



“十二五”国家重点图书出版规划项目
电子与信息工程系列

RADIO FREQUENCY ELECTRONICS CIRCUITS

通信电子线路

● 赵雅琴 侯成宇 陈浩 主编



哈尔滨工业大学出版社
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS



“十二五”国家重点图书出版规划项目
电子与信息工程系列

RADIO FREQUENCY ELECTRONICS CIRCUITS

通信电子线路

● 赵雅琴 侯成宇 陈浩 主编



哈尔滨工业大学出版社
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内容简介

本书系统地对无线电通信系统组成模块的基本原理、性能特点、电路结构、电路工作原理、电路分析和设计方法等方面做了深入的讨论。全书共 11 章。第 1 章绪论部分,介绍通信电子线路的发展历程、无线发射机和接收机的系统模型及信道传播方式;第 2 章是高频电子线路基础部分;第 3 章和第 4 章是高频小信号线性放大和功率放大部分;第 5 章是正弦波发生电路;第 6 章和第 7 章是频谱的线性变换部分;第 8 章和第 9 章是调角电路及调角信号的解调;第 10 章是反馈控制电路部分;第 11 章是软件无线电部分。

本书定位于电子信息类通信工程、电子信息工程、信息对抗技术、遥感科学与技术、电磁场与无线技术、电子信息科学与技术、仪器科学与技术等专业的本科生“通信电子线路”或“高频电子线路”课程教材,也可作为电子信息工程、通信工程等相关领域技术人员的参考书。

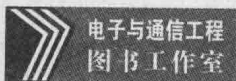
图书在版编目(CIP)数据

通信电子线路/赵雅琴,侯成宇,陈浩主编. —哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2014. 11

ISBN 978-7-5603-4276-4

I. ①通… II. ①赵… ②侯… ③陈… III. ①通信系统—电子电路—高等学校—教材 IV. ①TN91

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 259248 号



责任编辑 李长波

封面设计 刘洪涛

出版发行 哈尔滨工业大学出版社

社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街 10 号 邮编 150006

传 真 0451-86414749

网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>

印 刷 哈尔滨工业大学印刷厂

开 本 787mm×1092mm 1/16 印张 20.75 字数 502 千字

版 次 2014 年 11 月第 1 版 2014 年 11 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5603-4276-4

定 价 36.00 元

(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)

“十二五”国家重点图书 电子与信息工程系列

编 审 委 员 会

顾 问 张乃通

主 任 顾学迈

副 主 任 张 晔

秘 书 长 赵雅琴

编 委 (按姓氏笔画排序)

王 钢 邓维波 任广辉 沙学军

张钧萍 吴芝路 吴 群 谷延锋

孟维晓 赵洪林 赵雅琴 姜义成

郭 庆 宿富林 谢俊好 冀振元

序

FOREWORD

教材建设一直是高校教学建设和教学改革的主要内容之一。针对目前高校电子与信息工程教材存在的基础课教材偏重数学理论,而数学模型和物理模型脱节,专业课教材对最新知识点和研究成果跟踪较少等问题,及创新型人才的培养目标和各学科、专业课程建设全面需求,哈尔滨工业大学出版社与哈尔滨工业大学电子与信息工程学院的各位老师策划出版了电子与信息工程系列精品教材。

该系列教材是以“寓军于民,军民并举”为需求前提,以信息与通信工程学科发展为背景,以电子线路和信号处理知识为平台,以培养基础理论扎实、实践动手能力强的创新型人才为主线,将基础理论、电信技术实际发展趋势、相关科研开发的实际经验密切结合,注重理论联系实际,将学科前沿技术渗透其中,反映电子信息领域最新知识点和研究成果,因材施教,重点加强学生的理论基础水平及分析问题、解决问题的能力。

本系列教材具有以下特色:

(1)强调平台化完整的知识体系。该系列教材涵盖电子与信息工程专业技术理论基础课程,对现有课程及教学体系不断优化,形成以电子线路、信号处理、电波传播为平台课程,与专业应用课程的四个知识脉络有机结合,构成了一个通识教育和专业教育的完整教学课程体系。

