

普通高等院校电子与通信工程专业面向应用系列规划教材

高频电子线路

主 编 © 吴 莘

副主编 ◎ 邓朝勇

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

普通高等院校电子与通信工程专业面向应用系列规划教材

高频电子线路

主 编 吴 莘
副主编 邓朝勇



 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书是一本面向高等学校应用型本科教学的教材，主要内容有绪论、高频电子线路的基础知识和基本电路、高频放大器、正弦波振荡器、振幅调制与解调、角度调制与解调、混频电路和反馈控制电路基本原理等章节构成，每章最后附有小结和习题。

本书以基本理论和基本概念为主，相关内容力求去繁存精，便于学生自学和掌握。

本书可作为高等学校电子信息类相关专业的教材，也可供高职高专师生及相关人员参考。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

高频电子线路/吴莘主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2016.8 (2016.9 重印)
ISBN 978-7-5682-2646-2

I. ①高… II. ①吴… 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 170685 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 三河市天利华印刷装订有限公司

开 本 / 787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张 / 14.25

字 数 / 353 千字

版 次 / 2016 年 8 月第 1 版 2016 年 9 月第 2 次印刷

定 价 / 30.00 元

责任编辑 / 陈莉华

文案编辑 / 陈莉华

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 李志强

图书出现印装质量问题, 请拨打售后服务热线, 本社负责调换

前 言

本书以高频电子线路基本单元电路为基础,研究了各种高频电子线路的功能、结构、性能参数、工作原理及基本分析方法。主要内容包括绪论、高频电子线路的基础知识和基本电路、高频小信号谐振放大器和高频功率放大器、正弦波振荡器、振幅调制与解调、角度调制与解调、混频电路和反馈控制电路等。考虑到高频电子线路的教学内容较多,课时有限,而现有大部分教材的分析又过深过细、篇幅较大,因此,本书在内容上作了精选和更新,避开高深的理论分析和冗长过细的定量计算,以基础和能力的培养为主,突出基本概念和定性分析,培养学生的工程估算和应用能力。

高频电子线路在无线通信应用系统中占有重要地位,是电子信息科学与技术、电子科学与技术、通信工程、电子信息工程、自动化、测控技术与仪器等本科专业的一门重要技术基础课,也是一门工程性和实践性很强的课程,要理解和掌握无线通信系统相关知识,必须先学习构成无线通信系统基本单元的相关高频电子线路的组成和基本原理,方能见微知著,进一步掌握其他相关知识。

本课程的先修课程包括高等数学、工程数学、电路分析基础、信号与系统分析、模拟电子技术等,本课程的学习应在学生掌握一定数理知识和电路知识的基础上进行。与此同时,本课程将为后续的通信原理、自动控制等课程打下必要的理论基础。

本书由吴莘担任主编,邓朝勇教授对本书进行了认真、仔细的审阅,并提出了许多指导和建议。

限于作者水平,书中的疏漏和不妥之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

编 者

目 录

第1章 绪论	1
1.1 无线通信发展简史	1
1.2 通信系统概述	2
1.2.1 通信系统的组成	2
1.2.2 无线电发射与接收	3
1.3 无线电频段、波段的划分和无线电波的传播	6
1.3.1 无线电频段、波段的划分	6
1.3.2 无线电波的传播	7
本章小结	9
习题	10
第2章 高频电子线路的基础知识和基本电路	11
2.1 高频电子线路基础知识	11
2.1.1 信号的时间特性和频谱特性	11
2.1.2 信号的调制与解调	12
2.1.3 非线性电路的基本概念	14
2.2 高频电子线路中的基本元器件	16
2.3 高频电子线路中的基本电路	26
2.3.1 LC 谐振回路	26
2.3.2 阻抗变换电路	34
2.3.3 滤波匹配网络	40
2.3.4 集中选频滤波	47
2.4 模拟相乘器电路	50
2.4.1 非线性器件的相乘作用	50
2.4.2 二极管相乘器	55
2.4.3 差分对模拟相乘器	60
本章小结	67
习题	68
第3章 高频放大器	70
3.1 高频小信号谐振放大器	70
3.1.1 单调谐回路谐振放大器	70
3.1.2 多级单调谐回路谐振放大器	74
3.1.3 调谐放大器的稳定性	75
3.2 集中选频放大器	77

