

面向
21世纪
高级应用型人才

中国高等职业技术教育研究会推荐
高职高专系列规划教材

高频电子线路 (第三版)

主编 钮文良
主审 申功迈

西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

□ 中国高等职业技术教育研究会推荐

高职高专系列规划教材

高频电子线路

(第三版)

钮文良 主 编

申功迈 主 审

西安电子科技大学出版社

2010

内 容 简 介

本书是面向 21 世纪高等职业教育的教材。全书由绪论, 高频电路中的元器件, 通信信号的接收, 通信信号的发送, 正弦波振荡器, 信号变换一: 振幅调制、解调与混频电路, 信号变换二: 角度调制与解调, 锁相技术及频率合成, 数字调制等章节组成。本书强调基本概念, 注重实际应用, 增加了电子线路仿真软件的使用内容, 有利于学生加深对高频电子线路知识的理解。

本书可以作为高职高专院校电子信息工程、通信工程等专业的教材或教学参考书, 也可以供相关专业工程技术人员参考。

★本书配有电子教案, 需要者可登录出版社网站, 免费下载。

图书在版编目(CIP)数据

高频电子线路/钮文良主编. —3 版.

—西安: 西安电子科技大学出版社, 2010. 1

中国高等职业技术教育研究会推荐. 高职高专系列规划教材

ISBN 978 - 7 - 5606 - 2350 - 4

I. 高… II. 钮… III. 高频—电子线路—高等学校: 技术学校—教材 IV. TN710.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 188548 号

策 划 马乐惠

责任编辑 张小燕 马乐惠

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西华沐印刷科技有限责任公司

版 次 2010 年 1 月第 3 版 2010 年 1 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 15.375

字 数 359 千字

印 数 6 0001~6 4000 册

定 价 22.00 元

ISBN 978 - 7 - 5606 - 2350 - 4/TN · 0538

XDUP 2642003 - 11

* * * 如有印装问题可调换 * * *

本社图书封面为激光防伪覆膜, 谨防盗版。

序

在即将跨入 21 世纪的前夕,中共中央、国务院召开了第三次全国教育工作会议,并颁发了《中共中央、国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》,进一步明确了高等职业教育的重要地位,指出“高等职业教育是高等教育的重要组成部分。要大力发展高等职业教育”。在这一方针的指引下,我国高等职业教育取得了空前规模的发展。至 1999 年,从事高等职业教育的高等职业学校、高等专科学校和独立设置的成人高校已达 1345 所,占全国高校总数的 69.2%;专科层次的在校生占全国高校在校生的 55.37%,毕业生占高校毕业生总数的 68.5%。这些数字表明,高等职业教育在我国高等教育事业中占有极其重要的地位,在我国社会主义现代化建设事业中发挥着极其重要的作用。随着社会的发展、科技的进步,以及我国高等教育逐步走向大众化,我国的高等职业教育必将进一步发展壮大。

在高等职业教育大发展的同时,也有着许多亟待解决的问题。其中最主要的是按照高等职业教育培养目标的要求,培养一批“双师型”的中青年骨干教师;编写出一批有特色的基础课和专业主干课教材;创建一批教学工作优秀学校。

为解决当前高职教材严重匮乏的问题,西安电子科技大学出版社与中国高等职业技术教育研究会联合策划、组织编写了计算机及应用电子技术两个专业的教材,现已出版。本系列教材,从策划到主编、主审的遴选,从成立专家组反复讨论大纲,研讨职业教材特色到书稿的字斟句酌,每走一步都比较扎实、精心。作者在编写中紧密联系实际,尽可能地吸收新理论、新技术、新工艺,并按照案例引入、改造拓宽、课题综合(通过一个大型的课题,综合运用所学内容)的思路,进行编写,努力突出高职教材的特点。本系列教材内容取材新颖、实用;层次清楚,结构合理;文笔流畅,装帧上乘。这套教材比较适合高等职业学校、高等专科学校和成人高校等高等职业教育的需要。

教材建设是高等职业院校基本建设的主要工作之一,是教学内容改革的重要基础。为此,有关高职院校都十分重视教材建设,组织教师积极参加教材编写,为高职教材从无到有,从有到优而辛勤工作。但高职教材的建设还刚刚起步,还需要做艰苦的工作,我们殷切地希望广大从事高等职业教育的教师,在教书育人的同时,组织起来,共同努力,编写出一批高职教材的精品,为推出一批有特色的、高质量的高职教材作出积极的贡献。