(2)物理模型和数学模型有机结合。该系列教材侧重在经典理论与技术的基础上,将实际工程实践中的物理系统模型和算法理论模型紧密结合,加强物理概念和物理模型的建立、分析、应用,在此基础上总结牵引出相应的数学模型,以加强学生对算法理论的理解,提高实际应用能力。

(3)宽口径培养需求与专业特色兼备。结合多年来有关科研项目的科研经验及丰硕成果,以及紧缺专业教学中的丰富经验,在专业课教材编写过程中,在兼顾电子与信息工程毕业生宽口径培养需求的基础上,突出军民兼用特色;在

满足一般重点院校相关专业理论技术需求的基础上,也满足军民并举特色的要求。

电子与信息工程系列教材是哈尔滨工业大学多年来从事教学科研工作的各位教授、专家们集体智慧的结晶,也是他们长期教学经验、工作成果的总结与展示。同时该系列教材的出版也得到了兄弟院校的支持,提出了许多建设性的意见。

我相信:这套教材的出版,对于推动电子与信息工程领域的教学改革、提高人才培养质量必将起到重要推动作用。

中国工程院院士 张乃通
哈尔滨工业大学教授



2010年11月于哈工大

前 言

PREFACE

本书定位于电子信息类通信工程、电子信息工程、信息对抗技术、遥感科学与技术、电磁场与无线技术、电子信息科学与技术、仪器科学与技术等专业的本科生“通信电子线路”或“高频电子线路”课程教材,也可作为电子信息工程、通信工程等相关领域技术人员的参考书。

本书重点对无线电通信系统组成模块的基本原理、性能特点、电路结构、电路工作原理、电路分析方法、电路设计方法、系统总体性能分析等方面做了深入的讨论,每章后面附有习题,供读者学习和检查。

本书共 11 章。第 1 章绪论。介绍通信电子线路的发展历程、无线发射机和接收机的系统模型及信道传播方式。

第 2 章是高频电子线路基础部分。主要介绍电子线路有源和无源器件的高频传输特性、谐振回路的特性及分析方法。

第 3 章和第 4 章是高频小信号线性放大和功率放大部分。主要介绍高频小信号放大电路的基本结构、性能特点、电路的分析和设计方法等;以及高频功率放大电路的基本结构、工作原理、性能特点、电路分析和设计的方法及功率合成的概念。

第 5 章是正弦波发生电路。介绍了反馈型 LC 振荡电路及其改进形式、晶体振荡器、压控振荡器等电路结构、工作原理、起振条件和稳频措施等。

第 6 章和第 7 章是频谱的线性变换部分。主要介绍调幅、检波、变频的基本原理、数学模型、性能特点、电路结构、电路分析和设计方法等。

第 8 章和第 9 章是调角电路及调角信号的解调。主要介绍调角信号的基本原理、数学模型、时频域分析方法、电路结构及工作原理、分析和设计方法等。

第 10 章是反馈控制电路部分。阐述了自动增益控制电路、自动频率控制电路、自动相位控制电路的工作原理、电路结构、具体应用等。

第 11 章是软件无线电部分。介绍了软件无线电概念的由来、基本结构等。

本书第 1~3 章、第 6~7 章、第 11 章由赵雅琴编写,第 4~5 章由陈浩编写,第 8~10 章由侯成宇编写,全书由赵雅琴统稿。何胜阳参加了本书的编写工作。