3.3 丙类谐振功率放大器	79
3.3.1 丙类谐振功率放大器的工作原理	79
3.3.2 丙类谐振功率放大器的特性分析	84
3.3.3 丙类谐振功率放大器电路	88
3.3.4 丁类和戊类功率放大器	91
3.4 宽带高频功率放大器	93
3.4.1 传输线变压器的应用	94
3.4.2 功率合成技术	96
3.4.3 宽带高频功率放大器电路	99
本章小结	100
习题	100
第4章 正弦波振荡器	103
4.1 反馈型正弦波振荡器	103
4.1.1 反馈型正弦波振荡器的工作原理	103
4.1.2 LC 正弦波振荡器	107
4.1.3 石英晶体正弦波振荡器	110
4.2 负阻型正弦波振荡器	112
4.3 振荡器的振幅和频率稳定度	113
4.4 振荡器的一些特殊振荡现象	114
本章小结	116
习题	116
第5章 振幅调制与解调	118
5.1 振幅调制原理	118
5.1.1 普通调幅波	118
5.1.2 抑制载波的双边带和单边带调幅波	123
5.2 振幅调制电路	125
5.2.1 调幅电路组成模型	125
5.2.2 低电平调幅电路	126
5.2.3 高电平调幅电路	134
5.3 振幅解调电路	137
5.3.1 振幅解调原理	137
5.3.2 二极管包络检波电路	137
5.3.3 同步检波电路	142
本章小结	147
习题	147
第6章 角度调制与解调	150

6.1 调角信号的基本特性	150
6.1.1 瞬时频率和瞬时相位	150
6.1.2 调频波和调相波的数学表达式	151
6.1.3 调角信号的频谱分析	154
6.2 调频和调相电路	158
6.2.1 直接调频和间接调频	158
6.2.2 直接调频电路	160
6.2.3 间接调频电路	163
6.2.4 扩展频偏的方法	167
6.3 鉴频和鉴相电路	168
6.3.1 鉴频方法和鉴频特性	168
6.3.2 斜率鉴频器电路	170
6.3.3 相位鉴频器电路	172
6.3.4 限幅器	179
本章小结	180
习题	181
第 7 章 混频电路	184
7.1 混频的基本原理	184
7.2 混频电路	187
7.2.1 二极管混频电路	187
7.2.2 差分对模拟乘法器混频电路	189
7.2.3 晶体管混频电路	190
7.3 混频干扰	193
7.3.1 常见混频干扰	194
7.3.2 抑制混频干扰的措施	196
本章小结	197
习题	197
第 8 章 反馈控制电路的基本原理	199
8.1 概述	199
8.2 自动增益控制电路	200
8.2.1 自动增益控制电路的作用	200
8.2.2 自动增益控制电路的工作原理	201
8.2.3 自动增益控制电路的分类及应用	202
8.3 自动频率控制电路	204
8.3.1 自动频率控制电路的工作原理	204
8.3.2 自动频率控制电路的应用	205
8.4 自动相位控制电路	206

8.4.1 自动相位控制电路（锁相环）的工作原理	206
8.4.2 锁相环路的捕捉与跟踪	207
8.4.3 锁相环路的应用	208
本章小结	211
习题	212
附录 1 余弦脉冲分解系数表	214
附录 2 贝塞尔函数数值表	215
参考文献	218

第 1 章 绪 论

信息传输由来已久，它是人类社会活动的重要内容，随着科学技术的发展，无线通信技术成为信息传输的重要手段之一，它广泛应用于经济、军事及人们日常生活的各个领域，相关产品日益丰富，技术水平也越来越高。

