：极小值原理**

#### **教学内容和基本要求**

- 1、了解极小值原理的相关背景。

- 2、理解连续系统与离散系统极小值原理的推导。
- 3、掌握时间最优控制、燃料最优控制和时间-燃料最优控制。

#### **(四) 动态规划 (6 学时)**

**教学重点、难点：离散动态规划**

**教学内容和基本要求**

- 10、了解多级决策过程、动态规划与极小值原理和变分法。
- 11、理解离散与连续动态规划的求解。
- 12、掌握离散动态规划在控制系统中的应用。

#### **(五) 线性最优状态调节器 (4 学时)**

**教学重点、难点：状态调节器**

**教学内容和基本要求**

- 4、了解线性二次型问题。
- 5、理解状态调节器、具有给定稳定裕度与逆最优调节器的设计。
- 6、掌握最优状态调节器在控制系统中的应用。

#### **(六) 线性最优输出调节器与跟踪系统 (4 学时)**

**教学重点、难点：输出调节器**

**教学内容和基本要求**

- 4、了解输出调节问题。
- 5、理解输出调节器的设计。
- 6、掌握输出调节器在控制系统中的应用。

#### **(七) 最优状态估计 (6 学时)**

**教学重点、难点：卡尔曼滤波器**

**教学内容和基本要求**

- 4、了解随机过程基础、随机过程的动态系统分析、状态估计问题。
- 5、理解离散时间随机系统的预测与滤波。
- 6、掌握卡尔曼估计在控制系统中的应用。

#### **(八) 随机线性最优控制 (2 学时)**

**教学重点、难点：LQG 系统最优控制**

**教学内容和基本要求**

- 1、了解线性最优控制问题描述。

2、理解离散时间 LQG 系统的最优控制。

三、课内练习环节的教学内容及基本要求、课时分配和场地

#### **教学内容及基本要求**

(一) 通过小作业的形式加深对最优控制与最优估计理论的理解。

#### **四、本课程教学建议**

(一) 在授课过程中加入最优控制与状态估计的最新理论， 让学生了解前沿动态。

#### **五、本课程评价方式**

采用综合测评评价方式， 即平时成绩（30%） + 期末考试成绩（70%） 。

#### **六、建议教材和教学参考书**

(一) 《最优控制理论与系统》 胡寿松、王执铨和胡维礼 科学出版社 2017 年.

(二) 《随机控制与滤波技术》 刘伟和董国华 国防工业出版社 2016 年.

(三) 《最优控制—理论与应用》 解学书, 清华大学出版社 1986 年

(四) 《最优控制理论与方法》 吴沧浦 国防工业出版社 2000 年

(五) 《Optimal Control Theory An Introduction》 Donald E. Kirk Dover Publications Inc.

2004

# 《半导体测试技术》教学大纲

适用专业： 微电子学与固体电子学  
学时数： 32 学时  
课程号： 315060030066  
大纲执笔人： 王小耶

课程性质： 选修课  
学分数： 2  
开课学期： 春季  
大纲审核人： 张爱华

## 一、课程的地位和教学目标

在本课程教学环节中，加入对开源以来电子技术行业成绩的回顾，加入对半导体物理领域发展的回顾，介绍国家制造 2025 中的电子科技行业发展目标，起到激发学生对本专业的自信，投入电子科学与技术领域经济建设一线建功立业的热情，激发学生勇于创新、服务祖国的理想。

通过本课程的教学，使研究生掌握半导体材料和器件的常用测试方法与测试原理，理解半导体测试技术的作用及应用，熟悉常用半导体测试设备的基本组成和结构，理解同一参数不同测试方法的差异，能根据测试样品和测试要求，设计测试方案，并控制测量误差。

### 教学目标：

1.掌握半导体材料的性能检测方法，熟悉半导体材料的分类，理解半导体材料的结构及其性能。

2.掌握半导体器件制作工艺参数的检测方法，包括不同工艺过程中的重要参数的理解。使学生利用所学知识及数学模型建立半导体器件的等效模型并分析计算其性能指标，具有查阅电子器件手册及合理选择器件分析实际工程问题的能力。

3.了解典型的半导体器件的性能测试方法，能认识到解决问题有多种可选择方案。能通过文献研究寻求可替代解决方法。使学生掌握基本检测方法和数学分析法综合分析典型半导体器件制作工艺中的不同参数的检测结果。

## 二、课程教学内容和基本要求

### (一) 半导体材料的性能检测 (共10学时)

#### 教学重点、难点:

晶向及缺陷检测、电阻率、杂质浓度、少子寿命等性能检测方法。

#### 教学内容和基本要求:

掌握半导体材料的性能检测方法。包括:半导体材料的分类讲解, 半导体材料的结构及其性能讲解。要求:使学生掌握晶向及缺陷检测、电阻率、杂质浓度、少子寿命等性能检测方法, 使学生利用所学知识及数学模型建立半导体材料的等效模型并分析计算其性能指标, 具有查阅电子器件手册及合理选择器件分析实际工程问题的能力。

### (二) 半导体器件制作工艺参数的检测 (共12学时)

#### 教学重点、难点:

利用基本检测方法和数学分析法综合分析半导体器件制作工艺中的不同参数的检测结果。

#### 教学内容:

掌握半导体器件制作工艺参数的检测方法, 工艺过程:多晶硅--区熔或直拉—单晶硅棒滚、切、磨、抛--硅片, 包括不同工艺过程中的重要参数的理解。使学生利用所学知识及数学模型建立半导体器件的等效模型并分析计算其性能指标, 具有查阅电子器件手册及合理选择器件分析实际工程问题的能力。

使学生初步掌握PN结掺杂分布、关键尺寸、薄膜厚度等参数的检测, 培养学生利用基本检测方法和数学分析法综合分析半导体器件制作工艺中的不同参数的检测结果。

### (三) 典型的半导体器件的性能测试 (共10学时)

#### 教学重点、难点:

多种测试方案可选择, 能通过文献研究寻求可替代、新的解决方法。

## **教学内容：**

能了解典型的半导体器件的性能测试方法。要求:学生掌握二极管、三极管、MOS场效应晶体管等器件的性能测试。能认识到解决问题有多种方案可选择,能通过文献研究寻求可替代解决方法。培养学生利用基本检测方法和数学分析法综合分析典型半导体器件制作工艺中的不同参数的检测结果。

### **三、课内练习环节的教学内容及基本要求、课时分配和场地**

#### **教学内容及基本要求：**

(一)本课程以教师讲授、辅导和学生自学的方式完成授课,根据课程内容和学生研究方向指定查阅相应文献,要求学生结合教材和文献阅读,掌握半导体器件制作工艺参数的检测方法,包括不同工艺过程中的重要参数的理解。使学生利用所学知识及数学模型建立半导体器件的等效模型并分析计算其性能指标,具有查阅电子器件手册及合理选择器件分析实际工程问题的能力。结合自己的课题进行实例设计和文献综述,完成并提交大作业。

(二)本课程的成果以大作业的形式体现,课程训练对场地无特殊要求。

### **四、本课程教学建议**

学习本课程须具备半导体物理学、半导体器件物理、微电子制造工艺等课程的基础知识;具备良好的逻辑思维和分析表达能力;具备专业前沿知识的获取能力和外文(主要是英语)文献的阅读分析能力;具备数学工具的熟练运用和推演能力。

### **五、本课程评价方式**

课外大作业。

### **六、建议教材和教学参考书**

(一)英文版教材: Microchip Fabrication-A Practical Guide to Semiconductor Processing, Peter Van Zant, Sixth Edition, Inc., 2015. ISBN: 9787121399831.

(二)中文版教材: 半导体材料测试与分析, 杨德仁著, 科学出版社, 2019年。ISBN: 9787030270368。

# 《半导体器件物理》教学大纲

适用专业:	微电子学与固体电子学	课程性质:	学位课
学时数:	48 学时	学分数:	3
课程号:	315060010063	开课学期:	1
大纲执笔人:	王小耶	大纲审核人:	黄玲

## 一、课程的地位和教学目标

本课程基本涵盖了所有现代电子器件的种类、结构、工作原理、器件物理效应和发展趋势,包括: p-n 结、金属-半导体结、异质结; 场效应晶体管 (JFET、MESFET、MOSFET); 双极结型晶体管 (BJT、HBT); 光电子器件 (太阳电池、光探测器、LED、激光器); 高频、大功率及纳电子器件 (隧道二极管、IMPATT 二极管、Gunn 二极管、SCR、IGBT、新型纳电子器件); CMOS 制造工艺, 以及 SRAM、DRAM、CCD、闪存等集成器件。

通过课程学习, 透彻掌握各种电子器件的基本结构、工作原理和器件特性; 熟练掌握器件特性和物理效应及其与结构、材料、工艺的依赖关系; 了解固体电子器件相关的工艺技术及其最新进展; 获得器件分析和器件设计的基本能力。

## 二、课程教学内容和基本要求

### (一) 晶体性质和半导体生长 (共1 学时)

#### 教学重点、难点:

半导体材料的晶体结构。

#### 教学内容和基本要求:

##### 1-1 常用半导体材料的晶体结构

##### 1-2 硅块状晶体生长

电子级硅 (EGS) 原料的制备; 单晶Si的Czochralski制备方法; Si掺杂技术。

##### 1-3 薄膜晶体生长

汽相外延 (VPE)、金属有机化学汽相沉积 (MOCVD)、分子束外延 (MBE) 技

术简介。

## (二) 半导体的能带与载流子 (共8学时)

### 教学重点、难点:

半导体的能带结构、载流子浓度、费米能级。

### 教学内容和基本要求:

#### 2-1 晶体能带的形成

原子的壳层结构与原子的能级；从原子能级到晶体能带；金属、绝缘体和半导体的能带差异。

#### 2-2 典型半导体的能带结构、载流子

直接禁带半导体 (GaAs) 和间接禁带半导体 (Si)；能带性质随组分的变化；空穴的概念与性质；载流子有效质量；载流子动量、本征半导体和非本征半导体、量子阱中的载流子。

#### 2-3 载流子浓度

费米-狄拉克统计、费米能级；平衡载流子浓度、有效态密度、态密度有效质量；载流子浓度随杂质浓度和温度的变化；杂质补偿与空间电荷中性。

#### 2-4 载流子在电场和磁场中的运动

迁移率、电导率有效质量；迁移率随温度和杂质浓度的依赖关系；迁移率的高场效应；Hall效应。热平衡条件下费米能级的不变性。

## (三) 半导体中的过剩载流子 (共8学时)

### 教学重点、难点:

扩散电流、漂移电流、稳态方程。

### 教学内容和基本要求:

#### 3-1 载流子的产生和复合 (2学时)

过剩载流子；载流子的复合（直接复合和间接复合）；载流子的产生（稳态）、准费米能级。

### 3-2 扩散电流和漂移电流（2学时）

扩散过程、自建电场、爱因斯坦关系、扩散和漂移电流分量。

### 3-3 稳态条件下的载流子注入（2学时）

连续性方程和扩散方程；载流子分布；Haynes-Shockley实验；准费米能级的梯度。

## （四）pn结和金属-半导体结（共16学时）

### 教学重点、难点：

pn结直流特性。

### 教学内容和基本要求：

#### 4-1 pn结热平衡状态（2学时）

pn结的接触电势；pn结的耗尽区电荷。

#### 4-2 pn结正向偏置和少子注入（4学时）

结边界的过剩载流子浓度；过剩载流子浓度在结两侧的分布；电子和空穴的扩散电流以及pn结电流；过剩载流子的存贮电荷；耗尽区中的pn积；理论创新要点简介。

#### 4-3 pn结反向偏置和少子抽出（2学时）

结边界的过剩载流子浓度；过剩载流子浓度在结两侧的分布；耗尽区中的pn积；pn结的反向击穿（齐纳击穿和雪崩击穿、击穿二极管）。

#### 4-4 pn结的瞬态过程和反向恢复过程（2学时）

存贮的过剩少子电荷随时间的变化；反向恢复过程。

#### 4-5 pn结电容（1学时）

耗尽区电容和扩散电容；变容二极管。

#### 4-6 对基本理论的修正（3学时）

大注入条件；载流子在耗尽层中的产生与复合；欧姆损耗；缓变结。

#### 4-7 金属-半导体结和异质结（2学时）

肖特基势垒和整流接触；欧姆接触；异质结。

### （五）场效应晶体管（共15学时）

#### 教学重点、难点：

MOSFET的基本特性、器件二级物理效应。

#### 教学内容和基本要求：

##### 5-1 场效应晶体管的类型（0.5学时）

##### 5-2 结型场效应晶体管（JFET）（2学时）

沟道夹断与电流饱和；夹断电压；I-V特性。

##### 5-3 金属-半导体场效应晶体管（MESFET）（2.5学时）

GaAs MESFET；高电子迁移率晶体管（HEMT、MODFET、2-DEG FET、SEDFET）；

JFET和MESFET的短沟效应。

##### 5-4 MOS电容结构（3学时）

基本结构和工作原理、理想MOS电容（功函数、表面势、阈值电压）；实际MOS结构（功函数差和界面电荷的影响、阈值电压）；MOS结构的C-V分析（测量界面态密度）和C-t分析（测量载流子寿命）；MOS栅的I-V特性（Fowler-Nordheim隧道电流）。

##### 5-5 MOSFET的基本特性（4学时）

输出特性（ $I_D-V_D$ 特性）；转移特性（ $I_D-V_G$ 特性）；迁移率模型；短沟MOSFET I-V

特性；阈值电压的控制（栅电极材料的选取、氧化层电容的控制、离子注入对阈值电压的控制、衬底偏置）；亚阈特性、MOSFET的等效电路。

### 5-6 MOSFET的器件物理效应（3学时）

按比例缩小和热载流子效应；漏极诱导势垒降低效应；短沟和窄沟效应；栅极诱导漏极泄露电流。高频、大功率及纳电子器件

## 三、课内练习环节的教学内容及基本要求、课时分配和场地

### 教学内容及基本要求：

（一）本课程以教师讲授、辅导和学生自学的方式完成授课，根据课程内容和学生研究方向指定查阅相应文献，要求学生结合教材和文献阅读，了解和掌握微电子最新器件结构的发展动态、新方法和主要应用领域，掌握相关理论的学习与建模过程，结合自己的课题进行实例设计和文献综述，完成并提交大作业。

（二）本课程的成果以大作业的形式体现，课程训练对场地无特殊要求。

## 四、本课程教学建议

学习本课程须具备数学物理方法、电磁学与电磁场理论、半导体物理学、半导体材料、集成电路工艺（微电子工艺）等课程的基础知识；具备良好的逻辑思维和分析表达能力；具备专业前沿知识的获取能力和外文（主要是英语）文献的阅读分析能力；具备数学工具的熟练运用和推演能力。

## 五、本课程评价方式

课外大作业

## 六、建议教材和教学参考书

（一）英文版教材：Ben G. Streetman and Sanjay Banerjee, Solid State Electronic Devices (Seventh edition), Pearson Education, Inc., 2015. ISBN-13: 978-0-13-335603-8.

（二）中文版教材：Ben G. Streetman、Sanjay K. Banerjee著，杨建红、李海蓉、田永辉译，《固态电子器件》（第七版），电子工业出版社，2018年。ISBN: 978-7-121-31565-7。

# 《电磁仿真工具应用》教学大纲

适用专业： 电磁场与微波类相关专业 课程性质： 选修  
学时数： 32 学分数： 2.0  
课程号： 315060030057 开课学期： 第2学期  
大纲执笔人： 杨富龙 大纲审核人： 杜先君

## 一、课程的地位和教学目标

《电磁仿真工具应用》课程主要介绍电磁仿真的理论和模型设计方法，是为了适应电磁场与微波类专业研究生的培养目标而开设的选修课，在教学计划中占有重要地位和作用。通过该课程的学习，使得学生掌握电磁仿真工具、模型构建、误差分析等经典内容，理解电磁理论的创造性思维方式和主要研究方法，为学生的课题研究夯实基础。

## 二、课程教学内容和基本要求

### （一）电磁场仿真的现状和前景（6学时）

#### 教学重点、难点：

电磁场仿真的现状和问题。

#### 教学内容和基本要求

- 1、了解电磁仿真的背景，理解电磁仿真的基本原理和应用；
- 2、了解电磁仿真应用领域；
- 3、了解各种电磁仿真工具的特点。

### （二）MAXWELL 方程组及电磁仿真方法（8学时）

#### 教学重点、难点：

MAXWELL 方程组各个公式物理意义。

#### 教学内容和基本要求

- 1、了解电磁分析方法发展及分类；
- 2、理解电磁算法比较；
- 3、不同类型算法的特点。

### （三）电磁计算基本步骤（8学时）

#### 教学重点、难点：

电磁计算基本步骤及模型实例。

### **教学内容和基本要求**

- 1、理解电磁分析数值方法的一般步骤；
- 2、掌握时域 vs. 频域设计方法；
- 3、掌握时域仿真的关键问题；

#### **(四) 典型软件介绍 (10 学时)**

### **教学重点、难点：**

自校正控制的基本概念和设计方法。

### **教学内容和基本要求**

- 1、理解 CST 软件仿真方法和流程；
- 2、理解 HFSS 软件仿真方法和流程；
- 3、掌握电磁仿真软件设计经典实例。

### **三、相关仿真软件学习 (2 学时)**

### **教学内容及基本要求**

- (一) 认识基于 CST 系统仿真软件。
- (二) 学会基于 HFSS 系统仿真。

### **四、本课程教学建议**

- (一) 课堂讲授：以教师讲授为主，采用多媒体辅助教学。
- (二) 课内讨论：注重理论联系实际，精选教学案例，进行互动讨论。

### **五、本课程评价方式**

本课程考核由两部分构成：平时考核和期末考核，总成绩为 100 分，所占比例分别为 30%和 70%。其中平时考核主要由学生上课出勤状况、课堂表现组成。期末考核为电磁工程实际问题的决策分析报告。

### **六、建议教材和教学参考书**

- (一) 张晓，《CST 仿真设计理论与实践》，清华大学出版社，2023 年。
- (二) 李明洋，《HFSS 电磁仿真设计从入门到精通》，人民邮电出版社，2013 年。
- (三) 肖运辉，《ANSYS 电磁兼容仿真与场景应用案例实战》，机械工业出版社，2023 年。
- (四) 李明洋，《HFSS 电磁仿真设计应用详解》，人民邮电出版社，2010 年。

# 《电子科学与技术学科前沿》课程教学大纲

适用专业：	控制科学与工程、电气工程、电路与系统、测试计量技术及仪器、电气工程领域、控制工程领域等	课程性质：	学科公选课
学时数：	32	学分数：	2
课程号：	315060040050	开课学期：	2
大纲执笔人：	黄玲	大纲审核人：	张爱华 马玉润

## 一、课程的地位和教学目标

本课程以专题讲座的形式进行讲授，使学生具备以下能力：

1. 跟踪当代电子科学与技术的主要内容和 development 前沿；
2. 提高学生的电子科学与技术专业素养，培养学习兴趣，同时激发学生不断探索的能力；
3. 提高自主学习和终身学习的意识，具备不断学习和适应发展的能力；
4. 满足电子科学与技术领域专业技术快速发展变化的需求，同时具备适应职业发展和发展的能力。

## 二、课程教学内容和基本要求

### （一）生物医学信号检测与处理（2 学时）

#### 教学重点、难点：

了解生物医学信号检测与处理的技术和最新进展；挖掘生物医学信号特征参数与疾病间的关系。

#### 教学内容和基本要求

- 1、主要介绍当前生物医学信号领域中的检测和量化技术；
- 2、主要介绍对所采集到的生物医学信号进行分析、解释、分类、显示、存贮和传输等最新技术。

### （二）医学图像处理与健康医疗大数据（2 学时）

#### 教学重点、难点：

了解医学图像处理的基本技术、最新进展，了解相关算法的软件实现。

#### 教学内容和基本要求

- 1、围绕医学图像滤波、分割、特征提取三方面，介绍当前医学图像处理领域的热点研究问题；
- 2、介绍该领域涉及的相关算法及实现方法；
- 3、介绍医疗大数据的发展前景。

### **(三) 纳米检测技术概论 (2 学时)**

#### **教学重点、难点：**

以扫描隧道显微镜为代表的纳米检测工具及其测量原理，包括隧道效应原理、隧道电流采样电路、信号放大电路、信号采集电路，图像处理软件等相关内容；反馈系统的设计、高速数据采集与图像处理算法和软件的设计。

#### **教学内容和基本要求**

- 1、主要介绍纳米检测技术的发展现状、常用方法和仪器；
- 2、主要介绍纳米检测技术的应用领域和技术革新等前沿技术问题；
- 3、了解纳米检测技术的发展现状以及应用领域。

### **(四) 人工智能之专家系统发展前沿 (2 学时)**

#### **教学重点、难点：**

专家系统的结构、知识表示与控制策略的理解；专家系统设计与实现的方法。

#### **教学内容和基本要求**

- 1、主要介绍专家系统的概念与结构；
- 2、主要介绍专家系统的设计与应用发展概况；
- 3、了解新一代专家系统的最新研究。

### **(五) 雷达技术与发展前沿 (2 学时)**

#### **教学重点、难点：**

雷达式信息检测、分析与处理方法的原理；利用电磁波探测生命信号的基本原理与方法。

#### **教学内容和基本要求**

- 1、主要介绍雷达信号分析与处理的基本理论、基本概念和基本方法；
- 2、主要介绍介绍了当前雷达领域最新发展技术如 SAR 成像、STAP、穿墙探测雷达等，遮蔽环境下生命探测雷达系统及关键技术等。；
- 3、了解雷达信号处理理论与方法以及最新发展技术。

### **(六) 半导体光电子器件应用 (2 学时)**

### **教学重点、难点：**

半导体光电子器件的现状与技术需求；影响半导体光电子器件性能的主要因素。

### **教学内容和基本要求**

- 1、主要介绍微电子技术发展、光电子技术发展、半导体光电子器件发展等；
- 2、了解半导体光电子器件的发展现状以及最新技术。

### **(七) 集成电路的封装测试 (2 学时)**

### **教学重点、难点：**

集成电路的封装测试的现状与技术需求；影响集成电路封装测试的主要因素。

### **教学内容和基本要求**

- 1、主要介绍目前封装测试行业的发展现状、产业规模、技术需求、技术革新等前沿问题；
- 2、了解集成电路封装测试的发展现状以及最新技术。

### **(八) 复杂设备状态检测技术 (2 学时)**

### **教学重点、难点：**

复杂背景下的非线性滤波算法；非线性滤波算法的智能优化；基于 GPU 的并行计算技术。

### **教学内容和基本要求**

- 1、主要介绍状态在线检测的基本概念、相关学科和领域；
- 2、介绍非线性滤波算法、机器学习算法、贝叶斯网络、并行计算等技术在状态检测与估计中的关键技术；
- 3、了解复杂设备状态检测发展现状以及工业应用中的最新情况。

### **(九) 虚拟现实的发展与应用 (2 学时)**

### **教学重点、难点：**

虚拟现实技术在促进学习效率方面的优势；60 度虚拟现实视频要实现广泛普及需要哪些其他领域的技术。

### **教学内容和基本要求**

- 1、主要介绍虚拟现实的概念、相关学科和领域，虚拟现实的主要应用与发展趋势；
- 2、主要介绍 360 度虚拟现实视频的国内外发展现状、研究方向、发展与应用；
- 3、了解虚拟现实的发展现状以及最新应用情况。

### **(十) 模式识别与智能计算的发展与应用 (2 学时)**

### **教学重点、难点：**

合理、广泛吸取统计学、神经网络、数据挖掘、机器学习、人工智能、群智能计算等学科的先进思想和理论，将其应用到模式识别领域中，并以一种新的体系，系统、全面地介绍模式识别与智能计算的理论、方法及应用。

### **教学内容和基本要求**

- 1、主要介绍模式识别与智能计算理论与发展、模式识别基本方法、模式识别的应用；
- 2、了解模式识别与智能计算理论发展现状及其最新应用情况。

#### **(十一) 超声导波检测技术新进展 (2 学时)**

### **教学重点、难点：**

超声导波与超声波的区别以及超声导波的产生机理；复杂结构中超声导波传播特性（频散和多模态等）的分析，以及如何有效激励在结构中产生单一模态超声导波。

### **教学内容和基本要求**

- 1、主要介绍结构中超声导波的产生机理频散特性的求取方法；
- 2、主要介绍超声导波检测技术的最新应用情况；
- 3、主要介绍超声导波信号所涉及的信号处理方法；
- 4、了解超声导波的产生机理和超声导波信号的处理方法。

#### **(十二) 新型人工电磁材料 (2 学时)**

### **教学重点、难点：**

新型人工电磁材料调控电磁波机理，以及亚波长结构热点应用领域和当今研究趋势。

### **教学内容和基本要求**

- 1、主要讲述新型人工电磁材料发展历程和电磁调控机理；
- 2、新型人工电磁材料的应用领域和研究热点。

#### **(十三) 机器视觉及其应用技术 (2 学时)**

### **教学重点、难点：**

了解机器视觉的基本原理和概念；了解机器视觉系统的软、硬件构成。

### **教学内容和基本要求**

- 1、主要介绍机器视觉的基本概念、视觉系统的硬件构成和机器视觉的开发软件；
- 2、结合项目介绍机器视觉技术在实际工业生产中的应用；
- 3、机器视觉技术的发展趋势。

#### **(十四) ARM 技术发展与应用 (2 学时)**

### **教学重点、难点：**

基于 ARM 的嵌入式系统构架、系统开发与应用程序开发技术的理解；利用 ARM 技术开发嵌入式测控系统的基本原理与方法。

### **教学内容和基本要求**

- 1、主要介绍 ARM 技术的基本概念、基本理论和基本方法；
- 2、主要介绍当前 ARM 技术最新发展技术如哈佛结构、并行计算、RISC 指令集及协处理器技术等，实现嵌入式测控系统实时性及多任务处理的关键技术。；
- 3、了解 ARM 技术发展现状以及最新发展技术。

### **(十五) 机器学习技术前沿 (2 学时)**

### **教学重点、难点：**

理解机器学习的概念，掌握机器学习任务的特点，了解当前机器学习研究的若干学习问题，能够针对具体任务能够判断其是否适合采用机器学习技术以及采用何种机器学习技术求解；

### **教学内容和基本要求**

- 1、 主要介绍机器学习的概念和机器学习任务的特点；
- 2、主要介绍机器学习研究中若干学习问题，例如弱监督学习、深度学习、对抗学习等。
- 3、了解当前机器学习研究热点以及在各领域的应用等；

### **(十六) 深度学习在诊断与预测中的应用 (2 学时)**

### **教学重点、难点：**

深度学习基础知识和常用平台、模型介绍；有监督分类案例分析；无监督分类案例分析；回归预测案例分析。

### **教学内容和基本要求**

- 1、了解基于 Matlab 和 Python 平台的深度学习应用；
  - 2、了解诊断（分类）问题的深度学习方法实现；
  - 3、了解（回归）预测问题的深度学习方法实现。
- 三、课内练习环节的教学内容及基本要求、课时分配和场地

### **教学内容及基本要求**

(一) 学会跟踪当代电子科学与技术的主要理论和发展前沿的方法，并能从自己的研究课题联系出发，就课题中的相关问题结合课程内容深入思考与认识。

(二) 掌握电子科学与技术领域专业技术快速发展变化的特点与趋势，培养自身不断学习和适应发展的能力，以及适应职业发展和社会发展的能力。

(三) 结合各个领域前沿案例问题，掌握解决电子信息方面复杂工程问题的关键技术，能在 Python 语言、MATLAB 或 LabVIEW 环境下进行仿真练习。

本课程的练习环节可采用课内、课外相结合的方式，成果以大作业的形式体现，具体学时可根据情况灵活安排，本课程训练对场地无特殊要求。

#### 四、本课程教学建议

(一) 每节课由一名老师讲授一个专题，以讲座的形式进行讲授；

(二) 讲授完成后进入讨论问答环节，与学生们积极探讨该专题内容。

(三) 待所有专题讲授完毕，要求学生们结合个人课题方向做出 PPT 和综述报告。

#### 五、本课程评价方式

由学生根据自己的研究方向或感兴趣的方向撰写综述报告，同时做出 PPT 的形式对自己撰写的综述报告进行总结。根据学生 PPT 的质量和综述报告的质量进行综合评判，该课程是否合格达标。

#### 六、建议教材和教学参考书

(一) 饶妮妮、李凌，生物医学信号处理，电子科技大学出版社，2005

(二) 刘惠，郭冬梅，邱天爽 主编，医学影像和医学图像处理，北京市：电子工业出版社，2013

(三) 胡小唐，《微纳检测技术》，天津大学出版社，2009

(四) 吴恩达，《Machine Learning Yearning-Draft》，Andrew Ng. All Rights Reserved，2018

(五) Bassem R. Mahafza (B.R.马哈夫扎)，Atef Z. Elsherbeni (A.Z.埃尔舍贝利) 著，朱国富，黄晓涛，黎向阳等译，雷达系统设计 MATLAB 仿真，电子工业出版社，2009

(六) 刘恩科著，半导体物理（第七版），电子工业出版社，2017

(七) 李可为，集成电路芯片封装技术，电子工业出版社，2013

(八) 赵树杰、赵建勋，《信号检测与估计理论》，清华大学出版社，2005 年

(九) 吕云，王海泉，孙伟著，虚拟现实——理论、技术、开发与应用，清华大学出版社，2019

(十) 杨杰. 模式识别及 MATLAB 实现[M]. 北京: 电子工业出版社. 2017.