中国高等职业技术教育研究会会长

李宗尧

高等职业技术教育“计算机及应用电子技术专业” 教材编审专家委员会

主任：闵光太(中国高等职业技术教育研究会副会长，
金陵职业大学校长，教授)

副主任：俞克新(中国高等职业技术教育研究会秘书长，研究员)

孙建京(北京联合大学教务长，教授)

余苏宁(深圳职业技术学院计算机应用工程系副主任，副教授)

李荣才(西安电子科技大学出版社总编辑，教授)

计算机组

组长：余苏宁(兼)

成员：(按姓氏笔画排列)

丁桂芝(天津职业大学计算机工程系主任，副教授)

朱振元(长沙大学高级工程师)

张 燕(金陵职业大学计算机系讲师)

唐连章(广州大学副教授)

韩伟忠(金陵职业大学计算机系主任，副教授)

樊月华(北京联合大学应用技术学院副教授)

颜 彬(江汉大学副教授)

应用电子技术组

组长：孙建京(兼)

成员：(按姓氏笔画排列)

付植桐(天津职业大学副教授)

刘守义(深圳职业技术学院电子通信工程系副主任，高工)

李建民(江汉大学应用物理系副主任，副教授)

高泽涵(广州大学机电工程系副主任，高级实验师)

鲁宇红(金陵职业大学副校长，副教授)

熊幸明(长沙大学工程系主任，副教授)

总策划：梁家新

策划：马乐惠 徐德源 云立实

第三版前言

本书自 2001 年出版第一版以来,已经过去 8 年了。其间,通信技术及其应用发展迅速。同时,高等职业教育也得到迅速发展。

高频电子线路是电子信息类专业的一门专业基础课。本书包含高频电子线路和通信电子线路的基本概念与相关技术,高频电路元器件的认识与应用分析,基本电路分析以及基本测试分析技术等,这些都是高频电子线路和通信电子线路的核心技术。

高频电子线路是涉及无线电信号发送和接收的信号处理电路,它所处理的信号都是高频信号。为了远距离传送和接收信号,需要对信号进行调制变换,无线电波的发送设备和接收设备就是进行这种变换的设备,在这些设备中包含很多非线性器件。本书所阐述的高频电子线路各组成部分中,除高频小信号谐振放大器外,都是非线性器件。

非线性电子线路的分析方法相对于线性电子线路来说更加复杂,求解也困难得多。根据实际情况,常常可以通过工程分析方法,或借助电子电路的仿真软件(如 PSpice),对电子器件、电路的数学模型和工作条件进行合理的近似,以获取符合实际情况的具有实际意义的结果。我们更关心高频电子线路各个组成部分的外特性,即输入信号与输出信号以及它们之间的变换关系。

基于以上认识,同时考虑高等职业教育的特点及对本课程的基本要求,本书对第一版的相关内容进行了修改和补充,包括:

1. 重写了绪论一章,补充了对通信系统的整体描述,使学生对通信电子线路系统有一个完整的认识,有利于对各局部电路性能和指标的了解。本章增加了信号一节(1.3 小节),通过对信号的描述,使学生更加容易理解各局部电路的作用和必要性。

2. 增加了高频电路中的元器件一章(第二章),阐述了在处理和传输高频信号时,即工作在高频频率情况下,电路元器件的模型和特性,包括电阻、电容和电感等无源器件,以及二极管、双极型晶体管和场效应晶体管等有源器件的模型分析及其高频特性。

3. 增加了数字调制一章(第九章)。由于数字通信技术的发展,其在通信技术及应用中占有越来越重要的位置,为此增加了数字调制的内容。但鉴于高职高专课程特点与本书的一致性,本章仅仅阐述了数字调制与解调的基本概念和实现方法。

4. 删除了原教材第八章,重新安排了各章顺序。

5. 对部分章节补充了一些习题。

6. 对第一版中的错误进行了改正。

修改后全书共分 9 章。第一章绪论,简单地介绍了无线电信号传输的基本原理与通信系统,以使学生在一开始就建立系统的概念;并介绍了信号的概念以及信号的表示。第二章高频电路中的元器件,介绍用于高频信号处理和传输电路中的电路元器件的物理特性,建立了电路元器件的高频电路模型和高频特性,以帮助学生理解高频电子电路中发生的各种现象。第三章通信信号的接收,主要介绍了小信号谐振放大器,包括并联谐振回路及小