高频电子线路在整个无线通信应用系统中占有重要地位，要理解和掌握无线通信系统的相关知识，必须先学习构成无线通信系统基本单元的高频电子线路的组成和基本原理，方能见微知著，进一步掌握其他相关知识。

1.1 无线通信发展简史

古代人们传递信息主要通过一些原始的方法来实现，如驿站、飞鸽传书、烽火台等，其传递速度较慢、效率低、信息量不大。为了实现高速、远距离、准确、有效地传输大量信息的目的，现代通信主要利用电信号或光信号作为传输手段。

电学起始于 18 世纪，在伏特发明电池后，开始有了直流电路，其后出现了低频交流电路，在法拉第电磁感应定理基础上制造出来的变压器使交流电能得以有效地远距离传输，后经众多科学家的努力，电力的产生与输配电工程迅速发展，使电的应用成为人们日常生活的重要组成部分。

在电能的不断使用过程中，逐渐出现了利用电来传输信息的有线通信系统。1837 年，美国画家兼发明家莫尔斯发明了有线电报；1876 年，美国人贝尔获得了世界上第一台有线电话的专利权。有线通信虽然使通信方式获得了巨大进步，但其需要沿导线传送的局限性也逐渐显露出来，能否摆脱导线的约束，利用空间进行信息传输成为当时科学家们的研究方向。

1864 年，苏格兰人麦克斯韦提出了电磁场理论，得出了著名的电磁场方程，从而在理论上证实了电磁波的存在。1887 年，德国人赫兹以实验手段证实了电磁波的客观存在，并证明了电磁波在自由空间的传播速度与光速相等，具有反射、折射、驻波等与光波相同的性质。

1895 年，年轻的意大利人马可尼首次实现了相距 2 英里（1 英里 $\approx$ 1.609 千米）的无线电通信；1901 年，马可尼又首次完成了横跨大西洋的无线电通信。当时使用的无线电设备还很原始，早期发射机利用电容间隙放电产生振动火花得到无线电频率，称为火花发射机；接收机也是简单的金属粉末检波器，后来出现了更灵敏的矿石检波器。

直到 1904 年,英国人弗莱明发明了第一个真空电子二极管,可对信号进行检波;1906 年,美国人福雷斯特在真空二极管的基础上发明了真空电子三极管,可对信号进行放大、检波等。

1912 年,美国国会通过了无线电法案,对无线电波段的使用进行了规定,从此人类进入了无线电电子学时代。

1948 年,美国人肖克莱等人发明了晶体三极管,开创了微电子时代。20 世纪 60 年代出现了集成电路,随后出现了中规模、大规模及超大规模集成电路,使无线通信技术得到了突破性的发展,成为当今电子信息产业的重要组成部分。

1.2 通信系统概述

1.2.1 通信系统的组成

通信即传递信息,现代通信是将电信号(光信号)从发送者传递到接收者。对信息传递的主要要求是高速、高效、远距离、准确、安全和大信息量等,传递的方式可分为有线和无线两大类,有线通信系统和无线通信系统统称为通信系统,其基本组成框图如图 1-1 所示。

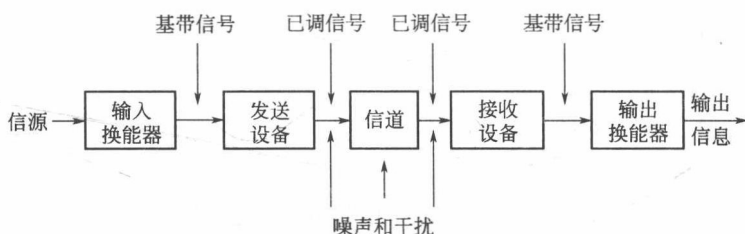


图 1-1 通信系统基本组成框图

一个基本的通信系统主要由输入换能器、发送设备、信道、接收设备和输出换能器组成,其中的信源为要传送的原始信息,一般都是非电性质的物理量(如语音、文字、图像等)。

1. 输入换能器

输入换能器是将要传送的信源转换成电信号的设备(如话筒、扫描仪、摄像机等),变换后的电信号一般为低频信号,称为基带信号。基带信号分为两种,一种是模拟基带信号;一种是数字基带信号。用来传送模拟基带信号的通信系统称为模拟通信系统;用来传送数字基带信号的通信系统称为数字通信系统。