(十一) [美] 约瑟夫·罗斯 (Joseph L. Rose) 著, 高会栋, 崔寒茵, 王继锋 等译. 固体中的超声导波. 科学出版社. 2019

(十二) 赵晓鹏, 刘亚红著, 微波超材料与超表面中波的行为, 北京: 科学出版社, 2016

(十三) Richard Hartley (理查德·哈特利), Andrew Zisserman (安德鲁·西塞曼) 著, 韦穗, 章权兵 译. 计算机视觉中的多视图几何 (第二版), 机械工业出版社, 2020

(十四) 谭会生, ARM 嵌入式系统原理及应用开发 (第二版), 西安电子科技大学出版社, 2017

(十五) 周志华, 机器学习, 北京:清华大学出版社, 2016

(十六) 王恺, 机器学习案例分析, 北京: 电子工业出版社, 2020

# 《高速 PCB 电路设计》教学大纲

适用专业：	电磁场与微波类相关专业	课程性质：	选修
学时数：	32	学分数：	2.0
课程号：	315060030055	开课学期：	第 2 学期
大纲执笔人：	刘昶强	大纲审核人：	王小耶

## 一、课程的地位和教学目标

《高速 PCB 电路设计》课程在应用电子技术专业中占据核心地位。该课程以职业岗位分析为依据，采用“真实产品为载体”、“工作过程为导向”的教学方式，旨在培养学生电路原理绘制、PCB 板设计、制作和产品调试的技能。通过对本专业工作岗位的深入分析，可以发现电子产品研发助理是本专业学生的重要岗位之一，也是学生在专业技术领域得以继续发展的重要途径。因此，本课程不仅为学生提供了必要的理论基础，还为他们未来在电子产品研发领域的工作打下了坚实的基础。

通过该课程的学习，使得学生能够系统掌握高速 PCB 电路设计所需的数学、自然科学、工程基础和专业基础知识。培养学生将所学知识应用于解决复杂工程问题的能力，使学生能够应用工程数学、物理、化学、力学等基本原理，对高速 PCB 电路设计中遇到的问题进行深入分析和有效解决。

## 二、课程教学内容和基本要求

### （一）高速电路基础知识

#### 教学重点、难点：

高速电路的定义和传输特性。

#### 教学内容和基本要求

1. 高速电路定义：介绍高速电路的基本概念，包括高速信号的定义、传输特性等。
2. 信号完整性 (SI)：阐述信号完整性的重要性，讲解信号反射、串扰、辐射等基本原理及解决方案。
3. 电源完整性 (PI) 与去耦：介绍电源平面设计、去耦电容布置等电源完整性相关知识。

### （二）高速 PCB 叠层与阻抗设计

#### 教学重点、难点：

PCB 层叠理论和阻抗设计精度。

### **教学内容和基本要求**

1. PCB 层叠理论基础：解释 PCB 层叠结构的设计原则，包括单板总层数、单板厚度、目标阻抗、介电常数等参数的确定。
2. 阻抗设计精度：介绍阻抗设计的重要性，包括阻抗匹配对信号完整性的影响。

### **(三) 高速 PCB 布局布线设计**

#### **教学重点、难点：**

高速 PCB 布局流程和方法。

### **教学内容和基本要求**

1. 布局思路：阐述高速 PCB 布局的基本原则和策略，如电源滤波、均匀分配电源等。
2. 布线设计规则：介绍高速信号线的布线规则，如减小走线间串扰、避免直角走线等。

### **(四) 高速 PCB 仿真介绍**

#### **教学重点、难点：**

PCB 仿真的重要性和步骤。

### **教学内容和基本要求**

1. 仿真目的：解释高速 PCB 仿真的重要性，包括验证设计、优化性能等。
2. 仿真流程：介绍高速 PCB 仿真的基本流程，包括建模、设置参数、运行仿真等。

### **(五) 高速 PCB 制造与组装**

#### **教学重点、难点：**

PCB 制造工艺与组装方法。

### **教学内容和基本要求**

1. PCB 制造工艺：介绍 PCB 制造的基本流程，包括光刻、蚀刻、沉金等工艺。
2. PCB 组装：介绍 PCB 组装的基本原理和方法，如贴片技术、波峰焊接技术等。

### **(六) PCB 故障分析与维修**

#### **教学重点、难点：**

PCB 故障诊断方法和维修步骤。

### **教学内容和基本要求**

1. 故障分析：介绍 PCB 常见故障的分析方法，如信号失真、电源波动等。
2. 维修方法：介绍 PCB 维修的基本步骤和技巧，如更换元件、修复线路等。

## 五、本课程评价方式

本课程考核方式为综合测评，总成绩由两部分构成：平时考核和期末考核，总成绩为 100 分，所占比例分别为 30%和 70%。其中平时考核主要由学生上课出勤状况、课堂表现组成。期末考核为高速 PCB 电路设计实际问题的分析报告。

## 六、建议教材和教学参考书

- (一) 田广锴, 《高速电路 PCB 设计与 EMC 技术分析第 2 版》, 电子工业出版社, 2011 年
- (二) 李卫国, 《Cadence 高速 PCB 设计》, 清华大学出版社, 2021 年
- (三) 肖运辉, 《ANSYS 电磁兼容仿真与场景应用案例实战》, 机械工业出版社, 2023 年。
- (四) 邵鹏, 《高速电路设计与仿真分析:Cadence 实例设计详解》, 电子工业出版社, 2010 年

# 《光电检测技术》教学大纲

适用专业：电磁场与微波技术；微电  
子学与固体电子学；

课程性质：必修

学时数：32

学分数：2

课程号：315060020056

开课学期：春季

大纲执笔人：王平

大纲审核人：付辉

## 一、课程的地位和教学目标

光电检测技术近几年来得到了普遍的重视和发展，被广泛的应用于质量控制，光测试，光传感，航空航天，环境控制，无损检测，机器人等多种领域，具有广泛的应用前景。本课程着重于光电检测中的近景三维测量和建模，介绍摄像机成像的基本数学模型，分析摄像机的标定原理、影像的特征提取与匹配算法、由运动恢复结构的理论和流程，以及由立体视觉重建稠密三维点云的方法。此外，本课程进一步延伸到图形学几何建模的相关知识，介绍三维点云的空间滤波理论和表面网格化的建模方法。本课程的任务是让学生了解光电检测的基本概念、基本理论和研究思路，掌握实现光电检测的基本原理和基本方法，以达到使学生能够运用光电检测技术解决实际问题的目的，为将来继续深入学习或进行科学研究打下坚实的基础。

## 二、课程教学内容和基本要求

### （一）导论（2学时）

#### **教学重点、难点：**

重点：了解数字影像的概念、类型；掌握人工输入、主动式扫描、被动式扫描等常见的三维成像方法

难点：快速将学生引入模式识别领域，提升学生对模式识别理论研究的兴趣。

#### **教学内容和基本要求**

- 1、理解数字影像的基本概念；
- 2、掌握欧式空间坐标转换方法；
- 3、理解欧式空间坐标转换；
- 4、了解常见的三维成像方式。

### （二）摄像机的几何标定（5学时）

#### **教学重点、难点：**

重点：熟悉内参数、外参数、标定方法分类等摄像机标定参数；掌握摄像机系统的半自动标定的方法

难点：Tsai 和张正友标定方法的理解。

### **教学内容和基本要求**

- 1、理解摄像机标定参数；
- 2、掌握摄像机内参数标定的一种方法；
- 3、理解静态场景多视角下摄像机系统的自标定方法；
- 4、理解摄像机系统的半自动标定方法；
- 5、了解摄像机与激光雷达的联合标定方法；

### **(三) 影像特征提取表达 (5 学时)**

#### **教学重点、难点：**

重点：了解影像特征的基本概念；掌握边缘和线特征提取、点特征提取、纹理特征表达的方法

难点：边缘特征、直线特征和点特征的提取方法。

### **教学内容和基本要求**

- 1、理解影像特征的基本概念；
- 2、掌握边缘和线特征的提取方法；
- 3、掌握点特征的提取方法；
- 4、理解纹理特征的表达方法；

### **(四) 由运动恢复结构 (6 学时)**

#### **教学重点、难点：**

重点：了解八点算法、七点算法等二视图的基础矩阵；掌握摄像机位置姿态和场景结构恢复的方法

难点：摄像机位置和姿态测量算法的理解和掌握。

### **教学内容和基本要求**

- 1、理解对极几何的概念；
- 2、掌握影像的单应变换方法；
- 3、掌握求解二视图基础矩阵的方法；
- 3、掌握摄像机位置姿态和场景结构恢复的方法；
- 4、理解光束法平差法的意义。

## **(五) 双目立体视觉 (6 学时)**

### **教学重点、难点:**

重点: 了解传统立体匹配算法、图割优化匹配算法;

难点: 结构光三维扫描和立体视觉标定的原理与方法。

### **教学内容和基本要求**

- 1、了解标准形式的双目视觉系统;
- 2、了解立体匹配的基本概念;
- 3、掌握传统立体匹配算法;
- 4、理解图割优化匹配算法;
- 5、掌握结构光三维扫描的原理和方法;
- 6、掌握立体视觉标定的原理和方法。

## **(六) 点云滤波与分割 (2 学时)**

### **教学重点、难点:**

重点: 掌握点云滤波增强、点云超体素分割、目标级别分割的影响和应用

难点: 点云超体素分割方法。

### **教学内容和基本要求**

- 1、理解点云的概念和采样点云的特性;
- 2、掌握点云滤波增强的方法;
- 3、掌握点云超体素分割的原理和方法;
- 4、理解目标级别分割的原理和思路。

## **(七) 点云特征提取和三维配准 (4 学时)**

### **教学重点、难点:**

重点: 理解点云特征提取、点云精配准、点云粗配准的原理与应用

难点: 点云匹配的原理和方法。

### **教学内容和基本要求**

- 1、理解点云特征提取的原理;
- 2、掌握点云精配准的原理和步骤;
- 3、掌握点云粗配准的原理和方法;
- 4、理解异源三维数据的概念, 了解其配准融合的思路和方法。

## **(八) 三维表面建模与网络模型滤波 (2 学时)**

## **教学重点、难点：**

重点：理解先三维表面网络模型原理

难点：网络滤波去噪技术。

## **教学内容和基本要求**

- 1、理解监督模式识别方法的错误率估计算法；
- 2、了解有限样本下错误率的区间估计问题；
- 3、了解特征选择与特征提取对分类器性能估计的影响；
- 4、理解非监督模式识别系统性能的评价。

- 1、理解三维表面网络模型的概念；
- 2、理解显式建模方法；
- 3、理解隐式建模方法；
- 4、了解模型网络滤波去噪的方法。

## **三、课内练习环节的教学内容及基本要求、课时分配和场地**

### **教学内容及基本要求**

- (一) 掌握摄像机内参数标定的一种方法；
- (二) 掌握边缘、点和线特征的提取方法；
- (三) 掌握单映性变换的求解方法；
- (四) 掌握摄像机位姿计算的方法；
- (五) 掌握传统立体匹配的方法；
- (六) 掌握点云滤波增强、点云超体素分割、目标级别分割的影响和应用；
- (七) 理解点云特征提取、点云精配准、点云粗配准的原理与应用。

## **四、本课程教学建议**

- (一) 在教学过程中适当使用案例教学，增加紧密联系实际的内容，培养学生对模式识别学习的兴趣；
- (二) 了解行业企业技术标准，注重学习新技术、新工艺和新方法，根据教材中穿插设置的智能终端产品应用相关实例，对已有技术持续进行更新；
- (三) 通过开展课堂讨论、实践活动，增强团队协作能力，学会如何与他人合作、沟通、协调等等。

## **五、本课程评价方式**

考核方式为论文写作，雷同论文取消成绩，对于思想新颖论文给予高分评定；成绩评定

为论文占 70%，PPT 演示及提问 20%，出勤 10%。

#### 六、建议教材和教学参考书

建议教材：李明磊编著，计算机视觉三维测量与建模，电子工业出版社教材，2023.

教学参考书：

（一）张广军编著，视觉测量，科学出版社，2008.

（二）赵文辉，王宁，支珊，等著，机器视觉精密测量技术与应用，机械工业出版社，2020.

# 《雷达信号分析与处理》教学大纲

适用专业：	电子信息、控制理论与控制工程、电路与系统、检测技术与自动化装置、模式识别与智能系统、系统工程、控制工程领域等	课程性质：	选修
学时数：	32	学分数：	2.0
课程号：	315060010005	开课学期：	秋季学期
大纲执笔人：	黄玲	大纲审核人：	李策

## 一、课程的地位和教学目标

本课程的教学以突出重点，联系实践，减少复杂数学技巧的讲授为指导思想，讲透基本原理、基本概念、物理意义的分析。首先按照信号的处理流程编排教学内容，其次将各部分内容组合优化，穿插在雷达信号处理机的各种具体实现中，增强理论与工程实际应用的联系。课程内容上以雷达信号波形的数学表示和波形分类为出发点，引入模糊函数的概念和雷达分辨率理论；以信号处理的基本方法为重点，系统介绍中频采样、脉冲压缩、FFT 及窗函数在雷达中的应用；以雷达信号匹配滤波与最佳检测为基础，分析相参积累、非相参积累、二进制积累等检测方法的实现过程和性能；以杂波抑制处理技术为核心，将动目标显示、动目标检测、恒虚警处理和杂波图等信号处理技术有机地联系成为一个整体；同时将数字波束形成等阵列信号处理方面的知识纳入教学。

本课程在我院相关研究生课程知识体系中起着重要的承前启后、基础衔接的作用。通过本课程，学生将学习如何理解和处理雷达系统中的信号，通过理论讲解和实际案例研究，学生将掌握用于雷达信号分析和处理的关键概念和技术，为后续课程及从事相关学科雷达信号处理等方面有关的研究工作打下基础。

## 二、课程教学内容和基本要求

### (一) 绪论 (2 学时)

#### 教学重点、难点:

概略介绍雷达系统与信号处理的相关知识: 雷达系统基本原理和组成, 雷达信号的特点和传播模型, 雷达信号分析与处理的基本概念和方法。并简要介绍当前雷达信号处理的新方法、新理论以及新动向

#### 教学内容和基本要求

- 1、理解雷达系统的基本原理和组成
- 2、掌握雷达信号的特点和传播模型
- 3、熟悉雷达信号分析与处理的基本概念和方法

### (二) 雷达信号波形与模糊函数 (6 学时)

#### 教学重点、难点:

雷达信号波形的分析、模糊函数和雷达分辨率的概念、解决雷达距离模糊和速度模糊的方法、雷达分辨率与雷达波形之间的关系等

#### 教学内容和基本要求

- 1、了解脉冲信号、线性调频信号、二相编码信号或巴克码信号、脉冲串信号等多种信号波形
- 2、掌握模糊函数的定义、表示式的导出以及模糊函数特点的分析
- 3、掌握距离分辨率的定义
- 4、熟悉对于脉冲串信号模糊图, 分别改变脉宽、脉冲重复周期、脉冲串个数后对距离分辨率、速度分辨率的影响
- 5、熟悉分析距离模糊和速度模糊产生的原因及其消除方法

### (三) 基本雷达信号处理方法 (4 学时)

#### 教学重点、难点:

匹配滤波器、脉冲压缩等

#### 教学内容和基本要求

- 1、熟悉匹配滤波技术
- 2、掌握分析信号的频谱与其白噪声下匹配滤波器的频率响应
- 3、掌握利用时域卷积和频域相乘的方法, 画出受白噪声污染的信号的匹配滤波输出波形

- 4、熟悉改变调频带宽和时宽对信号的频谱和输出波形宽度的影响
- 5、掌握脉冲压缩的概念和作用
- 6、熟悉目标的多普勒频率对脉压结果的影响

#### **(四) 频域滤波 (4 学时)**

##### **教学重点、难点:**

动目标显示 (MTI)、动目标指示 (MTD) 的概念、原理、作用及及技术检查过程中各级正输出波形

##### **教学内容和基本要求**

- 1、熟悉 MTI 的概念与原理
- 2、熟悉 MTD 的概念与原理
- 3、掌握双脉冲对消器、三脉冲对消器、递归对消器的频率响应，并能分别对运动目标、固定目标和低速运动目标的相检输出信号，进行频域 MTI 滤波
- 4、掌握能够针对双脉冲对消器，考察不同参差比的 MTI 滤波器频率响应，比较参差前后的差别
- 5、熟悉针对 MTD，DFT 等效于窄带滤波器组的原理
- 6、熟悉 MTD 窗长  $N$  与加窗对滤波输出的影响
- 7、熟悉 kalmus 滤波器的滤波特性和效果，及其对低速运动目标的检测能力

#### **(五) 雷达目标检测基础 (6 学时)**

##### **教学重点、难点:**

Neyman-Pearson 检验准则以及在高斯信道下的接收机形式，相关接收与匹配滤波器的等价性，检测性能与信噪比的关系，脉冲积累的概念和实现

##### **教学内容和基本要求**

- 1、熟悉各种概率密度函数的形式
- 2、掌握根据不同概率密度函数，产生不同参数的随机噪声和信号
- 2、掌握根据 Neyman-Pearson 检验准则确定门限
- 3、熟悉瑞利分布条件下，门限随噪声功率、虚警的概率变化曲线
- 4、掌握脉冲积累的概念和实现
- 5、掌握脉冲积累对信号检测性能的影响

#### **(六) 恒虚警处理 (4 学时)**

##### **教学重点、难点:**

未知干扰对虚警概率的影响，单元平均 CFAR 分析、局限性及其改进措施

### **教学内容和基本要求**

- 1、理解恒虚警处理的必要性
- 2、熟悉各种 CFAR 算法的优缺点以及改进措施
- 3、了解 CFAR 的具体实现过程

### **(七) 阵列信号处理 (6 学时)**

#### **教学重点、难点：**

空域滤波基本思想，阵列天线实现波束扫描的基本原理，数字波束形成 DBF，自适应波束形成

### **教学内容和基本要求**

- 1、掌握空域滤波基本思想
- 2、了解阵列天线实现波束扫描的基本原理
- 3、熟悉阵列接收时定向接收的信号处理算法，即数字波束形成 DBF
- 4、理解自适应波束形成的思想和算法实现

### **三、课内练习环节的教学内容及基本要求、课时分配和场地**

(一) 认识查阅雷达信号分析与处理相关的文献与资料，并能从学生的研究课题联系出发，就课题中数据分析处理中的相关问题结合课程内容深入思考与认识。

(二) 能够结合 MATLAB 内的信号处理工具箱，雷达工具箱，在 MATLAB 环境下进行仿真练习。

(三) 掌握经典的雷达信号处理方法，具备从事雷达信号处理领域工程实践的理论基础。运用雷达信号处理知识，分析和解决雷达装备技术保障实际问题，具备一定的实践能力。

本课程的练习环节可采用课内、课外相结合的方式，成果以大作业的形式体现，具体学时可根据本人情况灵活安排，本课程训练对场地无特殊要求。

### **四、本课程教学建议**

本课程是一个理论与实际联系紧密的课程，通过课堂理论讲授与实验验证相结合的方法，并贯穿当前实训装备的雷达信号处理教学，可以让学员能够将装备工作原理与课堂教学的理论联系起来，达到较好的学习效果。

### **五、本课程评价方式**

本课程采用平时考勤、大作业、期末考试综合评定的方法。其中：

平时成绩 (15%) + 大作业 (25%) + 闭卷笔试 (60%) ; 平时成绩由考勤、平时作业、分组讨论等综合构成。

#### 六、建议教材和教学参考书

- (一) 陈希信著. 雷达信号处理原理与方法[M]. 哈尔滨工业大学出版社, 2023.
- (二) (美) Mark,A.,Richards 著. 雷达信号处理基础[M]. 电子工业出版社, 2017.
- (三) 吴顺君, 梅晓春等编著. 雷达信号处理和数据处理技术[M]. 电子工业出版社,2008.
- (四) 朱晓华编著. 雷达信号分析与处理[M]. 国防工业出版社, 2011.

# 《图像处理与计算机视觉》教学大纲

适用专业： 电子科学与技术、控制 课程性质： 选修  
科学与工程等学科相  
关专业

学时数： 32 学分数： 2

课程号： 315060030028 开课学期：

大纲执笔人： 林冬梅 大纲审核人： 陈晓雷

## 一、课程的地位和教学目标

本门课程主要是让学生在深入掌握和充分理解图像处理与计算机视觉基本理论，各种处理方法的基本原理、特点和实施途径基础上，通过编程运用已学的图像处理与计算机视觉技术来解决实际问题；给出直观的图像处理与计算机视觉的结果，引发学生的兴趣和思考，从而激发学生对专业探讨的主动性和积极性，为今后在该领域中深入学习和研究奠定基础。

## 二、课程教学内容和基本要求

### （一）绪论（2学时）

#### 教学重点、难点：

视觉和图像的定义及其联系、计算机视觉的基本原理

#### 教学内容和基本要求

- 1、掌握视觉基础、视觉和图像的定义及其联系
- 2、熟悉视觉系统和图像技术
- 3、熟悉计算机视觉的基本原理与发展历史
- 4、了解计算机视觉技术的应用及面临的挑战

#### 课程思政

在讲授计算机视觉技术的应用领域、国内外发展现状及差距内容时，融入激发学生科研创新的兴趣、增强学以致用的社会责任感、培养学生浓厚的爱国主义情怀等课程思政。

### （二）图像处理与计算机视觉硬件技术（2学时）

#### 教学重点、难点：

摄像机技术、镜头技术和光源技术

#### 教学内容和基本要求

- 1、掌握摄像机技术和镜头技术
- 2、熟悉光源技术
- 3、了解摄像机标定技术

#### **课程思政**

镜头的作用、视场角、焦距、调焦、滤光镜、分辨率、光源课程内容均可融入思政元素，如：讲解不同视场角的镜头时，可提及视野不同，看到的风景、问题等就有所不同，鼓励学生用不同的眼光看待问题，打开眼界，就会有不一样的收获，等。

#### **(三) 数字图像处理基础 (2 学时)**

##### **教学重点、难点：**

数字图像表示方法、像素间的基本关系

##### **教学内容和基本要求**

- 1、熟悉数字图像、像素的概念
- 2、了解数字图像处理的应用领域、数字图像处理系统的组成部件
- 3、掌握图像的采样和量化、数字图像的表示方法、影响数字图像质量的因素及像素间的基本关系

#### **(四) 灰度变换与空间滤波 (4 学时)**

##### **教学重点、难点：**

直方图处理和空间滤波基础

##### **教学内容和基本要求**

- 1、了解灰度变换与空间滤波的背景知识
- 2、理解基本的灰度变换函数
- 3、掌握直方图处理、空间滤波基础、平滑空间滤波器和锐化空间滤波器

#### **课程思政**

图像滤波，可引申为取其精华、去其糟粕的做事技巧，引导学生在学习及科研中善于抓住问题本质，有策略地分析问题。

#### **(五) 图像变换与频域滤波 (2 学时)**

##### **教学重点、难点：**

图像的傅里叶变换、频域滤波

##### **教学内容和基本要求**

- 1、了解傅里叶变换在图像处理中的应用

- 2、理解图像的傅里叶变换
- 3、掌握图像频域低通、高通滤波方法

#### **课程思政**

讲授傅里叶变换时，由库利和图基，引出创新的类型；另外，从空间域变换到频域，可引申为从不同的角度看待问题。

#### **(六) 彩色图像处理 (2 学时)**

##### **教学重点、难点：**

彩色模型、彩色图像处理

##### **教学内容和基本要求**

- 1、了解彩色基础知识
- 2、理解彩色空间与模型
- 3、掌握伪彩色和全彩色图像处理方法

#### **课程思政**

疫情防控期间，利用伪彩色处理技术，对高体温人员进行自动识别和标注，鼓励学生学以致用。

#### **(七) 图像复原 (2 学时)**

##### **教学重点、难点：**

空间域及频率域滤波复原方法

##### **教学内容和基本要求**

- 1、理解图像退化/复原过程的模型
- 2、熟悉噪声模型
- 3、掌握空间域滤波复原方法、频率域滤波复原方法

#### **课程思政**

复原处理的图像选用英雄人物、我国古代文化和艺术、航空航天、军事国防、国产产品、国家著名建筑等方面的图像，培养雷锋精神、爱国主义、文化自信、道路自信的家国情怀，以及文化传承的人文精神。

#### **(八) 形态学图像处理 (2 学时)**

##### **教学重点、难点：**

图像数学形态学的基本运算，图像数学形态学应用的实现

##### **教学内容和基本要求**

- 1、掌握腐蚀、膨胀、开操作与闭操作
- 2、熟悉形态学的常见应用及其实现方法

### **课程思政**

讲解膨胀和腐蚀时，可引申为近朱者赤近墨者黑并展开论述。

### **(九) 图像分割与特征提取 (4 学时)**

#### **教学重点、难点：**

各类分割方法的实现

#### **教学内容和基本要求**

- 1、了解图像分割与特征提取的基础知识
- 2、掌握点、线和边缘检测及基于区域的分割
- 3、熟悉常见图像特征及其提取方法

### **课程思政**

讲到边缘的概念时，解释边缘是像素值发生跃迁的地方，图像中有灰度值的变化就会有梯度，从而产生边缘，在边缘处具有变化的强弱及方向，梯度大的图像边缘更容易形成有价值的特征，平坦的区域反而容易被忽略。鼓励学生勇于跳出舒适区，不畏挑战，敢于创新，敢于探索学术无人区。

角点提取等很多经典的算法都是以外国人名命名，鼓励学生发奋努力，争取多一些以中国人命名的算法、软件、硬件等。

### **(十) 图像压缩 (2 学时)**

#### **教学重点、难点：**

像压缩模型、无损压缩和有损压缩的重要方法

#### **教学内容和基本要求**

- 1、理解图像压缩的基本概念
- 2、熟悉图像压缩模型
- 3、掌握无损压缩和有损压缩的重要方法
- 4、了解图像压缩标准和视频压缩标准

### **(十一) 深度学习在计算机视觉领域的应用 (6 学时)**

#### **教学重点、难点：**

深度学习在计算机视觉领域的应用方法

#### **教学内容和基本要求**

- 1、掌握深度学习的定义与特点
- 2、熟悉深度学习的发展历史与常用深度学习网络
- 3、熟悉深度学习在计算机视觉领域的应用

## **(十二) 图像处理与计算机视觉学术论文撰写与投稿 (2 学时)**

### **教学重点、难点：**

对比实验、消融实验的规范方法

### **教学内容和基本要求**

- 1、掌握图像处理与计算机视觉学术论文撰写方法与规范
- 2、熟悉图像处理与计算机视觉学术论文投稿方法
- 3、掌握对比实验、消融实验的规范方法

### **三、本课程教学建议**

经典理论和现代方法相结合，在讲解图像处理与计算机视觉经典理论的基础上，给学生介绍该领域最新的研究方向和方法。课堂讲授和课下练习相结合，要求学生在课下利用计算机编程实现上课所学内容。

### **四、本课程评价方式**

本课程采用综合测评评价方式，总评成绩各部分构成和所占比例如下：

- (一) 课堂讨论，占 30%；
- (二) 结课报告，占 70%。

结课报告如有雷同，取消成绩；对于思路新颖的报告给予高分评定。

### **六、建议教材和教学参考书**

- (一) 西蒙 J.D. 普林斯，计算机视觉：模型、学习和推理，北京：机械工业出版社，2023.
- (二) 塞利斯基 (Richard Szeliski) 著，艾海舟，兴军亮 等译，计算机视觉——算法与应用，北京：电子工业出版社，2011.
- (三) Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods 等著，阮秋琦等译，数字图像处理 (第四版)，北京：电子工业出版社，2020.
- (四) 阮秋琦，数字图像处理学 (第三版)，北京：电子工业出版社，2013.
- (五) 朱虹，数字图像处理基础，北京：科学出版社，2016.
- (六) 章毓晋，图像工程 (上) 图像处理 (第二版)，北京：清华大学出版社，2006.
- (七) 陈书海，傅录祥，实用数字图像处理，北京：科学出版社，2005.

# 《微电子制造工艺》教学大纲

适用专业:	微电子学与固体电子学	课程性质:	必修
学时数:	48 学时	学分数:	3
课程号:	315060020065	开课学期:	2
大纲执笔人:	王小耶	大纲审核人:	张爱华

## 一、课程的地位和教学目标

以半导体科学与技术为基础发展起来的集成电路技术综合了电子、信息、材料、物理、化学和数学等各门学科的精髓，发展速度非常惊人，促使信息、通信和计算机领域发生着巨大变革。集成电路制造技术是人类改造微观世界能力的体现，是衡量一个国家科技实力的标志之一。

本课程基本涵盖所有的半导体制造工艺，包括：单晶硅晶圆生长、硅外延技术、半导体工艺中的加热过程、光学光刻工艺、半导体制造过程中使用的等离子体技术、离子注入工艺、刻蚀工艺、基本的化学气相沉积（CVD）、电介质薄膜沉积工艺、多孔低 k 电介质沉积、气隙的应用、原子层沉积（ALD）工艺过程、金属化工艺、化学机械研磨（CMP）工艺、工艺整合、先进的 CMOS、DRAM 和 NAND 闪存工艺流程，并在最后总结了半导体工业未来的发展。

通过本课程的学习，使学生认识半导体集成电路的主要制备工艺技术，理解各种工艺技术对器件性能的影响；了解现代半导体集成电路的发展过程和发展趋势；培养学生利用科学的思维方法分析工业生产过程中的物理问题，学习使用批判的思维方式。为后续课程和从事与本专业有关的工程技术等工作打下一定的基础。

## 二、课程教学内容和基本要求

### （一）导论及集成电路工艺总体介绍（共2学时）

#### 教学重点、难点：

摩尔定律。

### 教学内容和基本要求：

#### 一、集成电路历史与发展

1. 研究的对象、内容。
2. 集成电路的发展历史、技术简介。

#### 二、集成电路工艺介绍

1. 工艺与成品率。
2. 无尘室技术。
3. 工艺间基本结构。
4. 测试与封装。

### (二) 晶圆生长 (共2学时)

#### 教学重点、难点：

集成电路芯片及其基本工艺。

#### 教学内容：

1. 晶圆制造的基本工艺流程。
2. 硅外延生长技术。

#### 基本要求：

1. 了解硅用于半导体制造的优势及其生长特性。
2. 掌握单晶硅的生长技术和设备要求。
3. 掌握硅外延生长技术流程及其特点。

### (三) 加热工艺 (共4学时)

#### 教学重点、难点：

扩散工艺及其优缺点。

### 教学内容：

1. 氧化工艺。
2. 扩散工艺。
3. 高温沉积和退火工艺。

### 基本要求：

1. 掌握氧化工艺的目的，系统的基本要求和应用。
2. 了解扩散工艺及其优缺点。
3. 了解高温沉积和退火工艺的技术要求、应用及其重要性。

### **（四）光刻工艺（共8学时）**

#### 教学重点、难点：

光刻工艺流程。

#### 教学内容：

1. 光刻胶的组成及其特征。
2. 光刻工艺流程。

#### 基本要求：

1. 了解光刻胶的四大组成成分，正负光刻胶的区别。
2. 掌握光刻工艺流程，了解对准和曝光及其常用系统。
3. 了解光刻工艺的设备需求和技术要求。

### **（五）等离子体工艺（共6学时）**

#### 教学重点、难点：

等离子体中的重要碰撞过程。

#### 教学内容：

1. 等离子体的概念、成分。。
2. 等离子体的应用及其技术要求

### **基本要求：**

1. 学习掌握等离子体的概念和主要成分，了解等离子体中的重要碰撞过程及其重要性。
2. 掌握等离子体在化学气相沉积和刻蚀工艺中的重要作用，及其影响因素。

### **(六) 离子注入工艺 (共4学时)**

#### **教学重点、难点：**

离子注入工艺中的物理过程。

#### **教学内容：**

1. 离子注入技术及其设备。
2. 离子注入工艺中的物理过程。

### **基本要求：**

1. 掌握离子注入工艺的概念和技术特征，以及离子注入技术与扩散技术的优点。了解其设备要求。
2. 掌握离子注入工艺中降低通道效应的方法，离子射程的影响因素，以及退火工艺的必要性。

### **(七) 刻蚀工艺 (共6学时)**

#### **教学重点、难点：**

刻蚀方法和区别。

#### **教学内容：**

1. 必须刻蚀的材料和工艺。
2. 刻蚀方法和区别。

### **基本要求：**

1. 了解集成电路制造过程中必须刻蚀的材料和刻蚀方法。
2. 掌握干法刻蚀和湿法刻蚀，及其区别。
3. 掌握等离子体刻蚀的工艺流程。

## （八）化学气相沉积与电介质薄膜（共6学时）

### 教学重点、难点：

化学气相沉积工艺流程。

### 教学内容：

1. 电介质薄膜及其应用。
2. 化学气相沉积工艺。

### 基本要求：

1. 了解集成电路加工工艺中的电介质薄膜及其应用。
2. 掌握化学气相沉积工艺流程，及其工艺影响因素。

## （九）金属化工艺（共6学时）

### 教学重点、难点：

金属淀积工艺原理。

### 教学内容：

1. 金属化工艺介绍。
2. 导电薄膜及其特性。
3. 金属淀积工艺。

### 基本要求：

了解金属化工艺流程，及其工艺影响因素。

## （十）化学机械研磨工艺（共4学时）

### 教学重点、难点：

CMP工艺的不平坦问题。

### 教学内容：

1. CMP工艺的发展。

2. CMP工艺。
3. CMP工艺设备和研磨浆。

### **基本要求：**

了解CMP工艺流程，及其工艺影响因素。

### **三、课内练习环节的教学内容及基本要求、课时分配和场地**

#### **教学内容及基本要求：**

（一）本课程以教师讲授、辅导和学生自学的方式完成授课，根据课程内容和学生研究方向指定查阅相应文献，要求学生结合教材和文献阅读，了解和掌握半导体芯片制造工艺的发展动态、新方法和主要应用领域，掌握微电子器件相关工艺技术的原理与使用场景，结合自己的课题进行实例设计和文献综述，完成并提交大作业。

（二）本课程的成果以大作业的形式体现，课程训练对场地无特殊要求。

### **四、本课程教学建议**

学习本课程须具备半导体物理学、半导体材料、集成电路工艺（微电子工艺）等课程的基础知识；具备良好的逻辑思维和分析表达能力；具备专业前沿知识的获取能力和外文（主要是英语）文献的阅读分析能力；具备数学工具的熟练运用和推演能力。

### **五、本课程评价方式**

课外大作业

### **六、建议教材和教学参考书**

（一）英文版教材：Microchip Fabrication-A Practical Guide to Semiconductor Processing,

Peter Van Zant, Sixth Edition, Inc., 2015. ISBN: 9787121399831.

