**《电磁场与微波技术》课程教学大纲**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **课程名称** | **中文** | | 电磁场与微波技术 | | | |
| **英文** | | Electromagnetic Field and Microwave Technology | | | |
| **课程代码** | A312116 | | **开课学院/系** | 电气信息工程学院 /信息工程系 | **制定/修订**  **时间** | 2023.09 |
| **课程类别** | 工程基础 | | **学分** | 3 | **学时** | 48 |
| **适用专业** | 通信工程 | | | | | |
| **先修课程** | 高等数学、大学物理、电路原理、信号与线性系统、线性代数、复变函数与积分变换、计算方法 | | | | | |
| **选用教材** | 黄玉兰．电磁场与微波技术（第2版）．北京：人民邮电出版社，2012. | | | | | |
| **课时分配** | 理论教学48学时 | | | | | |
| **撰写人** | 杨云星 | **审定人** | | 贾子彦 | **批准人** | 薛波 |

**一、课程简介**

《电磁场与微波技术》是通信工程专业的专业基础课，课程内容是信息类专业学生应具备的专业知识的组成部分，同时又是交叉领域的学科生长点和新兴边缘学科发展的基础。课程涵盖电磁场理论、微波技术、天线及其工程应用，主要讲述矢量分析、媒质的电磁特性及边界条件、静态场特性与分析、麦克斯韦方程组、平面电磁波特性及传播规律、电磁波辐射原理、均匀传输线理论、规则金属波导、微波集成传输线、微波网络基础、微波元器件、天线辐射与接收的基本理论等内容。本课程主要通过阐述宏观电磁场的基本概念、基本原理、基本规律，使学生能以场和路的观点理解不同条件下的电磁现象和微波的工程应用，培养学生定性分析与逻辑推理的能力以及定量分析的基本技能。

**二、课程目标**

该课程的教学目标如下：

课程目标1：在分析通信工程中的电磁场问题时，能够依据媒质的电磁参数以及边界条件，具有从麦克斯韦方程组推导出正确的支配方程，并理解方程的解的形式和特性的能力。

课程目标2：在通信工程领域的电磁场工程问题中，能够运用麦克斯韦方程组分析电磁场传播和辐射，具有分析、计算以及仿真传输线、波导、天线的特性参数的能力。

课程目标3：经过本课程的学习，使学生在逻辑思想能力、分析问题与解决问题的能力得到初步训练；并能对电磁场理论的发展历史，以及在现代通信工程中的作用有正确的认识；培育学生辩证唯物主义世界观、人生观和方法论，成为爱党爱国对社会有用的人才。

**三、课程目标与毕业要求的支撑关系**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **毕业要求** | **毕业要求指标点** | **课程目标** |
| 毕业要求1.工程知识 | 1.2能将工程基础知识用于专业工程问题的恰当表述。 | 1 |
| 1.3能针对通信工程领域中电路、电磁场、信号与系统等专业工程问题进行建模与求解。 | 2 |

**四、课程教学内容**

内容1：矢量分析

1．基本内容：矢量代数、矢量场的通量和散度、矢量场的环流和旋度、标量场的方向导数和梯度、亥姆霍兹定理、直角坐标系、柱面坐标系、球面坐标系。

2. 重点：能够掌握矢量运算、矢量场的散度、旋度及标量场的旋度、亥姆霍兹定理。

3. 难点：使用哈密顿算子表示的散度、梯度和拉普拉斯算子。

4. 知识目标：矢量的加法、减法，矢量与标量相乘，矢量的点积和叉积；矢量场的矢量线；能够区分散度、旋度、梯度和拉普拉斯运算作用的场量以及得到的场量的类型，会根据不同坐标系选用正确的计算表达式。

5. 能力目标：熟练地对标量场和矢量场使用矢量分析，特别是运用矢量恒等式；了解保守场的概念；能够了解常用矢量恒等式；能够理解由散度、旋度和边界条件可唯一确定一矢量场。

