



面向“十二五”高等学校精品规划教材◎电气信息类
高等教育课程改革项目研究成果

TONGXIN DIANZI XIANLU

通信电子线路

夏术泉 艾 青 南光群 编 著

- **新**: 新思路、新领域、新技术、新变革
- **活**: 模块化、立体化、可扩展
- **精**: 精品、精心、精致

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

面向“十二五”高等学校精品规划教材·电气信息类
高等教育课程改革项目研究成果

通信电子线路

夏术泉 艾 青 南光群 编著

 北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

“通信电子线路”是通信工程、电子信息工程等相关专业的一门重要的专业基础课。本书内容包括7章,即绪论,高频小信号调谐放大器,谐振功率放大器,正弦波振荡器,振幅调制与解调,角度调制与解调,反馈控制电路,并在每章中增加了典型电路的仿真实例。

本书可作为通信工程、电子信息工程等专业的高校本科学生教材,也可作为有关工程技术人员参考书。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

通信电子线路 / 夏术泉, 艾青, 南光群编著. —北京: 北京理工大学出版社, 2010. 5

ISBN 978 - 7 - 5640 - 3130 - 5

I. ①通… II. ①夏… ②艾… ③南… 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 (2010) 第 062624 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 保定市中画美凯印刷有限公司

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 15.75

字 数 / 363 千字

版 次 / 2010 年 5 月第 1 版 2010 年 5 月第 1 次印刷

印 数 / 1 ~ 2000 册

定 价 / 33.00 元

责任校对 / 陈玉梅

责任印制 / 边心超

图书出现印装质量问题, 本社负责调换

前 言

“通信电子线路”是通信工程、电子信息工程等相关专业的一门重要的专业基础课，具有很强的理论性、实践性和工程性。如今，随着电子器件和计算机的迅速发展，电路仿真软件也随之发生着日新月异的变化，为我们提供了一个非常好的理解理论知识的平台。本书是在院级精品课程建设的基础上编写的，在编写中，我们充分考虑到应用型本科的人才培养目标，除了学习基本理论之外，更加注重实践创新能力的培养。本书力求做到以下几点：

(1) 在注重知识体系结构的同时，按照“必须、够用、实用、适用”的基本原则，遵循应用型本科“通信电子线路”课程教学要求，强调基本理论的学习和实践仿真。

(2) 对于学习过程中容易出现的问题，重点或难点内容，通过标注【重点或提示】来引起学生的注意。

(3) 对于有学习潜力和兴趣的学生，通过【知识扩展】提供更多的内容，以打下一个相对牢固的基础。

(4) 每章在简要介绍基本原理和基本概念后，通过对电路的分析与仿真，作出结论，再与实际电路仿真波形或数据进行对比。

(5) 每章学习前，列有学习目的和知识点，精心选择的例题和课后习题，具有一定的代表性，附录提供了教学工具方面的支持。

(6) 每章后的研究项目，供学生进行实践练习，达到理论联系实际的效果，让学生提交开放性的答卷。

(7) 在章节安排上，尽量保留课程体系的完整性，同时对于一些理论性较强的知识点进行简化或合并，如“混频”内容就归到“振幅调制与解调”中。

全书共分7章，计划理论讲授学时54学时，带有*号的章节将根据学时进行取舍。

本书第1、2、3章由夏术泉编写，第4、5章由南光群编写，第6、7章由艾青编写。全书由夏术泉统稿。本书在编写的过程中，还得到了李玉平、王海华等帮助，并提出了一些很好的建议，在此表示感谢！