本书得到了“十二五”国家重点图书出版规划项目的支持。

由于作者水平有限,书中难免存在疏漏与不足之处,望广大读者批评指正。

作 者

2014 年 8 月

目 录

CONTENTS

第 1 章 通信电子线路概述	1
1.1 通信电子线路的发展	1
1.2 通信电子线路的研究对象	2
1.3 无线信道及传播方式	5
习 题	6
第 2 章 高频电路基础知识	7
2.1 概述	7
2.2 串联谐振回路	11
2.3 并联谐振回路	17
2.4 串、并联阻抗的等效互换与回路抽头式的阻抗变换	22
2.5 耦合回路	25
习 题	33
第 3 章 高频小信号放大器	37
3.1 概述	37
3.2 晶体管高频小信号等效模型	40
3.3 单调谐回路谐振放大器	47
3.4 多级单调谐回路谐振放大器	55
3.5 双调谐回路谐振放大器	56
3.6 谐振放大器的稳定性与稳定措施	59
3.7 谐振放大器的常用电路和集成电路谐振放大器	66
3.8 场效应管高频小信号放大器	72
3.9 放大器中的噪声	75
3.10 噪声的表示和计算方法	84
习 题	91
第 4 章 高频功率放大电路	96
4.1 概述	96

4.2	丙类高频功率放大器的工作原理	98
4.3	集成谐振功率放大电路	122
4.4	丁类和戊类高频功率放大器	128
4.5	宽带高频功率放大电路(传输线变压器)	134
4.6	功率合成器	141
	习 题	148
第 5 章	正弦波振荡器	151
5.1	概述	151
5.2	反馈型 LC 振荡电路	151
5.3	晶体振荡电路	164
5.4	压控振荡器	168
5.5	负阻振荡器	170
5.6	集成振荡电路	173
	习 题	175
第 6 章	振幅调制及检波	178
6.1	概述	178
6.2	二极管调幅电路	182
6.3	晶体管调幅电路	186
6.4	模拟乘法器调幅电路	191
6.5	二极管检波电路	195
6.6	同步检波器	205
6.7	数字信号调幅与解调	207
	习 题	209
第 7 章	混频电路	215
7.1	概述	215
7.2	二极管混频电路	217
7.3	晶体管混频电路	221
7.4	差分对模拟乘法器混频电路	224
7.5	混频器中的干扰和失真	225
7.6	集成变频电路	229
	习 题	231
第 8 章	角度调制电路	233
8.1	概述	233
8.2	变容二极管工作原理	241
8.3	变容二极管直接调频电路	242

8.4	晶体振荡器直接调频电路	247
8.5	调相电路	248
8.6	集成调频发射电路	253
8.7	数字调频调相	255
	习 题	258
第 9 章	角度解调电路	261
9.1	概述	261
9.2	鉴相器	263
9.3	鉴频器	268
9.4	实际调频接收机	278
9.5	数字鉴频鉴相	281
	习 题	283
第 10 章	反馈控制电路	285
10.1	概述	285
10.2	自动增益控制电路(AGC)	285
10.3	自动频率控制电路	289
10.4	锁相环路的基本工作原理及数学模型	291
10.5	锁相环路的应用	304
10.6	集成锁相环	306
	习 题	310
第 11 章	软件无线电	311
11.1	软件无线电概念的提出	311
11.2	软件无线电的基础知识	312
11.3	软件无线电系统的基本结构	316
	参考文献	318

第 1 章

通信电子线路概述

通信电子线路也称高频电子线路(Radio Frequency Electronics Circuits, RFC),是在两地或者多地之间进行信息的发射、接收和处理的电子线路结构。所有形式的原始信息在远距离的传播之前必须经过通信电子线路转换成电磁能量;从各种传输媒介中接收到的电磁能量也必须经过通信电子线路才能转换成原来的信息形式。

携带信息的物理过程被称为信号,在数学上表示成一个或者几个独立变量的函数。信号处理理论与技术就是对携带物理信息的模拟及数字信号运用数学方法进行分析处理的方法。该信号的采集、传输、分析、处理最终要靠电子系统来完成,就是采用基本的电子线路元器件、集成电路模块等来实现。电子信息类专业知识要解决的根本问题是信息的采集、传输和处理,其知识体系主要由信号处理知识平台、电子线路知识平台、电波传播知识平台构成。