2. 发送设备

发送设备将基带信号调制为高频信号。调制是对基带信号进行处理,使其变换为适合在信道中有效传输的信号形式,并以足够的功率送入信道中。经过调制并由发送设备送至信道中的信号称为已调信号。

3. 信道

信道是信息的传输通道,又称传输介质,分为有线信道和无线信道两种。由有线信道组成

的通信系统称为有线通信系统,常见的有线信道有电线、电缆、光纤等。已调信号频率在 $10 \sim 300 \text{ kHz}$ 内时,一般采用双线对电缆传输;频率在 $300 \text{ kHz} \sim 300 \text{ MHz}$ 内时,一般采用电缆线或同轴线传输;红外线~紫外线,采用光纤传输。由无线信道组成的通信系统称为无线通信系统,无线信道是指地表、地下、水下、地球大气层和宇宙空间,无线通信系统最能体现高频电子线路的应用。

高频已调信号在传输过程中不可避免地会受到各种噪声和干扰的影响,噪声和干扰的存在会使接收端信号与发送端信号之间存在一定误差,在通信中要尽可能降低噪声和干扰的影响。

4. 接收设备

接收设备的作用是有效地选择和接收由信道传送过来的高频已调信号并进行处理,得到与发送端相对应的基带信号,这一过程称为解调。解调出来的基带信号送至输出换能器。

5. 输出换能器

输出换能器将解调后的基带信号转换为相应的原始信息,如喇叭、显示器、打印机等都是常见的输出换能器。

1.2.2 无线电发射与接收

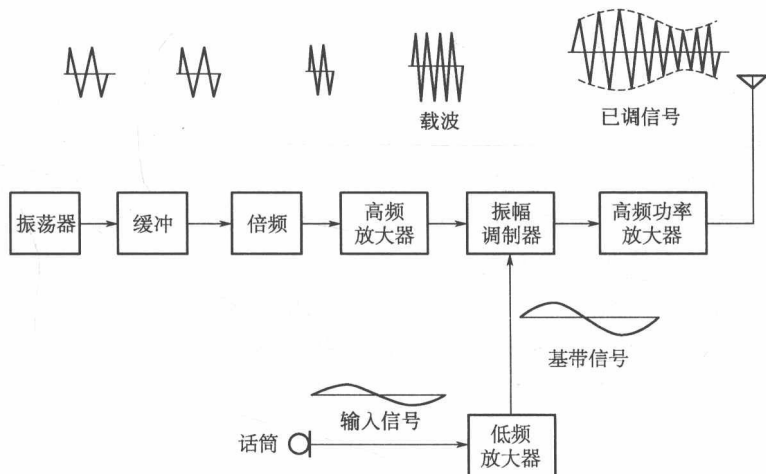
无线电通信以自由空间为传输介质,将需要传送的信息(声音、文字或图像等)变换为无线电波传送到远方的接收点。

尽管各种无线通信系统在所传递消息的形式、调制方式以及设备体制、组成等方面各有不同,但设备中产生、接收和检测高频信号的基本电路都是相同的。

为了对无线电发射设备、接收设备及其各组成部分之间的相互关系和工作原理有所了解,下面以无线调幅广播为例,说明无线电信号发射和接收的过程及其系统组成。

1. 调幅广播发射机

调幅广播发射机主要包含高频和低频两个部分,如图 1-2 所示。



振幅调制电路的作用是用低频调制信号（基带信号）去控制高频载波的振幅，使高频载波携带要传递的信息，从而得到高频已调信号（调幅信号）。有关调制的相关知识将在本书第2章讨论。

经过调制后的高频调幅广播信号由若干级放大器逐步提高输出功率，最后经末级功率放大器将输出功率提高到所需的发射功率，由发射天线辐射出去。

低频部分包括话筒和低频放大器。话筒属于输入换能器，它把信源（声音）转换为低频电信号，经过低频放大器后得到调制所需的幅度和功率电平，然后送到振幅调制电路对高频载波进行调制。