（二）中文版教材：半导体集成电路制造手册（第二版），耿怀渝译，电子工业出版社，

2022年。ISBN: 9787121429408.

# 《现代数字信号处理》教学大纲

适用专业：	电子信息、控制理论与控制工程、电路与系统、检测技术与自动化装置、模式识别与智能系统、能源动力、系统工程、电气工程领域、控制工程领域等	课程性质：	学位/必修
学时数：	32	学分数：	2.0
课程号：	315060010005	开课学期：	秋季学期
大纲执笔人：	黄玲	大纲审核人：	张爱华、马玉润

## 一、课程的地位和教学目标

本课程系统讨论经典数字信号处理和统计数字信号处理两大部分内容。经典数字信号处理包括离散时间信号与离散时间系统的基本概念、 $Z$ 变换及离散时间系统分析、离散傅里叶变换、傅里叶变换的快速算法、离散时间系统的相位与结构、数字滤波器设计(IIR、FIR及特殊形式的滤波器)、信号的正交变换(正交变换的定义与性质、K-L变换、DCT及其在图像压缩中的应用)、信号处理中若干典型算法(如抽取与插值、子带分解、调制与解调、反卷积、SVD、独立分量分析及同态滤波)、数字信号处理中的有限字长问题及数字信号处理的硬件实现等；统计数字信号处理的对象是随机信号，主要包括平稳随机信号的基本概念、经典功率谱估计、参数模型功率谱估计、维纳滤波器及自适应滤波器等内容。在我院相关研究生课程知识体系中起着重要的承前启后、基础衔接的作用。

通过本课程的学习将使学生掌握现代数字信号处理的基本理论和基本分析方法，为后续课程及从事相关学科中信息处理等方面有关的研究工作打下基础。通过渗入数字信

号处理领域的学科前沿及工程应用，帮助学生树立民族自信和创新意识、担当意识，培养学生的家国情怀。能够采用科学实验方法对电子信息领域复杂工程问题进行分析研究，并结合实际应用场景（例如生物医学信号、雷达信号、卫星导航信号等）、利用现代工具编程设计数字系统，进行数字信号的处理，得出合理有效的结论，从而培养学生科学思维能力和工程素养。通过双语教学模式的开展，培养学生在跨文化背景下进行交流沟通、竞争与合作能力，为后续课程和跨文化背景下从事信息处理等方面有关的研究工作打下基础。

## 二、课程教学内容和基本要求

### （一）绪论（1学时）

#### **教学重点、难点：**

概略介绍现代数字信号处理的相关背景知识：信号处理，数字信号处理，信号处理的方法及应用。简要介绍当前数字信号处理的新方法、新理论以及新动向。

#### **教学内容和基本要求**

- 1、了解现代数字信号处理的学科发展背景。
- 2、理解基本的信号处理概念、方法以及理论动向。

**【思政资源】** 梳理与信号有关的历史人物与历史事件、总结国内与国外的差距等。

### （二）连续时间的和离散时间的信号与系统（4学时）

#### **教学重点、难点：**

离散信号的特点、LSI 系统的特性与分析方法、卷积和计算方法、离散信号频域分析法、相关函数的定义和性质、离散系统性质与零极点分析等

#### **教学内容和基本要求**

- 1、掌握离散时间信号与系统的基本概念和分析方法
- 2、掌握线性移不变（LSI）系统输入输出关系的差分程及时域卷积分析方法
- 3、掌握离散信号频域分析的基本概念
- 4、掌握确定性信号相关函数的定义、性质及其应用。
- 5、掌握 Z 变换，掌握系统函数的概念、求解并能利用系统函数进行系统稳定性、零极点及频率响应分析；
- 6、了解 IIR 系统实现结构

**【思政资源】**线性移不变系统的理论模型、卷积与深度学习、相关函数与卫星导航信号处理。

### (三) 信号的傅立叶变换 (5 学时)

#### **教学重点、难点：**

信号的抽样与重建、DTFT 和 DFT 变换概念及性质、频率分辨率、FFT 基本思想等

#### **教学内容和基本要求**

- 7、熟悉连续时间信号的傅里叶变换、信号的抽样与重建
- 8、掌握 DTFT、DFT 变换
- 9、熟悉 DFT 中的频率分辨率，以及参数选择问题
- 10、熟悉希尔伯特变换
- 11、熟悉 FFT 的基本思想和算法

**【思政资源】**傅里叶及傅叶叶变换的故事、频域分析的启示。

### (四) 离散时间系统的相位与结构 (2 学时)

#### **教学重点、难点：**

频率分析中幅频和相频的意义、FIR 线性相位、常见相位系统概念和意义

#### **教学内容和基本要求**

- 1、掌握离散时间系统的相频响应
- 2、掌握 FIR 系统的线性相位特性和零点分布
- 3、掌握全通系统、最大相位系统、最小相位系统
- 4、熟悉 FIR 系统的结构

### (五) 数字与模拟滤波器设计 (4 学时)

#### **教学重点、难点：**

滤波器概念、IIR 和 FIR 数字低通滤波器设计、高通滤波器设计方法

#### **教学内容和基本要求**

- 1、掌握滤波器的基本概念
- 2、掌握 IIR 数字滤波器、FIR 数字滤波器中低通、高通滤波器的基本设计方法
- 3、熟悉 IIR 数字滤波器、FIR 数字滤波器中带通、带阻滤波器的基本设计方法

**【思政资源】**幅频和相频的不同角色分析、各种系统的实际应用。

### (六) 信号处理的若干典型算法 (2 学时)

#### **教学重点、难点：**

信号的抽取与插值，窄带信号的概念与特点、系统辨识的基本概念以及同态滤波方法

### **教学内容和基本要求**

- 4、掌握信号的抽取与插值
- 5、熟悉窄带信号的抽样、调制与解调
- 6、熟悉逆系统、反卷积和系统辨识的基本概念
- 7、掌握同态滤波，了解复倒谱

**【思政资源】**①积极发挥精益求精的精神，对代码调试，做到一丝不苟，反复求证，注重细节，出现问题不惧怕，勇于解决问题，并做到精益求精。②树立诚实守信、严谨负责的职业道德观。

### **(七) 随机信号与正交变换 (2 学时)**

#### **教学重点、难点：**

随机信号的概念和特点、各态遍历性、最小平方估计

### **教学内容和基本要求**

- 5、掌握随机信号及其特征描述
- 6、掌握平稳随机信号描述
- 7、掌握平稳随机信号各态遍历性
- 8、掌握信号处理中的最小平方估计
- 9、了解估计质量评价概念

**【思政资源】**在学习噪声的特点及应用时，引出我国微弱信号处理研究的成就，并实时讨论集成电路的危机，自主研发的重要性，以及我国老一辈科学家如何面对封锁，“自力更生、丰衣足食”进行科学研究，帮助学生形成正确的科学观。

### **(八) 平稳随机信号 (2 学时)**

#### **教学重点、难点：**

自相关函数估计、直接或间接估计法、短时傅立叶的概念

### **教学内容和基本要求**

- 1、熟悉自相关函数的估计
- 2、掌握经典谱估计的基本方法
- 3、熟悉短时傅立叶变换

**【思政资源】**举例说明平稳随机信号的应用，适时引出我国雷达取得的成就，以及老一辈科学家“坚持自主研发，几十年如一日、永不畏难”的科学家精神，引导学生形成正确的科学观及成就观。

### **(九) 参数模型谱估计 (4 学时)**

#### **教学重点、难点：**

平稳随机信号参数模型，AR 模型、MR 模型、ARMR 模型、最小方差功率谱估计

#### **教学内容和基本要求**

- 1、掌握平稳随机信号的参数模型
- 2、掌握 AR 模型的正则方程与参数计算
- 3、熟悉 AR 模型系数的求解方法
- 4、熟悉 MA 模型及功率谱估计
- 5、熟悉 ARMA 模型及功率谱估计
- 6、熟悉最小方差功率谱估计 MVSE
- 7、了解基于矩阵特征分解的频率估计及功率谱估计

**【思政资源】**在讨论参数模型谱估计及其典型应用，引出阿尔法狗等新科技成果，并分析该科技成果的力量之源、可拓展之处，研究方法等，引导学生“勇于探索”。

### **(十) 维纳滤波器 (3 学时)**

#### **教学重点、难点：**

维纳滤波的概念、FIR 与 IIR 维纳滤波的概念与应用

#### **教学内容和基本要求**

- 1、掌握平稳随机信号的线性最小均方滤波
- 2、熟悉 FIR 维纳滤波
- 3、熟悉 IIR 维纳滤波
- 4、了解非因果维纳滤波

**【思政资源】**不同类型滤波器的优劣及启示、与窗函数有关的历史人物。

### **(十一) 自适应滤波器及应用 (3 学时)**

#### **教学重点、难点：**

自适应滤波概念、LMS 算法、RLS 算法及相关应用

#### **教学内容和基本要求**

- 1、熟悉误差性能曲面及最陡下降法

2、掌握 LMS 算法、RLS 算法

3、了解自适应滤波器的应用

**【思政资源】** 结合自适应滤波器及应用，引出算法落地的重要性，强调“知行统一”的实践观，同时结合实验过程，引导学生遵守职业规范、遵守实验管理，培养学生的规章意识。

### 三、课内练习环节的教学内容及基本要求、课时分配和场地

(一) 认识查阅现代数字信号处理理论与技术相关的文献与资料，并能从学生的研究课题联系出发，就课题中数据分析处理中的相关问题结合课程内容深入思考与认识。

(二) 结合图像处理、语音分析、特征提取等案例问题，学会数字滤波器设计，能在 Python 语言、MATLAB 或 LabVIEW 环境下进行仿真练习。

(三) 掌握经典的数字滤波器设计方法，以及现代滤波器设计方法，并能够编程设计实现所需滤波器功能。

本课程的练习环节可采用课内、课外相结合的方式，成果以大作业的形式体现，具体学时可根据本人情况灵活安排，本课程训练对场地无特殊要求。

### 四、本课程教学建议

本课程以数字信号处理基本内容为基础，针对大数据分析建模的需求，进行了一定的扩展与延伸，理论性与应用性较强，学习过程中应该注意理论与实践的结合，应与学生的研究课题相结合，经常性的查阅资料，了解现代数字信号处理发展的最新动态，从数字信号滤波的角度出发，重点掌握信号频域特征的提取、建模与分析等处理技术。

### 五、本课程评价方式

本课程采用平时考勤、大作业、期末考试综合评定的方法。其中：

平时成绩（15%）+大作业（20%）+闭卷笔试（60%）+思政小作业（5%）；平时成绩由考勤、平时作业、分组讨论等综合构成。

### 六、建议教材和教学参考书

- (一) 胡广书，数字信号处理——理论、算法与实现（第3版），清华大学出版社，2012
- (二) 胡广书，现代信号处理教程，清华大学出版社，2004
- (三) Sanjit K. Mitra, Digital Signal Processing---- A Computer-Based Approach (Third Edition)，清华大学出版社，2005
- (四) Petre Stoica 等著，吴仁彪等译，现代信号谱分析，电子工业出版社，2012
- (五) 何子述，现代数字信号处理及其应用，清华大学出版社，2009

- (六) 维纳·K·英格尔等著；刘树棠等译，数字信号处理（MATLAB 版）（第 3 版），西安交通大学出版社，2013
- (七) 陈后金，数字信号处理，高等教育出版社，2004

# 《现代无损检测技术》教学大纲

适用专业：	仪器仪表工程	课程性质：	必修
学时数：	32	学分数：	2.0
课程号：	315060030071	开课学期：	第2学期
大纲执笔人：	李策	大纲审核人：	魏小源

## 一、课程的地位和教学目标

本课程是为了适应仪器仪表工程专业研究生的培养目标而开设的必修课，在教学计划中占有重要地位和作用，其以热、电、磁、声、光等科学理论为基础，系统学习并掌握超声、红外、声发射、涡流、视觉等检测新技术的原理、特点与应用并能够理解其局限性。通过该课程的学习，使得学生应用所学的各种检测新技术，分析并解决因工作环境变化而致的材料状态、组织结构或力学性能改变相关的复杂工程问题，分析并解决与设备或构件中存在的各类不连续性缺陷相关的复杂工程问题。同时，理解并掌握与金属材料相关的工程管理原理与经济决策方法，并能在多学科环境中应用。

## 二、课程教学内容和基本要求

### （一）绪论（2学时）

**教学重点、难点：**无损检测技术的现状。

#### **教学内容和基本要求**

- 1、了解无损检测方法及其选择；
- 2、掌握无损检测技术的现状与发展。

### （二）超声检测（8学时）

**教学重点、难点：**超声检测原理。

#### **教学内容和基本要求**

- 1、掌握超声检测原理、特点与定位；
- 2、了解超声检测技术在无损检测与评价中的应用。

### （三）声发射检测（6学时）

**教学重点、难点：**声发射检测原理。

#### **教学内容和基本要求**

- 1、掌握声发射检测原理、特点与定位；
- 2、了解声发射检测技术在无损检测与评价中的应用。

#### **(四) 红外检测技术 (4 学时)**

**教学重点、难点：**红外检测原理。

##### **教学内容和基本要求**

- 1、掌握红外检测原理、特点与定位；
- 2、了解红外检测技术在无损检测与评价中的应用。

#### **(五) 涡流检测技术 (4 学时)**

**教学重点、难点：**涡流检测原理。

##### **教学内容和基本要求**

- 1、掌握涡流检测原理、特点与定位；
- 2、了解涡流检测技术在无损检测与评价中的应用。

#### **(六) 机器视觉检测技术 (8 学时)**

**教学重点、难点：**视觉检测原理。

##### **教学内容和基本要求**

- 1、掌握机器视觉检测原理、特点与定位；
- 2、了解机器视觉检测技术在无损检测与评价中的应用。
- 三、课内练习环节的教学内容及基本要求、课时分配和场地

##### **教学内容及基本要求**

(一) 通过作业加深对无损检测技术基本理论的理解以及掌握检测理论分析各种结构缺陷的方法。

#### **四、本课程教学建议**

- (一) 课堂讲授：以教师讲授为主，采用多媒体辅助教学。
- (二) 课内讨论：注重理论联系实际，精选教学案例，进行互动讨论。

#### **五、本课程评价方式**

本课程考核由两部分构成：平时考核和期末考核，总成绩为 100 分，所占比例分别为 30%和 70%。其中平时考核主要由学生上课出勤状况、课堂表现组成。期末考核为无损检测技术发展分析报告。

#### **六、建议教材和教学参考书**

- (一) 沈玉娣. 自适应控制. 清华大学出版社, 2016.
- (二) 丁守宝 等. 无损检测新技术及应用. 北京高等教育出版社, 2012.
- (三) 施克仁. 无损检测新技术. 北京清华大学出版社, 2007.

(四) 刘贵民. 无损检测技术. 国防工业出版社, 2006.

# 《现代电路与系统》课程教学大纲

适用专业：	电路与系统	课程性质：	必修
学时数：	32	学分数：	2.0
课程号：	315060010004	开课学期：	第2学期
大纲执笔人：	崔渊	大纲审核人：	缙新科

## 一、课程的地位和教学目标

本课程内容包括网络拓扑理论、电路方程建立及矩阵方法、线性方程组的计算机解法、非线性电路分析、双端口网络分析、运算放大器电路分析及有源滤波器等。通过学习，要求学生掌握现代电路理论基本知识，达到能熟练应用计算机分析各种现代电路的能力。

## 二、课程教学内容和基本要求

### （一）绪论（4学时）

**教学重点、难点：**现代电路的基本理论和意义。

#### 教学内容和基本要求

- 1、各类元件的重新认识；
- 2、电路线性和非线性；
- 3、连续时间系统和离散时间系统。

### （二）二阶有源 RC 滤波器（8学时）

**教学重点、难点：**滤波器的基本物理参数及基本规律。

#### 教学内容和基本要求

- 1、滤波器的分类；
- 2、运算放大器；
- 3、灵敏度；
- 4、低通滤波器；
- 5、高通滤波器；
- 6、双积分滤波器。

### （三）高阶有源滤波器（8学时）

**教学重点、难点：**逼近函数的熟悉掌握，电感仿真。

#### 教学内容和基本要求

- 1、经典逼近函数；
- 2、仿真电感；
- 3、频变负电阻；
- 4、LF 滤波器；
- 5、跨导电容滤波器。

#### **(四) 开关网络的分析 (6 学时)**

**教学重点、难点：**开关网络电路分析，DC-DC 变换电路分析的状态平衡法。

##### **教学内容和基本要求**

- 1、一般开关网络分析的计算机方法；
- 2、DC-DC 变换电路分析的状态平衡法；
- 3、准谐振变换器分析；
- 4、开关电容网络分析。

#### **(五) 非线性电阻电路 (6 学时)**

**教学重点、难点：**非线性电阻电路概念理解，由非线性电路引入混沌分形理论。

##### **教学内容和基本要求**

- 1、非线性电阻电路的三个基本概念；
- 2、分段线性化方法；
- 3、非线性电阻电路综合简介。

### **三、课内练习环节的教学内容及基本要求、课时分配和场地**

##### **教学内容及基本要求**

(一) 通过作业加深对现代电路理论的理解以及熟练应用计算机分析各种现代电路的能力。

#### **四、本课程教学建议**

- (一) 课堂讲授：以教师讲授为主，采用多媒体辅助教学。
- (二) 课内讨论：注重理论联系实际，精选教学案例，进行互动讨论。

#### **五、本课程评价方式**

本课程考核由两部分构成：平时考核和期末考核，总成绩为 100 分，所占比例分别为 40%和 60%。其中平时考核主要由学生上课出勤状况、课堂表现组成。期末考核采用笔试方式，考试的题型以简答题、简单计算题和综合分析计算为主。

#### **六、建议教材和教学参考书**

- (一) 邱关源. 现代电路理论[M]. 高等教育出版社,2000.
- (二) 蔡少棠, 虞厥邦译. 非线性网络理论引论[M]. 人民教育出版社. 1981.
- (三) 杨志民. 现代电路理论与设计[M]. 清华大学出版社, 2009
- (四) Charles K. Fundamental of Electric Circuit[M]. 清华大学出版社, 2003

# 《电磁兼容原理与应用》教学大纲

适用专业：	电子科学与技术、电气工程、 仪器科学与技术等	课程性质：	选修
学时数：	32	学分数：	2
课程号：	315060020033	开课学期：	春季学期
大纲执笔人：	孟凡成	大纲审核人：	缙新科

## 一、课程的地位和教学目标

《电磁兼容原理与应用》是研究降低和消除电磁干扰，提高设备和系统的抗电磁干扰能力，实现设备和系统电磁兼容，最大限度地发挥设备和系统的效能的一门综合性交叉学科。该课程围绕着电子系统中形成电磁干扰的三大要素，从电磁兼容的基本概念和原理出发，系统介绍了各种电磁干扰产生的机理和模型，减少干扰及提高抗扰度的方法，系统的电磁兼容性和天线耦合分析，电磁兼容性控制技术、预测技术、建模和仿真方法以及各种民用与军用电磁兼容标准的控制要求和测试方法等。进而使读者建立起电磁兼容的概念，掌握其基本原理，熟悉基本技术，抓住其中的要点，了解电磁兼容标准、强制认证要求以及电磁兼容在电气、电子产品设计中的应用，为从事相关研究工作打下坚实的基础。

## 二、课程教学内容和基本要求

### （一）概述（2学时）

**教学重点、难点：**电磁分贝单位的定义及换算关系

#### **教学内容和基本要求**

- 1、了解电磁兼容学科的发展概况。
- 2、理解系统可靠性和电磁兼容性及其特点。
- 3、掌握电磁分贝单位的定义及换算关系。

### （二）电磁兼容的基本概念（4学时）

**教学重点、难点：**电磁干扰三要素和电磁兼容的基本概念

#### **教学内容和基本要求**

- 1、了解电磁环境、电磁干扰源。
- 2、理解电磁兼容的定义，电磁干扰及其危害，敏感度分析等。
- 3、掌握电磁干扰信号的频谱分析法。

### **(三) 电磁干扰传播和耦合理论 (6 学时)**

**教学重点、难点：**电磁干扰传导和辐射的基本理论及其耦合机理

**教学内容和基本要求**

- 1、了解电磁干扰的传输路径、辐射的耦合方式等。
- 2、掌握传输耦合的基本原理，电磁辐射的基本理论及其性质等。
- 3、掌握典型传导耦合的分析方法。

### **(四) 电磁兼容控制技术 (6 学时)**

**教学重点、难点：**电磁兼容控制的策略和准则

**教学内容和基本要求**

- 1、了解电磁兼容控制策略、控制技术方案的分类情况。
- 2、理解空间分离、时间分割及其典型应用。
- 3、掌握频域划分和管制、电气隔离等抑制电磁干扰的具体应用。

### **(五) 电磁耦合的工程分析方法 (6 学时)**

**教学重点、难点：**典型电磁干扰模式及实用工程分析方法

**教学内容和基本要求**

- 1、了解天线对天线的干扰分析方法。
- 2、理解导线对导线的耦合分析方法。
- 3、掌握电磁场对导线的干扰分析方法。

### **(六) 电磁兼容性设计 (4 学时)**

**教学重点、难点：**电磁兼容性设计的内容和分析计算方法

**教学内容和基本要求**

- 1、理解电磁兼容性设计的一般概念。
- 2、掌握滤波技术及其应用、接地技术及其应用。
- 3、理解屏蔽原理，并掌握屏蔽技术的应用、搭接设计及搭接技术等。

### **(七) 电磁兼容性预测技术 (4 学时)**

**教学重点、难点：**电磁兼容性预测的原理和方法

**教学内容和基本要求**

- 1、理解电磁兼容性预测的概念及基本原理。
- 2、理解电磁兼容性预测的主要作用及其分析步骤。
- 3、掌握电磁兼容性评估方法及兼容性预测的数学方法等

### 三、课内练习环节的教学内容及基本要求、课时分配和场地

#### 教学内容及基本要求

(一) 通过课堂练习加深对辨识理论和方法的理解, 学生自备个人电脑, 在教师的指导下进行随堂练习。

#### 四、本课程教学建议

(一) 建议开设仿真实验。

(二) 授课中, 加入国内外对 EMC 的最新研究成果, 以使学生了解前沿动态。

五、本课程评价方式 本课程采用综合测评评价方式, 即平时成绩 (30%) + 期末考试成绩 (70%) 。

#### 六、建议教材和教学参考书

(一) 蔡仁刚主编. 电磁兼容原理设计和预测技术[M]. 北京航空航天大学出版社, 1997.8

(二) 路宏敏主编. 工程电磁兼容[M]. 西安电子科技大学出版社, 2019.8

(三) 杨克俊主编. 电磁兼容原理与设计技术 [M]. 人民邮电出版社, 2011.6

(四) 何宏主编. 电磁兼容原理与技术[M]. 清华大学出版社, 2016.12

(五) 大卫·韦斯顿著, 杨自佑, 王守三译. 电磁兼容原理与应用[M]. 机械工业出版社, 2015.5

(六) 何为, 姚德贵编著. 电磁兼容原理与应用[M]. 清华大学出版社, 2009.3

# 《半导体器件的数值分析与模拟》教学大纲

适用专业： 控制理论与控制工程；  
模式识别与智能系统

课程性质： 选修

学时数： 32

学分数： 2

课程号： 315060030068

开课学期： 秋季

大纲执笔人： 杜先君

大纲审核人： 陈晓雷

## 一、课程的地位和教学目标

《半导体器件的数值分析与模拟》是一门注重理论与实践结合的技术科学，是现代计算数学和工业与应用数学的重要领域。半导体器件的数值分析与模拟是用电子计算机模拟半导体器件内部重要的物理特性，获取有效数据，是设计和研制新型半导体器件结构的有效工具。本课程主要内容包括半导体器件数值模拟的有限元方法、有限差分方法等经典理论部分，以及半导体问题的混合元-特征混合元方法、混合元-分数步差分方法、半导体瞬态问题的有限体积元方法、半导体问题的混合有限体积元-分数步差分方法、常用半导体器件的数值模拟方法等现代数值模拟方法和技术。本课程全面讲授半导体器件数值模拟的基本概念与典型算法，以工程领域中的实际问题为典型应用，培养学生对半导体领域的研究兴趣，为继续从事半导体方向的科学研究与工程应用打下坚实的基础。本课程的任务是让学生了解半导体器件数值模拟的基本概念、基本理论和研究思路，掌握半导体器件数值模拟分析的基本理论和基本算法，通过对半导体器件数值模拟的基本理论和方法、运用实例的学习，具有设计、实现半导体器件数值模拟的能力，培养学生利用半导体器件数值模拟方法、运用技能解决本专业及其相关领域实际问题的能力。

## 二、课程教学内容和基本要求

### （一）引言（2学时）

#### **教学重点、难点：**

重点：明确半导体器件数值模拟的含义以及相关基本概念；

难点：快速将学生引入半导体器件数值模拟领域，提升学生对半导体器件数值模拟理论研究兴趣。

#### **教学内容和基本要求**

- 1、了解半导体器件数值模拟的重要性；
- 2、掌握半导体器件数值模拟的基本概念；

- 3、理解几类半导体器件数值模拟流程；
- 4、了解部分前沿研究方向，体会半导体器件数值模拟领域的魅力。

## **(二) 半导体器件数值模拟的有限元方法 (6 学时)**

### **教学重点、难点：**

重点：半导体器件数值模拟的特征有限元和混合元方法；

难点：半导体瞬态问题的变网格交替方向特征有限元方法。

### **教学内容和基本要求**

- 1、掌握半导体器件数值模拟的特征有限元和混合元方法；
- 2、掌握非矩形域半导体瞬态问题的交替方向特征有限元方法；
- 3、掌握半导体瞬态问题的变网格交替方向特征有限元方法；
- 4、理解半导体瞬态问题的交替方向多步方法；
- 5、了解半导体瞬态问题的配置方法。

## **(三) 半导体器件数值模拟的有限差分方法 (4 学时)**

### **教学重点、难点：**

重点：三维热传导型半导体问题的差分方法；

难点：三维热传导型半导体问题的特征分数步差分方法。

### **教学内容和基本要求**

- 1、掌握三维热传导型半导体问题的差分方法；
- 2、掌握三维热传导型半导体问题的特征分数步差分方法；
- 3、理解半导体问题的修正迎风分数步差分方法；
- 4、了解半导体器件探测器模拟计算的数值方法。

## **(四) 半导体问题的混合元-特征混合元方法 (4 学时)**

### **教学重点、难点：**

重点：二相渗流混合元-特征混合元方法；

难点：三维半导体问题的混合元-特征混合元方法。

### **教学内容和基本要求**

- 1、掌握二相渗流混合元-特征混合元方法；
- 2、掌握三维半导体问题的混合元-特征混合元方法；
- 3、理解热传导型半导体问题的混合元-特征混合元数值方法。

## **(五) 半导体问题的混合元-分数步差分方法 (4 学时)**

### **教学重点、难点：**

重点：半导体问题的混合元-修正特征分数步差分方法；

难点：半导体问题的混合元—修正迎风分数步差分方法。

### **教学内容和基本要求**

- 1、掌握半导体问题的混合元-修正特征分数步差分方法；
- 2、理解半导体问题的混合元—修正迎风分数步差分方法。

### **(六) 半导体瞬态问题的有限体积元方法 (4 学时)**

### **教学重点、难点：**

重点：热传导型半导体问题的迎风有限体积元方法；

难点：三维半导体问题的迎风有限体积元方法。

### **教学内容和基本要求**

- 1、掌握热传导型半导体问题的迎风有限体积元方法；
- 2、理解热传导型半导体问题的特征有限体积元方法；
- 3、掌握三维半导体问题的迎风有限体积元方法。

### **(七) 半导体问题的混合有限体积元-分数步差分方法 (4 学时)**

### **教学重点、难点：**

重点：半导体问题的有限体积元-修正迎风分数步差分方法；

难点：半导体问题的混合有限体积元-修正特征分数步差分方法。

### **教学内容和基本要求**

- 1、掌握半导体问题的有限体积元-修正迎风分数步差分方法；
- 2、掌握半导体问题的混合有限体积元-修正特征分数步差分方法；
- 3、理解半导体问题的混合有限体积元-修正迎风分数步差分方法。

### **(八) 常用半导体器件的数值模拟与仿真 (4 学时)**

### **教学重点、难点：**

重点：二极管、三极管、MOS 管等器件的数值模拟与仿真；

### **教学内容和基本要求**

- 1、掌握二极管的数值模拟与仿真方法；
- 2、掌握三极管的数值模拟与仿真方法；
- 3、掌握 MOS 管的数值模拟与仿真方法；
- 4、了解半导体器件的仿真软件使用。

### 三、课内练习环节的教学内容及基本要求、课时分配和场地

#### 教学内容及基本要求

- (一) 掌握半导体器件数值模拟的有限元方法；
- (二) 掌握半导体器件数值模拟的有限差分方法；
- (三) 学会半导体问题的混合元-特征混合元方法；
- (四) 学会半导体问题的混合元-分数步差分方法；
- (五) 学会半导体瞬态问题的有限体积元方法；
- (六) 学会半导体问题的混合有限体积元-分数步差分方法；
- (七) 掌握常用半导体器件的数值模拟与仿真；
- (八) 认识半导体器件的仿真软件使用。

#### 四、本课程教学建议

- (一) 在教学过程中适当使用案例教学，增加紧密联系实际的内容，培养学生对半导体器件的数值模拟与仿真学习的兴趣；
- (二) 重点讲授用各种半导体器件的数值模拟与仿真方法的核心思想及实现；
- (三) 鼓励学生参与相关课题的研究，培养学生的实践能力。

#### 五、本课程评价方式

考核方式为半导体器件的数值模拟与仿真论文写作，雷同论文取消成绩，对于思想新颖论文给予高分评定；成绩评定为论文占 50%，PPT 演示及提问 20%，仿真作业 30%。

#### 六、建议教材和教学参考书

建议教材：袁益让，刘蕴贤，半导体器件数值模拟计算方法的理论和应用，北京：科学出版社，2018。

#### 教学参考书：

- (一) 何野，魏同立，半导体器件的计算机模拟方法，北京：科学出版社，1989。

# 《电子测量与仪器》教学大纲

适用专业：	电子信息类	课程性质：	选修
学时数：	32	学分数：	2.0
课程号：	315060030054	开课学期：	春季学期
大纲执笔人：	程生毅	大纲审核人：	杜先君

## 一、课程的地位和教学目标

《电子测量与仪器》是电子信息等相关专业的基础课程。课程包括电子测量的基本原理；测量误差分析和实际应用；主要电子仪器的工作原理、性能指标、电参数的测试方法以及该领域的最新开展等。电子测量技术综合应用了电子、计算机、通信、控制等技术。该课程在我院相关研究生课程知识体系中起着基础衔接、承前启后的重要作用。

通过本课程的学习，开拓学生思路，培养学生掌握电子测量技术和仪器方面的基础知识；培养学生对所学知识的综合应用能力与实践能力；培养学生严肃认真、求实求真的科学作风，为后续课程及从事相关学科的研究工作打下基础。

## 二、课程教学内容和基本要求

### （一）绪论（2学时）

#### 教学重点、难点：

电子测量概述；电子测量仪器概述；计量的基本概念。

#### 教学内容和基本要求

了解电子测量与仪器的学科发展背景；电子测量的基本概念；电子测量仪器的概述；计量的基本概念。

### （二）误差与不确定度（8学时）

#### 教学重点、难点：

【重点】误差的表示方法；误差的性质及消除方法；误差的合成与分配；测量结果数据处理。

【难点】 测量不确定的评定。

### **教学内容和基本要求**

误差的概念与表示方法；随机误差；粗大误差；系统误差；误差的合成与分配；测量不确定度；测量数据处理。

### **(三) 信号发生器 (2 学时)**

#### **教学重点、难点：**

【重点】 合成信号发生器。

### **教学内容和基本要求**

信号发生器概述；模拟信号发生器；合成信号发生器；射频合成信号发生器。

### **(四) 时间、频率测量 (3 学时)**

#### **教学重点、难点：**

【重点】 电子计数法测量频率和时间的原理及误差分析。

### **教学内容和基本要求**

时间、频率概述；电子计数法测量频率；电子计数法测量时间；通用计数器；电子计数器性能的改进。

### **(五) 电压测量 (4 学时)**

#### **教学重点、难点：**

【重点】 交流电压的表征及测量；直流电压的数字化测量及 A/D 转换原理。

【难点】 数字电压表的误差与干扰。

### **教学内容和基本要求**

电压测量概述；模拟式直流电压的测量；交流电压的表征及测量；数字电压表概述；直流电压的数字化测量及 A/D 转换原理；数字多用表；数字电压表的误差与干扰。

### **(六) 时域测量 (3 学时)**

#### **教学重点、难点：**

【重点】 取样技术在示波器中的应用；数字存储示波器。

【难点】 数字存储示波器。

### **教学内容和基本要求**

时域测量引论；模拟示波器；取样技术在示波器中的应用；数字存储示波器。

### **(七) 阻抗测量 (4 学时)**

#### **教学重点、难点：**

【重点】电阻、电感、电容的测量。

【难点】谐振法测电感、电容。

### 教学内容和基本要求

阻抗测量概述；阻抗的模拟测量法；阻抗的数字测量法。

#### **(八) 频域测量 (2 学时)**

### 教学重点、难点：

【重点】线性系统幅频特性的测量；扫频式频谱分析仪。

【难点】实时频谱分析仪 (RTSA) 频谱仪的主要技术特性。

### 教学内容和基本要求

线性系统幅频特性的测量；频谱分析仪概述；扫频式频谱分析仪；实时频谱分析仪 (RTSA) 频谱仪的主要技术特性；频谱仪的应用。

#### **(九) 数据域测试 (2 学时)**

### 教学重点、难点：

【重点】数据域测试的概念；逻辑分析仪的组成、原理和应用。

### 教学内容和基本要求

数据域测试概述；逻辑分析仪的组成原理；可测试性设计概述。

#### **(十) 现代电子测量技术 (2 学时)**

### 教学重点、难点：

自动测试系统的基本组成和发展概况；智能仪器和虚拟仪器的设计与应用。

### 教学内容和基本要求

自动测试系统的基本组成和发展概况；智能仪器和虚拟仪器；总线接口与信道；测试软件。

### **三、课内练习环节的教学内容及基本要求、课时分配和场地**

(一) 要求同学们认真查阅电子测量相关的文献与资料，并能从自身的研究课题出发，对数据分析处理中出现的误差问题进行深入思考与研究。

(二) 基于自身研究课题，能够在实验中选用合适的测量仪器进行数据测量，并结合本课程的数据处理方法进行合理的数据处理。

本课程的练习环节可采用课内、课外相结合的方式，具体学时可根据本人情况灵活安排，本课程对场地无特殊要求。

### **四、本课程教学建议**

古语说：授之以鱼，不如授之于渔。电子测量仪器随着科学技术的发展在不断的改进，不断的创新，所以会有越来越多的新型的电子测量仪器出现。作为教师，我们不仅要教学生学会使用课本中所讲到的仪器，而且要教学生学会如何去学习和使用新型的仪器，使学生由“学会”转变为“会学”。

在学习电子测量仪器时，我们必须双管齐下，不仅要培养学生自主学习的能力，而且要提高学生动手操作的能力，为祖国培养出更多的综合性人才。

## 五、本课程评价方式

本课程考核由两部分构成：平时考核和期末考核，总成绩为 100 分，所占比例分别为 30%和 70%。其中平时考核主要由学生上课出勤状况、课堂表现等组成；期末考核为电子仪器的测量过程记录及数据分析处理报告，报告可根据自身研究课题或所参加相关比赛的情况灵活处理。

## 六、建议教材和教学参考书

(一) 参考教材：

1. 陈尚松等.电子测量与仪器.第 3 版.电子工业出版社.2012.