通信电子线路课程的主要目标是帮助学生建立通信系统的概念,明确通信系统的基本构成、通信信号传输的基本理论,并进一步掌握采用电子线路来设计实现通信链路的各部分模块,继而设计完整通信系统的方法。该课程是电子信息类专业的技术基础,在信号处理理论、电子线路技术、电波传播理论之间起到了系统核心纽带的作用。

1.1 通信电子线路的发展

1837 年, Samuel Morse (莫斯)发明了第一台电子通信系统。Morse 首先将待传输的信息用 26 个英文字母和 10 个阿拉伯数字来表示,并将全部英文字母和阿拉伯数字全部用点、横线和空三种符号以不同组合形式来表示,即电信科学史上最早的编码,称“Morse 电码”。Morse 搭建了第一台基于电磁感应现象的电报机,发送端由电键和一组电池构成,传递装置为一定金属传输线,收报机装置较复杂,是由一只电磁铁及有关附件组成的。发送端按下电键,便有电流通过。按的时间短促表示点信号,按的时间长些表示横线信号。当传输线有电流通过时,接收端电磁铁便产生磁性,由电磁铁控制的笔就在纸带上记录下点或横线,实现了发送端和接收端之间点、横线和空三种符号的信息传输。

尽管该电报系统结构简单,但是包含了本书研究的现代通信电子系统包含的所有基本要素。发送端的电键和电池负责将待传输信息转换成电信号发送至金属传输线上,接收端将金属传输线上接收到的电信号转换成接收信息的符号,金属传输线即为传输信道。其基本原理框图如图 1.1 所示。

图 1.1 所示的一个完整的通信系统包括发送设备、传输媒介、接收设备三部分。发送设备的主要任务是将信源发出的原始信息转换成适合传输的信号,并发送给传输媒介。传输



媒介在发送设备和接收设备之间进行信号的传输,可以是电缆、光缆及自由空间。接收设备的功能是将从传输媒介接收到的信号转换成原始的信息。

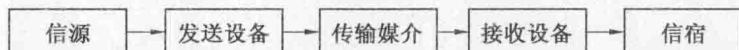


图 1.1 电子通信系统基本原理框图

回顾无线电通信的发展历程,其中有历史性推动意义的理论或技术突破有以下几方面。1876 年, Alexander Graham Bell(贝尔)和 Thomas Alva Edison(爱迪生)发明了电话,用一根粗金属线成功实现了远距离的语音传输,开启了用电信号实现语音传输的历史。1865 年 James Clerk Maxwell(麦克斯韦)建立了无线电信号传输的理论框架,并在 1887 年得到了 Heinrich Rudolph Hertz(赫兹)的实验验证。1894 年, Guglielmo Marconi 依据 Maxwell 无线电传输理论成功通过地球大气传输了一组无线电信号,使得与有线电缆所不能及之处的通信成为可能。到 19 世纪末,实用化的无线电报系统投入了使用,主要实现海基与岸基设备之间、海基与海基设备之间的通信。1901 年, Guglielmo Marconi 用无线电波实现了首次越洋通信。1904 年, Sir John Ambrose Fleming 发明了二极管。1908 年, Lee DeForest 发明了三极管,实现了电信号的放大,提高了信号的传输距离。商用的无线电台始于 1920 年,开始传播幅度调制信号,此时的发射机和接收机都采用真空管技术,至 20 年代后期无线电广播已比较常见。1933 年, Major Edwin Howard Armstrong 发明了频率调制;1936 年,频率调制商用广播信号开始传播。二战之前,欧美国家已经开始研制电视机,并在战后逐渐推广开来。

尽管无线电通信系统的基本概念和基本原理自出现以来变化很小,但其实现方法和电路结构却经历了巨大的变化。初始阶段的无线电通信系统是由分立元器件构成,体积大、功耗高、稳定性差;后来集成电路的出现已经大大简化了通信电子线路的设计,能够减小系统体积、提高系统性能和可靠性,降低造价;近年来出现了系统级的集成芯片,使得电路结构大大简化,体积降低,性能和可靠性有了大幅度的提升。