调幅广播发射机除了上述高频、低频电路外，还包括电源部分，由于电源对发射机的工作原理没有影响，故在此不作讨论。

2. 调幅广播接收机

调幅广播信号的接收过程和发射过程正好相反。在接收端，通过接收天线将无线电波转换为电流，然后对其进行处理，从中还原出原始信号，这一过程称为检波。

1) 直接检波式接收机

直接检波式接收机是最简单的调幅广播接收机，其组成框图如图1-3所示。其特点是电路简单，但从天线得到的高频调幅广播信号非常微弱，直接送到检波器检波后得到的音频信号更弱，只能采用耳机来收听，且灵敏度低，无法选台，故需要改进。

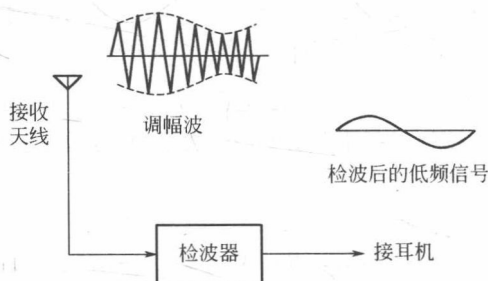


图 1-3 简单调幅广播接收机

2) 直接放大式接收机

为了提高接收机的灵敏度，同时使接收机具有挑选不同电台的功能，可在接收天线后面加一级或多级高频小信号调谐放大器，对通过选频电路的高频信号进行放大，使送到检波器的高频信号幅度增大，从而提高检波器的电压传输系数。但是检波器输出的音频信号幅度仍不够大，无法直接驱动扬声器发声。为了提高检波器输出音频信号的功率，可在检波器后面加适当低频放大器和低频功放，从而驱动扬声器发出声音。

这种接收机是将接收到的高频调幅广播信号直接放大后再检波，故称为直接放大式接收机，直接放大式接收机的原理框图如图1-4所示。

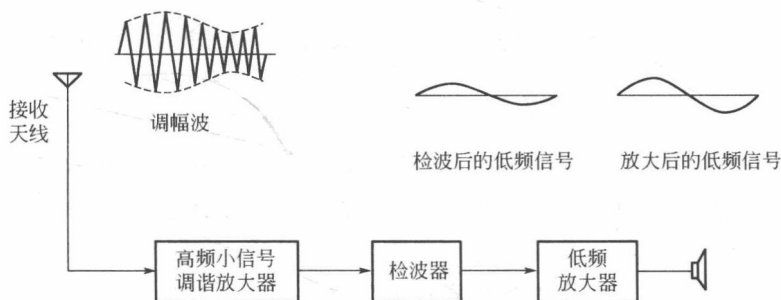


图 1-4 直接放大式调幅广播接收机

3) 超外差式调幅广播接收机

直接放大式接收机的特点是灵敏度较高，输出功率较大，适用于固定频率信号的接收。由于高频小信号放大器确定后，它的带宽就确定了，但通频带中心频率附近的放大倍数与两端有区别，在放大不同电台信号时的放大效果会不一致。对于不同载频的调幅广播信号，接收机的灵敏度和选择性变化较大，不在高频放大器的通频带内的电台频率可能无法接收。为了克服上述缺点，现在的接收机几乎全部采用超外差接收方式。超外差式调幅广播接收机的组成框图如图 1-5 所示。