(二) 主要参考资料：

1. 古天祥等.电子测量原理.机械工业出版社.2004.
2. 林占江.电子测量与仪器.电子工业出版社.2003.
3. 赵茂泰.智能仪器原理及应用.电子工业出版社.2000.
4. 程德福.智能仪器.机械工业出版社.2005.

# 《模式识别与机器学习》教学大纲

适用专业： 控制理论与控制工程；模  
式识别与智能系统等

课程性质： 必修

学 时 数： 32

学 分 数： 2

课 程 号： 315060020052

开课学期： 春季

大纲执笔人： 杜先君

大纲审核人： 魏小源

## 一、课程的地位和教学目标

《模式识别与机器学习》是一门注重理论与实践结合的技术科学，是人工智能领域的一个重要分支；它以图像处理技术、信号分析技术、概率统计分析、模糊数学、神经网络、机器学习理论、深度学习技术为基础，研究客观模式的机器分类算法及其实现；模式识别的原理和方法在工程领域应用十分广泛，是信息与计算机及其相关专业进行科学研究的基础。本课程全面讲授模式识别与机器学习的基本概念与典型算法，以工程领域中的实际问题为典型应用，培养学生对人工智能的研究兴趣，为继续从事模式识别与机器学习方向的科学研究与工程应用打下坚实的基础。本课程的任务是让学生了解模式识别的基本概念、基本理论和研究思路，掌握模式识别分析的基本理论和基本算法，通过对模式识别的基本理论和方法、运用实例的学习，具有设计、实现分类器算法的能力，培养学生利用模式识别方法、运用技能解决本专业及其相关领域实际问题的能力。

## 二、课程教学内容和基本要求

### （一）引言（2学时）

#### 教学重点、难点：

重点：明确模式识别与机器学习的含义、基本功能与概念；

难点：快速将学生引入模式识别领域，提升学生对模式识别理论研究的兴趣。

#### 教学内容和基本要求

- 1、了解模式识别的重要性；
- 2、掌握模式识别的基本概念；
- 3、理解有监督、无监督模式识别概念；
- 4、了解模式识别系统的典型构成；
- 5、理解几类典型机器学习系统的计算流程；
- 6、了解部分前沿研究方向，体会模式识别与机器学习领域的魅力。

## **(二) 贝叶斯学习基础 (4 学时)**

### **教学重点、难点:**

重点: 贝叶斯公式在机器学习中的应用思路;

难点: 最小错误率贝叶斯决策, 最小风险贝叶斯决策, 不同判别规则的对比分析。

### **教学内容和基本要求**

- 1、掌握贝叶斯公式在机器学习中的应用思路;
- 2、掌握贝叶斯决策方法的运用;
- 3、了解分类器相关的基本概念;
- 4、掌握基于高斯分布的贝叶斯分类器;
- 5、理解朴素贝叶斯分类器;
- 6、掌握各种参数估计方法的运用。

## **(三) 逻辑回归 (4 学时)**

### **教学重点、难点:**

重点: 线性回归及其模型求解方法;

难点: 贝叶斯线性回归, 逻辑回归, 高斯过程回归。

### **教学内容和基本要求**

- 1、掌握线性回归及其模型求解方法;
- 2、理解贝叶斯线性回归;
- 3、掌握逻辑回归及其模型求解方法;
- 4、理解贝叶斯逻辑回归;
- 5、掌握高斯过程回归。

## **(四) 概率图模型基础 (4 学时)**

### **教学重点、难点:**

重点: 判别式和生成式概率图模型的区别, 有向图模型与无向图模型;

难点: 树状结构因子图进行推理的和积算法和最大和算法。

### **教学内容和基本要求**

- 1、理解判别式和生成式概率图模型的区别;
- 2、掌握有向图模型的模型表示、条件独立性刻画, 理解常见的有向图模型;
- 3、掌握无向图模型的模型表示、条件独立性刻画, 理解常见的无向图模型;
- 4、掌握对树状结构因子图进行推理的和积算法和最大和算法。

## **(五) 非线性分类器 (6 学时)**

### **教学重点、难点:**

重点: 多层感知器网络, 支持向量机, 人工神经网络与深度学习;

难点: 反向传播算法, 代价函数选择, 神经网络大小的选择, 支持向量机的最优分界面。

### **教学内容和基本要求**

- 1、理解非线性分类器: 分段线性判别函数, 二次判别函数;
- 2、掌握多层感知器网络(人工神经网络)的基本方法;
- 3、掌握误差反向传播算法, 代价函数选择, 神经网络大小的选择;
- 4、掌握线性可分条件下的支持向量机最优分界面的求解;
- 5、了解广义最优线性分界面;
- 6、理解非线性支持向量机;
- 7、理解深度神经网络的典型挑战问题;
- 8、能够熟练运用至少两种常见的深度神经网络。

## **(六) 聚类 (4 学时)**

### **教学重点、难点:**

重点: 聚类的基本概念, K 均值算法, 谱聚类;

难点: 几种聚类算法的应用。

### **教学内容和基本要求**

- 1、理解有监督与非监督学习;
- 2、理解聚类的两大类方法;
- 3、掌握 K-均值聚类方法, 理解模糊 K-均值聚类的原理;
- 4、掌握谱聚类方法;
- 5、掌握高斯混合模型聚类方法, 了解无限高斯混合模型。

## **(七) 特征选择和提取 (4 学时)**

### **教学重点、难点:**

重点: 最优特征选择, 特征提取的关键技术;

难点: 特征选择算法, 主成分分析, 基于优化算法的特征提取。

### **教学内容和基本要求**

- 1、掌握特征选择和特征提取的基本任务;

- 2、掌握特征的评价准则；
- 3、理解特征选择的算法；
- 4、掌握主成分分析（PCA）；
- 5、掌握线性判别分析和典型相关分析的运用。

#### **（八）深度学习在模式识别中的应用（4学时）**

##### **教学重点、难点：**

重点：深度学习、机器学习、人工智能；

难点：基于深度学习的模式识别任务。

##### **教学内容和基本要求**

- 1、理解监督模式识别方法的错误率估计算法；
- 2、掌握深度学习的基本概念，理解其理论基础；
- 3、了解特征选择与特征提取对分类器性能估计的影响；
- 4、理解非监督模式识别系统性能的评价。

#### **三、课内练习环节的教学内容及基本要求、课时分配和场地**

##### **教学内容及基本要求**

- （一）学会最小分类错误率和最小平均风险贝叶斯分类器的设计；
- （二）掌握感知器算法及其实现；
- （三）掌握 Fisher 线性判别算法；
- （四）掌握支持向量机算法及其实现；
- （五）掌握主成分分析算法；
- （六）学会人工神经网络算法；
- （七）认识聚类算法；
- （八）深度学习模式识别。

#### **四、本课程教学建议**

- （一）在教学过程中适当使用案例教学，增加紧密联系实际的内容，培养学生对模式识别学习的兴趣；
- （二）重点讲授用各种模式识别方法解决具体模式识别问题的核心思想及机器学习算法实现；
- （三）鼓励学生参与相关课题的研究，培养学生的实践应用能力。

#### **五、本课程评价方式**

考核方式为模式识别与机器学习论文写作，雷同论文取消成绩，对于思想新颖论文给予高分评定；成绩评定为论文占 70%，PPT 演示及提问 20%，仿真作业 10%。

## 六、建议教材和教学参考书

建议教材：孙仕亮，赵静，模式识别与机器学习，北京：清华大学出版社，2020 年。

教学参考书：

（一）Sergios Theodoridis, Konstantinos Koutroumbas, Pattern Recognition, The Fourth Edition, 机械工业出版社，2003.

（二）傅京孙编著，模式识别及其应用，科学出版社，1983.

（三）Richard O.Duda, Peter E.Hart, David G.Stork 著，李宏东，姚天翔译，模式分类，机械工业出版社，2003.

（四）Ian Goodfellow, Yoshua Bengio, Deep Learning。

（五）Christopher M. Bishop, 模式识别与机器学习-PRML。

# 《数值最优化算法与理论》教学大纲

适用专业：	电子科学与技术	课程性质：	选修
学时数：	32	学分数：	2
课程号：	315060030059	开课学期：	春季
大纲执笔人：	贾彬彬	大纲审核人：	王平

## 一、课程的地位和教学目标

通过本课程的学习，使学生理解数值最优化算法与理论的基本概念，掌握最优化的基本理论和常用的优化算法，培养学生逻辑推理能力及用数学知识解决实际问题的兴趣、意识，以及分析问题和解决问题的能力。为毕业后从事控制领域工作打下坚实的理论基础。

## 二、课程教学内容和基本要求

### （一）最优化的概念（2学时）

**教学重点、难点：**无约束极值问题、具有等式约束的极值问题的求解方法

#### **教学内容和基本要求**

- 1、了解向量函数微分学的有关知识，最优化的基本术语。
- 2、理解最优化问题的模型及分类。
- 3、掌握无约束极值问题、具有等式约束的极值问题的求解方法。

### （二）最优性条件（4学时）

**教学重点、难点：**一般约束最优化问题的最优性条件

#### **教学内容和基本要求**

- 1、了解无约束最优化问题的最优性条件，等式约束最优化问题的最优性条件。
- 2、理解不等式约束最优化问题的最优性条件。
- 3、掌握一般约束最优化问题的最优性条件。

### （三）线性规划（4学时）

**教学重点、难点：**线性规划的单纯形法

#### **教学内容和基本要求**

- 1、了解线性规划的基本理论。

- 2、理解线性规划的对偶理论。
- 3、掌握线性规划的单纯形法。

#### **(四) 一维搜索 (8 学时)**

**教学重点、难点：**递推最小二乘法

##### **教学内容和基本要求**

- 1、了解一维搜索的概念及其性质，搜索区间的概念及其确定搜索区间的进退法，单谷函数的概念及其性质。
- 2、理解 Armijo-Goldstein 法、Wolfe-Powell 法、后退法。
- 3、掌握 Fibonacci 法、Newton 切线法、割线法、二次插值法。

#### **(五) 无约束最优化的解析法 (6 学时)**

**教学重点、难点：**共轭梯度法及其收敛性

##### **教学内容和基本要求**

- 1、了解最速下降法及其收敛性与收敛速度。
- 2、理解 Newton 切线法及其收敛性与收敛速度。
- 3、掌握共轭梯度法及其收敛性。

#### **(六) 无约束最优化的直接法 (4 学时)**

**教学重点、难点：**模式搜索法及其收敛性

##### **教学内容和基本要求**

- 1、了解旋转方向法、Powell 法。
- 2、理解坐标轮换法及其收敛性。
- 3、掌握模式搜索法及其收敛性。

#### **(七) 罚函数法与广义乘子法 (4 学时)**

**教学重点、难点：**广义乘子法

##### **教学内容和基本要求**

- 1、了解外罚函数法。
- 2、理解内罚函数法。
- 3、掌握广义乘子法。

### **三、本课程评价方式**

本课程采用综合测评评价方式。

#### 四、建议教材和教学参考书

- (一) 傅英定, 成孝予, 唐应辉. 最优化理论与方法. 国防工业出版社. 2008
- (二) 谢政、李建平、汤泽滢.《非线性最优化》(第一版). 国防科技大学出版社. 2003
- (三) 孙文瑜、徐成贤、朱德通.《最优化方法》(第一版). 高等教育出版社. 2004
- (四) 胡适耕、施保昌.《最优化原理》(第一版). 华中理工大学出版社. 2000

# 《天线理论与技术》教学大纲

适用专业：	电子科学与技术	课程性质：	选修
学时数：	32	学分数：	2
课程号：	315060030060	开课学期：	春季
大纲执笔人：	陈晓雷	大纲审核人：	黄玲

## 一、课程的地位和教学目标

《天线理论与技术》主要研究无线电波传播的辐射与接收，从理论上阐述天线的基本原理，天线的类型与应用范围，常用天线的形式、结构、性能、以及测试与设计方法，通过本课程的学习和实践，使学生能够比较系统和全面地掌握天线理论与技术的基本概念、原理和主要先进而实用的技术，了解天线理论与设计的技术特点、发展和实际应用情况，具备一定的天线理论与设计理论基础。为今后从事天线理论与设计打下基础。

## 二、课程教学内容和基本要求

### （一）绪论（2学时）

**教学重点、难点：**三种电波的传播方式、多径传播及衰落的概念

#### 教学内容和基本要求

- 1、天线在无线通信系统中的作用。
- 2、天线的分类。
- 3、无线电波的传播。

### （二）天线辐射与接收的基本理论及主要特性参数（4学时）

**教学重点、难点：**天线的电参数的定义、天线作为接受端时，它的特点以及参数

#### 教学内容和基本要求

- 1、天线辐射的基本原理。
- 2、发射天线的主要特性参数。
- 3、接收天线的基本原理。

### （三）对称天线、折合天线和单极天线（4学时）

**教学重点、难点：**天线几个基本类型的结构功能以及相应的特性、天线上的电流分布，学习绘制天线的方向图。

#### 教学内容和基本要求

- 1、对称天线。

- 2、折合天线。
- 3、单极天线。
- 4、对称天线的馈电技术。

#### **(四) 天线阵 (阵列天线) (4 学时)**

**教学重点、难点：**天线阵的作用以及方向性、天线阵在提高天线方向性中的重要意义

##### **教学内容和基本要求**

- 1、天线阵的作用及二元天线阵的方向性。
- 2、均匀直线天线阵的方向性。
- 3、平面天线阵的方向性。
- 4、地面对天线性能的影响。

#### **(五) 常用线天线 (4 学时)**

**教学重点、难点：**引向天线的工作原理

##### **教学内容和基本要求**

- 1、引向天线和高增益引向天线——电视接收天线。
- 2、电视发射天线。
- 3、移动通信基站天线。
- 4、智能天线。

#### **(六) 宽频带天线 (4 学时)**

**教学重点、难点：**宽频带天线的条件、理解馈电的含义及方式

##### **教学内容和基本要求**

- 1、宽频带天线的条件。
- 2、螺旋天线。
- 3、对数周期天线。
- 4、宽频带天线的应用。

#### **(七) 缝隙天线和微带天线 (4 学时)**

**教学重点、难点：**理想缝隙天线的辐射和方向特性、三种天线的结构及辐射特点

##### **教学内容和基本要求**

- 1、缝隙天线。
- 2、微带天线。
- 3、掌握有限时间状态调节器。

## **(八) 常用面式天线 (4 学时)**

**教学重点、难点：**常用面天线的基本原理、平面口面的辐射特性

### **教学内容和基本要求**

- 1、面天线辐射的基本原理。
- 2、喇叭天线。
- 3、抛物面天线。
- 4、卡塞格伦天线。

## **(九) 天线测试技术 (2 学时)**

**教学重点、难点：**天线测试条件、方向图测试技术

### **教学内容和基本要求**

- 1、天线测试条件。
- 2、方向图测试技术。
- 3、增益测量技术。
- 4、常用测量仪器简介。

三、课内练习环节的教学内容及基本要求、课时分配和场地

### **教学内容及基本要求**

(一) 通过作业加深对天线理论与技术的理解。

## **四、本课程教学建议**

(一) 建议教学方法的改进。

在授课过程中加入天线理论与技术的最新理论，让学生了解前沿动态。

## **五、本课程评价方式**

综合测评，各部分构成和所占比例如下：

- (一) 书面作业，占 20%；
- (二) 论文阅读报告及讨论，占 40%；
- (三) 结课报告，占 40%。

## **六、建议教材和教学参考书**

(一) 宋铮，张建华，黄冶，天线与电波传播（第二版），西安：西安电子科技大学出版社，2014 年版

(二) John D. Kraus，天线（第三版），北京：电子工业出版社，2017 年版

(三) Law & Kelton, Electromagnetics with Application , 北京: 清华大学出版社, 2001 年版

(四) Warren L. Stutaman, 天线理论与设计 (第三版), 北京: 人民邮电出版社, 2012 年版

(五) 卢万铮, 天线理论与技术, 西安: 西安电子科技大学出版社, 2004 年版

(六) 李莉, 天线与电波传播, 北京: 科学出版社, 2021 年版

# 《微电子封装技术》教学大纲

适用专业：	微电子与固体电子学	课程性质：	选修
学时数：	32	学分数：	2.0
课程号：	315060020064	开课学期：	第2学期
大纲执笔人：	王艳周、马玉润	大纲审核人：	张爱华

## 一、课程的地位和教学目标

本课程是为微电子学与固体电子学专业设立的一门专业选修课。开设的目的是使学生了解集成电路芯片制造技术的最后工艺流程，掌握芯片封装的基本技术和基本原理及实现方法。培养学生灵活运用理论知识解决实际问题的能力，提升学生在微电子技术领域的竞争力，为从事芯片研发和制造打下一个坚实的基础。

## 二、教学基本要求

《微电子封装技术》是《半导体器件物理》和《集成电路制造工艺原理》的后续课程，本课程的任务是通过本课程的学习，使学生掌握相关集成电路芯片封装的材料和工艺，及其典型的工艺流程；封装工艺中所需的设备环境条件、材料特性及其储存条件；封装生产安全知识；封装标准化知识；相关设备和仪器的工作原理和构成；能完成 PCB 制作、芯片切割、芯片贴装、芯片互连、封装、焊接球、打码、测试等技能操作，具备微电子封装企业所必须的工艺知识，以满足现代集成电路企业的生产实际和岗位需求。

## 三、教学内容及学时分配

### （一）芯片封装概述（2学时）

#### **教学重点、难点：**

集成电路芯片封装实现的功能、集成电路芯片封装的常见分类。

#### **教学内容和基本要求：**

- 1、集成电路芯片封装的定义
- 2、集成电路芯片封装实现的功能
- 3、广义封装与封装分级
- 4、芯片封装的常见分类
- 6、集成电路的发展方向及其对封装的要求

掌握集成电路芯片封装的定义、技术层次；了解集成电路芯片封装的常用材料；掌握集成电路芯片封装实现的功能以及封装的常见分类；了解集成电路的发展方向及其对封装的要求。

## **(二) 封装工艺流程 (6 学时)**

### **教学重点、难点：**

芯片封装的集成流程、芯片互联常见的三种方法。

### **教学内容和基本要求：**

- 1、芯片封装的基本流程
- 2、硅片的背面减薄技术
- 3、常用的芯片贴装方式
- 4、芯片互连的三种技术
- 5、金丝球焊机的组成、结构和原理

掌握集成电路芯片封装的基本流程；掌握硅片的背面减薄技术；掌握常用的芯片贴装方式；掌握芯片互联常见的三种方法，包括其特点和优缺点；了解金丝球焊机的组成、结构和原理。

## **(三) 厚/薄膜技术 (6 学时)**

### **教学重点、难点：**

厚膜成膜的工序及各工序的作用、厚膜浆料的组成及各部分作用。

### **教学内容和基本要求：**

- 1、厚膜成膜的工序及各工序的作用
- 2、厚膜浆料的组成成分及各部分作用
- 3、常见的厚膜材料及制备方法
- 4、常见的薄膜技术
- 5、常见的薄膜材料
- 6、厚膜与薄膜的比较

掌握厚膜成膜的工序及各工序的作用；掌握厚膜浆料的组成成分及各部分作用；掌握常见的厚膜材料的制备方法；了解常见的薄膜制备方法；了解厚膜和薄膜的区别。

## **(四) 焊接材料 (2 学时)**

### **教学重点、难点：**

钎焊的定义及实现钎焊的三步过程、常用的焊接材料。

### **教学内容和基本要求：**

- 1、钎焊的定义以及实现钎焊的三步过程
- 2、常用的焊接材料及其区别
- 3、助焊剂的作用及成分
- 4、波峰焊与回流焊的特点
- 5、焊接表面的前处理

掌握钎焊的定义及实现钎焊的三步过程；掌握常用的焊接材料及区别；了解助焊剂的作用及成分；掌握波峰焊与回流焊的特点；了解焊接表面的前处理过程。

波峰焊与回流焊的特点

### **(五) 印刷电路板 (2 学时)**

#### **教学重点、难点：**

电路板的组成部分及各部分常见材料与制作方法

#### **教学内容和基本要求：**

- 1、印刷电路板的分类
- 2、硬式印刷电路板的制作
- 3、软式印刷电路板的制作
- 4、PCB 多层互连基本的制作技术
- 5、电路板的布线规则
- 6、印刷电路板的检测

了解印刷电路板的分类；掌握硬式印刷电路板和软式印刷电路板的制作；掌握 PCB 多层互连基本的制作技术；掌握电路板的布线规则；了解印刷电路板的检测。

### **(六) 元器件与电路板的接合 (2 学时)**

#### **教学重点、难点：**

元器件与电路板结合的三种方法

#### **教学内容和基本要求：**

- 1、印刷电路板的分类
- 2、硬式印刷电路板的制作
- 3、软式印刷电路板的制作
- 4、PCB 多层互连基本的制作技术
- 5、电路板的布线规则

## 6、印刷电路板的检测

了解印刷电路板的分类；掌握硬式印刷电路板和软式印刷电路板的制作；掌握 PCB 多层互连基本的制作技术；掌握电路板的布线规则；了解印刷电路板的检测。

### （七）传统封装的典型形式（2 学时）

#### **教学重点、难点：**

双列直插式封装的技术要求、小外形封装的基本流程

#### **教学内容和基本要求：**

- 1、晶体管外形封装
- 2、单列直插式封装
- 3、双列直插式封装
- 4、小外形封装
- 5、四边扁平封装
- 6、无引脚封装

了解晶体管外形封装和单列直插式封装工艺流程；掌握双列直插式封装和小外形封装的关键技术；了解四边扁平封装和无引脚封装的具体过程。

### （八）BGA 封装（4 学时）

#### **教学重点、难点：**

BGA 封装的结构以及封装流程，BGA 封装的主要工艺。

#### **教学内容和基本要求：**

- 1、BGA 的基本概念
- 2、BGA 封装出现的背景与历史
- 3、BGA 封装的分类与结构
- 4、BGA 封装工艺
- 5、BGA 的安装互连技术

掌握 BGA 封装的基本概念；了解 BGA 封装的背景及历史；熟悉 BGA 封装的分类与结构；掌握 BGA 封装的工艺以及安装互连技术。

### （九）晶圆级封装（3 学时）

#### **教学重点、难点：**

WLCSP 工艺流程；扇入型 WLP 与扇外型 WLP；FOWLP 的基本工艺流程

#### **教学内容和基本要求：**

- 1、WLCSP 技术的分类
- 2、WLCSP 工艺流程
- 3、扇入型 WLP 与扇外型 WLP
- 4、FOWLP 的工艺流程与技术特点
- 5、WLP 的发展趋势与异构集成

了解 WLCSP 技术的分类；掌握 WLCSP 工艺流程；掌握扇入型 WLP 与扇外型 WLP；掌握 FOWLP 的工艺流程与技术特点；了解 WLP 的发展趋势与异构集成。

#### **(十) 系统级封装技术 (3 学时)**

##### **教学重点、难点：**

SIP 与 SOC、SOB 的比较，系统级封装的技术解析。

##### **教学内容和基本要求：**

- 1、系统级封装的概念
- 2、系统级封装发展的背景
- 3、SIP 与 SOC、SOB 的比较
- 4、系统级封装的技术解析
- 5、SIP 产品的应用
- 6、SIP 的发展趋势和面临的挑战

掌握系统级封装的概念；了解系统级封装发展的背景；掌握 SIP 与 SOC、SOB 的区别；掌握系统级封装的技术解析；了解 SIP 产品的应用以及发展趋势和面临的挑战。

#### **四、课内练习环节的教学内容及基本要求、课时分配和场地**

##### **教学内容及基本要求：**

(一) 本课程以教师讲授、辅导和学生自学的方式完成授课，根据课程内容和学生研究方向指定查阅相应文献，要求学生结合教材和文献阅读，了解和掌握集成电路传统封装类型与工艺技术、先进封装技术的类型、工艺基础知识；了解先进封装技术最新发展、解集成电路封装材料相关知识；掌握电子组装技术与基板工艺技术基础；了解封装设计基本知识，培养调研总结能力、需求导向的创新意识，了解工程中的创新思维方法。结合自己的课题进行实例设计和文献综述，完成并提交大作业。

(二) 本课程的成果以大作业的形式体现，课程训练对场地无特殊要求。

#### **五、本课程评价方式**

本课程的评价方式是综合测评，最终成绩由结课报告及平时课堂表现组成，各部分所占

比例如下：

结课报告成绩：70%，主要考核本课程基础知识的掌握程度；

平时成绩：30%，主要考核学生课堂听课情况，出席情况。

## 六、建议教材和教学参考书

[1] 周玉刚，张荣. 微电子封装技术[M]. 北京：清华大学出版社，2023.

[2] 梁新夫. 集成电路系统级封装[M]. 北京：电子工业出版社，2021.

[3] 李可为. 集成电路芯片封装技术[M]. 第2版. 北京：电子工业出版社，2013.

[4] 中国电子学会生产技术分会丛书编委会. 微电子封装技术[M]. 第2版. 合肥：中国科技大学出版社，2011.

[5] 田民波. 电子封装工程[M]. 北京：清华大学出版社，2003.

[6] 田民波，林金堵，祝大同. 高密度封装基板[M]. 北京：清华大学出版社，2003.

[6] Lau JH, Lee SW. Chip Scale Package: Design, Materials, Process, Reliability, and Applications[M]. McGraw-Hill Professional, 1999.