信号谐振放大器的基本原理。第四章通信信号的发送,主要介绍了高频谐振功率放大器,使学生建立非线性电路的概念。第五章正弦波振荡器,介绍了其基本工作原理和基本正弦波振荡器的应用电路。第六章信号变换一:振幅调制、解调与混频电路,这是本书的一个重点,主要介绍振幅调制、解调及混频电路的基本原理。第七章信号变换二:角度调制与解调,介绍非线性调制,这是通信系统经常采用的调制方式。第八章锁相技术及频率合成,是现代通信系统和测量应用中不可缺少的技术。第九章数字调制,主要介绍了二进制幅度键控、移频键控和移相键控的概念及实现电路模型。各章都给出利用 PSpice 分析电路的内容,引导学生掌握先进的电子线路分析方法。需要说明的是,本书对高频电子线路的仿真分析采用了 PSpice 仿真软件,它是目前各种仿真软件,如 Multisim、Protel 等仿真软件的内核。本书各章内容的仿真分析也可以采用 Multisim 仿真软件。

高频电子线路是在科学研究和生产实践过程中逐步发展起来的学科,其理论概念和实际电路都来自于科学研究和生产实践,因此,在学习中必须注重理论联系实际,注重实践环节。高频电子线路的各个组成部分都包含许多实际电路,既反映了通信的基本原理,又包含实际应用价值,应当很好地掌握它们。这些复杂的电路有其特有的规律,这是必须掌握的要点。同时应当注意到,构成高频电子线路的元器件与低频电子线路元器件既有相同之处,又有不同之处,在学习过程中必须注意归纳和总结。

本书由钮文良主编,并承担了大部分的编写任务,改写了第一章,编写了新增的第二章和第九章,申功迈对全书进行了审定并补充了部分习题。

限于作者水平,书中难免有不妥之处,敬请读者指正。

作 者

2009 年 8 月

目 录

第一章 绪论	1
1.1 信息技术	1
1.2 通信系统	1
1.2.1 无线通信系统的组成	1
1.2.2 发射系统	2
1.2.3 接收系统	3
1.2.4 信道	3
1.2.5 无线通信系统的类型	4
1.3 信号	5
1.3.1 信号的分类	5
1.3.2 信号的时间特性和频谱特性	7
1.3.3 信号的传输特性	10
1.3.4 混合信号的传输特性	11
1.4 带宽和信息容量	14
习题	15
第二章 高频电路中的元器件	16
2.1 高频电路中的无源器件	16
2.1.1 电阻	16
2.1.2 电容	17
2.1.3 电感	18
2.2 高频电路中的有源器件	18
2.2.1 二极管	19
2.2.2 晶体管	25
2.2.3 场效应管	30
习题	33
第三章 通信信号的接收	35
3.1 概述	35
3.2 小信号谐振放大器	36
3.2.1 单级单调谐放大器	37
3.2.2 多级单调谐回路谐振放大器	47
3.2.3 双调谐回路谐振放大器	49
3.2.4 谐振放大器的稳定性	51
3.3 集中选频放大器	53
3.3.1 集中选频滤波器	53
3.3.2 集中选频放大器的应用	56

3.4 放大器的噪声	57
3.4.1 电阻热噪声、晶体管的噪声	57
3.4.2 噪声系数	60
3.4.3 降低噪声系数的措施	63
3.5 实训：高频小信号谐振放大器的仿真与性能分析	64
习题	70
第四章 通信信号的发送	72
4.1 通信信号的功率放大	72
4.2 谐振功率放大器	73
4.2.1 谐振功率放大器的基本工作原理	73
4.2.2 谐振功率放大器的工作状态分析	77
4.2.3 谐振功率放大器电路	82
4.3 宽频带的功率合成(非谐振高频功率放大器)	89
4.3.1 传输线变压器	90
4.3.2 功率合成电路	95
4.4 倍频器	98
4.4.1 丙类倍频器	98
4.4.2 参量倍频器	99
4.5 天线	101
4.5.1 对称天线、单极天线	102
4.5.2 抛物面天线、微带天线	103
4.6 实训：高频谐振功率放大器的仿真与性能分析	104
习题	107
第五章 正弦波振荡器	109
5.1 概述	109
5.2 反馈型振荡器的基本工作原理	109
5.2.1 起振条件和平衡条件	110
5.2.2 稳定条件	111
5.2.3 正弦振荡电路的基本组成	112
5.3 LC 正弦振荡电路	113
5.3.1 三点式振荡电路	113
5.3.2 改进型电容三点式振荡电路	115
5.4 晶体振荡器	116
5.4.1 石英谐振器的特性	117
5.4.2 晶体振荡电路	118
5.5 实训：正弦波振荡器的仿真与蒙特卡诺(Monte Carlo)分析	120
习题	125
第六章 信号变换一：振幅调制、解调与混频电路	128
6.1 信号变换概述	128
6.1.1 振幅调制电路	128
6.1.2 振幅解调电路	134
6.1.3 混频电路	135

