



 全国普通高校通信工程专业规划教材

高频电子线路

安 颖 主 编
崔东艳 赵丽莉 刘 健 副主编

清华大学出版社



 全国普通高校通信工程专业规划教材

高频电子线路

安 颖 主 编
崔东艳 赵丽莉 刘 健 副主编

清华大学出版社
北 京

内 容 简 介

本书是在多年教学的基础上,汲取多方面的建议,参考了国内外相关书籍和教育部高等学校电子信息科学与电气信息类基础课程教学指导分委员会制定的“电子线路课程教学基本要求”编写而成,以满足现代无线通信所需的高频电子线路知识结构和应用能力为教学目标。

全书含无线通信系统、非线性电子线路及其分析方法、高频小信号放大电路、高频谐振功率放大电路、正弦波振荡电路、振幅调制与解调电路、超外差接收电路、角度调制与解调电路、调幅调频信号、反馈控制电路、无线电技术的应用共 11 章。每章后有习题和思考题。

本书可作为高等院校通信、电子信息、测控技术与仪器等专业的教材或教学参考书,还可供从事电子系统研制与开发的工程技术人员使用。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

高频电子线路/安颖主编. —北京:清华大学出版社,2016

全国普通高校通信工程专业规划教材

ISBN 978-7-302-44418-3

I. ①高… II. ①安… III. ①高频—电子电路—高等学校—教材 IV. ①TN710.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 168702 号

责任编辑:梁颖 柴文强

封面设计:傅瑞学

责任校对:梁毅

责任印制:沈露

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课件下载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印装者:北京嘉实印刷有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:14.75

字 数:358 千字

版 次:2016 年 9 月第 1 版

印 次:2016 年 9 月第 1 次印刷

印 数:1~2000

定 价:35.00 元

产品编号:070432-01

“高频电子线路”课程是通信专业、电子信息类专业的一门工程性和实践性很强的专业基础课,也是一门传统课程,主要讲述无线模拟通信系统中的基本电路单元的工作原理、组成、设计方法。高频电子线路课程中涉及的对高频信号的处理方法也同样适用于对声波及光信号的处理,因此是一门非常重要的课程。

无线通信系统是一个结合了电子技术与信号处理的完整系统,既要求学生有对电子元器件、基本电路单元的深刻认知,又要求他们有信号分析方面的数学基础,因此,大部分学生学习起来觉得有些困难。在多年的教学过程中,我们逐渐总结经验,有了一些引导学生学习的方法,把这些方法分享并讨论,不断完善教学工作是我们出版本书的初衷。同时,随着无线通信的飞速发展,通信过程中的设备早已发生了质的变化,现有教材中很多教学内容需要更新、补充和完善;面对学生直接就业或继续深造的不同要求,课程内容也需要因人施教,因此,我们以理解概念、掌握方法、明确思路为主线,遵循打好基础、便于学习、提升学生的工程实践能力和创新能力的原则编写了本书。

本书含无线通信系统、非线性电子线路及其分析方法、高频小信号放大电路、高频谐振功率放大电路、正弦波振荡电路、振幅调制与解调电路、超外差接收电路、角度调制与解调电路、调幅调频信号、反馈控制电路、无线电技术的应用共 11 章。

本教材特色如下:

1. 依据学生的学习特点和教学经验按照先全貌,再衔接,后深入的思路组织内容。先介绍无线通信系统的整体结构,然后把本门课程与以前所学的知识进行梳理和衔接,在此基础上,深入分析无线通信系统的各个组成单元。

2. 对无线通信系统的发展现状进行介绍,弥补模拟无线通信系统知识上的陈旧带来课程内容的局限性,提高学生的学习兴趣,帮助学生理解课程内容在实际领域中的发展趋势。

3. 注重非线性电路的分析方法,将其作为独立章节,从时域和频域两个方面介绍分析方法,便于学生理解和掌握非线性系统的特性,培养学生形成对实际电路系统进行分析的思路和手段。

4. 在原有的课程内容,补充从信号处理的角度对无线通信系统中各个传输环节的分析和理解,在传统模拟电路单元的基础上补充一些软件设计、优化和实现的方法,利于学生在今后的工作中学以致用。