由于作者水平有限，加之编写时间紧迫，书中难免有不妥和错误之处，恳请读者批评指正。编者的E-mail地址为：xiashuquan@126.com。

编者

目 录

第1章 绪论	1
1.1 通信系统的基本概念	1
1.1.1 通信发展史概述	1
1.1.2 通信系统的组成	3
1.1.3 通信系统的类型	4
1.1.4 通信系统中的信道与信号	5
1.2 通信系统中发射与接收	6
1.2.1 无线电波的传播特性	6
1.2.2 发射设备	7
1.2.3 接收设备	8
1.3 无线电波的频段划分	9
1.4 通信电子线路学习要点	10
本章小结	11
思考题与习题	11
研究项目	11
第2章 高频小信号调谐放大器	13
2.1 LC 谐振回路	14
2.1.1 串、并联谐振回路的基本特性	14
2.1.2 负载和信号源内阻对谐振回路的影响	16
2.1.3 谐振回路的接入方式	17
2.1.4 LC 谐振回路的分析与仿真	21
2.2 单调谐放大器	22
2.2.1 原理电路	22
2.2.2 性能指标	23
2.2.3 放大器等效电路及计算	26
2.2.4 实例分析与仿真	28
2.3 双调谐放大器	30
2.3.1 原理电路及等效电路	31
2.3.2 性能指标计算	33
2.3.3 实例分析与仿真	34
2.4 高频小信号调谐放大器级联	34
2.4.1 多级单调谐放大器	35
2.4.2 参差调谐放大器	35



2.5 高频调谐放大器的稳定性·····	36
2.5.1 调谐放大器的稳定性分析·····	36
2.5.2 提高稳定性的方法与实例·····	37
2.6* 集中选频放大器·····	39
2.6.1 石英晶体滤波器·····	39
2.6.2 陶瓷滤波器·····	41
2.6.3 声表面波滤波器·····	41
本章小结·····	42
思考题与习题·····	43
研究项目·····	45
第3章 谐振功率放大器 ·····	46
3.1 丙类谐振功率放大器的工作原理·····	47
3.1.1 基本原理电路分析·····	47
3.1.2 集电极余弦脉冲电流分析·····	48
3.1.3 功率和效率的计算·····	50
3.1.4 晶体管放大器导通角与效率的关系·····	50
3.2 谐振功率放大器的工作状态分析·····	51
3.2.1 谐振功率放大器的动态特性·····	51
3.2.2 谐振功率放大器的三种工作状态及其判别方法·····	52
3.2.3 谐振功率放大器的外部特性·····	53
3.3 谐振功率放大器的实用电路分析及仿真·····	55
3.3.1 直流馈电电路·····	55
3.3.2 输入、输出匹配网络·····	57
3.3.3 实例电路分析与仿真·····	60
3.3.4 其他功率放大器介绍·····	61
3.4* 倍频器·····	64
3.4.1 丙类倍频器的工作原理·····	65
3.4.2 实例电路分析与仿真·····	65
3.5* 功率合成与分配·····	67
3.5.1 传输线变压器介绍·····	67
3.5.2 功率合成器·····	69
3.5.3 功率分配器·····	70
本章小结·····	71
思考题与习题·····	72
研究项目·····	74
第4章 正弦波振荡器 ·····	75
4.1 反馈型振荡器原理·····	76



4.1.1 反馈型振荡器结构分析	76
4.1.2 振荡的起振条件与平衡条件	76
4.1.3 振荡的稳定条件	77
4.2 LC 振荡电路	79
4.2.1 变压器耦合振荡电路分析与仿真	79
4.2.2 基本三点式振荡电路分析与仿真	81
4.2.3 改进型三点式振荡电路分析与仿真	88
4.2.4 其他 LC 振荡器	92
4.3 LC 振荡器频率稳定性分析	93
4.3.1 频率稳定性的概念及稳频原理	93
4.3.2 提高频率稳定性的方法	95
4.4* RC 振荡电路	96
4.4.1 文氏电桥振荡器分析与仿真	97
4.4.2 移相式振荡器分析	97
4.5 石英晶体振荡器	99
4.5.1 石英晶体电参数模型	99
4.5.2 石英晶体振荡器分析与仿真	101
4.6* 负阻振荡器	104
4.6.1 负阻器件的基本特性	104
4.6.2 负阻振荡电路分析	105
4.7 压控振荡器	106
4.7.1 VCO 基本原理	106
4.7.2 VCO 电路分析	107
4.8* 振荡器中的几种现象	107
4.8.1 寄生振荡	108
4.8.2 间歇振荡	108
4.8.3 频率占据	108
4.8.4 频率拖曳	109
本章小结	109
思考题与习题	110
研究项目	113
第 5 章 振幅调制与解调	115
5.1 振幅调制	116
5.1.1 振幅调制基本原理	116
5.1.2 AM 波调制电路分析与仿真	122
5.1.3 DSB 波调制电路分析与仿真	127
5.1.4 SSB 波调制电路分析	130
5.2 振幅调制信号的解调	133