6.2 振幅调制电路	136
6.2.1 模拟乘法器	137
6.2.2 低电平调制电路	142
6.2.3 高电平调制电路	144
6.3 振幅解调电路	145
6.3.1 二极管包络检波电路	145
6.3.2 同步检波电路	149
6.4 混频电路	150
6.4.1 混频电路	150
6.4.2 混频过程中产生的干扰和失真	154
6.5 自动增益控制	156
6.5.1 AGC 电路的作用及组成	156
6.5.2 AGC 电压的产生	157
6.5.3 实现 AGC 的方法	158
6.6 实训：幅度调制电路及幅度解调电路的仿真	159
习题	164
第七章 信号变换二：角度调制与解调	166
7.1 角度调制原理	166
7.1.1 调频信号数学表达式	166
7.1.2 调相信号数学表达式	167
7.1.3 调角信号的频谱和频谱宽度	168
7.2 调频电路	171
7.2.1 直接调频电路	171
7.2.2 间接调频电路	175
7.2.3 扩展最大频偏的方法	177
7.3 角度调制的解调	178
7.3.1 相位检波电路	178
7.3.2 频率检波电路	182
7.4 自动频率控制	186
7.4.1 AFC 的原理	187
7.4.2 AFC 的应用	187
7.5 实训一：49.67 MHz 窄带调频发射器的制作	188
7.6 实训二：49.67 MHz 窄带调频接收器的制作	190
习题	192
第八章 锁相技术及频率合成	194
8.1 锁相环路	194
8.1.1 锁相环路的基本工作原理	194
8.1.2 锁相环路的数学模型	195
8.1.3 锁相环路的捕捉特性	200
8.1.4 锁相环路的跟踪特性	202
8.1.5 一阶锁相环路的性能分析	202
8.2 集成锁相环和锁相环的应用	204
8.2.1 集成锁相环	204

8.2.2 锁相环的应用	211
8.3 频率合成原理	215
8.3.1 频率合成器的技术指标	215
8.3.2 直接频率合成法(直接式频率合成器)	217
8.3.3 间接频率合成法(锁相频率合成器)	218
8.3.4 直接数字式合成法(直接数字式频率合成器)	220
8.4 实训:锁相环路性能测试	223
习题	226
第九章 数字调制	228
9.1 概述	228
9.2 二进制幅度键控	229
9.2.1 二进制幅度键控 2ASK(BASK)	229
9.2.2 二进制幅度键控 2ASK 解调	231
9.3 二进制移频键控	232
9.3.1 二进制移频键控 2FSK(BFSK)	232
9.3.2 二进制移频键控 2FSK 解调	234
9.4 二进制移相键控	234
9.4.1 二进制移相键控 2PSK(BPSK)	234
9.4.2 二进制移相键控 2PSK 解调	236
习题	236

第一章 绪 论

1.1 信息技术

信息技术概括起来包括两类：信息处理技术与信息传输技术。

信息是一个抽象的概念。信息的具体形式有：语言、文字、符号、音乐、图形、图像和数据。将表示声音和图像等的物理信号，经过传感器转换为电信号，就成为我们处理的对象。人们从这些信号中获取信息。

通信的任务是传递信息，即将经过处理的信息从一个地方传递到另一个地方。对于信息传输最主要的要求就是传输的可靠性和有效性。信息处理的目的是为了更有效、更可靠地传递信息。传递信息可以通过有线方式，也可以通过无线方式。通信作为无线电技术最早的应用，其系统组成和工作过程，很典型地反映了无线电技术的基本问题。通信技术的发展和现代化也充分反映了无线电技术的发展和现代化。本书将以无线通信系统为主要研究对象，着重讨论无线电设备中的高频放大器和高频功率放大器、振荡器及频率变换等电子线路的基本原理和应用。