5. 注重与相关专业知识的结合。在信号分析方法上,注重与“信号与系统”的结合,利用无线通信系统这样一个典型的非线性系统的实例,总结系统的分析方法,便于学

生对专业知识融会贯通;在无线通信系统单元电路的仿真上,注重于“MATLAB 设计方法”的结合,介绍仿真方法,培养学生运用知识的能力。

6. 增加调幅调频信号分析的内容,讲解瞬时频率、单分量信号等内容,给学生建立时频分析的概念,培养学生对信号分析与处理的兴趣,培养数据分析方向的人才。

教 学 建 议

教 学 内 容	学习要点及教学要求	课时安排	
		全部讲授	部分选讲
第 1 章 无线通信系统	- 掌握通信的基本概念,了解通信系统的类型。理解通信系统的组成结构,在此基础上掌握通信系统工作原理。 - 了解无线通信系统的发展历程、发展现状及发展趋势。 - 掌握无线通信中的关键技术。理解无线信道的传输特性,掌握调制及解调的基本概念,理解超外差接收方法,了解数字无线通信方法,理解无线通信中的多址技术。 - 了解高频电子线路课程的研究对象和内容。	2~4	2
第 2 章 非线性电子线路及其分析方法	- 掌握线性与非线性电子元件的分类方法及各自特性。 - 理解线性与非线性电子线路的区别。 - 掌握非线性电路的幂级数分析法、折线分析法、开关函数分析法和线性时变电路分析法、小信号分析法。 - 理解信号频域分析的重要性。	2~4	2
第 3 章 高频小信号放大电路	- 了解高频电子线路中的滤波器的工作原理,掌握谐振网络及选频特性、固体滤波器的种类及工作原理。 - 掌握三极管高频 Y 参数方程组及其等效电路、三极管 Y 参数的换算方法。 - 了解分散选频小信号放大电路的种类,理解单调谐回路选频放大电路、双调谐回路选频放大电路、参差调谐选频放大电路的工作原理。 - 理解集中选频小信号放大电路的组成,掌握分析方法 - 了解高频小信号放大电路的噪声及其性能指标。	4~6	4

续表

教 学 内 容	学习要点及教学要求	课时安排	
		全部讲授	部分选讲
第 4 章 高频谐振功率放大电路	- 了解高频功率放大电路的种类及区别。 - 掌握丙类高频谐振功率放大电路的工作原理、分析方法和功率、传输效率的计算方法。 - 掌握丙类高频谐振功率放大电路的动态特性曲线的画法,理解丙类高频谐振功率放大电路的工作状态,掌握丙类高频谐振功率放大电路的外部特性分析方法,理解负载特性、放大特性及调制特性。 - 掌握丙类高频谐振功率放大电路的实际电路的分析方法。	6~8	6
第 5 章 正弦波振荡电路	- 掌握反馈振荡电路的组成、反馈振荡电路的条件和反馈振荡电路的分析方法。 - 理解互感耦合式振荡电路的工作原理,掌握 LC 三点式正弦波振荡电路的分析方法。 - 掌握石英晶体的频率特性,理解石英晶体振荡电路。 - 掌握文氏桥振荡电路和移相式 RC 振荡电路的组成和工作原理。 - 理解压控振荡电路和集成运算放大器振荡电路的工作原理。	6~8	6
第 6 章 振幅调制与解调电路	- 掌握调制与解调的基本概念。 - 掌握普通调幅波、抑制载波的双边带调幅波及单边带调幅波的表示方法、功率及带宽的计算方法。 - 了解调幅电路的种类,理解普通调幅电路、双边带调幅电路、单边带调幅电路的工作原理。 - 了解检波器的作用及其分类,掌握峰值包络检波器和同步检波器的组成、工作原理。 - 了解调幅及解调的 MATLAB 仿真方法。	6~8	6
第 7 章 超外差接收电路	- 掌握超外差接收电路的工作原理。 - 掌握频谱的线性与非线性变换原理、混频电路的原理及实现方法。 - 理解三极管混频电路的工作原理和分析方法。 - 掌握二极管平衡混频电路和二极管环形混频电路的组成、工作原理和计算方法。 - 理解乘法器混频电路的原理,掌握双差分对电路的工作原理,理解 MC1596 组成的混频电路原理。 - 理解混频电路的干扰产生的原理,了解组合频率干扰、副波道干扰、交叉调制干扰和互相调制干扰、阻塞干扰的机理及消除方法。	8~10	8