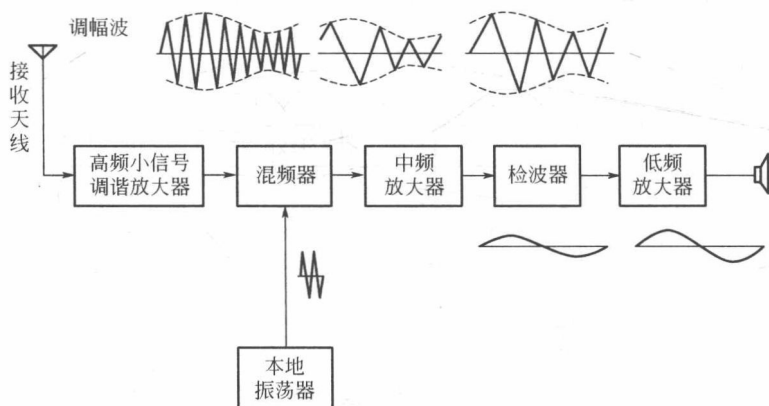


图 1-5 超外差式调幅广播接收机组成框图

超外差式接收机的主要特点是，把接收到的不同载频的已调信号变换为频率较低且固定不变的中频信号，已调信号的调制类型和调制参数均不变。当接收的已调信号频率改变时，只需相应改变本地振荡信号的频率即可将接收到的已调信号变为频率固定的中频信号，再送到频率固定的中频放大器完成对信号的放大。

接收机的主要放大倍数由中频放大器决定，由于中频放大器的中心频率是固定不变的，因此在接收频率范围内的放大能力基本相同。如要调谐，只需对接收机的前端选频输入回路和本机振荡频率进行同步调谐即可。经过中频放大器放大的中频信号通过检波器检出原调制信号后，再送到低频放大器和低频功放进行放大，驱动扬声器发出声音。

中频放大器的选择性和增益与接收的已调信号频率无关，克服了直接放大式接收机的

缺点。如果混频器和本地振荡器采用同一非线性元件，可合并为同一个电路时，这样的混频器又可称为变频器。

由于超外差式接收机有中心频率固定的中频放大器，因此它不仅可实现较高的放大倍数，且选择性容易得到满足，可以同时兼顾高灵敏度与高选择性的要求。

通过调幅无线广播发射机和接收机的结构框图可见，其主要部分是由各种基本的高频电子线路单元构成。高频电子线路是无线通信的基础，本书将在后面各章中分别对这些常见的高频电子线路进行分析。主要包括高频振荡器、高频放大器、高频信号处理电路及反馈控制电路，其中高频放大器包括高频小信号放大器和高频功率放大器，高频信号处理电路包括混频或变频电路、调制与解调电路。

1.3 无线电频段、波段的划分和无线电波的传播

1.3.1 无线电频段、波段的划分

电磁波的波谱很宽，适合无线电波传播的频率范围只占电磁波中波长较长的一部分，从几十千赫兹到几十吉赫兹，如图 1-6 所示。

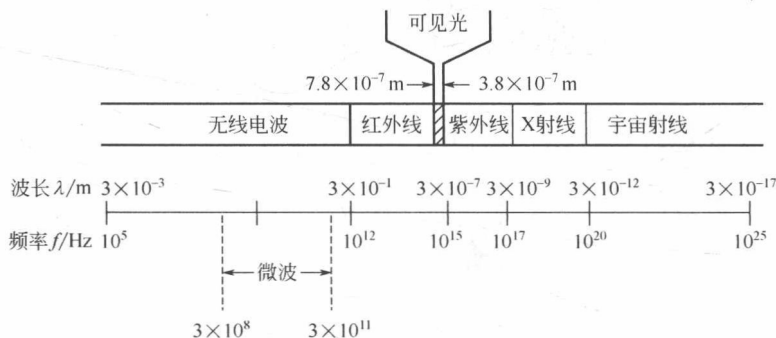


图 1-6 电磁波波谱

不同频率的无线电波的产生、处理、发射和接收的方法不同，在空间的传输方式和特性也不相同，导致其应用范围不同，而无线电波的频率是唯一的资源，若不经规划使用，会造成同频传输的干扰，所以需要将无线电的频率范围进行划分。

无线电波在空间传播的波长与频率的关系如式(1-1)所示，即

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

式中， c 为光速 ($c=3 \times 10^8 \text{ m/s}$)； f 为无线电波的频率； λ 为无线电波的波长。无线电波按频率划分，称为频段；按波长划分，称为波段。无线电波波段、频段的划分如表 1-1 所示。