随着技术的进步,通信电子线路分析和设计方法也有了不断的进步。在设计的过程中,通常采用电路设计、仿真实验、实际电路测试实验相结合的方法来完成。通过 ADS、Multisim 等各种仿真工具对所分析或者设计的电路进行仿真分析和验证,仿真验证通过后再进行实验测试,大大缩短了电路设计的工期,提高了设计的效率,降低了成本。

1.2 通信电子线路的研究对象

为了更好地掌握通信电子线路的知识,本节重点以无线电广播传输原理为例介绍无线电通信系统传输过程中发射系统和接收系统的基本原理,及各部分模块的外围信号特性,明确通信电子线路的研究对象,为后面知识的学习建立宏观概念。无线电广播系统结构虽然简单,但它是目前移动通信、雷达信息传输系统等复杂无线通信系统的原型,具有代表性。

1.2.1 无线电信息发射系统组成和基本原理

为了实现信息在自由空间的远距离传输,需将要传输的信息(声音、文字、图像等)转换成无线电信号送到接收端。如何使信息传输的距离更远、更多用户同时传输是信息传输系



统要考虑的两个基本问题。

声音转换成了与其同频率的交变电磁振荡信号后,可以利用天线将其向空中辐射出去。但是无线电波通过天线辐射时,天线的长度必须和电磁波的波长相近,才能有效地把电磁波辐射出去。对于声音信号而言,转换成电信号后频率范围为 $20\text{ Hz} \sim 20\text{ kHz}$, 波长范围为 $15 \times 10^6 \sim 15 \times 10^3\text{ m}$, 如此大尺寸的天线,制造及使用都是问题。即使该尺寸的天线能够制造出来,但是各个电台所发射的信号都在 $20\text{ Hz} \sim 20\text{ kHz}$ 的频率范围内,接收者也无法通过频率选择出所需要的接收信号。

解决的方法是将待传送的音频信号加载到高频信号上去,将携带音频信号的高频振荡信号发射出去。这样天线尺寸可以大幅度减小,不同的电台也可以采用不同的高频振荡频率,接收端可以分辨出不同的接收信号。将待传送的信息加载到高频振荡信号上去的过程称为调制,实现调制功能的电路称为调制器,该电路称为无线电发射系统的核心功能模块。音频信息加载到高频振荡信号的幅度上去称为调幅,加载到频率上去称为调频,加载到相位上去称为调相。

无线电调幅广播发射机原理框图如图 1.2 所示。



图 1.2 无线电调幅广播发射机原理框图

低频部分由声音变换器进行声电转换,通过放大器进行音频信号放大,送入调制器。高频部分由主振器产生高频振荡信号,然后进行放大,送入振幅调制器和放大后的音频信号进行幅度调制,然后进行高频功率放大,将信号发射出去。

声音信号转化成的电信号作为待传送的信号,被称为基带信号或者调制信号,其表达式为

$$u_{\Omega}(t) = U_{\Omega m} \cos \Omega t \quad (1.1)$$

式中 $u_{\Omega}(t)$ ——送给调制器的调制信号的瞬时值;

$U_{\Omega m}$ ——振幅;

Ω ——角频率。

主振器产生的高频振荡信号作为承载着基带信号的载体,被称为载波信号,其表达式为

$$u_c(t) = U_{cm} \cos(\omega_c t + \varphi) \quad (1.2)$$

基带信号和载波信号送到调制器中进行振幅调制,调制器输出的调幅波为

$$u_{AM}(t) = U_{cm}(1 + m_a \cos \Omega t) \cos(\omega_c t + \varphi) \quad (1.3)$$