6. 素质目标：通过介绍哈密顿算子、拉普拉斯算子、亥姆霍兹定理，对爱尔兰科学家哈密顿、法国科学家拉普拉斯，德国科学家亥姆霍兹的科学贡献做简单介绍，并通过唯物辩证法分析为什么拉普拉斯提出的机械决定论是错误的。

内容2：静态电磁场

1．基本内容：电荷密度、电场强度、静电场的基本方程、电位、电介质中的高斯定理、电介质中的本构关系、静电场的边界条件、电容。电流密度、电流连续性方程、恒定电场的基本方程、导电媒质中的本构关系、恒定电场边界条件、电导、恒定电场与静电场的比拟。磁通、磁感应强度、恒定磁场的基本方程、磁介质中的本构关系、矢量磁位、磁介质中的安培环路定理、恒定磁场的边界条件、电感。

2. 重点：静电场、恒定电场、恒定磁场的基本方程及其积分形式、边界条件、本构关系。

3. 难点：静电场、恒定电场和恒定磁场的区别和联系，电、磁场与电路参量之间的关系。

4. 知识目标：能够掌握静电场中电场强度的散度和旋度的表达式；能够理解静电场的高斯定理，并能掌握高斯定理的应用；能够理解电位的定义，并掌握电位与电场强度的推导关系，掌握静电场中的电位的基本方程；能够掌握电位移矢量的定义，了解极化的概念，理解极化强度和极化电荷，掌握电介质中的本构关系；能够掌握静电场中的边界条件；能够掌握电容的分析方法；能够掌握电流连续性方程，掌握恒定电场中电场强度的旋度表达式；能够掌握导电媒质中的本构关系；能够掌握恒定电场中的边界条件；能够掌握恒定电场中的电导的分析方法，掌握恒定电场与静电场的比拟；能够掌握恒定磁场中磁感应强度的散度、磁场强度的旋度的表达式；能够理解恒定磁场的中的安培环路定理，并掌握安培环路定理的应用；能够理解矢量磁位的定义，掌握恒定磁场中的矢量磁位的基本方程；能够了解磁化的概念，理解磁化强度和磁化电流，掌握磁介质中的本构关系；能够掌握恒定磁场中的边界条件；能够掌握电感的分析方法。

5. 能力目标：能够理解从实验定律到静态电磁场的场量的过程，并且能根据场量的散度和旋度演绎出对应的公式和推论。针对静态电磁场问题，能够根据场的特性（无旋或无散）进行分析，并能计算相应的电阻、电感、电容等。

6. 素质目标：通过介绍库伦定律，毕奥-萨伐尔定律，对法国科学家库伦、毕奥、萨伐尔的科学贡献做简单介绍，展现前人们对真理的追求，以及在科学探索之路上，创新不是凭空而来的，都是在充分吸收前人工作之上，鼓励学生在学习阶段珍惜时光，不负青春，努力汲取知识。

内容3：时变电磁场

1．基本内容：法拉第电磁感应定律、位移电流、麦克斯韦方程组、时变电磁场的边界条件、坡印廷定理、波动方程、时谐电磁场。

2. 重点：能够掌握麦克斯韦方程组、边界条件、坡印廷矢量、时谐电磁场的复数表示法。

3. 难点：麦克斯韦方程组的微分和积分形式。

4. 知识目标：能够掌握法拉第电磁感应定律，能够理解位移电流是有旋电场的源，能够掌握麦克斯韦方程组的微分形式、积分形式，以及在均匀、线性、各向同性媒质中的限定形式；能够掌握边界条件的一般形式，以及边界条件在理想导体表面、理想介质分界面的形式；了解坡印廷定理，能够掌握坡印廷矢量的表达式；能够了解波动方程；能够掌握时谐电磁场的复数表示法，能够掌握平均能流密度矢量的表达式。