1.2 通信系统

一切能完成信息传输任务的系统都可以称为通信系统。高频电路是通信系统，特别是无线通信系统的基础，是无线通信设备的重要组成部分。

通信系统的基本任务是从一个地方向另一个地方传送信息。因此，电子通信可以被总结为在两个或多个位置使用电子线路传输、接收和处理信息。始发的源信息可以是模拟(连续)形式的，如人类的语言或音乐，也可以是数字(离散)形式的，如二进制编码的数字或字母数字代码。各种形式的信息在通过通信系统传播之前，必须对其进行转换。

电子通信技术已经发展了百年，其基本概念和原理变化不大，但其实现技术和电路经历了重大的变化。近年来，晶体管和线性集成电路简化了电子通信电路的设计，使其更加小型化，并改善了性能和可靠性，降低了总成本。越来越多的人需要相互通信，这一巨大的需求刺激着电子通信工业快速发展。现代通信系统包括电缆通信系统、微波通信系统、卫星通信系统和无线电通信系统以及光纤通信系统。

1.2.1 无线通信系统的组成

了解通信系统的构成，有利于掌握通信系统的基本原理及通信电子线路的组成原理。

通信系统的核心部分是发送设备和接收设备。不同的通信系统的发送设备和接收设备组成不完全相同,但其基本结构有相似之处。通信系统通常分为有线通信系统和无线通信系统,我们常见的无线通信系统有广播通信系统、移动通信系统等。一个完整的通信系统基本组成框图如图 1.1 所示。

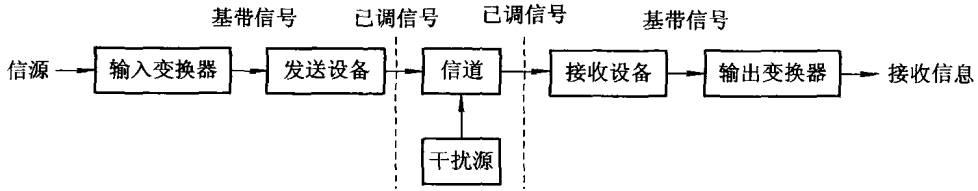


图 1.1 通信系统基本组成框图

无线通信系统的基本组成框图与通信系统基本相同,包括发射系统(信源、输入变换器、发送设备)、接收系统(接收设备、输出变换器、接收信息)、信道、干扰源等。

1.2.2 发射系统

信源是指需要传送的原始非电物理量信息源,如语言、音乐、图像、文字等。信源经输入变换器后转换成电信号。

输入变换器的主要任务是将要传递的语言、音乐、图像、文字等信息变换为电信号,该电信号包含了原始消息的全部信息(允许存在一定的误差,或者说信息损失)。这类信号的频率一般比较低,称为“基带信号”。输入变换器输出的基带信号作为通信系统的信号源。基带信号不一定适合在信道上直接传输,可将其送入发送设备,变换成适合信道传输的信号后再送入信道。

发送设备主要有两大任务:调制与放大。

调制就是将基带信号变换成适合信道传输的高频信号。在连续波调制中,是指用原始电信号(调制信号)去控制高频振荡信号(载波信号)的某一参数,使之随着调制信号的变化规律而变化。经过调制的高频信号称为已调信号。无线通信发送设备的任务就是将基带信号变换成适合在空间信道传输的高频信号。图 1.2 所示为无线通信发送设备组成框图。