5.2.1 解调的基本原理	133
5.2.2 峰值包络检波电路分析与仿真	134
5.2.3 同步检波电路分析与仿真	136
5.2.4 振幅检波器的性能指标	140
5.3 混频	143
5.3.1 混频的概念	143
5.3.2 晶体管混频电路分析与仿真	145
5.3.3 混频器的干扰	148
5.4 应用实例	150
5.4.1 调幅发射机分析	151
5.4.2 调幅接收机分析	152
本章小结	153
思考题与习题	153
第6章 角度调制与解调	158
6.1 角度调制	159
6.1.1 瞬时角频率与瞬时相位	159
6.1.2 调角信号的产生方法	159
6.1.3 调角信号的性质	162
6.2 调频电路	169
6.2.1 直接调频电路分析	169
6.2.2 间接调频电路分析	176
6.3 调角信号的解调	178
6.3.1 调频信号的解调方法	178
6.3.2 鉴频电路分析	183
6.4 调频电路实例分析与仿真	192
6.4.1 调频发射机分析与仿真	193
6.4.2 调频接收机分析与仿真	193
本章小结	197
思考题与习题	197
研究项目	201
第7章 反馈控制电路	203
7.1 自动增益控制电路	203
7.1.1 AGC 工作原理	204
7.1.2 AGC 电路分析	204
7.1.3 AGC 的性能指标	205
7.2 自动频率控制电路	206
7.2.1 AFC 工作原理	206



7.2.2 AFC 电路分析	207
7.2.3 AFC 的性能指标	208
7.3 锁相环路	208
7.3.1 PLL 基本原理	209
7.3.2 PLL 的线性与非线性分析	213
7.3.3 集成锁相环路	216
7.3.4 锁相环路的应用与仿真	218
7.4* 频率合成器	222
7.4.1 频率合成器的主要技术指标	223
7.4.2 锁相频率合成器	223
本章小结	227
思考题与习题	228
研究项目	230
附录 A	231
附录 B	234
部分习题参考答案	235
参考文献	240

绪 论

本章目的

- 了解通信的发展简史；
- 掌握通信系统的基本概念及组成；
- 了解通信系统中的信号与信道；
- 了解无线电波的频段划分及用途；
- 掌握通信电子线路的特点及学习要点。

知识点

- 通信系统的基本概念及组成；
- 通信系统中的信号与信道；
- 无线电波的频段划分及用途。

1.1 通信系统的基本概念

在人类社会中，人与人之间要互通情报、交换消息，从一般意义上讲这就是通信。从古到今，人们一直在寻求快速远距离的通信手段，如古代的烽火、近代的旗语。直到 19 世纪电磁学的理论与实践有了坚实的基础后，才有了无线电报、移动电话等一系列的通信手段，这就是无线电通信。

1.1.1 通信发展史概述

许多科学家对无线通信的发展作出了巨大的贡献，为了记住他们，下面简要地介绍一下通信的发展过程中的一些重要事件。

1837 年，美国发明家莫尔斯（F. B. Morse, 1791—1872）发明了有线电报，创造了莫尔斯电码，开创了通信的新纪元。莫尔斯电码是利用“点”、“划”和“间隔”（实际上就是时间长短不一的电脉冲信号）的不同组合来表示字母、数字、标点和符号。