5. 能力目标：能够理解麦克斯韦方程组的每个方程的意义，熟悉不同边界条件的使用，掌握波动方程以及时谐场；能运用麦克斯韦方程组分析简单结构的电磁现象。

6. 素质目标：通过法拉第电磁感应定律、对英国科学家法拉第的科学贡献做简单介绍，通过介绍法拉第的为人，宣传不图名利、专心科研，献身科学的精神。

内容4：平面电磁波

1．基本内容：无界理想介质中的均匀平面波、波的极化、无界损耗媒质中的均匀平面波，均匀平面波对平面分界面的垂直入射、斜入射。

2. 重点：能够掌握均匀平面波的相位常数、相速度、特性阻抗、传播常数、垂直入射、斜入射。

3. 难点：均匀平面波的特性参数和有损媒质中的传播、在平面分界面上的反射和折射。

4. 知识目标：能够了解等相位面、平面波的概念，能够了解从无界理想介质中的麦克斯韦方程组推导出均匀平面波的过程；能够掌握相位常数、相速度、特性阻抗的定义以及相关量之间的关系；能够理解均匀平面波的传播方向与电场、磁场方向的关系以及特性阻抗；能够了解线极化、圆极化、椭圆极化；能够理解无界损耗媒质中的均匀平面波，能够理解色散，掌握传播常数，了解良导体和良介质。能够掌握均匀平面波对平面分界面的垂直入射、斜入射时的反射系数和折射系数。

5. 能力目标：能够理解根据初始条件从波动方程求得平面波的解，并掌握均匀平面波在无界媒质中的传播特性；能够根据平面波的性质，分析和判断空间中传播的电磁波的特性，并能够根据基本电参数和媒质特性判断趋肤效应的强弱；能够分析均匀平面波在平面分界面上的反射波和折射波，掌握四分之一波长匹配层和半波长介质窗，天线罩的参数设计，以及全反射和全透射。

6. 素质目标：通过麦克斯韦方程组求解出的均匀平面波，表明为了分析复杂的方程乃至其他事物，可先通过研究最简单的特殊情况，降低难度，以此为出发点，循序渐进，由易到难，来理解复杂事物。

内容5：传输线理论

1．基本内容：传输线的路分析方法、传输线的场分析方法、传输线的特性参数、均匀无耗传输线的工作状态分析、传输线的阻抗匹配。

2. 重点：能够掌握用分布参数路的方法对传输线进行分析和计算；能够掌握不同负载情况下传输线的工作状态；能够掌握传输线的阻抗匹配方法。

3. 难点：掌握用来描述传输线的众多特性参数，以及参数之间的区别与联系。

4. 知识目标：能够理解分布参数的概念，理解分布参数和集总参数的区别和应用场合，能够掌握用分布参数电路对传输线进行分析和计算的方法；能够掌握不同负载情况下传输线的工作状态；能够掌握传输线的阻抗匹配方法；能够掌握使用仿真软件分析均匀无耗传输线上的行波、驻波和行驻波工作状态。

5. 能力目标：能够根据TEM波的特性，理解在传输线中可以使用路的方法来代替场的方法进行分析的原因；并能理解需要定义特性参数的原因，以及在不同工作状态使用不同参数进行衡量传输线的工作状态；能够熟练使用现有的概念和工具对传输线上传输行波进行分析以及匹配。

6. 素质目标：本章为了分析传输线的特性，引入了路的概念，这与前面几章介绍的场的概念截然不同，对于分析问题来说最重要的是抓住主要矛盾，同时看到矛盾的主要方面和次要方面的辩证关系，不能只看一方面而忽视另一方面。必须分清主次，抓住主要矛盾和矛盾的主要方面。在传输线的横截面上的电场和磁场可以用电压和电流表示，所以可以用简单的电压和电流就能够描述传输线上的波动性，避免了使用复杂的矢量场，大大简化了传输线问题的分析。