# 《微纳光子学》教学大纲

适用专业： 微电子学与固体电子学、电磁场与微波技术、仪器仪表工程、电路与系统等  
课程性质： 选修

学时数： 32  
学分数： 2.0  
课程号： 315060030067  
开课学期： 春季学期  
大纲执笔人： 王进花  
大纲审核人： 杨富龙

## 一、课程的地位和教学目标

伴随着电子器件不断小型化的需求,微电子技术的发展越来越受到限制。相对而言,微纳尺度上的光学现象及微纳光电子器件的发展虽然起步较晚,但随着光子学与微纳加工技术的发展,这一学科逐渐兴起且越来越多的受到关注。目前,这一领域已经取得了很重要的研究进展。

本课程介绍微纳尺度上光学及光子学的新现象与新技术,着重讨论在微纳尺度上的光与物质相互作用的规律及光的产生、传输、调制、探测等方面的应用。主要介绍微纳光子学现象的物理原理,讨论几种微纳光子学器件并探讨目前微纳光子学研究的最新进展。

通过本课程的学习,使学生能够对微纳尺度上光学现象的物理规律有深入的理解;熟悉诸如微纳光波导、光学微腔和微型激光器等一些新型的微纳光子学器件的原理;掌握光场调控技术、近场和远场表征技术等,并应用于新型微纳器件的设计中,为未来的科学研究和技术研发打下理论和技术基础。

## 二、课程教学内容和基本要求

### (一) 绪论 (2 学时)

**教学重点、难点:**

简介及微纳光电子学的范围及所涉及的基础知识，用光电器件发展历史和相关诺贝尔奖获得者的工作讲解微纳光电子学的重要意义和课程的研究内容及基础知识。

### **教学内容和基本要求**

- 1、光子学研究的起源、历史发展、里程碑事件
- 2、纳米光子学的建立与发展
- 3、微纳光子学热点与前沿趋势

### **(二) 光的干涉与衍射 (3 学时)**

#### **教学重点、难点：**

光的干涉及应用、光的衍射及应用、阵列波导光栅和光纤陀螺、激光器中的光学谐振腔、布拉格光栅、阵列波导光栅的原理等

### **教学内容和基本要求**

- 1、光波基本性质及其介质中的传播
- 2、光的干涉-基本原理与典型器件
- 3、光的衍射-基本原理与典型器件

### **(三) 光子晶体 (8 学时)**

#### **教学重点、难点：**

光子晶体的基础理论、光子禁带、布洛赫定理，光子晶体的应用，包括光纤通讯、微波器件、光路集成、光开关、滤波器件等，光子晶体的制备方法。

### **教学内容和基本要求**

- 1、光子晶体的发现与概念
- 2、光子晶体的基本特性
- 3、光子晶体带隙的产生
- 4、光子禁带的打开与缺陷调控
- 5、光子晶体与传统固体结构的区别与联系
- 6、光子晶体的制备与应用

### **(四) 表面等离激元 (3 学时)**

#### **教学重点、难点：**

表面等离激元的概念、表面等离激元的激发方式、表面等离激元的性质及应用、等离激元表征方法。

### **教学内容和基本要求**

- 1、 等离子激元的概念与内涵
- 2、 基本特性与激发方式
- 3、 等离子激元表征方法与前沿进展

#### **(五) 超材料与负折射 (4 学时)**

##### **教学重点、难点:**

超材料的定义和特点、负折射的概念、性质和应用。

##### **教学内容和基本要求**

- 1、 超材料的概念与内涵
- 2、 负折射的存在可行性与数学推导
- 3、 负折射的性质与应用

#### **(六) 超表面 (2 学时)**

##### **教学重点、难点:**

超表面的概念与分类, 超表面对偏振、振幅、频率、相位等的调控, 广义斯涅耳定律, 了解超表面的前沿进展。

##### **教学内容和基本要求**

- 1、 超表面的概念与内涵
- 2、 广义斯涅耳定律
- 3、 超表面的前沿进展

#### **(七) 微纳工艺介绍 (3 学时)**

##### **教学重点、难点:**

维纳加工工艺、光刻、电子束曝光、镀膜、湿法刻蚀、干法刻蚀

##### **教学内容和基本要求**

- 1、 微纳工艺的简介
- 2、 传统光刻与电子束曝光
- 3、 镀膜介绍
- 4、 湿法与干法刻蚀

#### **(八) 光波导 (3 学时)**

##### **教学重点、难点:**

光波导的基本概念、分类、光波在光波导中的传播、光波导的基本特征参数及测试技术、光波导耦合技术、光波导有源与无源器件、光纤的原理

## **教学内容和基本要求**

- 1、金属波导
- 2、介质平板波导
- 3、光纤

### **(九) 光子辐射与探测技术 (2 学时)**

#### **教学重点、难点:**

光电探测器的物理效应、光电探测器的性能参数、光电导探测器、硅光电池-太阳能电池、光热探测器等。

## **教学内容和基本要求**

- 1、光子辐射基本原理与器件
- 2、光子探测基本原理与器件

### **(十) 纳米光学检测技术及近场光学 (2 学时)**

#### **教学重点、难点:**

纳米测量系统工作原理和纳米测量的相关问题、扫描隧道显微镜、原子力显微镜、激光力显微镜、光子扫描隧道显微镜、扫描近场光学显微镜、扫描探针显微镜工作原理。

## **教学内容和基本要求**

- 1、纳米光学检测基本原理
- 2、近场光学探测原理及器件

### **三、课内练习环节的教学内容及基本要求、课时分配和场地**

(一) 建立基于波动光学、半导体光电子学、薄膜光学和导波光学等的集成与微纳光子学理论基础;

(二) 通过薄膜技术和微电子、微纳光子器件加工工艺等的学习, 了解现代微纳光子学及光电子学的制备过程与关键技术;

(三) 掌握基于微纳光学与光电子学光场调控、电场调控及其联合调控的基本方法与理论;

(四) 了解集成与微纳光子学在光纤通信、光信息处理、光存储、光子发射与探测等领域的应用。

本课程的练习环节可采用课内、课外相结合的方式进行, 成果以大作业的形式体现, 本课程训练对场地无特殊要求。

## **四、本课程教学建议**

本课程的教学内容主要包括微纳尺度上光学及光子学的新现象与新技术，着重讨论光与物质在微纳尺度上的相互作用规律，以及光的产生、传输、调制、探测等方面的应用。教学方法上，注重理论教学与实践操作相结合。通过讲授、讨论、案例分析等方式，使学生深入理解微纳光子学的理论知识；鼓励学生参与课堂讨论和在线学习平台交流，拓宽学生的视野和知识面，提高学生的学习积极性。

## 五、本课程评价方式

本课程采用平时成绩、结课作业、平时作业综合评定的方法。其中：

平时成绩（25%）+平时作业（25%）+结课作业（50%）；平时成绩由考勤、课堂讨论、主题演讲等综合构成。

## 六、建议教材和教学参考书

- （一）原荣，邱琪编著，光子学与光电子学，北京：机械工业出版社，2014
- （二）傅竹西编著，固体光电子学，合肥：中国科学技术大学出版社(第2版)，2012
- （三）周治平著，硅基光电子学，北京：北京大学出版社，2012
- （四）刘旭等编著，光电子学，杭州：浙江大学出版社，2014
- （五）顾兵，芮光浩，张若虎编著，微纳光子学：从基础到应用，北京：科学出版社，2023

# 《现代传感技术》教学大纲

适用专业：	电路与系统、微电子学 与固体电子学	课程性质：	必修
学时数：	32	学分数：	2
课程号：	315060010021	开课学期：	秋季
大纲执笔人：	马永强	大纲审核人：	刘昀强

## 一、课程的地位和教学目标

本课程是电路与系统、微电子学与固体电子学专业硕士研究生的学位课。是一门理论性和实践性都较强的课程。本课程的指导思想是为电子科学行业培养高层次的专业技术人才，并为其他相关专业选修课程学习和开展学术研究奠定理论基础。

本课程是在本科传感器技术的基础上，进一步全面深入地学习现代传感技术的基本理论和分析方法，学生在完成本课程的学习后，将对各类传感器的工作原理、基本结构、特性、应用领域中较重要的敏感技术有相当的认识，对选择、使用或设计传感器的原则和方法有一定程度的掌握，并对传感器目前的发展动态和需求有一定的了解，为组建测控系统正确地选择传感器奠定基础。

课程目标如下：

- (1) 掌握传感器的定义和分类，了解测量系统的组成。掌握各类常用传感器的工作原理、性能特点、配用电路和实际应用。
- (2) 掌握测量系统中选用传感器的原则，能根据实际需要选用合适的传感器，可以针对应用需求，分析和设计一些简单的传感器。
- (3) 了解传感器在工程、科研实例中的重要作用，理解电学、光学、机械学、测量、控制等综合技术的相关性。能够针对传感技术进行有效沟通和交流，具有对传感器的发展动态和新成果的自学能力。

## 二、课程教学内容和基本要求

### (一) 传感器概述 (2 学时)

#### **教学重点、难点：**

传感器的静态特性、传感器的动态特性、最小二乘法

#### **教学内容和基本要求：**

1. 传感器的定义与作用;
2. 传感器的分类;
3. 传感器的性能;
4. 传感器信号处理
5. 传感器系统及其展望。

掌握静特性定义，主要技术指标：线性度、迟滞、重复性、灵敏度、分辨力与阈值、稳定性、静态测量不确定度定义及计算。

掌握动特性定义，了解数学模型、传递函数、频率特性表示方式，理解一阶系统、二阶系统频率特性。

掌握传感器标定的定义，了解静态标定和动态标定方法。

## **(二) 电阻应变式传感器 (4 学时)**

### **教学重点、难点：**

应变式电阻传感器的工作原理、测量电路的分析、直流桥式测量电路的分析。

### **教学内容和基本要求：**

1. 电阻应变片的工作原理
2. 电阻应变片的基本结构和种类
3. 电阻应变片的性能参数
4. 电阻应变片的测量电路
5. 电阻应变片的温度误差及其补偿
6. 应变式传感器的应用

掌握应变式传感器工作原理、电阻应变效应、应变片基本结构、金属应变片主要特性、转换电路、温度误差及补偿方法，了解应变片类型和材料，应变片传感器应用。

掌握压阻式传感器工作原理、压阻效应、温度误差及补偿方法，了解压阻式传感器应用。

## **(三) 电容式传感器 (4 学时)**

### **教学重点、难点：**

加权最小二乘状态估计算法

### **教学内容和基本要求：**

1. 电容式传感器的工作原理和特性
2. 电容式传感器的等效电路

### 3. 电容式传感器的测量电路

### 4. 电容式传感器的应用

掌握电容式传感器工作原理、类型、等效电路及主要转换电路、主要特性，了解电容式传感器工作特点、设计要点及主要应用。

## **(四) 电感式传感器 (4 学时)**

### **教学重点、难点：**

电感式传感器工作原理、转换电路及传感器灵敏度

### **教学内容和基本要求：**

1. 自感式传感器工作原理及类型
2. 差动变压器式传感器
3. 涡流式传感器
4. 电感式传感器的应用

掌握电感式传感器工作原理、转换电路及传感器灵敏度，零点残余电压及减小方法，了解电感式传感器应用。

掌握电涡流式传感器工作原理、涡流效应，了解转换电路。

了解感应同步器工作原理，结构及信号处理方式。

## **(五) 压电式传感器 (2 学时)**

### **教学重点、难点：**

压电效应、等效电路、两种前置放大器作用及特点

### **教学内容和基本要求：**

1. 压电效应
2. 压电材料
3. 压电元件的等效电路
4. 压电元件常用的结构形式
5. 压电式传感器的测量电路
6. 压电式传感器的应用

掌握压电传感器工作原理、压电效应、主要压电材料性能、压电元件串并联、等效电路、两种前置放大器作用及特点，了解压电传感器应用。

## **(六) 磁电式传感器 (4 学时)**

### **教学重点、难点：**

## 磁电传感器工作原理、温度误差补偿方法

### **教学内容和基本要求：**

1. 恒磁通式磁电感应传感器
2. 变磁通式磁电感应传感器
3. 霍尔传感器
4. 磁敏传感器
5. 磁电式传感器的应用

掌握磁电感应式传感器工作原理、类型，了解设计要点及应用。

掌握磁电感应式传感器工作原理、霍尔效应、霍尔元件结构及电磁特性，理解霍尔元件零位误差、温度误差及补偿方法，了解主要应用。

### **(七) 热电式传感器 (4 学时)**

#### **教学重点、难点：**

掌握热电偶工作原理、热电效应、热电偶基本定律、热电偶温度补偿

#### **教学内容和基本要求：**

1. 温标
2. 温度传感器的类型
3. 热电偶温度计
4. 热电阻温度计
5. 集成温度传感器
6. 非接触式测温
7. 温度传感器的应用

掌握热电偶工作原理、热电效应、热电偶基本定律，了解常用热电偶，理解热电偶温度补偿。

理解热电阻和热敏电阻工作原理，常用材料及特性。

### **(八) 光电传感器 (4 学时)**

#### **教学重点、难点：**

光电式传感器工作原理、光电效应、莫尔条纹形成及特性。

#### **教学内容和基本要求：**

1. 光电检测系统的基本构成

2. 光电效应
3. 外光电效应器件
4. 内光电效应器件
5. 光栅传感器
6. 光学编码器
7. 光电传感器的应用

掌握光电式传感器工作原理、组成。

了解光电传感器中使用光源类型、特点。了解热探测器类型及特点。

掌握光电效应，红限频率定义，主要光子探测器工作原理及特性。

理解电荷耦合器件结构和工作原理。理解光纤传感器结构、工作原理。

理解光栅式传感器工作原理，莫尔条纹形成及特性。。

#### **(九) 新型传感器的应用 (4 学时)**

##### **教学重点、难点：**

传感器最新进展、半导体式物性传感器、微机械传感器特点

##### **教学内容和基本要求：**

1. 光纤传感器
2. 条形码
3. CCD 图像传感器
4. 射频识别系统
5. 机器视觉
6. 智能传感器
7. 微机电系统与微型传感器
8. 无线传感器网络

了解传感器最新进展，了解半导体式物性传感器、微机械传感器、智能传感器工作原理及特点。

### **三、课内练习环节的教学内容及基本要求、课时分配和场地**

#### **教学内容及基本要求**

(一) 通过作业加深对最优控制与最优估计的理解。

### **四、本课程教学建议**

- (一) 具有本科电路基础
- (二) 具有数电、模电的基础
- (三) 具有传感器技术的基础知识

#### 五、本课程评价方式

本课程采用综合测评评价方式，即平时成绩（30%）+期末考试成绩（70%）。

#### 六、建议教材和教学参考书

- (一)陈文仪，现代传感器技术与应用[M]. 北京：清华大学出版社,2021.
- (二)【加】克拉伦斯·W·德席尔瓦 (Clarence W. de Silva)，传感器系统：基础及应用[M]. 机械工业出版社，2023.
- (三)[美] 雅各布·弗雷登 (Jacob Fraden)，现代传感器手册：原理、设计及应用（原书第5版）[M]. 机械工业出版社，2019.
- (四)赵玉刚，传感器基础 (第2版)[M]. 北京：北京大学出版社,2016.
- (五)周杏鹏，传感器与检测技术[M]. 北京：清华大学出版社,2010.
- (六)郭爱芳，传感器原理及应用[M]. 西安：西安电子科技大学出版社,2007.
- (七)严忠豪,谭祖根,非电量电测技术[M].机械工业出版社，2010.
- (八)王俊杰，传感器与检测技术[M].北京：清华大学出版社，2011
- (九)吴建平，传感器原理及应用(第2版) [M].机械工业出版社，2012.



- 1、引言
- 2、数据融合的定义和通用模型
- 3、数据融合的重要性和潜在能力
- 4、数据融合的分类
- 5、数据融合技术
- 6、数据融合的主要内容

要求了解数据融合的应用领域及发展现状、数据融合的定义、层次和分类以及数据融合的主要内容。理解多传感器数据融合系统的结构和功能模块及关键技术。

## **(二) 状态估计 (10 学时)**

### **教学重点、难点:**

Kalman 滤波算法原理、粒子滤波算法原理、工作流程以及在状态估计中的具体应用。

### **教学内容和基本要求:**

- 1、Kalman 滤波算法原理 (Kalman 滤波的起源与发展, 标准 Kalman 滤波)
- 2、常用改进 Kalman 滤波算法 (Extended Kalman 滤波, MV Extended Kalman 滤波, Unscented Kalman 滤波) 及在多传感器数据融合中的应用
- 3、粒子滤波原理及其应用 (粒子滤波算法的起源与发展, 粒子滤波算法的主要思想, 粒子滤波算法的特点, 粒子滤波算法存在的问题, 改进粒子滤波算法, 粒子滤波算法的应用领域)

了解 Kalman 滤波、粒子滤波在状态估计中的作用; 理解这几种典型的滤波方法的算法原理和算法流程; 掌握其在状态估计中的应用方法。

## **(三) 数据关联及其数据准备 (3 学时)**

### **教学重点、难点:**

数据关联的过程和数据关联门的选择及应用; 几种常用的数据关联方法, 如, 最邻近数据关联(NNDA)、概率数据关联 (PDA)、联合概率数据关联 (JPDA)、交互多模型法 (IMM) 等。

### **教学内容和基本要求:**

- 1、多传感器数据关联时的数据准备
- 2、数据关联
- 3、状态关联及关联门的应用

#### 4、关联门的选择

#### 5、各种数据关联方法

要求了解多传感器数据关联时的数据要求及预处理，理解数据关联的基本步骤、关联门的选择及应用，掌握常用的数据关联方法，如最邻近数据关联、概率数据关联、联合概率数据关联方法等。

### **(四) 多源检测融合 (3 学时)**

#### **教学重点、难点：**

检测融合概念，二元假设检验，融合检测准则（最大后验概率融合检测准则、Neyman-Pearson 融合检测准则、贝叶斯融合检测准则、最小误差概率准则）

#### **教学内容和基本要求：**

1. 检测融合概述
2. 分布式检测融合系统
3. 分布式检测融合策略

了解多源检测融合的方法分类，理解多源检测融合系统及特点，掌握常用的检测融合准则，将来自多个不同传感器的观测数据或判决结果进行综合，从而形成一个关于同一环境或事件的更完全、更准确的判决。

### **(五) 身份融合 (8 学时)**

#### **教学重点、难点：**

身份识别的定义和识别技术，几种典型的身份融合算法，如 Bayes 推理、D-S 证据理论、人工神经网络和模糊逻辑等。

#### **教学内容和基本要求：**

- 1、身份融合算法的分类
- 2、识别技术概述：相似性系数法、统计模式识别、神经网络技术、聚类分析技术、基于知识的方法等
- 3、身份融合算法：Bayes 推理、D-S 证据理论推理、神经网络、模糊逻辑推理等

要求了解身份融合和身份识别的算法及分类，掌握几种身份识别方法，如相似性系数法、统计模式识别、神经网络技术等，掌握几种典型的身份融合算法，如 Bayes 推理、在目标跟踪中的应用实例推理等，并能够熟练应用。

### **(六) 多传感器数据融合的应用 (6 学时)**

#### **教学重点、难点：**

多传感器数据融合框架的构建及在实际系统中的应用

### **教学内容和基本要求：**

- 1、多传感器数据融合技术在目标跟踪中的应用
- 2、多传感器数据融合技术在图像处理中的应用
- 3、多传感器数据融合技术在设备状态检测中的应用

通过多传感器数据融合系统的几种典型应用实例介绍，要求学生掌握数据融合系统的建模方法及在不同领域中的应用和实现。

### **三、课内练习环节的教学内容及基本要求、课时分配和场地**

#### **教学内容及基本要求：**

(一) 根据课程内容设置 3 个讨论专题，针对不同专题按学生的兴趣分成 3 个小组，要求学生针对课堂专题查找和阅读相关的文献与资料，在课堂上进行讲解并展开讨论，**(共计 6 学时)**

**专题一：**基于 Bayes 推理的多传感器数据融合算法及应用 (Bayes 推理的介绍, Bayes 推理与多传感器数据融合过程)

**专题二：**基于 D-S 推理的多传感器数据融合算法及应用 (D-S 推理的介绍, D-S 推理的融合过程, 与 Bayes 推理的比较)

**专题三：**基于人工神经网络和模糊逻辑的多传感器数据融合算法及应用

(二) 鼓励学生结合自己的研究课题，以某个简单的系统为例，学会设计信息融合系统，并在 MATLAB 环境下进行仿真训练。

(三) 掌握信息融合相关算法的学习与建模过程，能够用计算机编程实现。

本课程的练习环节可采用课内、课外相结合的方式，成果以大作业和小作业的形式体现，本课程训练对场地无特殊要求。

### **四、本课程教学建议**

本课程是对该领域研究进展和经典方法及新方法的理论及应用的介绍，理论性与应用性较强，学习过程中应该注意理论与实践的结合，与学生的研究课题相结合，大量查阅资料，了解信息融合理论与应用的最新动态，重点掌握相关融合算法思想与算法实现技术。

### **五、本课程评价方式**

大作业+小作业 60%，课堂讨论、出勤等 40%。

### **六、建议教材和教学参考书**

- (一) 潘泉,程咏梅等.多源信息融合理论及应用.清华大学出版社.2013 年
- (二) 韩崇韶,朱洪艳,段战胜等.多源信息融合.清华大学出版社.2006
- (三) Lawrence A Klein.多传感器数据融合理论及应用 (第二版) .北京理工大学出版社.2004
- (四) 何友.多传感器信息融合及应用.电子工业出版社.2007
- (五) 康耀红.数据融合理论与应用.西安电子科技大学出版社.2006
- (六) 杨万海.多传感器数据融合及其应用.西安电子科技大学出版社.2004
- (七) 相关网站: <http://www.isif.org/>  
<http://www.fusion2004.foi.se/index.html>

# 《智能测试系统设计》教学大纲

适用专业： 电路与系统、微电子与  
              固体电子学、仪器仪表  
              工程等

课程性质： 必修

学 时 数： 32

学 分 数： 2

课 程 号： 315060030072

开课学期： 秋季

大纲执笔人： 余萍

大纲审核人： 林冬梅

## 一、课程的地位和教学目标

《智能测试系统设计》是一门注重理论与实践结合的技术科学，要求学生掌握智能测试技术的基本原理、发展趋势及在不同领域的应用。本课程全面讲授智能测试系统的构成、工作流程以及各模块的作用和实现原理，培养学生解决实际问题的能力，提升创新和实践能力，了解并掌握智能测试技术中的关键算法和技术，熟练掌握虚拟仪器的数据采集技术、人机对话接口技术以及典型数据处理算法。

## 二、课程教学内容和基本要求

### （一）引言（2学时）

#### **教学重点、难点：**

重点：明确智能测试系统的含义以及相关基本概念；

难点：快速将学生引入智能测试系统设计领域，提升学生对智能测试系统理论研究的兴趣。

#### **教学内容和基本要求**

- 1、了解智能测试系统及其在工业应用中的重要性；
- 2、掌握智能测试系统的基本原理；
- 3、理解智能测试系统的组成与分类；
- 4、了解部分前沿研究方向，体会智能测试系统领域的魅力。

### （二）智能测试系统关键技术（6学时）

#### **教学重点、难点：**

重点：信号处理技术；

难点：模式识别与机器学习技术。

#### **教学内容和基本要求**

- 1、了解传统数据采集技术；
- 2、掌握自动化数据采集技术；
- 3、掌握模拟/数字信号处理技术；
- 4、掌握模式识别与机器学习技术；
- 5、掌握传感器技术与应用；
- 6、了解现代智能测试技术的应用研究。

### **(三) 智能测试系统设计 (8 学时)**

#### **教学重点、难点：**

重点：一般智能测试系统方案设计与优化；

难点：项目式智能测试系统的集成与调试。

#### **教学内容和基本要求**

- 1、掌握实际系统需求分析方法；
- 2、熟悉一般智能测试系统方案设计方法；
- 3、掌握智能测试系统的软硬件设计方法；
- 4、熟悉项目式智能测试系统集成与调试方法。

### **(四) 智能测试系统优化 (6 学时)**

#### **教学重点、难点：**

重点：系统性能评估方法；

难点：系统可靠性分析与设计。

#### **教学内容和基本要求**

- 1、掌握系统性能评估与优化方法；
- 2、掌握可靠性分析与设计方法；
- 3、理解智能算法在测试系统中的应用。

### **(五) 实验与项目实践 (10 学时)**

#### **教学重点、难点：**

重点：实验平台的搭建；

难点：理论与实践的结合。

#### **教学内容和基本要求**

- 1、掌握常规智能测试系统实验平台的搭建；
- 2、理解具体系统性能分析方法；

- 3、掌握智能测试系统的人机界面设计与实现；
- 4、项目实践：基于虚拟仪器的智能测试系统设计与实现。

### 三、课内练习环节的教学内容及基本要求、课时分配和场地

#### **教学内容及基本要求**

- (一) 掌握智能测试系统设计方法；
- (二) 掌握智能测试系统优化方法；
- (三) 掌握智能测试系统实验平台搭建实现。

#### **四、本课程教学建议**

- (一) 在教学过程中适当使用案例教学，增加紧密联系实际的内容，培养学生对智能测试系统设计学习的兴趣；
- (二) 重点讲授智能测试系统设计方法的核心思想及实现；
- (三) 鼓励学生参与相关课题的研究，培养学生的实践应用能力。

#### **五、本课程评价方式**

考核方式为智能测试系统设计与实现报告写作，雷同报告取消成绩，对于思想新颖设计报告给予高分评定；成绩评定为报告占 30%，PPT 演示及提问 20%，设计与实现实践 50%。

#### **六、建议教材和教学参考书**

建议教材：无

教学参考书：

- (一) 岳瑞华，徐中英，孔祥玉，等，现代测试系统设计，北京：国防工业出版社，2023.
- (二) 陈晓伍，Python Web 自动化测试设计与实现，北京：清华大学出版社，2019.
- (三) 付华，徐耀松，王雨虹，智能检测与控制技术，北京：电子工业出版社，2015.

# 《集成电路设计与 EDA》教学大纲

适用专业： 电子科学与技术

课程性质： 学位

学时数： 32

学分数： 2

课程号： 315060020049

开课学期： 春季

大纲执笔人： 刘昀强

大纲审核人： 黄玲

## 一、课程的地位和教学目标

《集成电路设计与 EDA》是现代电路设计的重要组成部分，广泛应用于电子、军事、工业、农业和经济领域，并取得了显著的成果。通过本课程的学习，使学生了解集成电路设计技术的发展过程和发展趋势，掌握逻辑模拟、电路模拟、版图设计及验证等基本 EDA 技术以及集成电路设计流程，为从事集成电路设计工作打下良好的基础。

## 二、课程教学内容和基本要求

### (一) 可编程逻辑器件与 FPGA (2 学时)

#### 1. 主要内容：

- (1) 可编程逻辑器件技术发展及应用
- (2) FPGA 器件编程技术
- (3) FPGA 基本结构
- (4) FPGA 技术未来发展

#### 2. 基本要求

- (1) 了解可编程逻辑器件的发展历程和应用领域，以及 FPGA 技术未来发展方向；
- (2) 熟悉 FPGA 器件编程技术
- (3) 掌握 FPGA 基本概念和结构特点。

#### 3. 重点、难点

重点：FPGA 的基本结构及主要性能指标。

难点：FPGA 的基本结构。

### (二) FPGA 开发工具及设计流程 (2 学时)

#### 1. 主要内容：

- (1) 开发环境 Quafus II 介绍

- (2) 仿真软件 ModelSim
- (3) 采用 Quafus II 进行系统设计的流程
- (4) 基于 Quafus II 的设计实例

## 2. 基本要求

- (1) 熟悉 Quafus II 开发环境和仿真工具;
- (2) 掌握基于 Quafus II 进行系统设计的方法和流程。

## 3. 重点、难点

重点: Quafus II 开发软件的使用和设计流程;

难点: 采用 Quafus II 进行系统设计的设计流程。

## (三) VERILOG HDL 编程基础 (6 学时)

### 1. 主要内容:

- (1) VERILOG HDL 程序基本结构
- (2) VERILOG HDL 语言要素
- (3) VERILOG HDL 顺序语句
- (4) VERILOG HDL 并行语句
- (5) 子程序
- (6) 库、程序包及其他
- (7) VERILOG HDL 描述方式

### 2. 基本要求

- (1) 掌握 VERILOG HDL 的基本语法结构;
- (2) 了解常用硬件描述语言的特点和应用;
- (3) 熟悉 VERILOG HDL 可编程逻辑设计的基本概念和方法。

### 3. 重点、难点

重点: VERILOG HDL 可编程逻辑设计的基本概念和方法。

难点: VERILOG HDL 硬件描述语言的基本语法结构。

## (四) 组合逻辑电路设计 (8 学时)

### 1. 主要内容:

- (1) 组合逻辑电路设计方法
- (2) 典型组合逻辑电路的分析与设计
- (3) 数字信号的传输控制

(4) 组合逻辑电路设计实例，包括编码器、译码器、多路选择器、比较器与数码转换电 等组合逻辑电路设计。

## 2. 基本要求

- (1) 理解组合逻辑电路的概念和特点；
- (2) 掌握典型组合逻辑电路的设计方法。

## 3. 重点、难点

重点：典型组合逻辑电路的设计方法。

难点：典型逻辑电路 VERILOG HDL 设计实现及数字信号的传输控制。

## (五) FPGA 基础实验 (10 学时)

### 1. 主要内容

- (1) led 和按键实验
- (2) 信号采集实验
- (3) 信号传输实验
- (4) 信号处理实验
- (5) 信号输出实验

### 2. 基本要求

- (1) 理解 FPGA 各种常用外设的硬件连接与控制方法；
- (2) 掌握典型数字输入信号的测量方法。

### 3. 重点、难点

重点：测量数字输入信号的设计方法。

难点：测量数字输入信号设计实现及数字信号的传输控制。

## (六) FPGA 综合实验 (4 学时)

### 1. 主要内容

- (1) 语音处理系统的 FPGA 实现
- (2) 数字示波器的 FPGA 实现

### 2. 基本要求

- (1) 理解 FPGA 各种常用外设的硬件连接与控制方法；
- (2) 掌握典型数字、模拟输入信号的测量方法。

### 3. 重点、难点

重点：测量数字、模拟输入信号的设计方法。

难点：测量数字、模拟输入信号设计实现及数字信号的传输控制。

### 三、课内练习环节的教学内容及基本要求、课时分配和场地

#### 教学内容及基本要求

(一) 通过作业和实验加深对集成电路设计与 EDA 技术的理解。

### 四、本课程教学建议

(一) 建议教学方法的改进。

在授课过程中加入集成电路设计的最新理论，让学生了解前沿动态。

### 五、本课程评价方式

本课程采用综合测评评价方式，即平时成绩 (40%) + 结课报告成绩 (60%)。

### 六、建议教材和教学参考书

教材：《FPGA 数字系统设计》，薛一鸣，清华大学出版社，2019 年

#### 参考书目：

1. 《VHDL 数字电路设计教程》，佩德罗尼 (Volnei A. Pedroni)，电子工业出版社，2013.
2. 《VHDL 大学实用教程》，肯尼思 L. 肖特 (Kenneth L. Short)，电子工业出版社，2011.
3. 《数字电路与 FPGA 设计实验教程》，徐少莹等，西安电子科技大学出版社，2012.
4. 《Xilinx FPGA 设计基础 (VHDL 版)》，李云松 等，西安电子科技大学出版社，2008.
5. 《基于 FPGA 的嵌入式系统设计》，任爱锋等，西安电子科技大学出版社，2005.
6. 《VHDL 数字系统设计》，徐向民，电子工业出版社，2015.
7. 《Xilinx FPGA 设计与实践教程》，赵吉成等编著，西安电子科技大学出版社，2012.