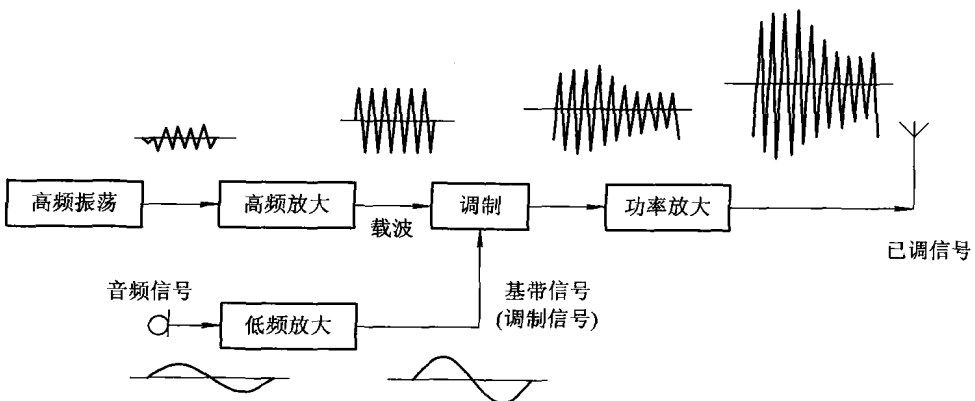


图 1.2 无线通信发送设备

发送设备的另一个任务是放大, 即对已调波信号的电压和功率进行放大、滤波等处理, 使已调波信号具有足够大的功率以便送入信道。

在无线通信中, 天线的作用是很重要的, 它将已调信号转换成电磁波送入信道。由天线理论可知, 要将无线电信号有效地发射出去, 天线的长度必须和电信号的波长为同一数量级。例如, 音频信号的频率一般在 20 kHz 以下, 对应波长为 15 km 以上, 直接传输时需要的天线约 4 km, 但使用如此巨大的天线是不可能的。此外, 即使这样的天线制造出来, 由于各个发射台发射的均为同一频段的低频信号, 各信号在信道中会互相重叠、干扰, 导致接收设备无法选择出所要接收的信号。因此, 为了有效地进行传输, 必须采用几百千赫以上的高频信号作为载体, 将低频的基带信号“装载”到高频信号上(调制), 然后经天线发射出去。采用调制方式以后, 由于传送的是高频信号, 所需天线尺寸大大下降。同时, 不同的发射台可以采用不同频率的载波信号, 这样各种信号在频谱上就可以互相区分开了。

1.2.3 接收系统

接收设备主要有三大任务: 选频、放大、解调。

接收设备将信道传送过来的已调信号从众多信号和噪声中选取出来, 并对其进行处理, 以恢复出与发送端一致的基带信号。图 1.3 所示是通信系统中调幅式无线电接收设备的组成框图。

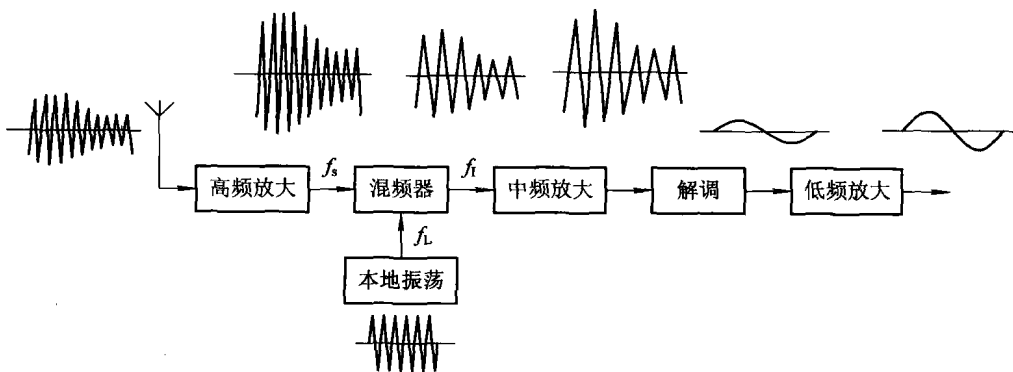


图 1.3 无线通信接收设备

接收设备的第一级是高频放大器。发送设备发出的信号经过长距离传播会受到很大的衰减, 能量损失较大, 同时, 信号还受到传输过程中来自各方面的干扰和噪声。当达到接收设备时, 信号是很微弱的, 需要经过放大器进行放大。并且, 高频放大器的窄带特性可以同时滤除一部分带外的噪声和干扰。高频放大器的输出是载频为 f_s 的已调信号, 经过混频器与本地振荡器提供的频率为 f_L 的信号混频, 产生频率为 f_i 的中频信号。中频信号经中频放大器放大, 送到解调器, 恢复原基带信号, 再经低频放大器放大后输出。

1.2.4 信道

信道是信号传输的通道, 也就是传输媒介, 不同的信道有不同的传输特性。信道包括有线信道和无线信道。有线信道有架空明线、同轴电缆、波导管和光缆等, 无线信道主要

有大气层、海水或外层空间等。无线电波在空间传播的性能与大气结构、高空电离层结构、大地的衰减以及无线电波的频率、传播路径等因素密切相关,因此,不同频段无线电波的传播路径及其受上述各种因素的影响程度也不同。

在无线模拟通信系统中,传输媒介是自由空间。根据电磁波的波长或频率范围,电磁波在自由空间的传播有多种方式,各种传播方式下信号传输的有效性和可靠性不同,由此使得通信系统的构成及其工作机理也有很大的不同。