内容6：微波传输线

1．基本内容：波导的分析方法，矩形波导的特性参数的计算方法；圆波导的主要波型及其应用；同轴线的主模及高次模，尺寸选择原则；带状线，微带传输线的传输特性。

2. 重点：能够掌握波导的特性参数的计算方法。

3. 难点：掌握矩形波导中的TE模和TM模的特点。

4. 知识目标：能够了解波导的分析方法，能够掌握矩形波导的截止波长、波导波长、相速度、群速度等的计算方法；能够了解圆波导的主要波型及其应用；了解同轴线的主模及高次模，尺寸选择原则；能够了解带状线，微带传输线的传输特性；能够掌握使用仿真软件分析矩形波导中的模式。

5. 能力目标：熟练掌握矩形波导的特性，工作条件，并对矩形波导的主模的场分布有清晰的图景。了解其他类型的波导，以及微波集成传输线；能过通过对矩形波导的掌握，举一反三理解和分析圆波导、同轴线的高次模。

6. 素质目标：波导主要作用是尽可能低损耗地传输电磁波，但也可以反其道行之，通过在波导上开缝隙，来实现电磁波的辐射，把波导当做天线使用，因此万事万物不是一成不变，对于不同的问题需要一分为二地看待，不能作机械地理解，应该看到事物的形式是多种多样的，在一定条件下的相互转化，要掌握规律，善于利用规律。

内容7：微波网络

1．基本内容：微波元件等效为微波网络的原理，Z参数、Y参数、T参数、A参数的意义。S参数的物理意义，使用S参数计算测量微波网络参量（电压传输系数、插入损耗、插入相移、电压驻波比等）的方法。

2. 重点：掌握Z参数、Y参数、T参数、A参数的意义及其矩阵。掌握S参数的物理意义和使用S参数计算测量微波网络参量的方法。

3. 难点：不同参数之间的定义和相互之间的转化关系。

4. 知识目标：理解微波元件等效为微波网络的原理，掌握Z参数、Y参数、T参数、A参数的意义及其矩阵。掌握S参数的物理意义和使用S参数计算测量微波网络参量的方法。

5. 能力目标：微波理论中，微波元件特性可通过等效电路描述，复杂的微波系统可以用电磁理论和网络理论相结合来求解；对微波系统进行分析时，能运用不同的网络参量导出适合问题所需的微波网络。

6. 素质目标：一个微波元件或系统可以从不同的角度由不同的微波网络描述，说明不同的微波网络虽然具体形式各不相同，但微波元件或系统是具体的、相对稳定的本质，只有靠理性思维才能把握的。对于事物的把握不能仅停留于表面，必须透过现象揭示事物的本质。

内容8：微波元件

1．基本内容：波导中的电抗元件、微波连接元件和终端元件、放大器、衰减器、移相器、阻抗变换器、功分器和耦合器、微波滤波器、微波谐振器以及微波铁氧体元件的结构、基本工作原理和使用方法。

2. 重点：能够掌握和识别不同常见的微波元件，理解其用途。

3. 难点：通过等效电路和网络参量描述微波元件。

4. 知识目标：了解微波元件，掌握常见微波元件的特性。

5. 能力目标：能够对微波元件的特性有一定了解，为设计和分析微波领域的其他内容打下基础；能够用散射参量描述电抗元件、微波连接元件和终端元件、放大器、衰减器、移相器、阻抗变换器、功分器和耦合器、微波滤波器等的工作特性。

6. 素质目标：微波元件是芯片、武器装备高质量发展的重要组成部分，同时微波元件的发展和新材料新技术的发展密不可分，我国微波元件产业的一方面已经有了长足的发展，但另一方面还有部分技术受制于人，常年被“卡脖子”，因此鼓励学生努力学习专业知识，奋起直追，为实现中华民族伟大复兴而奋斗。