# 《现代电力电子技术》教学大纲

适用专业：	电气工程、能源动力	课程性质：	学位课
学时数：	32	学分数：	2.0
课程号：	315060020047	开课学期：	第1学期
大纲执笔人：	李晓英	大纲审核人：	杨维满

## 一、课程的地位和教学目标

本课程是电气工程领域的一门专业课。研究生通过本课程的学习能够掌握现代电力电子技术的基本概念、内涵、新型拓扑及其控制技术；能够应用控制理论、微电子技术、计算机控制技术等工具研究电能的变换、控制和高效应用；能够对新能源系统、运动控制系统、电气自动化设备、电能质量控制等领域的典型电力电子系统进行工程设计。

## 二、课程教学内容和基本要求

### （一）绪论（2学时）

#### 教学重点、难点：

现代电力电子技术的基本概念、学科地位、基本内容和发展历史；电力电子技术的应用范围；电力电子技术的发展前景。

#### 教学内容和基本要求：

- 1、了解现代电力电子技术的最新发展；
- 2、理解电力电子调制与控制策略的发展前景；
- 3、掌握新型变流器拓扑的应用范围。

#### 课程思政：

- 1、从电力电子技术发展史中总结中国工业、制造业近年来所取得的伟大成就；
- 2、讨论存在的技术瓶颈，鼓励学生勤思笃学、夯实研究基础，为祖国发展做贡献。

### （二）宽禁带电力电子器件及其驱动（4学时）

#### 教学重点、难点：

重点介绍宽禁带半导体材料制成的电力电子开关器件的特性、应用方法与驱动电路的设计；介绍常用功率集成电路和智能功率模块的应用。

#### 教学内容和基本要求

- 1、了解宽禁带电力半导体器件的性能与开关特点；
- 2、理解 SiC 与 GaN 等材料制成的电力电子器件的工作原理；

3、掌握 SiC 材料 IGBT 的驱动电路设计方法。

#### **课程思政：**

- 1、调研电力半导体器件生产厂家，了解目前国内外技术水平差异，增强学生对民族企业的信心；
- 2、讨论宽禁带半导体器件未来的发展趋势，结合本课程思考电力变换拓扑及其控制技术的发展方向。

### **(三) 新型多电平变流器拓扑 (6 学时)**

#### **教学重点、难点：**

重点介绍电容钳位型、中点钳位型、H 桥级联型变流器以及模块化多电平变流器的拓扑构成规则、工作原理与特性分析。

#### **教学内容和基本要求**

- 1、了解各种新型多电平变流器的拓扑结构与工作特点；
- 2、理解 H 桥级联型变流器的基本原理与工作特性；
- 3、理解维也纳整流器的拓扑结构与基本原理；
- 4、掌握模块化多电平变流器的拓扑结构与工作原理。

#### **课程思政：**

- 1、调研我国高压直流输电工程现状，了解我国在该领域取得的重大技术突破，增强学生对电气工程学科自豪感与研究兴趣；
- 2、搜集国内“张北”柔直等项目中应用新型电力电子器件以及系统集成技术的资料，加强理论与实践的结合。

### **(四) 谐振式变换器与软开关技术 (6 学时)**

#### **教学重点、难点：**

重点介绍准谐振变换器、PWM 软开关变换器的构成特点、工作原理与波形分析。

#### **教学内容和基本要求**

- 1、了解软开关技术的基本概念与分类、谐振式变换电路的分类；
- 2、理解零电压、零电流开关电路的构成特点、工作原理；
- 3、掌握移相控制软开关 PWM 全桥变换器的工作原理。

#### **课程思政：**

功率器件的开关频率越高，电力电子装置的体积与重量就越小；但是物极必反，过高的开关频率会带来损耗大、电磁干扰严重等问题，在优化系统性能指标时，一定要用一分为二的观点，切忌顾此失彼。

### **(五) 面向新型变流器拓扑的调制技术 (8 学时)**

#### **教学重点、难点：**

介绍面向新型多电平变换器拓扑的多种调制技术；多电平变换器的 SVPWM 与载波层叠 PWM、载波层叠的基本原理；三电平变流器的中点电压平衡控制方法。

#### **教学内容和基本要求**

- 1、了解载波移相调制、最近电平调制、电压空间矢量调制的基本原理与谐波特性；
- 2、理解基于载波的 PWM 与 SVPWM 的等效关系；
- 3、掌握三电平变流器的载波移相 PWM 方法；
- 4、掌握三电平 SVPWM 方法。

#### **课程思政：**

- 1、通过理论分析与仿真验证，揭示基于载波的 PWM 技术与 SVPWM 的本质联系；
- 2、最近电平逼近调制技术中，波形质量与开关损耗总是矛盾的，如何改善阶梯波调制算法的性能，蕴含着丰富的辩证法智慧。

### **(六) 无功补偿、有源滤波及 PFC 技术 (6 学时)**

#### **教学重点、难点：**

无功功率和谐波的产生、危害、补偿办法；瞬时无功功率理论的基本原理；典型低谐波、高功率因数电力电子装置的分析与工程设计方法。

#### **教学内容和基本要求**

- 1、了解无功补偿、有源滤波与功率因数校正技术的应用现状与发展前景；
- 2、理解并联型有源电力滤波器的工作原理；
- 3、掌握瞬时无功功率理论；
- 4、掌握典型 SVG、PFC 电路的工作原理与控制方法。

#### **课程思政：**

- 1、课后观看《大国工匠》纪录片，就劳模方文墨的事迹展开讨论，引导学生思考如何在科学研究中发扬“文墨精神”、为何工匠精神对于科研工作同样非常重要。
- 2、“十四五规划”进一步确立了坚持创新在我国现代化建设全局中的核心地位，把科技自立自强作为国家发展的战略支撑，人工智能算法在 APF 的控制方法中显现出了独特优势，

这与国家的科技强国战略导向高度契合。鼓励学生密切关注前沿科技，在科研工作中勇于创新、善于创新。

### 三、课内练习环节的教学内容及基本要求、课时分配和场地

无

### 四、本课程教学建议

(一) 先修或同步选修现代电力系统分析研究生课程；

(二) 充分地进行学情分析：

学生的基础差异较大，有些学生在本科阶段学习过电力电子技术基础、电力拖动或者运动控制等相关理论课程，但课程体系因学校而异，因而在教学过程中需要在课程内容的广度与深度方面做适当的取舍与折中；

(三) 工程设计方法与仿真实验相结合。

### 五、本课程评价方式

课程评价方式包括 3 部分：课堂表现与平时作业（20%）+仿真报告（30%）+期末考试卷面成绩（50%）

### 六、建议教材和教学参考书

#### (一) 建议教材：

1. 王兴贵, 陈伟, 等. 现代电力电子技术 (第二版) [M]. 中国电力出版社, 2024.
2. 徐德鸿, 陈治明, 李永东, 等. 现代电力电子学 [M]. 机械工业出版社, 2021.

#### (二) 教学参考书：

1. 陈坚, 康勇. 电力电子学——电力电子变换和控制技术 (第 3 版) [M]. 高等教育出版社, 2018.
2. 王兆安, 刘进军, 等. 电力电子技术 (第五版) [M]. 北京: 机械工业出版社, 2009.
3. 张兴. 高等电力电子技术 (第二版) [M]. 北京: 科学出版社, 2018.
4. Mohan. Power Electronics: Converters, Application, and Design (Third Edition) [M]. 高等教育出版社, 2004.
5. 叶斌. 电力电子应用技术 [M]. 清华大学出版社. 2006
6. 贺益康, 潘再平. 电力电子技术 [M]. 北京: 科学出版社, 2015.
7. Muhammad H. Rashid 著, 罗昉译. 电力电子学: 电路、器件及应用 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2019.
8. 林渭勋. 现代电力电子电路 [M]. 浙江大学出版社, 2002.

9. BK. Bose. Modern Power Electronics and AC Drives[M]. 机械工业出版社, 2002.
10. Eric Monmasson 著, 冬雷 译. 电力电子变换器: PWM 策略与电流控制技术[M]. 机械工业出版社, 2016.
11. 周京华, 陈亚爱. 高性能级联型多电平变换器原理及应用[M]. 机械工业出版社, 2013.
12. 李彬彬, 徐梓高, 徐殿国. 模块化多电平变流器原理及应用[M]. 科学出版社, 2021.

# 《机电能量转换系统建模》教学大纲

适用专业：	电气工程、能源动力	课程性质：	必修
学时数：	32	学分数：	2.0
课程号：	315060020069	开课学期：	第2学期
大纲执笔人：	杨巧玲	大纲审核人：	王晓兰

## 一、课程的地位和教学目标

本课程是电气工程硕士研究生的必修课。其目标是使学生掌握交流电机能量转换过程的特点及其规律、反映这种特点的动态方程的建立、异步电机磁场定向的矢量控制的基本原理。熟悉交流电机动态方程的求解及其计算机仿真技术。主要内容包括机电能量转换的基本原理，异步电机数学模型，异步电机磁场定向的矢量控制以及同步电机的运动方程。

## 二、课程教学内容和基本要求

### （一）机电能量转换的基本原理（4学时）

#### **教学重点、难点：**

机电能量转换过程中的能量关系。

#### **教学内容和基本要求**

教学内容为：

- 1、机电能量转换过程中的能量关系；
- 2、单边激励的机电装置；
- 3、双边激励的机电装置；
- 4、机电能量转换的条件。

通过上述内容学习，理解机电能量转换过程中的能量关系；掌握单边激励的机电装置和双边激励的机电装置的能量转换过程及其能量方程；了解机电能量转换的条件。

### （二）异步电机数学模型（10学时）

#### **教学重点、难点：**

ABC系统的磁链、电压和转矩方程；一般化dq系统中异步电机的数学模型。

#### **教学内容和基本要求**

教学内容为：

- 1、ABC 系统的磁链、电压和转矩方程；
- 2、坐标变换与变换阵；
- 3、一般化 dq 系统中异步电机的数学模型
- 4、同步旋转 MT 坐标系中异步电机的数学模型；
- 5、静止 $\alpha\beta$ 坐标系统中异步电机的数学模型；
- 6、瞬时值复数分量法；
- 7、K 坐标系中异步电机空间矢量方程；
- 8、异步电动机的状态方程
- 9、异步机的小信号模型。

通过上述内容学习，掌握 ABC 系统的磁链、电压和转矩方程，一般化 dq 系统中异步电机的数学模型。理解坐标变换与变换阵，同步旋转 MT 坐标系中异步电机的数学模型，静止 $\alpha\beta$ 坐标系统中异步电机的数学模型，瞬时值复数分量法，K 坐标系中异步电机空间矢量方程。了解异步电动机的状态方程，异步机的小信号模型。

### **(三) 异步电机磁场定向的矢量控制 (6 学时)**

#### **教学重点、难点：**

异步电机磁场定向控制的基本原理。

#### **教学内容和基本要求**

教学内容为：

- 1、异步电机磁场定向控制的基本原理；
- 2、转子磁链的观测；
- 3、磁场定向的矢量控制系统举例。

通过上述内容学习，理解异步电机磁场定向控制的基本原理，掌握转子磁链的观测，了解磁场定向的矢量控制系统实例。

### **(四) 同步电机的运动方程 (4 学时)**

#### **教学重点、难点：**

ABC 坐标系中同步电机的运动方程。

#### **教学内容和基本要求**

教学内容为：

- 1、ABC 坐标系中同步电机的运动方程；
- 2、dq 坐标系中的运动方程；

### 3、同步电机的状态方程。

通过上述内容学习，理解 ABC 坐标系中同步电机的运动方程，掌握 dq 坐标系中同步电机的运动方程，了解同步电机的状态方程。

### 三、课内练习环节的教学内容及基本要求、课时分配和场地

电机矢量控制系统的计算机仿真，8 学时，在电信学院专业实验室完成。

#### 教学内容和基本要求

教学内容为：

- 1、坐标变换和解耦控制的 Matlab/Simulink 仿真分析；
- 2、交流电机矢量控制系统的仿真和性能分析；
- 3、磁链观测器设计和 Matlab/Simulink 仿真实现。

通过上述内容学习，学会应用 Matlab/Simulink 对交流电机矢量控制系统进行建模、仿真和分析的方法，理解坐标变换和解耦控制原理，理解磁链观测器设计方法。

### 四、本课程教学建议

- (一) 课堂讲授：以教师讲授为主，采用多媒体辅助教学。
- (二) 课内讨论：注重理论联系实际，精选教学案例，进行互动讨论。
- (三) 电机的矢量控制计算机仿真贯穿课程始终，由学生在阅读文献的基础上，自主选题、自主完成，并撰写研究报告。教师辅导答疑，对学生的仿真程序进行运行检查。学生在不断练习中加深对课堂内容的理解。

### 五、本课程评价方式

本课程考核由两部分构成：平时考核和期末考核，总成绩为 100 分，所占比例分别为 60%和 40%。其中平时考核主要由学生上课出勤状况、课堂表现、课程重要结论的理论推导和应用分析大作业、电机矢量控制系统的计算机仿真程序运行情况以及仿真研究报告组成。期末考核为开卷考试。

### 六、建议教材和教学参考书

- (一) 汤蕴璆.电机学-机电能量转换, 机械工业出版社, 1986.
- (二) 陈坚. 交流电机数学模型及调速系统.国防工业出版社, 1989.
- (三) 贺益康.交流电机调速系统计算机仿真.浙江大学出版社, 1993.
- (四) 陈伯时. 交流调速系统.机械工业出版社, 1998.
- (五) B K Bose. Modern Power Electronics and AC Drives. Prentice Hall,2002.

(六) 汤蕴璆. 交流电机动态分析.机械工业出版社, 2005 .

(七) 洪乃刚. 电力电子、电机控制系统的建模和仿真.机械工业出版社, 2014.

# 《新能源电力系统建模与控制》教学大纲

适用专业：	电气工程、能源动力	课程性质：	必修课
学时数：	32	学分数：	2
课程号：	315060030029	开课学期：	2
大纲执笔人：	张萍	大纲审核人：	张晓英

## 一、课程的地位和教学目标

本课程是电气工程硕士研究生的必修课，是一门理论性、实践性及综合性强的课程。通过本课程的学习，使学生了解当今新能源电力系统建模的新方法、新平台，掌握新能源电力系统建模和控制的基本理论、基本方法和基本技术。理解新能源发电特性和多能源发电过程互补特性，熟悉新能源电力系统控制策略及计算机仿真技术。主要内容包括风力发电过程建模与控制、太阳能发电过程建模与控制、多能源发电过程互补特性与控制策略及新能源电力系统稳定性建模、分析与控制方法。硕士研究生通过本课程学习，针对新能源电力系统具备坚实的理论基础、建模方法和较强的仿真分析能力，并能够运用有关理论分析实际新能源电力系统建模与控制问题。

其目标是使学生掌握新能源电力系统建模和控制的基本理论、基本方法和基本技术。理解新能源发电特性和多能源发电过程互补特性，熟悉新能源电力系统控制策略及计算机仿真技术。主要内容包括风力发电过程建模与控制、太阳能发电过程建模与控制、多能源发电过程互补特性与控制策略及新能源电力系统稳定性建模、分析与控制方法。

## 二、课程教学内容和基本要求

### （一）风力发电过程建模与控制（5学时）

#### **教学重点、难点：**

风力发电系统建模和双馈感应风力发电系统控制。

【思政】对比分析国内外光伏发电控制方法和控制策略方面的研发成果和不足，激发学生的科研热情，培养学生创新意识，鼓励学生通过查阅相关文献，结合自己所学知识，提出自己的控制策略。

## **教学内容和基本要求**

教学内容为：

1. 风力发电系统的工作原理；
2. 主流风力发电系统；
3. 风力发电系统建模；
4. 双馈感应风力发电系统控制；
5. 风电场负荷优化调度控制。

通过上述内容学习，理解风力发电系统的工作原理；掌握风速模型、气动系统模型、传动系统模型及电气系统模型的建立和仿真分析；掌握双馈感应风力发电系统控制结构和控制策略；了解风电场负荷优化调度控制。

### **(二) 太阳能发电过程建模与控制 (5 学时)**

#### **教学重点、难点：**

光伏发电系统建模；光伏发电系统的运行与控制。

【思政】 总结国内外在风力发电过程特性、光伏发电过程特性及多能发电过程互补特性方面取得的成果及目前还存在的问题。鼓励学生做科研要有敢于奉献的精神，遇到问题不要退缩、脚踏实地一步步走好科学研究这条路。

## **教学内容和基本要求**

教学内容为：

1. 光伏发电功率预测；
2. 光伏发电系统建模；
3. 并网逆变器主电路拓扑结构及数学模型；
4. 光伏发电系统运行控制；
5. 光伏发电系统并网控制；
6. 太阳能热发电系统。

通过上述内容学习，掌握光伏发电功率预测模型及预测方法、光伏组件输出特性方程、光伏电池的输出特性、DC/DC 变换电路、并网逆变器主电路拓扑结构及数学模型，太阳能最大功率点跟踪控制及光伏发电系统并网控制。了解太阳能热发电系统的基本原理和运行控制。

### **(三) 多能源发电过程互补特性与控制策略 (6 学时)**

#### **教学重点、难点：**

风力发电和太阳能发电过程特性,多能发电过程互补原理,虚拟发电厂及控制系统。

**【思政】** 对比分析我国和一些技术强国在风电并网系统的稳定性装置的研发上存在的差距,引导学生重视将研究成果应用于工程实际的理念,激发学生思考国家电力装备研发的重要性。

### **教学内容和基本要求**

教学内容为:

1. 风力发电过程特性;
2. 太阳能发电过程特性;
3. 火力发电过程特性;
4. 多能发电过程互补原理;
5. 负荷优化分配;
6. 虚拟发电厂及控制系统。

通过上述内容学习,掌握风力发电和太阳能发电过程特性,虚拟发电厂及控制系统,理解多能发电过程互补原理,了解火力发电过程特性及负荷优化分配。

### **(四) 新能源电力系统稳定性建模、分析与控制方法 (4 学时)**

#### **教学重点、难点:**

光伏发电接入电力系统的稳定性建模与分析、风电并网系统的稳定性建模与分析,风电并网低电压穿越控制方法。

**【思政】** 对比分析我国和一些技术强国在新能源电力系统稳定性上存在的差距,激发学生探索关键科学问题的热情。

### **教学内容和基本要求**

教学内容为:

1. 光伏发电接入电力系统的稳定性建模与分析;
2. 风电并网系统的稳定性建模与分析;
3. 风电并网低电压穿越控制方法。

通过上述内容学习,掌握光伏发电和风力发电接入电力系统的稳定性建模与分析方法及风电并网低电压穿越控制方法,理解新能源电力系统功角稳定和电压稳定性,了解稳定性控制的改进策略。

### **三、课内练习环节的教学内容及基本要求、课时分配和场地**

风力发电和光伏发电出力预测计算机仿真, 6 学时, 新能源发电并网系统电压稳定性仿真分析, 6 学时, 在电信学院专业实验室完成。

### **教学内容和基本要求**

教学内容为:

1. 风力发电出力预测的 Matlab/Simulink 仿真分析;
2. 光伏发电出力预测的 Matlab/Simulink 仿真分析;
3. 新能源发电并网系统电压稳定性 Matlab/Simulink 仿真分析;

通过上述内容学习, 学会应用 Matlab/Simulink 对新能源电力系统进行建模、仿真和分析, 理解新能源发电的特性, 掌握电力系统电压稳定性分析方法。

### **四、本课程教学建议**

- (一) 课堂讲授: 以教师讲授为主, 采用多媒体辅助教学。
- (二) 课内讨论: 注重理论联系实际, 精选教学案例, 进行互动讨论。
- (三) 计算机仿真部分, 由学生在阅读文献的基础上自主完成, 并撰写研究报告。教师辅导答疑, 对学生的仿真程序进行运行检查。学生在不断练习中加深对课堂内容的理解。

### **五、本课程评价方式**

本课程考核方式为考试, 成绩生成主要参考学生上课出勤情况、课堂表现、课后作业质量、计算机仿真程序运行情况以及仿真研究报告质量, 考试成绩。

采用: 平时成绩(60%)+考试成绩(40%)相结合的方法进行评价。平时成绩包括学生上课出勤情况、课堂表现、课后作业质量、计算机仿真程序运行情况以及仿真研究报告质量。

### **六、建议教材和教学参考书**

- (一) 刘吉臻. 新能源电力系统建模与控制. 科学出版社, 2024.
- (二) 蔡旭. 风电机组与风电场的动态建模. 科学出版社, 2023.
- (三) 于群. Matlab/Simulink 电力系统建模与仿真. 机械工业出版社, 2011.
- (四) 马静. 新能源电力系统动态稳定分析控制. 科学出版社, 2024.
- (五) 黄素逸. 太阳能热发电原理及应用. 中国电力出版社, 2012.
- (六) 国网宁夏电力有限公司电力科学研究院. 新能源电力系统源网荷关键设备建模、仿真与控制技术. 中国电力出版社, 2023

# 《电力能源互联网技术》教学大纲

适用专业：	电气工程	课程性质：	必修
学时数：	32	学分数：	2.0
课程号：	315060030048	开课学期：	第 2 学期
大纲执笔人：	吴丽珍	大纲审核人：	杨维满

## 一、课程的地位和教学目标

本课程是电气工程硕士研究生的必修课,是构筑合理专业结构、培养工程综合素质、拓展前沿视野的重要课程。课程的主要目标是了解和掌握电力能源互联网的概念、特性、基础理论、关键技术、发展现状和趋势;掌握将信息技术与能源产业深度融合的关键知识,使学生具有将电力、热力、核能、石油、天然气等综合考虑的大能源观。同时,课程还涉及能源互联网领域的国内外前沿研究成果,实践科教融合理念,培养“文献调研-发现问题-分析问题-解决问题-成果总结”的科学研究能力,以及自学能力、表达能力、独立思考能力和学术创新能力,为从事有关的工程技术工作和科学研究打下基础。

## 二、课程教学内容和基本要求

课程教学内容包含:概述、电力能源互联网基础理论与关键技术选讲、电力能源互联网前沿研究成果选讲。具体知识点、要求和学时安排如下。

### (一) 概述 (4 学时)

主要内容:能源可持续发展相关概念、能源系统的基本概念及其实现形式、能源系统与电力系统的关系;能源互联网的发展背景、现状、定义、特征和架构等,以及能源互联网的规划与发展趋势,电力能源互联网技术的研究与探索对我国能源战略的意义。

### 教学重点、难点:

重点:能源互联网的定义、特征和架构

难点:能源互联网的内涵

### 教学内容和基本要求

- 1.了解全球能源发展与现状、能源系统与电力系统的关系
- 2.理解能源互联网的定义、特征、分类和架构
- 3.了解能源互联网的网络结构、通信结构
- 4.能源互联网的规划与发展趋势

### 课程思政:

通过对新能源发电技术与智能电网、电力能源互联网、智慧能源等前沿技术国内外发展现状的对比分析，培养学生热爱科学、热爱祖国，树立“四个自信”。

## **(二) 能源互联网基础设施 (6 学时)**

主要内容：固态变压器与功率器件的原理、特征；能源交换机与能源路由器的概念、架构；分布式能源设备概念、技术特征和经济性分析；智能电网、微网与主动配电网的概念与相关技术、储能系统中的储能技术的国内外发展趋势、需求分析、类型及其配置方法与原则等。

### **教学重点、难点：**

重点：能源交换机与能源路由器、分布式能源设备、微网相关技术

难点：能源路由器、智能电网、微网、储能技术

### **教学内容和基本要求**

- 1.掌握分布式能源设备概念、技术特征和经济性分析
- 2.掌握智能电网的概念、特征与组成
- 3.掌握微网的概念、特征与组成
- 4.掌握电力储能技术
- 5.了解主动配电网的概念、技术特征
- 6.了解能源交换机与能源路由器的概念、运行模式、协调控制策略

### **课程思政：**

通过对电力能源互联网基础理论与能源互联网基础设施等前沿技术国内外发展现状的对比分析，培养学生热爱科学、热爱祖国，树立国家自信、制度自信、文化自信。

## **(三) 综合能源系统 (8 学时)**

主要内容：综合能源系统基本定义与内涵，综合能源系统的典型应用场景，综合能源系统构成要素。综合能源系统建模方法，综合能源系统规划设计技术，综合能源系统优化控制技术，以及综合新能源的成功案例和经验。

### **教学重点、难点：**

重点：综合能源系统架构

难点：多能源协同运行关键技术

### **教学内容和基本要求**

1. 了解构建综合能源系统的必要性
2. 掌握综合能源系统基本定义与内涵

3. 了解综合能源系统典型应用场景
4. 了解综合能源系统构成要素
5. 掌握 综合能源系统建模方法
6. 了解综合能源系统规划设计技术
7. 掌握综合能源系统优化控制技术
8. 了解综合能源系统典型案例

#### **课程思政：**

了解综合能源系统关键技术,融入技术创新的重要性思想,从而培养学生技术革新意识,融入事物发展的辩证法,培养学生发现事物的发展科学规律,锻炼科学的思维方式。

#### **(四) 能源互联网信息和通信技术 (4 学时)**

主要内容: 简要介绍信息物理系统、大数据技术、云计算技术、物联网技术、移动互联网技、区块链技术等。

#### **教学重点、难点：**

重点: 信息物理系统技术

难点: 大数据及云计算技术

#### **教学内容和基本要求**

- 1.了解电力能源互联网信息通信与安全技术
- 2.掌握信息物理系统技术
- 3.了解能源互联网对信息和通信技术提出的挑战
- 4.了解能源互联网对大数据及云计算技术提出的挑战

#### **课程思政：**

通过学生了解信息物理系统、电力物联网、机器学习、云计算等的内外发展概况,融合我国高新技术艰辛发展历程,从而培养学生投身现代化建设的工匠精神和团队精神。

#### **(五) 能源转换技术 (2 学时)**

主要内容: 主要介绍能源转换中的电能转换技术,热能转换技术;能源互联网中的其他能源相互转换,了解冷热电三联供系统及运行技术、蓄热式电锅炉、冰蓄冷技术、热泵等。

#### **教学重点、难点：**

重点: 能源转换中的电能转换技术

难点: 能源转换中的热能转换技术

## **教学内容和基本要求**

- 1.掌握能源转换中的电能转换技术
- 2.理解能源转换中的热能转换技术
- 3.了解能源互联网中的其他能源相互转换技术

### **课程思政：**

了解各类能源间的转换技术,融入技术创新的重要性思想,从而培养学生技术革新和节能环保意识,融入事物发展的辩证法,培养学生发现事物的发展科学规律,锻炼科学的思维方式。

## **(六) 需求侧管理技术与电力市场 (6 学时)**

主要内容：主要介绍需求侧管理的概念和需求侧响应,电力市场的内涵与基本概念,运行模式,电价理论以及辅助服务市场。

### **教学重点、难点：**

- 重点：能源互联网需求侧响应技术
- 难点：辅助服务市场概念

## **教学内容和基本要求**

- 1.掌握需求侧管理的概念和需求侧响应概念
- 2.了解能源需求响应平台、需求响应的措施、需求响应平台技术
- 3.掌握电力市场的内涵与基本概念
- 4.掌握电力市场结构体系与运营模式
- 5.掌握电力市场中的电价理论
- 6.了解电力市场的辅助服务的概念

### **课程思政：**

通过学生认识需求侧管理技术及其在国民经济中的地位、作用及国内外发展概况,融合我国需求侧管理技术以及电力市场从弱到强的艰辛发展历程,从而培养学生的创新精神、工匠精神和团队精神。

## **三、课内练习环节的教学内容及基本要求、课时分配和场地**

本课程的练习环节可采用课内、课外相结合的方式进行,成果以 PPT 口头汇报、大作业等形式体现,具体学时可根据本人情况灵活安排,本课程训练对场地无特殊要求。

#### 四、本课程教学建议

(一) 课堂讲授：以教师讲授为主，采用多媒体辅助教学。

(二) 课内讨论：注重理论联系实际，精选教学案例和专题，组织学生进行互动讨论。

#### 五、本课程评价方式

本课程最终综合测评由平时成绩和期末成绩构成，总成绩为 100 分，所占比例分别为 40%和 60%。其中平时考核主要由学生口头汇报、出勤状况、课堂表现组成。期末考核为试卷考试。

#### 六、建议教材和教学参考书

(一) 孙宏斌. 能源互联网[M]. 北京：科学出版社，2020.

(二) 冯庆东. 能源互联网与智慧能源[M]. 北京：机械工业出版社，2015.

(三) 孙秋野. 能源互联网[M]. 北京：科学出版社，2015.

(四) 刘振亚. 全球能源互联网[M]. 北京：中国电力出版社，2015.

(五) 孙秋野，马大中. 能源互联网与能源转换技术[M]. 北京：科学出版社，2017.

(六) 何泽家，李德智. 综合能源系统关键技术与典型案例[M]. 北京：电子工业出版社，2021.

(七) 温步瀛. 电力市场（第四版）[M]. 北京：中国电力出版社，2023.

# 《电气工程新技术专题与典型工程案例》教学大纲

适用专业：	电气工程、能源动力	课程性质：	学科公选课
学时数：	32	学分数：	2.0
课程号：	315060040038	开课学期：	第2学期
大纲执笔人：	李恒杰	大纲审核人：	张宏亮、魏占宏

## 一、课程的地位和教学目标

本课程是电气工程、能源动力（电气工程方向）硕士研究生的学科公选课，其目标是使学生了解国内外电力系统及其自动化、电力电子与电力传动、电机与电器、高电压与绝缘、电工新技术理论等方面的基本理论及前沿技术，热爱祖国、热爱科学，树立国家自信、制度自信、文化自信，熟悉新技术在典型电气工程的应用状况和发展前景，了解电气工程专业前沿技术发展对个人能力的需求，为后续的学习和科研工作做好准备。

## 二、课程教学内容和基本要求

### （一）新能源发电与智能电网（10学时）

#### 教学重点、难点：

新能源发电与微电网。

#### 教学内容和基本要求：

- 1、新能源发电；
- 2、电力物联网；
- 3、智能电网；
- 4、微电网。

通过上述内容学习，了解新能源发电与智能电网的前沿技术发展现状和工程应用案例。

#### 课程思政：

通过对新能源发电与智能电网、5G等前沿技术国内外发展现状的对比分析，培养学生热爱科学、热爱祖国，树立国家自信、制度自信、文化自信。

### （二）综合能源系统（6学时）

**教学重点、难点：**

综合能源系统规划与优化运行。

**教学内容和基本要求：**

- 1、综合能源系统建模技术；
- 2、综合能源系统规划；
- 3、综合能源系统优化运行技术；
- 4、综合能源系统与可再生能源。

通过上述内容学习，了解综合能源系统的前沿技术发展现状和工程应用案例。

**课程思政：**

通过对习总书记“碳达峰”和“碳中和”目标的深入分析，培养提高学生围绕绿色经济发展的创新思维与实践能力，争取为国家绿色发展贡献才智。

**（三）电力物联网（6学时）****教学重点、难点：**

电力物联网体系架构、关键技术与行业应用集成创新。

**教学内容和基本要求：**

- 1、电力物联网及其典型应用场景；
- 2、5G 物联网的体系架构、关键技术与行业应用集成创新；
- 3、电动汽车与电网互动技术

通过上述内容学习，了解电力物联网、5G、机器学习的前沿技术发展现状和工程应用案例。

**课程思政：**

通过学生了解电力物联、5G、机器学习的内外发展概况，融合我国高新技术艰辛发展历程，从而培养学生投身现代化建设的工匠精神和团队精神。

**（四）现代电机与运动控制（4学时）****教学重点、难点：**

现代电机的电磁设计、现代电机控制技术。

**教学内容和基本要求：**

- 1、现代电机的电磁设计与计算机辅助设计；
- 2、现代电机调速及其控制技术；

通过上述内容学习，了解现代电机与控制的前沿技术发展现状和工程应用案例。

### **课程思政：**

通过学生认识各类电机在国民经济中的地位、作用及国内外发展概况，融合我国电机从无到有、从弱到强的艰辛发展历程，从而培养学生建造“大国重器”的工匠精神和团队精神。

### **（五）电力变换及其控制（4学时）**

#### **教学重点、难点：**

新型变流技术、电能质量技术。

#### **教学内容和基本要求：**

- 1、新型变流技术；
- 2、高压直流输电与柔性交流输电技术；
- 3、电能质量技术。

通过上述内容学习，了解电力变换及其控制的前沿技术发展现状和工程应用案例。

### **课程思政：**

结合世界电力工业史上较为严重的停电事故“美加大停电”、“印度大停电”，以及国内最大的一次停电事故——2008年冰雪灾害造成的南方大面积停电等案例的技术和人为因素分析，培养学生用辩证唯物主义思想、发展的眼光解决工程问题，以及作为未来电力工程师所必须具备的社会责任感和诚信意识。

### **（六）高电压与绝缘技术（2学时）**

#### **教学重点、难点：**

特高压输变电技术。

#### **教学内容和基本要求：**

教学内容为：

1. 特高压交直流输变电技术；
2. 纳米电介质的发展；
3. 等离子体技术。

通过上述内容学习，了解高电压与绝缘技术的前沿技术发展现状和工程应用案例。

### **课程思政：**

从工程案例出发，融入技术创新的重要性思想，从而培养学生技术革新和节能环保意识，融入事物发展的辩证法，培养学生发现事物的发展科学规律，锻炼科学的思维方式。

### **三、课内练习环节的教学内容及基本要求、课时分配和场地**

无

#### 四、本课程教学建议

- (一) 课堂讲授：以教师讲授为主，采用多媒体辅助教学。
- (二) 课内讨论：注重理论联系实际，精选教学案例，进行互动讨论。

#### 五、本课程评价方式

本课程考核方式为综合测评，成绩生成主要参考学生上课出勤情况、课堂表现、课后作业质量以及文献研究报告质量。

#### 六、建议教材和教学参考书

##### (一) 建议教材：

范瑜.电气工程概述.高等教育出版.2013.