表 1-1 无线电波的波段、频段划分

波段名称		波长范围/m	频段名称	频率范围/Hz	主要传播方式	主要用途
超长波 (SLW)		10 k~100 k	甚低频(VLF)	3 k~30 k	地波 (双线对电缆)	大功率、远距离、点对点通信
长 波 (LW)		1 k~10 k	低频(LF)	30 k~300 k	地波 (双线对电缆)	远距离通信
中 波 (MW)		100~1 k	中频(MF)	0.3 M~3 M	地波、天波 (同轴电缆)	广播、通信、导航
短 波 (SW)		10~100	高频(HF)	3 M~30 M	地波、天波 (同轴电缆)	广播、通信
超短波 (VSW)		1~10	甚高频(VHF)	30 M~300 M	天波、直线传播 (同轴线)	通信、电视广播、雷达、导航
微波	分米波 (USW)	0.1~1	特高频(UHF)	0.3 G~3 G	天波、直线传播	电视、雷达、中继与卫星通信
	厘米波 (SSW)	0.01~0.1	超高频(SHF)	3 G~30 G	直线传播	雷达、中继与卫星通信
	毫米波 (ESW)	0.001~0.01	极高频(EHF)	30 G~30 G	直线传播	微波通信、雷达
光波		$0.8\times10^{-6}\sim0.1\times10^{-3}$			光纤	光通信

需要指出的是，表中各频段（波段）的划分很粗略，相邻频段（波段）间并无绝对分界线，相应无线电波的特性、传播方式和用途也无明显的区别。本书所指的高频也是相对概念，狭义的高频是指 1.5~30 MHz 的频率范围，而广义的高频是指频率范围非常宽的射频（RF），只要电路尺寸比工作波长小很多，仍可用集中参数来分析电路，相应信号仍可用电路来实现，都可认为属于高频范围。

1.3.2 无线电波的传播

无线电波的传播介质是自由空间，传播速度与光速相同，传播现象也类似于光的传播。无线电波在均匀介质（如空气）中沿直线传播，传播过程有损耗。当遇到障碍物时能产生绕射，绕射能力与障碍物的大小和频率有关。

当无线电波由一种介质传播到另一种介质时，在两种介质的界面上，会产生反射和折射现象；如果两种介质表面不均匀，会形成散射现象；当直射波与反射波相遇时，还会产生干涉现象。

故频率（或波长）的不同，决定了无线电波的传播特性不同，人们根据无线电波在传播过程中的不同现象和特点，将其分为地波传播、天波传播和直线传播 3 种。

1. 地波传播

沿地球表面传播的无线电波叫地波，地波传播的示意图如图 1-7 所示。传播方式主要依靠绕射，而绕射依赖于无线电波的波长，由于地球表面有高山、高楼等障碍物，只有当无线电波波长大于障碍物体积时才容易绕过去。另外，地球是一个巨大的导体，由于趋肤

效应的影响,地波传播时会损耗能量,而且无线电波的频率越高损耗就越大,所以长波和中波比较适合地波传播。

地波传播具有以下特点:

- (1) 因为地球的导电性相对稳定,地波传播比较稳定。
- (2) 传播距离远,但损耗小。
- (3) 因为波长长,要求天线的尺寸大、成本高。

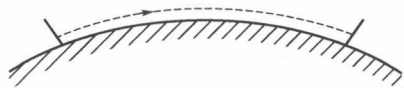


图 1-7 地波传播

地波传播主要应用于导航和远距离通信。理论上,短波也可以采用地波传播,主要用于小区域的无线广播,覆盖面积不大。

2. 天波传播

天波传播包含电离层反射和折射、对流层散射两种方式。

1) 电离层反射和折射

频率在 $1.5\text{ Hz} \sim 30\text{ MHz}$ 范围的无线电波,采用地波传播时损耗大、绕射能力弱,故主要采用电离层反射和折射这种天波传播方式,天波传播示意图如图 1-8(a)所示。