内容9：天线

1．基本内容：天线的定义、动态位函数、基本振子的辐射、天线的电参数、对称振子天线、天线阵。

2. 重点：能够掌握天线的特性参数的计算方法。

3. 难点：基本振子的理论分析、天线阵阵因子的计算。

4. 知识目标：能够了解天线的定义和分类；能够理解动态标量位、动态矢量位、动态位方程及其解；能够理解电基本振子和磁基本振子的辐射场；能够掌握天线的效率、输入阻抗、方向图、方向性系数、增益等的定义；了解全向天线和定向天线的区别和应用场合，了解史密斯圆图，能够了解对称振子的电流分布、辐射场、辐射电阻和输入阻抗；能够了解天线阵中的直线阵，掌握方向图乘积原理，了解天线的不同极化以及电磁波反射后的极化变化，能够掌握使用仿真软件（HFSS或者CST）分析对称振子天线（阵）。

5. 能力目标：掌握天线发送和接收电磁波的理论基础；能够运用电参数对天线做性能描述，能通过动态位函数得到基本振子的辐射场及其他电参数；能够通过建模分析均匀直线阵中的边射阵、端射阵的阵因子变换。

6. 素质目标：介绍赫兹通过世界上最早的天线实验证明了麦克斯韦对光也是一种电磁波的推论，说明实践是检验真理的唯一标准。引入我国贵州 500 米口径射电天文望远镜，讲述南仁东一代科学家的奉献精神。

**五、教学内容、教学方式与课程目标的支撑关系**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **课程目标** | **教学内容** | **教学方式** | | |
| **线下教学** | **混合教学** | **线上教学** | |
| 课程目标1 | 内容1：矢量分析  内容2：静态电磁场  内容3：时变电磁场  内容4：平面电磁波 | √ |  |  | |
| 课程目标2 | 内容5：传输线理论  内容6：微波传输线  内容7：微波网络  内容8：微波元件  内容9：天线 | √ |  |  | |

**六、课程教学方法与学时分配**

（一）教学方法

(1) 兴趣培养：通过介绍电磁场与微波技术在通信、电子、电气、医疗影像中的应用，引导、激励学生的学习积极性和自主性，让学生对课程有一个总体把握，多举一些生活中常见的电磁场与微波技术的实例，使课程更生动，让学生有直观的认识，对课程学习产生兴趣。

(2) 合理安排和组织教学进程：从基本知识的基础出发，以使学生乐学为前提，深入浅出，循序渐进，使学生容易接受，容易理解。

(3) 良好的师生互动：让学生参与教学过程，成为真正意义上的主体。

(4) 多媒体技术广泛应用：运用动画和声音，使课程内容更直观、丰富、形象、多样、新颖，将抽象、不易理解的理论基础内容以动态图像演示出来，将抽象的电现象用模拟的方法展示给学生。让枯燥抽象的课程内容生动化、形象化，从而易于被学生接受和理解。

(5) 有效的提问和作业：组织专门的习题课，讲解经典习题，便于学生掌握知识，提高学生应用知识解决习题的能力。同时作业是检验学生对所学知识掌握情况的有效的手段。为了达到能让学生不仅吸收所学知识，并且将知识融会贯通、学以致用，教师就要引导性的提问，布置作业时，要从基础知识出发，引发学生思考，扩展学生思维。让学生在自己完成作业的过程中，培养学生的思维能力、创新能力、分析和解决复杂工程的能力。

1. 学时分配

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **教学内容** | **课堂讲授** | **线上**  **讲授** | **实验** | **上机** | **合计** |
| 内容1：矢量分析 | 6 |  |  |  | 6 |
| 内容2：静态电磁场 | 7 |  |  |  | 7 |
| 内容3：时变电磁场 | 5 |  |  |  | 5 |
| 内容4：平面电磁波 | 6 |  |  |  | 6 |
| 内容5：传输线理论 | 6 |  |  |  | 6 |
| 内容6：微波传输线 | 4 |  |  |  | 4 |
| 内容7：微波网络 | 4 |  |  |  | 4 |
| 内容8：微波元件 | 4 |  |  |  | 4 |
| 内容9：天线 | 6 |  |  |  | 6 |
| 合计 | 48 |  |  |  | 48 |