##### (二) 教学参考书：

- [1] 李志民.电气工程概论（第2版）.电子工业出版社.2016.
- [2] 熊信银.电气工程概论.中国电力出版社.2008.
- [3] 中国知网：<http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbprefix=CJFQ>
- [4] IEEE/IETElectronicLibrary(IEL)：<http://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp>
- [5] SCI(科学引文索引)：<http://www.webofknowledge.com/>
- [6] 美国工程索引：<http://www.engineeringvillage.com/>

# 《高等电力网络分析》教学大纲

适用专业:	电气工程	课程性质:	必修
学时数:	32	学分数:	2
课程号:	315060020016	开课学期:	2
大纲执笔人:		大纲审核人:	

## 一、课程的地位和教学目标

电力网络分析是电力系统分析的关键环节,随着我国电力工程科学和技术的快速发展,要求对电网进行更全面、更快速、更精细的技术分析,这就需要电力网络计算机分析的理论和方法支撑。为适应电网分析计算中的新问题和需求,以及研究生科研工作的需要,开设《高等电力网络分析》课程。该课程是一门基础性很强的专业必修课,主要介绍电力系统网络分析的计算机计算方法的基本原理和实现技术,突出电力网络主题,从更基础的层面来描述和解决电网分析问题。课程内容的基础和应用两大部分内容组成,基础部分包括电力网络分析应用中的共性问题,将矩阵运算和图形描述相结合,将数学推导和物理概念相结合。应用部分既介绍广泛使用的传统应用,也介绍当今最有效的内点法、连续潮流和跟踪潮流等新应用。通过该课程学习,要求学生掌握电力网络分析的基本原理、计算方法和主流分析软件,能够初步解决电力工程实际中的分析计算问题,提高学生独立思考和解决问题的能力。

## 二、课程教学内容和基本要求

### (一) 电力网络分析的一般方法 (4 学时)

#### 教学重点、难点

从介绍网络的概念出发,把网络归结为元件及其连接,明确网络受元件特性和网络拓扑两个约束。引入图和矩阵、矢量等与计算机相适应的数学工具,基于节点网络方程的数学模型的系统化方法。将关联矢量加以扩展,用广义关联矢量,即把变比含于矢量元素中,描述含有非标准变比的变压器/移相器支路在网络中的连接关系。

#### 基本要求

掌握基于节点网络方程的数学模型的系统化方法,包括节点网络方程、回路网络方程和割集网络方程的建立;掌握关联矢量与支路的数学描述;理解网络的概念、电力网络的拓扑约束和支路特性约束。

#### 教学内容

##### 1、网络分析概述

- 2、网络的拓扑约束
- 3、电力网络支路特性的约束
- 4、网络方程--网络的数学模型
- 5、关联矢量与支路的数学描述

【思政】从网络的基本概念出发，到建立网络拓扑结构和数学模型，启发学生透过现象看本质，在面向电力系统这样一个复杂庞大的对象的时候，能够抓住背后的“根本性”运作逻辑，而不是被这个事件的表象、无关要素、感性偏见等影响了判断。

## （二）电力系统网络矩阵（2学时）

### 教学重点、难点

节点导纳矩阵和节点阻抗矩阵的性质特点物理意义以及它们的形成方法，及其在网络变更时的修正方法。

### 基本要求

掌握节点导纳矩阵和节点阻抗矩阵的建立方法及其在网络变更时的修正方法；理解电力系统网络模型与网络元件参数和网络元件连接的对应关系；理解节点导纳矩阵和节点阻抗矩阵是用来描述电力系统网络模型的最基本矩阵；理解节点导纳矩阵的稀疏特性及其存储方法；理解节点阻抗矩阵的满矩阵特性及其各元素的等值阻抗；了解节点阻抗矩阵在电力系统短路电流计算中的应用及其回路描述法。

### 教学内容

- 1、节点导纳矩阵
- 2、节点阻抗矩阵
- 3、节点导纳矩阵和节点阻抗矩阵之间的关系
- 4、节点法和回路法之间的关系

【思政】通过电力系统网络模型与网络元件参数和网络元件连接的对应关系，深刻领悟事物是相互联系的有机整体，联系的多样性包括直接联系和间接联系、内部联系与外部联系、本质联系与非本质联系、必然联系与偶然联系等，这些不同的联系构成事物内部和事物之间的存在状态和发展趋势。

## （三）电力网络计算中的稀疏技术与网络方程的修正解法（4学时）

### 教学重点、难点

包括稀疏矩阵技术和稀疏矢量技术的稀疏技术概念，与稀疏技术相关的有向图概念与图论描述，稀疏技术的排零存储和排零运算，提高计算效率的节点优化编号方法。

## 基本要求

掌握稀疏矢量和稀疏矩阵的存储方法,稀疏矩阵的因子分解及其在稀疏线性代数方程组求解中的应用;掌握提高计算效率的节点优化编号方法;掌握电力网络结构或参数发生变化时对网络方程的系数矩阵进行处理的因子表修正方法;理解稀疏矩阵技术的图论描述及其在因子分解和前代回代过程的应用;了解稀疏技术是电力网络计算中使用最为广泛的计算技术;了解不对称稀疏矩阵的处理和计算代价分析;了解网络方程的修正解法。

## 教学内容

- 1、稀疏技术
- 2、稀疏矩阵技术的图论描述
- 3、稀疏矢量法
- 4、节点优化编号
- 5、补偿法网络方程的修正解
- 6、因子表的修正算法

【思政】深刻了解稀疏技术在降低计算代价方面的作用,引导学生深入探索解决问题的思路方法对问题解决的影响至关重要,在做任何事情时得其法则事半功倍,不得法则事倍功半甚至产生负作用。

### (四) 网络变换、化简和等值 (2 学时)

## 教学重点、难点

等值改变电网连接形态的星网变换和负荷移植原理,基于高斯消去法的网络化简方法,基于 WARD 法的电网外部网络的静态等值方法和缓冲等值方法,以及面向节点或支路的诺顿等值、戴维南等值及其推广应用。

## 基本要求

掌握基于矩阵方程的高斯消去化简法;理解网络变换、化简和等值的基本概念及其提高计算速度目的;理解外部网络静态等值的原理和 WARD 等值和在线边界匹配等值;掌握诺顿等值、戴维南等值的几种形式;了解网络的自适应化简算法;了解扩展 WARD 等值和缓冲网等值;了解 WARD 等值和多端口诺顿等值等值的关系;了解电力网络变化时等值参数的修正。

## 教学内容

- 1、星形接法变成网形接法以及负荷移置

- 2、网络化简
- 3、电力系统外部网络的静态等值
- 4、诺顿等值、戴维南等值及其推广

【思政】引导学生工程计算和设计中应时刻面向实际问题 and 需求，一切从实际出发，理论联系实际，实事求是，在实践中检验真理和开展真理。

### （五）大规模电力网络的分块计算（2 学时）

#### 教学重点、难点

电力网络的节点分裂分块解法、支路切割法及其物理解释，大规模电网分块解法的并行计算特性分析，大规模电网的分解协调计算和并行计算、广义支路切割法原理，以及网络分块算法在多计算机集群的并行计算和多控制中心的分解协调计算应用。

#### 基本要求

掌握点分裂分块解法、支路切割法和既撕裂节点又切割支路的统一的网络分块解法；掌握电网分块解法的分解协调计算方法、广义支路切割法及其并行计算实现；理解大规模互联电力系统进行统一分析时，分块计算是一种提高计算速度的有效处理手段；了解大规模电网分块计算的实际应用。

#### 教学内容

- 1、网络的分块解法
- 2、大规模电网的分解协调计算和并行计算
- 3、广义支路切割法的一般形式
- 4、大规模电网分块计算的实际应用

【思政】通过介绍我国电力系统的规模的庞大性和复杂性，展现我国先辈们的科学精神、智慧及伟大成就，依此启发研究生的爱国、创新精神。

### （六）潮流计算的数学模型及基本解法（4 学时）

#### 教学重点、难点

潮流计算的数学模型和基本解法,具体包括潮流方程的建立和节点类型划分，基于高斯迭代法、高斯-赛德尔法和牛顿-拉夫逊法的潮流计算方法。

#### 基本要求

掌握以节点导纳矩阵为基础的高斯迭代法及其计算性能；掌握以节点阻抗矩阵为基础的高斯-赛德尔迭代法及其计算性能；掌握基于直角坐标和极坐标的牛顿-拉夫逊法；理解电力网络潮流技术问题的数学建模、节点类型划分；了解潮流计算在电力系

统分析中的特殊地位和作用及其对计算方法的要求；了解基于定雅可比矩阵的潮流计算方法。

### 教学内容

- 1、潮流计算问题的数学模型
- 2、以高斯迭代法为基础的潮流计算方法
- 3、高斯-赛德尔潮流计算方法
- 4、牛顿-拉夫逊法潮流计算
- 5、雅可比矩阵的讨论

【思政】通过介绍多种潮流计算方法，启发学生在工程计算中应做到具体问题具体分析。

### （七）潮流方程的特殊解法（2学时）

#### 教学重点、难点

用直流电路模型研究电力系统中有功潮流分布的直流潮流算法及其收敛性与计算速度分析；直流潮流的理论基础；基于定雅可比潮流迭代的快速分解潮流算法；潮流灵敏度的基本分析方法。

#### 基本要求

掌握直流潮流理论基础和算法列式,理解潮流计算中灵敏度分析的基本方法；了解为满足快速计算潮流和电网规划的计算需要,提出稳态潮流的快速算法；了解潮流计算快速分解法的理论基础和计算流程；了解支路开断、发电机输出功率转移分布因子分析计算。

### 教学内容

- 1、直流潮流
- 2、潮流计算的快速分解法
- 3、潮流计算中的灵敏度分析和分布因子

【思政】通过定雅可比矩阵、灵敏度和分布因子分析，引导学生掌握整体和局部的辩证关系。

### （八）潮流计算中的特殊问题（4学时）

#### 教学重点、难点

负荷的电压静特性及其对潮流计算结果的影响；常见的潮流调整计算涉及的节点类型相互转换和多V0节点问题；潮流方程解的存在性、多值性，病态潮流及其解法；连续潮流计算的基本原理；

## 基本要求

掌握 PV 节点与 PQ 节点的相互转换方法；掌握多 V $\theta$ 节点时的潮流计算方法；理解负荷的电压静特性，尤其是发生网络结构变化或发电机开断时计及负荷的电压静特性对稳态潮流计算结果的影响；理解连续潮流计算的基本原理；了解中枢点电压的控制和联络线功率的控制；了解潮流方程中的二次型；了解连续潮流计算的预测步、校正步计算和扩展潮流方程的解法。

## 教学内容

- 1、负荷的电压静态特性
- 2、节点类型的相互转换和多 V $\theta$ 节点问题
- 3、中枢点电压及联络线功率的控制
- 4、潮流方程解的存在性、多值性以及病态潮流解法
- 5、潮流方程中的二次型
- 6、连续潮流计算

【思政】通过对潮流计算中特殊问题的分析，体现矛盾相互转化的思想。

### (九) 潮流计算问题的扩展 (2 学时)

## 教学重点、难点

描述电力系统运行情况的等式约束方程和不等式约束方程；常规潮流以及动态潮流、随机潮流、最优潮流、开断潮流等潮流计算问题的扩展；基于简化梯度法和牛顿法的最优潮流求解方法；最优潮流指标；电力市场环境下的潮流跟踪问题与跟踪算法。

## 基本要求

掌握简化梯度法最优潮流、牛顿法最优潮流求解；理解潮流跟踪的功率比例分配原则、线损等效处理；理解潮流计算扩展问题的变量划分、潮流方程和约束方程的建立；了解常规潮流计算问题的扩展情况；了解最优潮流算法的分类；了解有功、无功交叉逼近法最优潮流算法；了解开断潮流及其求解方法；了解逆流跟踪法和顺流跟踪法。

## 教学内容

- 1、潮流计算问题的扩展
- 2、最优潮流及其求解方法
- 3、开断潮流及其求解方法
- 4、潮流跟踪算法

【思政】响应国家节能减排号召，降低电力系统网损，在常规潮流计算的基础上进行最

优潮流计算。

### **(十) 对称分量法和相序网络 (2 学时)**

#### **教学重点、难点**

故障状态下电力系统分析的对称分量法;相分量法和对称分量法的比较;同步发电机和负荷的序参数;输电线元件的序参数;变压器元件的序参数;故障后电力系统网络模型。

#### **基本要求**

掌握三相对称元件的单相模型表示;掌握故障系统分析的对称分量法;理解同步发电机、负荷、输电线元件、变压器元件的序参数;理解横向故障电路的相分量和序分量模型;了解电力系统的零序网络及零序节点导纳矩阵。

#### **教学内容**

- 1、对称分量法
- 2、电力系统元件的序参数和序网
- 3、故障电路的对称分量模型

【思政】以加拿大电气学家弗特斯克为例,引导学生珍惜时光、不负韶华,以电力系统技术发展为己任。

### **(十一) 电力系统故障分析的计算机方法 (2 学时)**

#### **教学重点、难点**

通过数值仿真的方法研究各种故障对电力系统的影响;电力系统故障分析常规方法;电力系统故障的计算机分析计算方法。

#### **基本要求**

掌握将电网等值到故障端口的故障电流计算方法;理解电力系统故障的计算机规范化分析基本思想;了解故障分析的常规方法特点。

#### **教学内容**

- 1、电力系统故障分析常规方法的原理
- 2、规范化的计算机故障分析计算方法

【思政】认识电力系统安全运行始终与人类共存,培养实践中的高度责任感和社会意识的重要性,培养从业人员的道德品质要求和社会科普责任。

#### **三、课内练习环节的教学内容及基本要求、课时分配和场地**

##### **(一) 相关仿真软件学习 (2 学时)**

### 基本要求：

利用相关软件对电力网络分析问题进行仿真求解。

### 教学内容：

利用免费软件 Matpower 进行电力系统正常运行及故障情况下潮流仿真分析计算。

### 四、本课程教学建议

- (一) 课堂讲授：以教师讲授为主，采用翻转课堂、慕课、多媒体教学等辅助方式。
- (二) 课内讨论：注重理论联系实际，精选教学案例，进行互动讨论。

### 五、本课程评价方式

本课程考核由两部分构成：平时考核和期末考核，总成绩为 100 分，所占比例分别为 60%和 40%。其中平时考核主要由工程实际问题的数值分析报告、学生上课出勤状况、课堂表现组成。期末考核为试卷考试结果。

### 六、建议教材和教学参考书

- (一) 孙伯明，陈寿孙，严正著《高等电力网络分析》，北京：清华大学出版社，第 2 版，2007 年。
- (二) 蔡金锭著，《电力网络分析及其应用》，北京：电子工业出版社，2016 年。
- (三) 王锡凡著，《现代电力系统分析》，北京：科学出版社，2003 年。
- (四) Bergen A R, Vittal, Vijay.《Power system analysis》，2<sup>nd</sup> ed. Pearson Edition, Inc., publishing and Prentice Hall, 2000.
- (五) Smart, MRDean J.《Computer-Aided Power System Analysis》，Florida: CRC Press, 2002.
- (六) Kundur P.《Power System Stability and Control 》，New York McGraw-Hill,1994.
- (七) 陈树柏著，《网络图论及其应用》，北京：科学出版社，1982 年。李庆扬，莫孜中，祁力群著，《非线性方程组的数值解法》，北京：科学出版社，2016 年。

# 《高压电气绝缘及测试技术》教学大纲

适用专业：	电气工程、能源动力	课程性质：	必修
学时数：	32	学分数：	2.0
课程号：	315060030031	开课学期：	第2学期
大纲执笔人：	金海	大纲审核人：	张宏亮

## 一、课程的地位和教学目标

本课程是电气工程硕士研究生的选修课，其目标是使学生熟悉常见高压电气设备的绝缘结构，掌握绝缘电阻（微电流）、电容（介电常数）、损耗因数（介电谱）、绝缘强度等基本介电参数的测量原理和方法；掌握局部放电的测量原理和方法；了解可靠性及寿命试验；熟悉各类电力设备的状态监测与故障诊断技术。

## 二、课程教学内容和基本要求

### （一）常见高压电气设备绝缘结构（4学时）

#### 教学重点、难点：

高压电气设备的典型绝缘结构特征。

#### 教学内容和基本要求

教学内容为：

- 1、电力电容器和电力电缆绝缘；
- 2、高压套管和高压互感器绝缘；
- 3、电力变压器和高压电极绝缘；

通过上述内容学习，掌握常见高压电气设备的绝缘结构特征及其优化设计方法。

### （二）电阻与微电流的测量（4学时）

#### 教学重点、难点：

绝缘电阻测量原理、测量误差来源及其消除方法。

#### 教学内容和基本要求

教学内容为：

- 1、绝缘电阻与电阻率；
- 2、试样与电极；
- 3、绝缘电阻的测量方法

4、测量误差的来源及其消除方法；

5、泄露电流的测量；

通过上述内容学习，掌握绝缘电阻的测量原理和方法。

### **(三) 电容、相对介电常数及损耗因数的测量 (4 学时)**

#### **教学重点、难点：**

电容、介电常数与损耗因数测量原理、测量误差来源及其消除方法。

#### **教学内容和基本要求**

教学内容为：

- 1、介电常数与损耗因数；
- 2、电容、介电常数与损耗因数的测量方法；
- 3、测量误差及其消除方法；
- 4、介电谱的测量。

通过上述内容学习，电容、介电常数、损耗因数及介电谱的测量方法。

### **(四) 介电强度试验 (4 学时)**

#### **教学重点、难点：**

不同电压下的介电强度试验方法。

#### **教学内容和基本要求**

教学内容为：

- 4、介电强度的定义与影响因素；
- 5、试样与电极；
- 6、不同电压下的介电强度试验；
- 7、高压实验室。

通过上述内容学习，掌握介电强度的试验方法，了解高压试验室的要求。

### **(五) 局部放电测量 (4 学时)**

#### **教学重点、难点：**

局部放电电测法的测量原理。

#### **教学内容和基本要求**

教学内容为：

- 1、局部放电机理及表征参数；
- 2、局部放电的测量方法；

- 3、放电位置的测定技术。
- 4、抗干扰技术
- 5、测试结果的分析与评定

通过上述内容学习，掌握常见局部放电的测量方法及其结果分析。

#### **(六) 可靠性试验 (2 学时)**

##### **教学重点、难点：**

加速老化试验的数据分析。

##### **教学内容和基本要求**

教学内容为：

- 1、可靠性试验介绍；
- 2、加速老化试验及其数据的分析；
- 3、热老化试验。
- 4、电老化试验

通过上述内容学习，了解可靠性试验的分类和加速老化试验的数据分析方法。

#### **(七) 在线监测与绝缘诊断 (4 学时)**

##### **教学重点、难点：**

在线监测与绝缘诊断技术原理。

##### **教学内容和基本要求**

教学内容为：

- 1、传感器
- 2、诊断技术的信号处理方法；
- 3、诊断方法；
- 4、绝缘诊断。

通过上述内容学习，了解可靠性试验的分类和加速老化试验的数据分析方法。

### **三、课内练习环节的教学内容及基本要求、课时分配和场地**

电气绝缘测试实验，6 学时，在电信学院专业实验完成。

##### **教学内容和基本要求**

教学内容为：

- 4、绝缘电阻与泄露电流测试；
- 5、介电谱测试；

## 6、介电强度测试；

## 7、局部放电测试。

通过上述内容学习，掌握电气设备绝缘基本介电参数的测量原理和方法，能够对实验结果开展分析。

## 四、本课程教学建议

(一) 课堂讲授：以教师讲授为主，采用多媒体辅助教学。

(二) 课内讨论：注重理论联系实际，精选教学案例，进行互动讨论。

(三) 课内实验：通过实验教学，提升学生对电气绝缘测试的理论认识，并能将实验结果用于电气设备绝缘诊断分析中。

## 五、本课程评价方式

本课程考核方式为综合测评，成绩生成主要参考学生上课出勤情况、课堂表现、课后作业质量、课内实验报告以及综述报告质量。

## 六、建议教材和教学参考书

(一) 严璋，朱德恒. 高电压绝缘技术，中国电力出版社，2015.

(二) 邱昌容，曹晓珑. 电气绝缘测试技术，机械工业出版社，2002.

(三) 朱德恒，严璋. 电气设备状态监测与故障诊断技术，中国电力出版社，2009

(四) Ryan, Hugh McLaren. High voltage engineering and testing, IET, 2013.

# 《交直流柔性输电系统》教学大纲

适用专业：	电气工程	课程性质：	选修
学时数：	32	学分数：	2
课程号：	315060030073	开课学期：	第2学期
大纲执笔人：	王海亮	大纲审核人：	杨维满

## 一、课程的地位和教学目标

本课程是电气工程学术型硕士研究生培养方案和要求所开设的一门专业选修课。课程将基础理论和工程实践相结合，主要讲授交直流柔性输电技术的基本原理、关键组件、系统应用及未来发展趋势。通过本课程的学习，使学生具备如下能力：掌握交直流柔性输电技术的基本原理和关键技术；了解柔性输电系统的组成和运行机制；了解交直流柔性输电技术的工程应用和发展趋势；培养学生的科学思维能力、创新能力和自主学习能力；培养学生的团队协作与创新能力，为未来的研究和工作的打下坚实基础。

## 二、课程教学内容和基本要求

### （一）柔性直流输电技术基础（4学时）

#### 教学重点、难点：

柔性直流输电系统的发展历程；柔性直流输电技术的基本原理和关键技术。

#### 教学内容和基本要求

- 1、了解柔性直流输电技术的定义、发展历程及优势；
- 2、了解柔性直流输电系统的基本原理和关键技术，主要包括模块化多电平换流器（MMC）、脉宽调制(PWM)等；
- 3、学习柔性直流输电技术的工程应用案例；
- 4、掌握柔性直流输电系统的 Matlab/Simulink 建模及仿真分析。

#### 课程思政：

- 1、通过分析模块化多电平换流器技术和 PWM 技术的发展及应用，突出科学研究过程中学科交叉的重要性。

### （二）柔性交流输电技术（FACTS）（14学时）

#### 教学重点、难点：

柔性交流输电技术的定义、原理及功能。

#### 教学内容和基本要求

- 1、了解柔性交流输电技术的定义、原理及功能；
- 2、理解柔性交流输电系统在串并联补偿装置中的工作原理；
- 3、了解柔性交流输电技术运行时的相关先进控制策略；
- 4、掌握柔性交流输电系统的 Matlab/Simulink 建模及仿真分析；
- 5、了解柔性交流输电技术的工程应用案例，如提高系统稳定性、降低功率损耗等。

#### **课程思政：**

- 1、关注柔性交流输电技术的前沿技术，增强学生的科技创新责任与使命感；
- 2、讨论柔性输电技术前沿，鼓励学生务实研究基础，为祖国的输电技术发展做贡献。

### **(三) 交直流混合输电系统 (14 学时)**

#### **教学重点、难点：**

交直流混合输电系统的组成、原理及优势。

#### **教学内容和基本要求**

- 1、了解交直流混合输电系统的组成；
- 2、理解交直流混合输电技术的原理；
- 3、掌握交直流输电技术的优势；
- 4、理解交直流混合输电系统中柔性直流输电和柔性交流输电技术的融合应用过程；
- 5、理解交直流混合输电系统相关先进控制策略的发展前景。

#### **课程思政：**

- 1、通过了解柔性输电系统的发展与技术进步，引导学生认识到创新精神的重要性；
- 2、调研我国柔性输电工程的现状，了解我国在该领域取得的重大技术突破，鼓励学生密切关注前沿科技，增强创新意识。

#### **三、课内练习环节的教学内容及基本要求、课时分配和场地**

无

#### **四、本课程教学建议**

- (一) 先修或同步选修现代电力电子课程；
- (二) 课堂讲授：以教师讲授为主，采用多媒体辅助教学；
- (三) 课内讨论：注重理论联系实际，精选案例，进行互动讨论；
- (四) 仿真部分由学生自主完成，并撰写仿真研究报告，以加深对课堂内容的理解。

#### **五、本课程评价方式**

本课程考核方式为综合测评，包括 3 部分：课堂表现（10%）+课后作业和仿真报告（30%）+综述报告（60%）。

## 六、建议教材和教学参考书

### （一）建议教材：

1. 徐政. 柔性直流输电系统（第二版）[M]. 北京：机械工业出版社，2021
2. 耿建凤. 柔性交流输电系统应用技术[M]. 北京：中国电力出版社，2011

### （二）教学参考书：

1. 王兴贵，陈伟，张巍，等. 现代电力电子技术[M]. 北京：中国电力出版社，2010.
2. 谢小荣、姜齐荣. 柔性交流输电系统的原理与应用[M]. 北京：清华大学出版社，2006.
3. 李可军，孙凯祺. 柔性直流输电系统应用与控制[M]. 北京：科学出版社.
4. 肖世杰，阙波，李继红，等. 基于模块化多电平换流器的柔性直流输电工程技术[M]. 北京：中国电力出版社，2018.
5. 赵成勇，许建中，李探. 模块化多电平换流器直流输电建模技术[M]. 北京：中国电力出版社，2017.

# 《电力电子系统建模与控制》教学大纲

适用专业：	电气工程、能源动力	课程性质：	选修
学时数：	32	学分数：	2.0
课程号：	315060010006	开课学期：	第1学期
大纲执笔人：	杨维满	大纲审核人：	王兴贵

## 一、课程的地位和教学目标

本课程是根据电气工程学术型及能源动力电气工程专业硕士研究生培养方向和要求所开设的一门专业学位课。课程将基础理论和工程实践相结合，主要讲授电力电子系统的动态模型建立方法和控制系统的设计方法：涉及状态空间平均法、直流斩波变换器动态模型、直流斩波变换器反馈控制设计、逆变器的建模与输出滤波器设计、逆变器反馈控制设计、三相功率变换器动态模型与控制等内容。

通过本课程的教学，使学生达到如下课程目标。

**目标1（知识目标）：**掌握电力电子系统建模基本概念，电力电子系统平均模型、小信号模型常用建模方法和传统线性控制器的设计方法；了解获得平均模型、小信号模型的其它一些方法以及直流变换器、逆变器的并联控制方法。

**目标2（能力目标）：**能够熟练应用电力电子系统建模方法进行直流斩波器、逆变器等电力变换器建模和经典控制器的设计；培养研究生利用实验平台构建电力电子系统过程中发现问题、分析问题、解决问题和数据处理的能力，以及解决复杂电气工程问题的创新能力与综合能力。

**目标3（德育目标）：**帮助学生树立社会责任意识，培养精益求精的工匠精神、积极求实的创新精神、自主的学习能力、高尚的职业道德，激发学生科技报国的家国情怀与使命担当。

## 二、课程教学内容和基本要求

### （一）课程导论（2学时）

**教学重点、难点：**【重点】电力电子系统的静态和动态指标

### 教学内容和基本要求

- 1、了解电力电子技术的发展趋势；
- 2、掌握电力电子系统的一般构成；
- 3、理解电力电子系统常见的静态和动态指标；

4、理解反馈控制对系统输入电压扰动、负荷扰动的抑制作用。

【思政】从发展趋势部分引出我国电力电子专业、学科的起步情况，通过汪懋生院士展现我国先辈们的科学精神、智慧及伟大成就，依此启发研究生的爱国、创新精神。

### **(二) DC/DC 变换器的动态建模 (8 学时)**

**教学重点、难点：**【重点】状态空间平均法；【难点】平均模型线性化

#### **教学内容和基本要求**

- 1、掌握电力电子系统状态空间平均模型及动态模型建立方法；
- 2、理解电力电子系统统一电路模型；
- 3、掌握典型 DC/DC 直流斩波电能变换系统的动态模型。

【思政】利用建立大信号模型过程中的高频、低频分量，培养研究生相对论思想，以及抓紧主要矛盾、忽略次要矛盾的思想。

### **(三) DC/DC 变换器反馈控制设计与控制方法 (7 学时)**

**教学重点、难点：**【重点】闭环控制与稳定性；【难点】补偿网络的设计

#### **教学内容和基本要求**

- 1、理解频率特性的概念；
- 2、理解电力电子系统闭环控制与稳定性分析方法；
- 3、掌握 DC/DC 变换器补偿网络的设计方法。

【思政】通过“国宝级专家马伟明院士和他的黑科技”这个课程思政元素，带领学生体验投身国家重大工程的价值和意义，以培养具有大国工匠精神的家国情怀。

### **(四) 三相功率变换器的动态模型 (6 学时)**

**教学重点、难点：**【重点】不同坐标系下三相 PWM 变流器开关周期平均模型；【难点】小信号交流模型

#### **教学内容和基本要求**

- 1、掌握三相电量的空间矢量表示和坐标变换；
- 2、理解三相电压型 PWM 整流器、PWM 逆变器的开关周期平均模型；
- 3、理解 dq 旋转坐标系下三相 PWM 变流器的建模方法；
- 4、理解三相功率变换器的小信号交流模型；
- 5、了解三相电压型 PWM 整流器的 d、q 解耦控制。

### **(五) DC-AC 和 AC-DC 功率变换器线性控制方法 (3 学时)**

**教学重点、难点：**【重点】比例谐振控制器；【难点】旋转坐标与比例谐振控制的本质关系

### **教学内容和基本要求**

- 1、理解谐振控制器
- 2、掌握比例谐振控制器
- 3、了解具体实现时的若干问题

【思政】结合储能领域 DC/AC、DC/DC 应用控制，通过“韩国储能电站连续起火事件”反面典型事件，树立严谨、客观、守正的工程师职业道德观，培养良好的职业道德和社会责任意识。

### **（六）变流器并联系统动态模型及均流控制（3 学时）**

**教学重点、难点：**【重点】并联均流控制

### **教学内容和基本要求**

- 1、了解 DC/DC 变换器模块并联均流；
- 2、理解平均电流均流法与 DC/DC 变换器模块的动态模型；
- 3、了解逆变器并联控制方式；
- 4、理解并联逆变器系统的建模方法。

### **（七）电力电子系统建模与控制器设计的实际应用（实操、3 学时）**

#### **A 组：电力电子系统建模方法在电机驱动及控制系统中应用**

**教学重点、难点：**【重点】电机驱动及控制系统中电力电子系统的场景化应用分析；【难点】结合电机驱动及控制实际场景的电力电子系统参数设计

### **教学内容和基本要求**

- 1、了解电机驱动及控制系统中典型电力电子系统的应用情况；
- 2、理解电机驱动及控制场景中电力电子系统的运行要求、主电路与反馈控制器参数设计方法；
- 3、掌握利用软件平台进行电机驱动及控制仿真系统搭建、参数验证、数据分析的方法。

#### **B 组：电力电子系统建模方法在新能源分布式发电中应用**

**教学重点、难点：**【重点】新能源分布式发电中电力电子系统的场景化分析；【难点】结合新能源分布式发电场景的电力电子系统参数设计

### **教学内容和基本要求**

- 1、了解新能源分布式发电中典型电力电子系统的应用情况；

2、理解新能源分布式发电场景中电力电子系统的运行要求、主电路与反馈控制器参数设计方法；

3、掌握利用软件平台进行新能源分布式发电仿真系统搭建、参数验证、数据分析的相关方法。

三、课内练习环节的教学内容及基本要求、课时分配和场地

### 教学内容及基本要求

**电力电子系统建模与控制器设计的实际应用（实操、3学时）**

**A组：电力电子系统建模方法在电机驱动及控制系统中应用（实操3学时、理论授课教室内）**

- 1、认识软件平台的仿真环境；
- 2、认识软件平台中电机驱动系统单元模块的特性与基本功能；
- 3、学会仿真环境参数和电机驱动及控制系统中主电路元器件、控制电路参数设定方法；
- 4、掌握仿真数据导入/导出，电机驱动及控制系统分析和参数验证的常用方法。

**B组：电力电子系统建模方法在新能源分布式发电中应用（实操3学时、理论授课教室内）**

- 1、认识软件平台中新能源分布式发电单元模块的特性与基本功能；
- 2、学会新能源分布式发电中DC/DC、DC/AC主电路元器件、控制电路参数设定方法；
- 3、掌握新能源分布式发电中典型电力电子系统分析和参数验证的常用方法。

### 四、本课程教学建议

- （一）理论知识讲解和电力电子系统工程案例相结合；
- （二）方法理论学习与典型工程设计、仿真验证相结合。

### 五、本课程评价方式

课程评价方式包括三部分：课堂表现与平时作业（10%）+思政调查问卷完成情况（10%）+实操设计报告完成情况（30%）+期末考试卷面成绩（50%）

### 六、建议教材和教学参考书

**教材：**徐德鸿，电力电子系统建模及控制，机械工业出版社，2005.

#### **教学参考书：**

- （一）Robert W. Erickson and Dragan Maksimovic, Fundamentals of Power Electronics. Second Edition. Secaucus, NJ, USA: Kluwer Academic Publishers, 2000.

(二) 张卫平, 开关变换器的建模与控制, 机械工业出版社, 2020.