在距地面 $60 \sim 600\text{ km}$ 的空间,由于太阳的辐射引起大气电离而形成电离层,电离层也是一种介质面。频率低于 30 MHz 的无线电波传播到电离层后会产生反射和折射,返回地面后即可进行远距离通信,一次折射的最大距离可达 $4\,000\text{ km}$ 。频率超过 30 MHz 的无线电波会穿透电离层进入外层空间,无法返回地面,故电离层反射和折射主要应用于频率范围在 $1.5\text{ Hz} \sim 30\text{ MHz}$ 的无线电波。

电离层反射和折射传播方式具有以下特点:

- (1) 这是一种经济的远距离传输手段。
- (2) 由于电离层不稳定,受季节、天气、昼夜变化的影响大,故稳定性不好。

2) 对流层散射

一般情况下,无线电波的频率超过 30 MHz 后会穿透电离层而无法采用电离层反射和折射方式进行通信,通常采用空间直线传播方式,但也有一个特殊频段($400 \sim 6\,000\text{ MHz}$)可利用对流层的散射进行传播。

在距地面 $10 \sim 12\text{ km}$ 的空间,空气的密度较高,风、雨、雷、电等大气现象都发生在这一层,称为对流层。对流层对无线电波具有散射作用,因此可以利用对流层的散射来进行远距离通信,传播距离为 $100 \sim 500\text{ km}$ 。对流层散射传播示意图如图 1-8(b)所示。

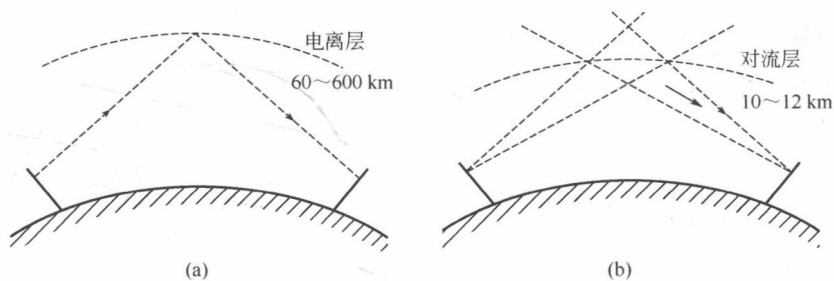


图 1-8 天波传播

(a) 电离层反射和折射; (b) 对流层散射

对流层散射传播方式具有以下特点:

- (1) 应用频率较高, 因此天线尺寸小, 带宽资源丰富。
- (2) 传播距离适中。
- (3) 散射损耗大。
- (4) 由于对流层极不稳定, 所以传播具有随机性和很强的方向性, 技术要求较高, 可靠性差。

3. 直线传播

频率超过 30 MHz 的超短波主要采用空间直线传播方式, 又称视距传播, 由于地球曲率和高山等障碍物的原因, 直线传播的距离有限, 为了增加传播距离, 通常采用架设高天线、中继、卫星等手段, 直线传播示意图如图 1-9 所示。

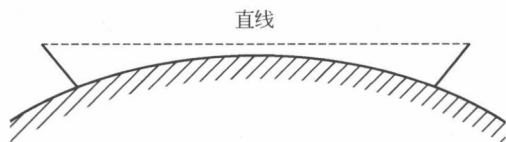


图 1-9 直线传播

综上所述, 无线电波的传播方式在各频段(波段)间没有明确的分界线。一般而言, 长波以地波传播为主; 中波以地波、天波传播为主; 短波以天波传播为主; 超短波以上以直线传播为主。

本章小结

本章首先学习了通信系统的基本知识及无线通信系统的组成原理、结构框图和工作过程, 特别是通过对调幅无线广播发射机和接收机的学习, 了解了无线通信系统各部分电路的功能及其在系统中所处的位置和相互之间的关系。这些基本电路大部分属于高频电子线路, 其中包括高频振荡器、高频小信号放大器、高频功率放大器、混频或变频电