**七、课程考核及成绩评定方法**

本门课程采用“N+1”过程性考核的方式进行考核。

考核方式：采用平时作业、单元测试、软件仿真和期末考试相结合的形式对学生课程成绩进行综合评定。能力目标达成评价与考核总成绩中，平时作业成绩占15%、单元测试成绩占20%、软件仿真成绩占15%、期末考试成绩占50%。

课程目标与课程考核环节的对应关系：

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **课程**  **目标** | **考核环节** | | | | **合计** |
| **平时作业** | **单元测验** | **软件仿真** | **期末考试** |
| 1 | 课程目标1 | 10% | 10% | 5% | 25% | 50% |
| 2 | 课程目标2 | 5% | 10% | 10% | 25% | 50% |
| 合计 | | 15% | 20% | 15% | 50% | 100% |

各考试环节按照附件中的评分标准进行成绩评定。

“电磁场与微波技术”主要考核学生静态电磁场、时变电磁场、平面电磁波、波导、传输线理论、天线的基础理论、基本分析方法的掌握情况，运用电磁场理论推理和分析实际工程问题的能力，以及识别、表达和分析的电磁场工程问题中的场的特性和性能参数的能力。考核应覆盖课程的主要知识点，注重基本原理及综合应用能力的考核。题目数量与难易程度要适中。

**八、课程参考书目及资源**

1.黄玉兰.《电磁场与微波技术》（第2版）. 北京:人民邮电出版社, 2012.

2.童创明.《电磁场微波技术与天线》. 西安:西北工业大学出版社, 2009.

3.毕岗.《电磁场与微波》. 杭州：浙江大学出版社, 2010.

4.李明洋.《HFSS天线设计》.北京：电子工业出版社，2011.

5.中国大学MOOC国家精品资源共享课，电磁场与电磁波，北京交通大学  
https://www.icourse163.org/course/NJTU-1002535019

**附件：评分标准**

单元测试评分标准详见每学期“电磁场与微波技术单元测试参考答案及评分标准”、期末试卷评分标准详见每学期“电磁场与微波技术试卷参考答案及评分标准”。

考核中作业评分标准如下；

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 考核环节 | **优秀**  **（90～100）** | **良好**  **（80～89）** | **中等**  **（70～79）** | **及格**  **（60～69）** | **不及格**  **（<60）** |
| 平时作业 | 基本概念掌握很好。 | 主要概念清晰，但部分有误。 | 部分概念清晰。 | 基本概念不够清晰。 | 基本概念未掌握。 |
| 思路清晰，能够解决问题，计算正确。 | 主要思路、过程和计算过程正确。 | 思路、过程部分可行，计算过程个别不正确。 | 思路、过程部分尚可，计算过程部分不正确。 | 不会做或者作业不完整。 |
| 认真独立完成作业，书写工整、清晰，符号、单位等按规范执行。 | 比较认真独立完成作业，书写清晰，主要符号、单位等按规范执行。 | 独立完成作业，部分符号、单位等按规范执行。 | 不够认真，极小部分抄袭或符号、单位等不按照规范执行。 | 很不认真或者大部分抄袭或未交。 |
| 软件仿真 | 仿真软件操作掌握全面，设计流程得当，仿真过程完整，结果正确，实验报告书写清晰。 | 仿真软件操作掌握较全面，设计流程能正确运用，仿真过程较完整，结果较正确，实验报告书写清晰。 | 仿真软件操作掌握全面，设计流程基本正确运用，仿真过程基本完整，结果基本正确，实验报告书写得当。 | 仿真软件操作掌握一般，设计流程基本实现，结果有误差，实验报告大部分正确。 | 仿真软件操作掌握较差，设计流程不完整，仿真结果不正确。实验报告完成较差。 |
| 单元测验 | 按单元测验参考答案评分标准判定 | | | | |