1864 年，英国物理学家麦克斯韦（J. C. Maxwell, 1831—1879）发表了著名论文《电磁场的动力理论》，总结了前人在电磁学方面的工作，提出了电磁辐射方程，即著名的麦克斯



韦方程,从理论上证明了电磁波的存在,为后来的无线电发明和发展奠定了坚实的理论基础。

1876年,美籍英国发明家贝尔(A. G. Bell, 1847—1922)发明了电话,能够直接将语音信号变成电信号沿导线传送。他不仅发明了电话,而且建起了世界上第一家电话公司。

1887年,德国物理学家赫兹(H. R. Hertz, 1857—1894)以卓越的实验技巧证实了电磁波是客观存在的,并在寄给导师亥姆霍兹的一篇题为《论在绝缘体中电过程引起的感应现象》的论文中,总结了这个重要发现。接着,赫兹还通过实验确认了电磁波是横波,具有与光类似的特性,如反射、折射、衍射等,并且实验了两列电磁波的干涉,同时证实了在直线传播时,电磁波的传播速度与光速相同,从而全面验证了麦克斯韦的电磁理论的正确性。并且进一步完善了麦克斯韦方程组,使它更加优美、对称,得出了麦克斯韦方程组的现代形式。此外,赫兹又做了一系列实验。他研究了紫外光对火花放电的影响,发现了光电效应,即在光的照射下物体会释放出电子的现象。这一发现,后来成了爱因斯坦建立光量子理论的基础。赫兹的发现具有划时代的意义,它不仅证实了麦克斯韦发现的真理,更重要的是开创了无线电电子技术的新纪元。

1896年,意大利物理学家马可尼(G. Marconi, 1874—1937)发明了无线电报,1898年在英吉利海峡两岸进行无线电报跨海试验成功,通信距离为45 km,1899年又建立了106 km距离的通信联系,到了1909年无线电报已经在通信事业上大显身手。在这以后,许多国家的军事要塞、海港船舰大都装备有无线电设备,无线电报成了全球性的事业,因此,马可尼于1909年获得了诺贝尔物理学奖,以承认他在发展无线电报上所作的贡献。

1904年,英国科学家弗莱明(J. A. Fleming, 1849—1945)发明的“真空二极管”是人类电子文明的开端,并进入无线电电子学时代。但如果只有二极管的话,人类也许只能停留在电子时代的开端阶段。所幸的是弗莱明的工作有了新发展。1906年美国物理学家福雷斯特(L. De Forest, 1873—1961)在二极管的基础上发明了三极管,用它可组成具有放大、振荡、变频、调制、检波、波形变换等重要功能的电子线路,使电子管成为能广泛应用的电子“核心”器件。电子管的出现是电子技术发展史上第一个里程碑。

1918年,调幅无线电广播开播,超外差接收机问世。1907年,德·雷福斯特在纽约进行了音乐和语言的无线电实验广播。这些先行者为广播的问世奠定了技术基础。第一次世界大战期间,交战双方广泛使用了无线电通信和无线电话,此间,美国无线电专家阿姆斯特朗(E. H. Armstrong, 1890—1954)改进了无线电接收机的线路,1918年发明了超外差电路。这一方式可防止两个频率相近的信号在接收机中发生干扰,从而能够保证接收机接收各个不同频率的广播。战后,无线电工业和技术转向民间,具备了广播电台的物质技术条件。1920年10月,美国匹兹堡市私人经营的KDKA广播电台取得政府发放的营业执照,开始播音,成为美国也是世界上第一家正式广播的私营商业广播电台。1933年,阿姆斯特朗又发明了调频技术(除此之外,这位天才的科学家还在1912年先后发明了再生电路、超外差电路,在1951年发明了超再生电路)。1941年美国首先开始了商业调频广播。1962年起,世界上又兴起了调频立体声广播。此后,广播事业在全世界迅速发展。第二次世界大战前,广播电台主要集中在欧美国家,战后,随着亚、非、拉广大国家纷纷取得独立,广播事业在这些国家也迅速发展起来。