无线电波在空间的传播速率与光速相同,约为 3×10^8 m/s。无线电波的波长、频率和传播速率的关系为

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (1-1)$$

式中, λ 是波长, c 是传播速率, f 是频率。由于电波的传播速率固定不变,所以信号频率越高,波长越短。

无线通信系统使用的频率范围很宽阔,从几十千赫兹到几十吉赫兹。不同频率范围的无线电波传播规律不同,应用范围也不同。习惯上将电磁波的频率范围划分为若干个区段,称做频段或波段。

电磁波在空间的传播途径有三种。

第一种是沿地面传播,称为地波,如图 1.4(a)所示。例如,长波和中波通信的频率在 1.5 MHz 以下,波长较长,地面的吸收损耗较少,信号可以沿地面远距离传播。

第二种是依靠电离层的反射传播,称为天波,如图 1.4(b)所示。电磁波到达电离层后,一部分被吸收,一部分被反射和折射到地面。频率越高,被吸收和反射的能量越少,电磁波穿入电离层也越深,但当频率超过一定值后,电磁波就会穿过电离层而不再返回地面了。例如,对于频率范围为 1.5~30 MHz 的信号,波长较短,地面绕射能力弱,且地面吸收损耗较大,但能被电离层反射到远处,故可采用天波通信方式。

第三种是在空间直线传播,称为直线波或者空间波,如图 1.4(c)所示。对于频率在 30 MHz 以上的超短波,由于其波长较小,不能绕过地面障碍物,并且地面吸收损耗很大,因而不能用地波方式传播,而且超短波能穿透电离层,因而也不能以天波方式传播,它只能在空间以直线方式传播。因为地球表面是球形的,所以直线波的传播距离有限,并与发射和接收天线的高度有关。移动通信、电视和调频广播等均采用直线波传播方式。

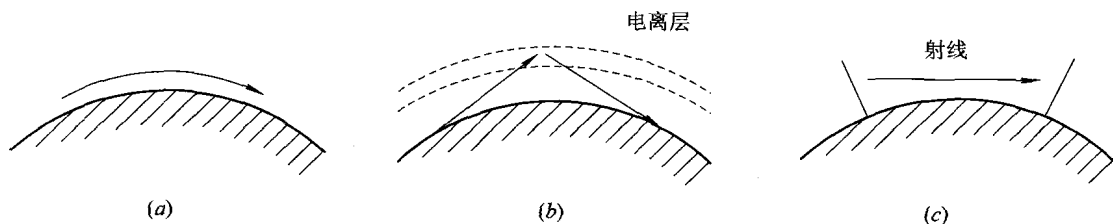


图 1.4 无线电波的传播方式
(a) 地波; (b) 天波; (c) 直线波

1.2.5 无线通信系统的类型

通信系统的种类很多。按照所用信道的不同,可以分为有线通信系统和无线通信系

统；按照业务(即所传输的信息种类)的不同，可以分为电话、电报、传真和数据通信系统等；按照通信系统中信道传输的基带信号不同，可以分为模拟通信系统和数字通信系统。

无线通信系统也有不同的划分方法。

(1) 按照工作频段或传输手段分类，有中波通信、短波通信、超短波通信、微波通信和卫星通信等。其中工作频段主要指发射与接收的射频(RF)频段。射频实际上就是“高频”的广义语，它是指适合无线电发射和传播的频率。无线通信的一个发展方向就是开辟更高的频段。

(2) 按照通信方式分类，主要有(全)双工通信、半双工通信和单工通信。

单工通信系统有时称为单向的、只接收或只发送的系统。商业电台或电视广播是单工通信的一个例子，电台总是发射端，而用户总是接收端。

半双工通信中，信号的传输可以在两个方向上进行，但不是同时的。使用按讲(PTT)开关控制发射机的双向无线电系统是半双工通信的例子。

全双工通信中，信号的传输可以同时两个方向上进行。标准的电话系统就是全双工传输的例子。

(3) 按照调制方式的不同来划分，有调幅(AM)通信、调频(FM)通信、调相(PM)通信以及混合调制通信等。调幅是指载波信号的幅度随基带信号变化；调频是指载波信号的频率随基带信号变化；调相是指载波信号的相位随基带信号变化。