(三) 电力电子变换器的建模和控制, 赛迪克·巴查(Seddik Bacha) 等著, 袁敞等译, 机械工业出版社, 2017。

(四) 王兴贵, 陈伟, 等.现代电力电子技术, 中国电力出版社, 2017。

(五) 王兆安, 刘进军, 等. 电力电子技术 (第五版), 机械工业出版社, 2009。

# 《嵌入式系统原理与应用》教学大纲

适用专业：	控制科学与工程、电气工程、能源动力、电子信息	课程性质：	必修
学时数：	32	学分数：	2.0
课程号：	315060020011	开课学期：	第2学期
大纲执笔人：	曾贤强	大纲审核人：	魏腾飞

## 一、课程的地位和教学目标

本课程是嵌入式系统原理与应用开发方面的专业课。通过本课程的学习，使学生掌握嵌入式系统的基本原理、嵌入式系统体系结构、STM32F407 微控制器及其应用、驱动程序开发和嵌入式应用系统的设计和开发技术，了解软硬件协同设计方法和嵌入式系统的最新发展。培养学生分析问题和解决问题的能力，为学生从事与嵌入式系统有关的应用系统设计和开发打下基础。

## 二、课程教学内容和基本要求

### （一）嵌入式系统基础和 ARM 体系结构（3 学时）

#### **教学重点、难点：**

嵌入式系统的基本概念，ARM 处理器的工作状态与工作模式，ARM 寄存器组织，ARM 的异常中断。

#### **教学内容和基本要求：**

- 1、理解嵌入式系统的基本概念；
- 2、了解嵌入式系统的组成结构；
- 3、了解嵌入式系统的开发流程；
- 4、了解嵌入式微处理器。
- 5、理解 ARM 处理器的工作状态与工作模式；
- 6、理解 ARM 寄存器组织；
- 7、理解 ARM 的异常中断；
- 8、了解 ARM 的组织结构；

9、了解 ARM 的存储器和片上总线。

**思政：**

能够了解国内外嵌入式技术领域的最新发展动向，热爱科学，树立国家、制度、文化自信。

**(二) ARM 和 Thumb 指令集，基于 ARM 的程序设计和应用系统开发 (3 学时)**

**教学重点、难点：**

ARM 和 Thumb 指令集，ARM 汇编语言程序设计，C 与汇编语言混合编程，嵌入式系统 ARM 启动过程分析，嵌入式系统的存储映射和软件设计，ARM 应用系统硬件设计概述，处理器详解，外围电路设计，接口电路设计。

**教学内容和基本要求：**

- 1、了解 ARM 指令集概述；
- 2、理解 ARM 指令寻址方式；
- 3、理解 ARM 指令；
- 4、了解 Thumb 指令集概述；
- 5、了解 Thumb 指令。
- 6、理解 ARM 汇编语言的伪指令与宏指令；
- 7、掌握 ARM 汇编语言程序设计；
- 8、掌握 C 与汇编语言混合编程；
- 9、理解嵌入式 C 程序设计基础；

**思政：**

能够总结国内与国外的差距，介绍软件领域的发展及技术瓶颈等，结合 35 项卡脖子技术，理解嵌入式软件系统在国防、科技等方面的重要作用，实现国产核心软件的自主。

**(三) STM32F407 微控制器及其应用 (10 学时)**

**教学重点、难点：**

STM32F407 微控制器基础，STM32F407 控制器的外围电路设计和接口电路设计。

**教学内容和基本要求：**

- 1、理解基于 STM32 的嵌入式系统应用；
- 2、了解 STM32 处理器；
- 3、掌握 STM32 外围电路设计；

- 4、掌握 STM32 接口电路设计;
- 5、GPIO 结构及应用;
- 6、时钟系统和定时器系统;
- 7、ADC 和 DAC;
- 8、DMA、IIC、LCD 和 SPI 控制器;
- 9、外部中断事件控制器和外部存储控制器;

#### **思政:**

结合 35 项卡脖子技术,理解嵌入式硬件系统在国防、科技等方面的重要作用,实现核心芯片的自主。

#### **三、课内练习环节的教学内容及基本要求、课时分配和场地**

嵌入式系统应用程序开发,8 学时,其余不占用课内学时,在电信学院专业实验室完成。

#### **教学内容及基本要求:**

掌握嵌入式系统开发的基本方法,完成一个完整的、满足应用要求功能的嵌入式系统程序,并进行调试和功能测试。

- (一) 学会嵌入式系统硬件设计和软件开发的基本流程;
- (二) 学会基本嵌入式操作系统 Linux 的移植和驱动开发;
- (三) 学会基于 STM32F407 的嵌入式应用程序开发和调试;
- (四) 学会嵌入式应用程序开发和调试;

#### **思政:**

能够了解国内外嵌入式技术领域的最新发展动向,热爱科学,树立国家、制度、文化自信,结合自主品牌,渗透自主研发、自力更生等概念、精神。

#### **四、本课程教学建议**

- (一) 课堂讲授:以教师讲授为主,采用多媒体辅助教学。
- (二) 课内讨论:注重理论联系实际,精选教学案例,进行互动讨论。
- (三) 嵌入式应用程序开发贯穿课程始终,由学生在阅读文献的基础上,自主选题、自主完成,并完成基于 STM32 的应用程序开发。教师辅导答疑,对学生的程序进行运行检查。学生在不断练习中加深对课堂内容的理解。

#### **五、本课程评价方式**

本课程考核由两部分构成：平时考核和期末考核，总成绩为 100 分，所占比例分别为 40%和 60%。其中平时考核主要由学生上课出勤状况、课堂表现和实验组成。期末考核为嵌入式应用程序开发与调试大作业以及嵌入式应用系统开发报告。

## 六、建议教材和教学参考书

- (一) 田泽. 嵌入式系统开发与应用教程. 北京航空航天大学出版社, 2010.
- (二) 冯新宇. ARM11 嵌入式 Linux 系统实践与应用. 机械工业出版社, 2012
- (三) 林庆峰. ARM Cortex-M 体系架构与接口开发实战. 中国水利水电出版社, 2019.
- (四) 武俊鹏. 基于 ARM 的嵌入式系统设计实验与实践教程. 清华大学出版社, 2011.
- (五) 张洋. 精通 STM32F4 库函数版 第 2 版. 北京航空航天大学出版社, 2021.
- (六) 韦东山. 嵌入式 Linux 应用开发完全手册. 人民邮电出版社, 2008.
- (七) Andrew N. Sloss 著, 沈建华 译. ARM 嵌入式系统开发—软件设计与优化. 北京航空航天大学出版社, 2005.
- (八) 常华. 嵌入式系统原理与应用. 清华大学出版社, 2013.
- (九) 刘火良. STM32 库开发实战指南. 机械工业出版社, 2013.
- (十) 徐灵飞 等, 《嵌入式系统设计 (基于 STM32F4)》电子工业出版社, 2020.

# 《现代电机调速理论与控制技术》教学大纲

适用专业： 电气工程、能源动力  
控制科学与控制工程

课程性质： 必修

学时数： 32

学分数： 2

课程号： 315060020018

开课学期： 第2学期

大纲执笔人： 王兴贵

大纲审核人： 薛晟

## 一、课程的地位和教学目标

本课程是电气工程、能源动力、控制科学与控制工程领域的一门专业课。研究生通过本课程的学习能够掌握现代电机调速理论的基本概念、内涵、分类及控制技术；能够应用控制理论、微电子技术、电力电子技术、计算机控制技术等工具研究现代电机控制系统及其工程设计。

## 二、课程教学内容和基本要求

### （一）绪论（2学时）

#### **教学重点、难点：**

现代交流调速系统中的主要电力电子器件、微处理器和相关控制理论。

#### **教学内容和基本要求**

- 1、了解交流调速系统的发展
- 2、理解现代交流调速系统的物质基础
- 3、掌握交流调速系统的基本类型

### （二）异步电机转差功率消耗型调速系统（3学时）

#### **教学重点、难点：**

闭环控制的变压调速系统及其静特性、近似的动态结构图。

#### **教学内容和基本要求**

- 1、了解异步电机转差功率消耗型调速的主要种类。
- 2、理解异步电机改变电压时的机械特性、变压调速系统主电路结构。
- 3、掌握转差功率损耗分析。

### （三）异步电动机双馈调速系统（6学时）

#### **教学重点、难点：**

双馈调速系统在各种工作状态下功率的传递方向。

### **教学内容和基本要求**

- 1、了解异步电机串级调速的基本原理。
- 2、理解异步电机转子附加电动势的作用、电气串级调速系统的结构、双馈的概念。
- 3、掌握双馈调速的工作原理、双馈调速系统的再生制动、双馈调速系统的优点。

#### **(四) 异步电机变压变频调速原理及变频器 (6 学时)**

##### **教学重点、难点:**

电压空间矢量控制。

### **教学内容和基本要求**

- 1、了解异步电机变压变频调速的基本控制方式、电力电子变压变频装置。
- 2、理解电压和频率协调控制时的机械特性、恒转矩控制、恒功率控制。
- 3、掌握电压空间矢量、电压与磁链空间矢量的关系、六拍阶梯波逆变器供电时电动机的旋转磁场、电压空间矢量的线性组合。

#### **(五) 矢量控制系统 (6 学时)**

##### **教学重点、难点:**

按转子磁链定向的矢量控制方程。

### **教学内容和基本要求**

- 1、了解坐标变换、异步电机动态数学模型的性质。
- 2、理解矢量控制的基本思想。
- 3、掌握按转子磁链定向的矢量控制方程及其解耦控制、转速和磁链闭环控制的矢量控制系统（直接矢量控制系统）、磁链开环转差型矢量控制系统（间接矢量控制系统）。

#### **(六) 直接转矩控制系统 (3 学时)**

##### **教学重点、难点:**

转矩和磁链模型。

### **教学内容和基本要求**

- 1、了解直接转矩控制系统与矢量控制系统的差异。
- 2、理解直接转矩控制的基本思想。
- 3、掌握直接转矩控制系统的原理和特点、直接转矩控制系统的控制规律和反馈模型。

#### **(七) 自适应控制 (2 学时)**

##### **教学重点、难点:**

模型参考自适应控制。

### **教学内容和基本要求**

- 1、了解模糊控制在现代电机调速系统中的应用。
- 2、理解自适应控制的思想。
- 3、掌握模型参考自适应、滑模变结构控制在现代电机调速系统中的应用。

### **(八) 多电平变流器 (2 学时)**

#### **教学重点、难点:**

多电平变流器的主要拓扑结构。

### **教学内容和基本要求**

- 1、了解两电平与多电平变流器的差别。
- 2、理解两电平与多电平的概念。
- 3、掌握多电平变流器的基本形式、三电平中压变流器、单元串联中压变流器、MMC 变流器的拓扑结构和特点、主要调制技术。

### **(九) 现代电机调速系统 (2 学时)**

#### **教学重点、难点:**

现代电机调速系统的主要控制方法比较。

### **教学内容和基本要求**

- 1、了解现代电机调速系统的主要控制方法、主电路种类。
- 2、理解各种系统的应用领域。
- 3、掌握现代电机控制系统的主要形式、主电路结构类型、主要控制方法、应用领域。

### **三、课内练习环节的教学内容及基本要求、课时分配和场地**

无

### **四、本课程教学建议**

- (一) 学生应先掌握好自动控制理论、现代电力电子技术、现代电力系统分析等课程的相关知识;
- (二) 先修或同步选修现代电力系统分析研究生课程;
- (三) 课程内容以集中辅导为主, 辅以重点内容讲授。

### **五、本课程评价方式**

综述报告

### **六、建议教材和教学参考书**

- (一) 建议教材:

陈伯时,陈敏逊. 交流调速系统. 机械工业出版社. 2013

(二) 教学参考书:

1. 张 皓, 续明进, 杨 梅. 高压大功率交流变频调速技术. 机械工业出版社. 2007
2. 马小亮. 大功率交-交变频调速及矢量控制技术. 机械工业出版社. 2004
3. 周京华, 陈亚爱. 高性能级联型多电平变换器原理及应用. 机械工业出版社. 2013
4. 胡育文, 黄文新等. 异步电机(电动、发电)直接转矩控制系统. 机械工业出版社. 2012
5. 张超. 国内外直线电机的应用与趋势研究. 中国纺织出版社. 2018
6. (美)纳斯尔, (美)波尔达同著. 直线电机. 科学出版社. 1982
7. 王斌锐, 李璟等. 运动控制系统. 清华大学出版社. 2020
8. 宋云亭, 高峰等. 大规模新能源发电与多直流送端电网协调运行技术. 中国电力出版社. 2015
9. 吴贵文. 运动控制系统. 机械工业出版社. 2017
9. 熊田忠. 运动控制技术与应用. 中国轻工业出版社. 2016
10. 张承慧, 崔纳新, 李珂编著. 交流电机变频调速及其应用. 机械工业出版社. 2018
11. 汤蕴璆 王成元. 交流电机动态分析. 机械工业出版社. 2015
12. 陈霞. 运动控制系统. 中国电力出版社. 2016

# 《现代电力系统分析》教学大纲

适用专业：	电气工程 能源动力（电气工程）	课程性质：	学位课
学时数：	32	学分数：	2
课程号：	315060010003	开课学期：	1
大纲执笔人：	张明光	大纲审核人：	张明光，陈伟

## 一、课程的地位和教学目标

本课程是电力系统自动化专业和电气工程专业硕士研究生的学位课。是一门理论性和实践性都很强的课程。本课程的指导思想是为电力系统行业培养高层次的专业技术人才，并为其他相关专业选修课程学习和开展学术研究奠定理论基础。

本课程是在本科电力系统稳态分析和电力系统暂态分析的基础上，进一步全面深入地学习现代电力系统分析的基本理论和分析方法，通过本课程的学习，使学生了解当今电力系统分析的新的控制方法，理解和掌握复杂潮流计算方法、状态估计算法、安全分析计算方法、复杂故障分析方法、FACTS 系统和 HVDC 的相关理论和分析方法以及电力系统稳定性分析方法等，研究生通过学习该课程后，使学生具备坚实的理论基础和较强的工程实践能力，并能够运用有关理论分析实际电力系统控制问题，并在工程分析计算和解决实际问题的能力上得到训练和培养。

## 二、课程教学内容和基本要求

### （一）复杂电力系统潮流计算（6学时）

#### **教学重点、难点：**

快速解耦法、最优潮流算法

#### **教学内容和基本要求：**

1. Gauss 消去法和因子表
2. 牛顿法潮流计算
3. 快速解耦法
4. 保留非线性潮流计算
5. 最优潮流
6. 最小化潮流及直流潮流

了解 Gauss 消去法和因子表原理、最小化潮流及直流潮流算法，理解保留非线性潮流计算的原理，掌握牛顿法潮流计算、快速解耦法、最优潮流算法等。

【思政】了解电力系统发展史，展现先辈们的科学精神和智慧。响应国家节能减排号召，降低电力系统网损，在常规潮流计算的基础上进行最优潮流计算。

## **(二) 状态估计 (4 学时)**

### **教学重点、难点：**

加权最小二乘状态估计算法

### **教学内容和基本要求：**

1. 概述
2. 最小二乘状态估计
3. 静态最小二乘状态估计的改进
4. 不良数据的检测和辨识

了解状态估计的基本概念，理解状态估计的参数指标和不良数据的检测和辨识方法，掌握加权最小二乘状态估计算法。

【思政】明确专业学习方向和目标，激发专业学习热忱，提高电力系统专业素养，培养精益求精的工匠精神。

## **(三) 电力系统静态安全分析 (4 学时)**

### **教学重点、难点：**

加权最小二乘状态估计算法

### **教学内容和基本要求：**

1. 概述
2. 电力系统静态等值
3. 支路开断模拟
4. 发电机开断模拟

了解电力系统发电机开断模拟过程，理解静态等值基本原理，掌握电力系统静态等值和支路开断模拟算法。

【思政】课间播放“十四五”国网规划小视频，明晰电力设施与大科学装置建设、国家电网战略力量发展过程中的奋斗和创新精神，激发中华民族自豪感。

## **(四) 复杂故障分析电力系统静态安全分析 (6 学时)**

### **教学重点、难点：**

坐标变换、双重故障分析

**教学内容和基本要求：**

1. 坐标变换
2. 简单故障的再分析
3. 复杂故障分析模型及网络端口理论
4. 双重故障分析和多重故障分析

了解简单故障的再分析和多重故障分析方法，理解复杂故障分析模型及网络端口理论，掌握电力系统双重故障分析方法。

【思政】认识电力系统安全运行始终与人类共存，培养实践中的高度责任感和社会安全意识的重要性，培养从业人员的道德品质要求和社会科普责任。

**(五) FACTS 技术及 HVDC (4 学时)**

**教学重点、难点：**

FACTS 技术原理、STATCOM 原理和统一控制器 UPFC，柔性直流输电系统

**教学内容和基本要求：**

1. 概述
2. FACTS 技术原理
3. HVDC 输电技术

了解直流输电的分类和原理，掌握柔性交流输电的基本原理和控制方法，理解柔性直流输电系统的工作原理。

【思政】我国柔性直流输电视频，“十四五”规划方案中碳达峰、碳中和的目标建设。

**(六) 电力系统模型 (6 学时)**

**教学重点、难点：**

同步发电机模型

**教学内容和基本要求：**

1. 同步发电机模型
2. 负荷模型
3. 原动机及调速系统模型
4. 直流系统模型概述
5. 电动机模型

了解原动机及调速系统模型和直流系统模型，理解负荷模型和电动机模型，掌握同步发电机数学模型、基本参数和稳态方程式。

【思政】我国能源互联网发展规划，明晰传统电力行业面临的困境及创新精神的重要性，增强学生发展我国未来电力工业技术的责任感和使命感。

### **(七) 电力系统稳定性分析 (2 学时)**

#### **教学重点、难点:**

静态稳定性小干扰法分析，暂态稳定性分析数值解法

#### **教学内容和基本要求:**

1. 概述
2. 静态稳定性分析方法
3. 暂态稳定性分析数值解法

了解电力系统稳定性的基本含义，理解稳定性分析方法，掌握静态稳定性和暂态稳定性的数值分析方法。

【思政】清楚学校培养电气专业人才的初心和使命，明晰发展电力事业的责任与担当，发扬敢为人先的工大红柳精神，坚定学习奋斗和努力的方向。

### **三、课内练习环节的教学内容及基本要求、课时分配和场地**

#### **教学内容及基本要求 (课外 4 学时，每人选做一个专题模块)**

- (一) 潮流计算专题模块 (课外研讨)
- (二) 静态稳定性分析专题模块 (课外研讨)
- (三) 暂态稳定性分析专题模块 (课外研讨)
- (四) 柔性交流输电系统专题模块 (课外研讨)

按照课堂理论知识的内容开展相应的专题研讨，认识专题研讨的意义，学会电力系统仿真软件 MATLAB 和 PSCAD 的应用，掌握潮流计算，静态稳定性和暂态态稳定性的仿真算法。

### **四、本课程教学建议**

- (一) 具有本科电力系统稳态分析和暂态分析的基础
- (二) 具有自动控制理论的基础
- (三) 具有数值计算和矩阵理论的基础知识

### **五、本课程评价方式**

闭卷考试+专题研讨

## 六、建议教材和教学参考书

- (一) 诸骏伟. 电力系统分析, 上册, 中国电力出版社, 1995 年版;
- (二) 夏道止. 电力系统分析, 下册, 中国电力出版社, 1995 年版;
- (三) 余贻鑫, 王成山. 电力系统稳定性理论与方法. 科学出版社. 1999;
- (四) 倪以信, 陈寿孙, 张宝霖. 动态电力系统的理论和分析. 清华大学出版社. 2002;
- (五) 王锡凡, 方万良, 杜正春. 现代电力系统分析. 科学出版社. 2003;
- (六) 刘天琪, 邱晓燕. 电力系统分析理论. 科学出版社. 2005;
- (七) 刘天琪, 邱晓燕, 李华强. 现代电力系统分析理论与方法. 中国电力出版社. 2007. 8;
- (八) 郭志忠. 电力网络解析论. 科学出版社. 2008;
- (九) 刘天琪, 邱晓燕, 李华强. 现代电力系统分析理论与方法 (第 2 版). 中国电力出版社. 2016. 9;
- (十) 艾芊. 电力系统稳态分析. 清华大学出版社. 2016. 10.

# 《工程电介质物理》教学大纲

适用专业：	电气工程	课程性质：	必修
学时数：	32	学分数：	2.0
课程号：	315060030030	开课学期：	第2学期
大纲执笔人：	张宏亮	大纲审核人：	李康乐 金海

## 一、课程的地位和教学目标

本课程是电气工程硕士研究生的选修课，其目标是使学生掌握电介质极化、损耗、电导和击穿四大基本电气特性参数与物质微观结构关系的基本规律和基本概念，熟悉电介质理论中基础性、普遍性的理论及常用实验研究方法，了解电介质和部分其他功能材料的性质、改性方法和依据；了解“双碳”目标下高端电力装备绝缘材料和环保型绝缘材料的研究现状及发展趋势，理解工程实践对环境、社会可持续发展的影响，增强社会责任感。主要内容包括电介质的电极化响应特性、电介质中的电荷转移现象及机理、电介质实验研究方法、电介质介电特性及其应用。

## 二、课程教学内容和基本要求

### （一）电介质物理相关基础理论理论（4学时）

#### 教学重点、难点：

量子力学、统计力学和固体能带理论概要。

#### 教学内容和基本要求

教学内容为：

- 1、原子结构；
- 2、化学键；
- 3、量子力学概要；
- 4、统计力学概要
- 5、晶体结构与晶体缺陷
- 6、固体的能带理论。

通过上述内容学习，熟悉电介质物理性能的基础理论。

## **(二) 电介质的极化 (6 学时)**

### **教学重点、难点:**

电介质的极化机理、极化宏观参数与电介质微观参数的联系。

### **教学内容和基本要求**

教学内容为:

- 1、电介质的分类;
- 2、电介质的极化;
- 3、电介质的极化强度与介电常数;
- 4、电介质的宏观参数与微观参数的关系;
- 5、电介质的极化机理与极化率;

通过上述内容学习,熟悉电介质极化的基本物理过程,理解宏观极化参数及其与微观参数的关系,掌握电介质极化过程的表征方法。

## **(三) 电介质的损耗 (6 学时)**

### **教学重点、难点:**

交变电场下电介质的损耗理论与复介电常数。

### **教学内容和基本要求**

教学内容为:

- 1、电介质损耗的产生原因;
- 2、阶跃电压下极化的建立过程;
- 3、交变电场下电介质的损耗理论;
- 4、复介电常数与柯尔-柯尔图;
- 5、实际电介质在正弦交变电场下的极化损耗特性;
- 6、复合电介质的极化和损耗;
- 7、光频范围内的色散和吸收

通过上述内容学习,掌握电介质损耗的产生原因,理解不同电压作用下不同电介质的极化损耗特性。

## **(四) 电介质的电导 (6 学时)**

### **教学重点、难点:**

弱场和强场下的电导特性变化。

### **教学内容和基本要求**

教学内容为：

- 1、电介质电导的基本特性；
- 2、气体电介质的电导；
- 3、液体电介质的电导；
- 4、固体电介质的电导；
- 5、固体电介质的表面电导。

通过上述内容学习，掌握不同电介质材料的电导特性，掌握不同材料、不同外部条件下的电导模型。

#### **(五) 电介质的击穿 (4 学时)**

**教学重点、难点：**

固体电介质击穿的试验现象与理论模型。

#### **教学内容和基本要求**

教学内容为：

- 1、击穿的定义；
- 2、气体电介质的击穿；
- 3、液体电介质的击穿；
- 4、固体电介质的击穿；

通过上述内容学习，掌握不同电介质材料击穿的物理过程及其理论模型。

#### **(六) 电介质的实验研究 (4 学时)**

**教学重点、难点：**

复介电常数的测量与介电谱分析。

#### **教学内容和基本要求**

教学内容为：

- 1、复介电常数与介电谱；
- 2、红外吸收谱；
- 3、光散射；
- 4、声学研究；

通过上述内容学习，掌握电介质材料实验研究的常用方法。

#### **课程思政**

- 1、国产高端介质材料测试分析仪器现状分析。

## (七) 电介质的应用及其改性 (2 学时)

### 教学重点、难点:

电介质材料的应用。

### 教学内容和基本要求

教学内容为:

- 1、电介质材料的应用;
- 2、电介质材料的改性;

通过上述内容学习,掌握不同电介质材料的应用场合,了解电介质材料的改性方法。

### 课程思政

- 1、超高压电缆绝缘材料研发;
- 2、新型环保型电缆绝缘材料研发;
- 3、面向新型电力系统的电工材料需求。

### 三、课内练习环节的教学内容及基本要求、课时分配和场地

无

### 四、本课程教学建议

- (一) 课堂讲授:以教师讲授为主,采用多媒体辅助教学。
- (二) 课内讨论:注重理论联系实际,精选教学案例,进行互动讨论。
- (三) 电介质物理学是一门与其他学科有许多交叉的学科,在课堂学习的基础上,要求学生自主选题,针对电介质研究的前沿发展及其工程应用查阅文献,自主完成研究报告撰写,加深对课堂内容的理解。

### 五、本课程评价方式

课程评价方式包括 3 部分:课堂表现与平时作业 (15%) +设计报告完成情况 (35%) +期末考试卷面成绩 (50%)

### 六、建议教材和教学参考书

- (一) 钟力生. 工程电介质物理与介电现象, 西安交通大学出版社, 2013.
- (二) 殷之文. 电介质物理学 (第二版), 科学出版社, 2003.
- (三) 张良莹, 姚熹. 电介质物理, 西安交通大学出版社, 1990.
- (四) 陈季丹. 电介质物理, 1980.
- (五) 萨法·卡萨普 (S.O.Kasap) . 电子材料与器件原理, 西安交通大学出版社, 2009.

(六) Schönhals, A., Kremer, F. Broadband Dielectric Spectroscopy, Springer Berlin Heidelberg, 2003.

(七) Dissado, Len A, Fothergill, John C. Electrical degradation and breakdown in polymers, IET, 1992.

# 《高等电路与网络分析》教学大纲

适用专业：	电气工程、能源动力	课程性质：	必修
学时数：	32	学分数：	2.0
课程号：	315060020068	开课学期：	第 2 学期
大纲执笔人：	林洁	大纲审核人：	杨维满

## 一、课程的地位和教学目标

“高等电路与网络分析”课程属于电气工程学科硕士研究生学位必修课程，是构筑合理专业结构、培养工程综合素质、拓展前沿视野的重要课程。

通过本课程的教学，使学生达到如下课程目标。

**目标 1（知识目标）：**强化电气工程硕士研究生对电路理论知识的理解，掌握大型复杂电网络理论的分析方法，掌握网络的拓扑分析、灵敏度分析、状态变量分析、开关网络分析、容差分析的基本原理，并能够简单应用。能够理解计算机辅助分析工具中，有关灵敏度分析、容差分析、蒙特卡罗分析的概念。了解最佳设计原理，最佳容差设计原理；了解故障诊断的分类和方法。

**目标 2（能力目标）：**培养电气工程硕士研究生能够站在参数变化的角度认识电网络，熟练进行无源一端口网络、无源二端口网络综合，为网络优化设计奠定理论基础，从而用科学方法指导网络设计，而不是用经验的方法。

**目标 3（德育目标）：**帮助学生树立社会责任意识，培养精益求精的工匠精神、积极求实的创新精神、自主的学习能力、高尚的职业道德，激发学生科技报国的家国情怀与使命担当。

## 二、课程教学内容和基本要求

课程主要讲授，电路与系统的基本理论、分析计算电路的基本方法等内容。

具体知识点、要求和学时安排如下：

### （一）课程导论（4 学时）

#### **教学重点、难点：**

**【重点】**电网络矩阵表示。

#### **教学内容和基本要求**

- 1、了解电气科学的诞生和发展；
- 2、掌握二端和多端元件的数学描述，及电网络矩阵表示；
- 3、理解电路与系统的基本性质和分类；

【思政】从我国电气科学发展趋势，展现我国先辈们的科学精神、智慧及伟大成就，依此启发研究生的爱国、创新精神。

## （二）网络分析和网络综合（10 学时）

### 教学重点、难点：

【重点】线性网络方程的矩阵列写法和直接列写法；无源一端口网络和二端口网络综合的方法。

【难点】开关网络分析。

### 教学内容和基本要求

1. 掌握网络元件和网络基本性质的分类与表述；
2. 掌握线性网络方程的矩阵列写法和直接列写法；
3. 理解网络的拓扑分析；灵敏度分析；状态变量分析；
4. 理解开关网络分析；蒙特卡罗分析，容差分析的方法；
5. 了解无源网络综合基础；
6. 掌握无源一端口网络和二端口网络的综合。

【思政】通过对电路基础理论的学习，了解以西门子为代表的电气工程领域的实业精神，树立严谨、客观、守正的工程师职业道德观，培养良好的职业道德和社会责任意识。

## （三）滤波器的综合设计（10 学时）

### 教学重点、难点：

【重点】有源滤波器的综合设计。

【难点】有源滤波器的综合设计。

### 教学内容和基本要求：

1. 了解滤波器的分类、性能指标和归一化；
2. 掌握巴特沃思滤波器设计，切比雪夫滤波器设计的设计方法；
3. 理解椭圆函数和贝塞尔响应，频率变换，灵敏度分析；
4. 掌握单运放二次型有源滤波器电路、有源滤波器的模拟实现方法。

【思政】通过滤波器在医疗、军事、航天等领域的应用，带领学生体验投身国家重大工程的价值和意义，以培养具有大国工匠精神的家国情怀。

#### **(四) 非线性电路分析 (4 学时)**

##### **教学重点、难点:**

【重点】分段线性化方法, 牛顿-拉夫逊法。

【难点】非线性单元电路设计方法。

##### **教学内容和基本要求**

1. 了解非线性电路特性;
2. 掌握分段线性化方法, 牛顿-拉夫逊法;
3. 了解非线性单元电路设计方法;
4. 了解非线性电路动力学分析;
5. 了解经典蔡氏混沌电路。

【思政】通过对非线性理论的学习, 培养研究生相对论思想, 抓紧主要矛盾、忽略次要矛盾的思想。

#### **(五) 优化设计 (2 学时)**

##### **教学重点、难点:**

【重点】最佳容差设计。

【难点】最佳容差设计。

##### **教学内容和基本要求**

1. 理解最优化原理;
2. 理解优化问题目标函数的定义;
3. 了解灵敏度网络;
4. 理解目标函数灵敏度分析方法;
5. 理解最佳容差设计。

【思政】引导学生通过嫦娥六号顺利返回地球事件, 了解中国航天正在取得巨大的进步和成就, 树立民族自信心和自豪感。

#### **(六) 故障诊断 (2 学时)**

##### **教学重点、难点:**

【重点】网络故障诊断。

【难点】网络故障诊断。

##### **教学内容和基本要求**

1. 了解故障诊断分类方法;

2. 理解模拟网络故障诊断的基本方法。

### 三、课内练习环节的教学内容及基本要求、课时分配和场地

本课程的练习环节可采用课内、课外相结合的方式，成果以 PPT 口头汇报、大作业等形式体现，具体学时可根据本人情况灵活安排，本课程训练对场地无特殊要求。

### 四、本课程教学建议

(一) 课堂讲授：以教师讲授为主，采用多媒体辅助教学。

(二) 课内讨论：注重理论联系实际，精选教学案例和专题，组织学生进行互动讨论。

### 五、本课程评价方式

课程评价方式包括三部分：课堂表现与平时作业(20%)+思政调查问卷完成情况(10%)+大作业完成情况(20%)+期末考试卷面成绩(50%)

### 六、建议教材和教学参考书

**教材：**现代电路理论，高等教育出版社，2001.

#### **教学参考书：**

(一) 周庭阳.电网络理论 图论 方程 综合[M].北京：机械工业出版社，2021.

(二) 吴宁.电网络分析与综合[M].北京：科学出版社，2020.

(三) 马文忠.高等电路分析[M].山东：中国石油大学出版社，2011.

(四) 周庭阳,张红岩.电网络理论[M].北京：机械工业出版社，2008.

(五) 陈崇源.高等电路分析[M].武汉：武汉大学出版社，2000.