续表

教 学 内 容	学习要点及教学要求	课时安排	
		全部讲授	部分选讲
第 8 章 角度调制与解调电路	- 掌握调角及解调的基本概念。 - 掌握调频和调相信号的数学表达式及调角信号的频谱和带宽的确定方法。 - 了解调频器的种类及性能指标,掌握直接调频电路、间接调频电路的组成、工作原理及调频、调相的区别于联系。 - 了解常用的调角信号的解调电路及鉴频器的种类及性能指标,理解斜率鉴频器、相位鉴频器、比例鉴频器的工作原理。	6	6
第 9 章 调幅调频信号	- 了解傅里叶分析的局限性和时频分析的必要性。 - 理解多分量与单分量信号的基本概念。 - 掌握窄带随机过程及瞬时频率、调幅调频信号的概念。 - 了解常用的时频分析方法:短时傅里叶变换、Gabor 变换、小波变换、Wigner-Ville 分布、Cohen 类双线性时频分布、希尔伯特-黄变换。	2~4	2
第 10 章 反馈控制电路	- 理解反馈控制电路的原理。 - 掌握自动增益控制电路的组成及原理,了解自动增益控制电路的种类。 - 掌握自动频率控制电路的原理,了解自动频率控制电路的应用。 - 掌握锁相环路的基本原理、了解锁相环路的应用。	4~6	4
第 11 章 无线电技术的应用	- 了解调频发射机与接收机的组成与实际电路。 - 了解手机原理与实际电路、软件无线电技术和 CDMA 手机的原理。 - 理解蓝牙系统的功能,了解蓝牙技术。	2~4	2
	教学总学时建议	48~68	48
	说明:(1) 本教材为电子信息类专业“高频电子线路”课程教材,理论授课学时数为 48~68 学时,不同专业根据不同的教学要求和计划教学学时数可酌情对教材内容进行适当取舍。 (2) 本教材理论授课学时数中包含习题课、课堂讨论等必要的课内教学环节。		

总之,我们精选内容,注重科学性和先进性,力争使本书更加易懂和实用。本书主要内容由安颖负责组织并编写,崔东艳负责整本书稿的校正工作,赵丽莉、刘健负责书中的MATLAB 仿真部分。在编写过程中,得到了我们所在学校及学院各级领导、同事的鼎力支持,在此一并致谢!我们在内容的安排和细节的处理以及习题的解答上难免疏漏,欢迎读者们批评指正。

编 者

2016 年 4 月

第 1 章 无线通信系统	1
1.1 通信及通信系统	2
1.1.1 通信的基本概念	2
1.1.2 通信系统组成及工作原理	2
1.2 无线通信系统的发展	5
1.2.1 无线通信系统的发展历程	5
1.2.2 无线通信系统的现状及发展趋势	7
1.3 无线通信中的关键技术	8
1.3.1 无线通信系统中的信道	8
1.3.2 调制技术	9
1.3.3 超外差接收与解调技术	10
1.3.4 数字无线通信技术	11
1.3.5 无线通信技术中的多址技术	11
1.4 高频电子线路课程的研究对象和内容	13
1.5 本章小结	14
习题 1	14
第 2 章 非线性电子线路及其分析方法	16
2.1 线性与非线性电子元件	17
2.1.1 线性电子元件及其特性	17
2.1.2 非线性电子元件及其特性	18
2.2 线性与非线性电子线路	19
2.3 非线性电路的分析方法	21
2.3.1 非线性电路常用的分析方法	21
2.3.2 非线性电路的解析近似分析法	21
2.4 信号的频域分析法	26
2.5 本章小结	27
习题 2	28