该信号经过高频功率放大,经天线以电磁波形式辐射出去。

1.2.2 无线电信息接收系统组成和基本原理

无线电接收过程与发送过程正好相反,基本任务是通过天线将传输过来的电磁波接收过来,并从中提取出所需要的信息。由于同一时间,接收天线接收的不仅有所需的无线电信



号,还有其他不同载频的无线电信号和干扰信号,为了选择出所需要的无线电信号,需要使接收到的无线电信号通过一个选频电路,将所需要的无线电信号提取出来,把其他信号和干扰滤除掉。另外,由于从天线接收到的信号非常微弱,只有几十微伏(μV)至几毫伏(mV),需要将滤波后的高频小信号通过一级高频小信号放大器进行放大,使高频信号电压达到1 V左右。在接收端,从高频小信号放大器的输出信号将所传输的音频基带信息提取出来的过程称为解调,实现解调的电路称为解调器。幅度调制信号的解调器称为检波器,频率调制信号的解调器称为鉴频器,相位调制信号的解调器称为鉴相器。因此高频小信号放大电路的输出信号输入至检波器中,完成音频基带信号的解调提取过程。音频信号进行音频放大和功率放大,推动扬声器将音频信号转化为声音。因此接收机的原理框图如图1.3所示,该结构称为直接放大式接收机。

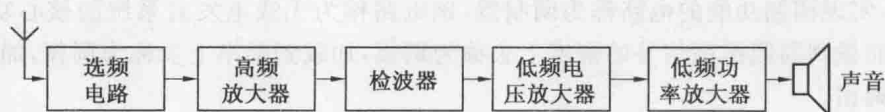


图 1.3 无线电调幅直接放大式接收机原理框图

该接收机的特点是灵敏度高、输出功率大,适用于固定频率的接收,但在接收多个电台时,其调谐过程比较复杂,对高频小信号放大器的放大倍数和带宽的要求都非常高。

为了克服直接放大式接收机的缺点,目前都采用图1.4所示的超外差式接收机结构。该结构接收机的主要特点是:先把接收到的已调波信号的载波频率变换为频率较低或较高且固定不变的中间频率(简称中频),幅度变化规律保持不变;然后利用中频放大器加以放大送至检波器进行检波,解调出基带信号;随后进行低频电压放大和功率放大,通过扬声器还原出声音。

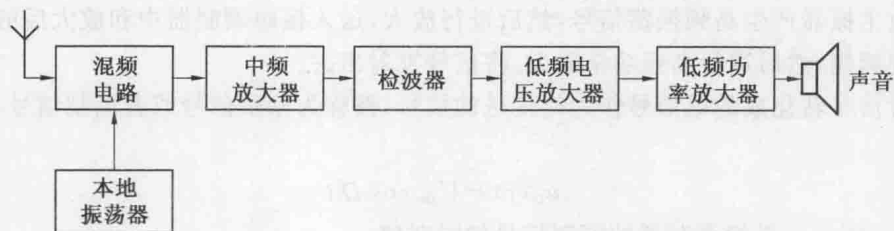


图 1.4 无线电调幅超外差式接收机原理框图

图1.4所示的超外差式接收机中频放大器的中心频率是固定不变的,而接收机的整机增益由中频放大器承担,所以在接收频率范围内增益变化小,可以实现较高的放大倍数,而且选择性也容易满足,对于本地振荡器的设计要求与输入信号同步,实现难度不大。接收机整机可以达到高灵敏度和高选择性兼顾,性能较好。

1.2.3 通信电子线路的学习对象

目前无论传输的信息为声音信号还是其他形式的信号,例如第三代、第四代移动通信系统,其无线电发射和接收系统的结构和原理都与无线电广播发送与接收的基本原理与工作过程相似。构成无线电发射和接收系统的重要组成部分中,高频小信号放大器、高频功率放大器、正弦波振荡器、幅度调制、幅度解调、混频器、频率调制、频率解调、相位调制、相位解调