(4) 按照传送消息的类型分类，有模拟通信和数字通信，也可以分为话音通信、图像通信、数据通信和多媒体通信等。

各种不同类型的通信系统，其系统组成和设备的复杂程度都有很大不同，但是组成设备的基本电路及其原理都是相同的，遵从同样的规律。本书将以模拟通信为重点来研究这些基本电路，认识其规律。这些电路和规律完全可以推广应用到其它类型的通信系统中。

1.3 信 号

在高频电路中，我们要处理的无线电信号主要有三种：基带(消息)信号、高频载波信号和已调信号。所谓基带信号，就是没有进行调制的原始信号，也称调制信号。高频载波信号主要指用于调制的高频振荡(载波)信号和用于解调的本地振荡信号(或称恢复载波)，一般为单一频率的正弦(或余弦)信号或脉冲信号。已调信号是调制信号对载波信号进行调制以后所得到的信号。基带信号通常为低频信号，后两者为高频信号。

无线电信号有多方面的特性，主要包括时间(域)特性、频率特性、频谱特性、调制特性、传输特性等。

1.3.1 信号的分类

1. 确定信号与随机信号

确定信号可用一确定的时间函数来表示，对于指定的某一时刻，可以确定一个相应的函数值。例如，正弦信号就是确定信号。实际传输中的信号往往是不确定的，这种信号称为随机信号。随机信号不能用确定的时间函数来表示，当给定某一时间值时，信号的函数

值并不确定,只能研究它取某一数值的概率。本书将只研究确定信号。

2. 周期信号与非周期信号

周期信号按一定的时间间隔重复出现,其函数表达式为

$$f(t) = f(t + nT) \quad n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (1-2)$$

满足这个表达式的最小 T 值称为信号的周期。若令 T 趋于无限大,则周期信号就成为非周期信号。

3. 连续信号与离散信号

如果在某一时间间隔内,除了若干不连续点之外,信号的函数表达式对一切时间值都给出确定的函数值,这种信号称为连续信号。图 1.5(a)所示的正弦波信号就是连续信号。时间和幅值都连续的信号又称为模拟信号。

如果信号的函数表达式中,只在某些不连续的时间值上有给定函数值,则这种信号称为离散信号。图 1.5(b)所示即为离散信号。时间变量取离散值时,称这种信号为离散时间信号。

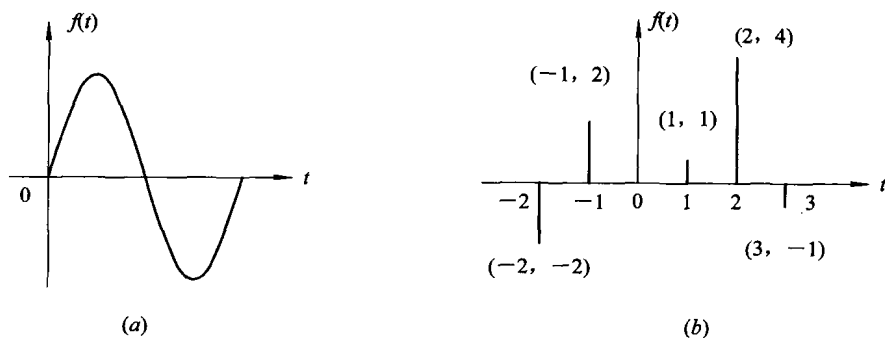


图 1.5 连续信号和离散信号

(a) 连续信号; (b) 离散信号

如果离散时间信号的幅值是连续的,可称其为抽样信号。若离散信号的幅值也被限定为某些离散值,即时间与幅值都具有离散性,则称其为数字信号。

4. 能量信号与功率信号

在一定的时间间隔里,将信号加在负载上,负载中就消耗一定的信号能量。将这个能量值对于时间间隔取平均值,即得在此时间间隔内的信号平均功率。若时间间隔趋于无限大,则有两种情况:信号总能量为有限值,信号平均功率为零,这种信号称为能量信号;或者信号平均功率为有限值,信号能量为无限大,这种信号称为功率信号。周期信号都是功率信号;只存在于有限时间内的非周期信号是能量信号;存在于无限时间内的非周期信号可以是能量信号,也可以是功率信号。

5. 噪声

在信号处理过程中会遇到各种无用的干扰信号。信号处理过程所引入的有害的干扰统称为噪声。噪声根据来源不同可分为:

(1) 人为噪声,亦称可消除噪声,如电器设备火花所产生的高频脉冲、电源因滤波器