目录

第3章 高频小信号放大电路	29
3.1 高频电子线路中的滤波器	30
3.1.1 谐振网络及选频特性	30
3.1.2 固体滤波器	38
3.2 三极管高频 Y 参数等效电路	41
3.2.1 三极管高频 Y 参数方程组及等效电路	41
3.2.2 三极管 Y 参数的换算	42
3.3 分散选频小信号放大电路	43
3.3.1 单调谐回路选频放大电路	43
3.3.2 双调谐回路选频放大电路	46
3.3.3 参差调谐选频放大电路	47
3.4 集中选频放大电路	48
3.5 高频小信号放大电路的性能	50
3.5.1 高频小信号放大电路的噪声	50
3.5.2 高频小信号放大电路的性能指标	51
3.6 本章小结	53
习题3	54
第4章 高频谐振功率放大电路	57
4.1 高频功率放大电路的种类	58
4.2 丙类高频谐振功率放大电路的工作原理	59
4.2.1 丙类高频谐振功率放大电路的基本原理	59
4.2.2 丙类高频谐振功率放大电路的分析方法	61
4.2.3 丙类高频谐振功率放大电路中的计算	61
4.3 丙类高频谐振功率放大电路的动态分析	63
4.3.1 丙类高频谐振功率放大电路的动态特性曲线	63
4.3.2 丙类高频谐振功率放大电路的工作状态	64
4.3.3 丙类高频谐振功率放大电路的外部特性分析	65
4.4 丙类高频谐振功率放大电路的实际电路	68
4.4.1 直流馈电电路	68
4.4.2 丙类高频谐振功率放大电路	69

4.5 本章小结	70
习题 4	70
第 5 章 正弦波振荡电路	72
5.1 反馈振荡电路的工作原理	73
5.1.1 反馈振荡电路的组成	73
5.1.2 反馈振荡电路的振荡条件	74
5.1.3 反馈振荡电路的分析方法	76
5.2 LC 正弦波振荡电路	77
5.2.1 互感耦合式振荡电路	78
5.2.2 LC 三点式振荡电路	78
5.3 石英晶体振荡电路	84
5.3.1 石英晶体的频率特性	84
5.3.2 石英晶体振荡电路	85
5.4 RC 正弦波振荡电路	87
5.4.1 文氏桥振荡电路	87
5.4.2 移相式 RC 振荡电路	89
5.5 其他类型振荡电路	90
5.5.1 压控振荡电路	90
5.5.2 集成运算放大器振荡电路	92
5.6 本章小结	93
习题 5	94
第 6 章 振幅调制与解调电路	97
6.1 调制与解调	98
6.2 调幅信号的分析	98
6.2.1 普通调幅波	98
6.2.2 抑制载波的调幅波	103
6.3 调幅信号的产生电路	105
6.3.1 普通调幅电路	105
6.3.2 双边带调幅电路	107

目录

6.3.3 单边带调幅电路	109
6.4 调幅信号的解调电路	111
6.4.1 检波器的作用及其分类	111
6.4.2 峰值包络检波器	111
6.4.3 同步检波器	118
6.5 调幅信号及其解调电路的仿真	121
6.6 本章小结	121
习题 6	122
第 7 章 超外差接收电路	125
7.1 超外差接收电路的工作原理	126
7.2 混频电路的工作原理	126
7.2.1 频谱的线性与非线性变换	126
7.2.2 混频电路的原理及实现方法	127
7.3 三极管混频电路	128
7.3.1 三极管混频电路的原理	128
7.3.2 三极管混频电路的分析	129
7.4 二极管混频电路	132
7.4.1 二极管平衡混频电路	132
7.4.2 二极管环形混频电路	133
7.5 模拟乘法器混频电路	134
7.5.1 双差分对电路的工作原理	134
7.5.2 由 MC1596 组成的混频电路	135
7.6 混频电路的干扰	136
7.6.1 组合频率干扰	137
7.6.2 副波道干扰	137
7.6.3 交叉调制干扰和互相调制干扰	138
7.6.4 阻塞干扰	138
7.7 本章小结	139
习题 7	140

第 8 章 角度调制与解调电路	142
8.1 调角及其解调	143
8.2 调角信号的分析	143
8.2.1 调角信号的数学表达式	143
8.2.2 调角信号的频谱和带宽	146
8.3 调频信号的产生电路	149
8.3.1 调频器的种类与性能指标	149
8.3.2 直接调频电路	150
8.3.3 间接调频电路	155
8.4 调频信号的解调电路	160
8.4.1 鉴频器的种类及性能指标	161
8.4.2 斜率鉴频器	162
8.4.3 相位鉴频器	164
8.4.4 比例鉴频器	166
8.5 本章小结	168
习题 8	169
第 9 章 调幅调频信号	172
9.1 傅里叶分析与时频分析	173
9.1.1 傅里叶分析的局限性	173
9.1.2 时频分析的必要性	174
9.2 多分量与单分量信号	174
9.2.1 多分量信号	174
9.2.2 单分量信号及窄带信号	175
9.3 调幅调频信号	175
9.3.1 窄带随机过程及瞬时频率	175
9.3.2 调幅调频信号	176
9.4 时频分析方法	176
9.4.1 短时傅里叶变换	176
9.4.2 Gabor 变换	177
9.4.3 小波变换	177