等模块的工作原理、性能特点、电路结构、分析和设计方法都是本课程重点讲授的内容,将在第3章至第9章中进行详细介绍。

随着技术的进步,在1992年美国科学家 Mitola Joe 提出了软件无线电的概念,软件无线电的基本思想是在通用的硬件平台上通过加载不同的软件来实现多频段、多模式的通信体制。软件无线电技术要求在实现的过程中模数和数模转换模块要尽可能靠近射频的前端,在后面通用的数字信号处理平台上运行不同的软件来实现不同的通信制式,其发射机和接收机的系统结构有了根本性的变化。因此,软件无线电技术被认为是继模拟通信至数字通信、固定通信至移动通信的第三次通信技术革命,本书的第11章将介绍软件无线电的基本概念。

1.3 无线信道及传播方式

信号从发送至接收中间要经过传输媒介。根据传输媒介的不同,通信可以分为有线通信和无线通信两大类。有线通信的传输媒介有电缆、光缆等,无线通信的传输媒介是自由空间。电磁波从发射天线辐射出去后,经过自由空间达到接收天线的传播途径有两大类:地波和天波。

地波指电磁波沿着地面弯曲表面进行传播,或者由于发射天线和接收天线距离地面较高,接收点的电磁波由直射波和地面反射波两部分合成获得。由于地球表面是有电阻的导体,当电磁波沿着其表面传播的时候,将有能量的损耗,且这种损耗随着电波波长的增大而减小。所以,只有长波或者超长波的信号才适合地面波的传播方式。且由于地面的导电特性短时间内不会有很大的变化,因此电波沿地面传播比较稳定。

天波传播是利用电离层的折射和反射来实现的。在距离地面 50 km 以上,空气十分稀薄,太阳辐射与宇宙射线辐射等作用十分强烈,因而空气产生了电离,产生了自由电子和离子,它们的电离密度是成层分布的,因而称为电离层。电离层从里向外可以分为 D、E、F₁、F₂ 层。电磁波到达电离层后,一部分能量被电离层吸收,一部分能量被反射和折射返回地面形成天波。电磁波频率越高,电子和离子的振荡幅度越小,电离层吸收的能量越少,电波穿透的能力越强,因此电离层通信宜采用较高的频率来完成。但是,频率太高的电波会穿透电离层而达到外层空间,因此电离层通信可供采用的频率不能过高,一般只限于短波通信。

当频率继续升高时,进入超短波段后,地面波衰减极大,天波又会穿透电离层不能返回地面,所以只能采用直线(视距)传播方式。视距传播是电波从发射天线发出,沿直线传播到接收天线,如广播电视信号即属此类。由于地球表面是曲面,因此发射天线和接收天线的高度会影响这种直线传播的距离。增高天线可以提高传输距离,目前利用卫星作为地面信号的转发器可以使传播距离大大提高,这就是卫星通信。

近年来,利用对流层(或者电离层)对电波的散射作用,使得超短波(甚至微波)也能够传播到大大超过视距的范围,这就是对流层(或电离层)的散射通信。随着通信所使用的频段的提高,电波传播的情况更为复杂,大气层中的氧气和水蒸气对信号的吸收也成为需要考虑的严重问题。表 1.1 给出了无线电波频段的划分、主要特性和用途、所使用的传输媒介等。具体的电磁波的传播理论会在其他课程中详细讨论。