目录

9.4.4	Wigner-Ville 分布	178
9.4.5	Cohen 类双线性时频分布	178
9.4.6	希尔伯特-黄变换	179
9.5	本章小结	179
习题 9		180
第 10 章	反馈控制电路	181
10.1	反馈控制电路的原理	182
10.2	自动增益控制电路	182
10.2.1	AGC 电路的组成及原理	183
10.2.2	AGC 电路的种类	183
10.3	自动频率控制电路	185
10.3.1	AFC 电路的原理	185
10.3.2	AFC 电路的应用	186
10.4	锁相环路	188
10.4.1	锁相环路的基本原理	188
10.4.2	锁相环路的应用	194
10.5	本章小结	197
习题 10		198
第 11 章	无线电技术的应用	200
11.1	调频发射机和接收机	201
11.1.1	调频发射机的组成	201
11.1.2	调频发射机的实际电路	202
11.1.3	调频接收机的组成	203
11.1.4	调频接收机实际电路	204
11.2	手机原理与实际电路	206
11.2.1	软件无线电技术	206
11.2.2	手机原理	208
11.2.3	CDMA 手机	211
11.3	蓝牙技术	212

目录

11.3.1 蓝牙系统	212
11.3.2 蓝牙的关键技术	213
11.4 本章小结	214
习题 11	214
附录 A	215
附录 B	218
参考文献	219

第1章

无线通信系统

无线通信是利用高频载波来传递信息的一门技术。无线通信现在已经渗透到我们生活的各个领域,如广播、电视、雷达、手机、导航等等。虽然应用领域不同,但是信息在传递过程中采用的电路平台的组成和信号处理的方法,是非常相近的。本章主要内容是无线通信系统的基础知识,教学要点是通信的基本概念、无线通信系统的组成以及无线通信中的关键技术。学习难点是无线通信中的关键技术。

1.1 通信及通信系统

1.1.1 通信的基本概念

通信,就是对消息进行传输的手段,包含消息发射、接收与交换的过程。消息是语音、文字、符号、音乐、数据、图片、活动图像等等,其状态可以是可数的或离散型的如符号、文字、数据等,称为数字消息;也可以是连续变化的,如语音、图像等,称为模拟消息。

消息中包含的新内容称为信息。因此,信息可被理解为消息中包含的有意义的内容。一条信息可以用多种形式的消息来表示,不同形式的消息可以包含相同的信息。例如:分别用文字访问天气预报网站和用语音拨打天气预报客服号所得到的消息形式虽然不同,所含信息内容却是一致的。

在通信技术中,信息是被加载在某种信号的某个参量上进行传输的。信号是信息的载体,信息靠信号来传递。信号一般为光、声及高频电磁波。信号同样可以分为连续取值的模拟信号和离散取值的数字信号两种。

由于模拟数据和数字数据可以互相转换。因此,任何一个消息既可以用模拟信号表示,也可以用数字信号表示;同时,既可以用模拟信号传输,也可以用数字信号传输。

1.1.2 通信系统组成及工作原理

通信系统是以实现通信为目标的硬件设备、信号变换和处理方法以及人员的总和。通信系统完成从信息源向受信者传送信息的过程。

通信系统有多重分类方法。按消息的形式不同,可以分成电报系统、电话系统、数据系统、图像系统;按调制方式的不同,可以分成基带传输和频带传输两种,频带传输又分成调幅、调频、脉宽、脉位调制等等;按复用方式可以分为频分复用、时分复用和码分复用;按消息传送的方向和时间可以分成单工、半双工和全双工;按数字信号的排列顺序可以分成串序和并序;按传输媒质或信道可以分成有线系统和无线系统,其中有线系统有架空明线、对称电缆、同轴电缆、光纤、波导等,无线系统中有长波、中波、短波、微波、卫星通信;按媒质上的消息类型可以分成模拟系统、数字系统;按连接形式可以分成点对点的专线直通和多点对多点的交换网络。

点对点专线直通的通信模型如图 1.1.1 所示。