表 1.1 无线电波的频段划分及用途

频带	波长	名称	传播方式	典型应用	传输媒介
3~30 kHz	$10^2 \sim 10$ km (超长波)	甚低频 (VLF)	地波	远距离导航;声呐;电报; 电话	双线
30~300 kHz	$10 \sim 1$ km (长波)	低频 (LF)	地波	导航系统;航标信号;电 报通信	双线
0.3~3 MHz	$10^3 \sim 10^2$ m (中波)	中频 (MF)	地波或 天波	调幅广播;舰船无线通 信;测向;遇险和呼救	电离层反射 同轴电缆
3~30 MHz	$10^2 \sim 10$ m (短波)	高频 (HF)	天波或 地波	调幅广播;短波通信;飞 机与船通信;岸与船通信	电离层反射 同轴电缆
30~300 MHz	$10 \sim 1$ m (超短波)	甚高频 (VHF)	直线传播	电视广播;调频广播;航 空通信;导航设备	电离层与对流层 散射,同轴线
0.3~3 GHz	$10^2 \sim 10$ cm (分米波)	特高频 (UHF)	直线传播	电视广播;雷达;遥测遥 控;导航;卫星通信;移动通 信	视线中继传输 对流层散射
3~30 GHz	$10 \sim 1$ cm (厘米波)	超高频 (SHF)	直线传播	卫星通信;空间通信;微 波接力;机载雷达;气象雷 达	视线中继传输 视线穿透 电离层传输
30~300 GHz	$10 \sim 1$ mm (毫米波)	极高频	直线传播	雷达着陆系统;射电天文	视线传输
$5 \times 10^{11} \sim$ 5×10^{16} Hz	$6 \times 10^{-2} \sim$ 6×10^{-7} cm	红外线 可见光 紫外线	直线传播 水蒸气和 氧气有吸收	光通信	光纤 视线传输

习 题

- 1.1 画出无线通信收发信机的原理框图,并说出各部分的功用。
- 1.2 无线通信为什么要用高频信号?“高频”信号指的是什么?
- 1.3 无线通信为什么要进行调制?如何进行调制?
- 1.4 无线电信号的频段或波段是如何划分的?各个频段的传播特性和应用情况如何?
- 1.5 计算机通信中的“调制和解调”与无线通信中的“调制和解调”有什么异同点?
- 1.6 理解电路功能模块中功能的含义,说明掌握电路功能模块的功能在设计电子线路系统中的作用。

第 2 章

高频电路基础知识

本课程主要介绍完整的通信系统的发射机和接收机的工作原理及电路结构,掌握分析电路和设计电路的方法。本章重点介绍构成通信系统发射机和接收机的基本元器件的高频特征,包括无源器件、有源器件、无源网络三大类,另外简单介绍高频耦合的概念。这部分知识为整个模拟电子线路在射频段所有集成电路、功能电路模块的基础。

2.1 概 述

各种高频电路基本上是由有源器件、无源元件和无源网络组成的。高频电路中使用的元器件与在低频电路中使用的元器件基本相同,但是在高频段使用的是这些元器件的高频传输特性,与微波传输特性、低频传输特性、直流传输特性有本质的区别。高频电路中的元件主要是电阻(器)、电容(器)和电感(器),它们都属于无源的线性元件。高频电缆、高频接插件和高频开关等由于比较简单,这里不讨论。高频电路中完成信号的放大、非线性变换等功能的有源器件主要是二极管、晶体管和集成电路。

2.1.1 高频电路中的无源器件

1. 电阻器的高频特性

一个实际的电阻器,在低频时主要表现为电阻特性,但在高频使用时不仅表现有电阻特性的一面,而且还表现有电抗特性的一面。电阻器的电抗特性反映就是高频特性。一个电阻 R 的高频等效电路如图 2.1 所示。

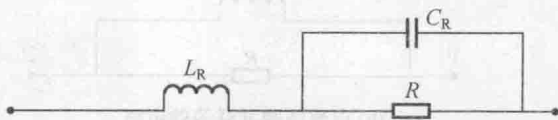


图 2.1 电阻的高频等效电路

图中 C_R 为分布电容, L_R 为引线电感, R 为电阻。分布电容和分布电感越小,表明电阻的高频特性越好。电阻器的高频特性与制造电阻的材料、电阻的封装形式和尺寸大小有密切的关系。一般来说,金属膜电阻比碳膜电阻的高频特性要好,而碳膜电阻比绕线电阻的高频特性要好;表面封装(SMD)电阻比绕线电阻的高频特性要好;小尺寸的电阻比大尺寸的电阻的高频特性要好。频率越高,电阻器的高频特性表现越明显。在实际应用时,要尽量减小电阻器的高频特性的影响,使之表现为纯电阻。