1940—1945年,第二次世界大战刺激了雷达和微波通信系统的发展。美国在1922年利

用连续波干涉雷达检测到木船, 1933 年 6 月利用连续波干涉雷达首次检测到飞机, 该种雷达不能测距。1934 年美国海军开始发展脉冲雷达。英国于 1935 年开始研究脉冲雷达, 1937 年 4 月成功验证了 CH (Chain Home) 雷达站, 1938 年大量的 CH 雷达站投入运行。英国于 1939 年发展飞机截击雷达。1940 年由英国设计的 10 cm 波长的磁控管由美国生产。磁控管的发展是实现微波雷达的最重要的贡献。1940 年 11 月, 美国开发微波雷达, 在第二次世界大战末期生产出了 10 cm 的 SCR-584 炮瞄雷达, 使高射炮命中率提高了 10 倍。二战中, 俄、法、德、意、日等国都独立发展了雷达技术, 因为雷达的作用很大, 产生了对雷达的电子对抗, 研制了大量的对雷达的电子侦察与干扰设备, 并成立了反雷达特种部队。

1948 年, 美国物理学家肖克莱 (W. Shockley, 1910—1989)、美国物理学家巴丁 (J. Bardeen, 1908—1991) 和美国物理学家布拉顿 (W. H. Brattain, 1902—1987) 共同发明了晶体管, 并一起获得了 1956 年的诺贝尔物理学奖。晶体管在节约电能、缩小体积与重量、延长寿命等方面远远优于电子管, 取代了电子管的传统地位, 成为极其重要的电子器件, 因而成为电子技术发展史上第二个里程碑。同年, 美国数学家香农 (C. E. Shannon, 1916—2001) 发表了论文《A Mathematical Theory of Communication》, 首次提出了信息论, 通信统计理论开始建立。香农理论的重要特征是熵 (entropy) 的概念, 他证明熵与信息内容的不确定程度有等价关系。作为信息论的创始人, 人们认为他是 20 世纪最伟大的科学家之一。他在通信技术与工程方面的创造性工作, 为计算机与远程通信奠定了坚实的理论基础。人们尊崇香农为信息论及数字通信时代的奠基之父。

1958 年, 美国德州仪器公司工程师杰克·基尔比 (J. S. Kilby, 1923—2005) 发明了集成电路, 奠定了现代微电子技术的基础, 他因此于 2000 年获得了诺贝尔物理学奖。可以说没有基尔比的发明, 就不会有今天的计算机, 人类还将在信息时代的门外徘徊。这种将“管”、“路”结合起来的集成电路, 是电子技术发展史上的第三个里程碑。

从发明无线电开始, 传输信息就是无线电技术的首要任务。直到今天, 虽然无线电电子学技术领域在迅速扩大, 但信息的传输与处理仍然是它的主要内容。通信电子线路所涉及的单元电路都是从传输与处理信息这一基本点出发, 来进行研究的。因此有必要在本书的开头介绍通信系统的原理、组成, 以便了解后续各章单元电路之间的相互联系, 获得初步的概念, 有助于今后的学习。

1.1.2 通信系统的组成

各种不同类型的通信系统, 其系统组成和设备的复杂程度虽然有较大差异, 但它们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他类型的通信系统。无线通信系统主要包含三部分: 发送设备、接收设备、信道 (传输媒体)。

图 1-1 所示为模拟语音无线通信系统的基本组成框图。

图 1-1 中话筒和扬声器属于通信的终端设备, 其作用是将非电量信号转换成电量信号或相反, 分别称为信源和信宿。发送端 (图 1-1 上半部分) 的低频放大和接收端 (图 1-1 下半部分) 的低频功放部分是为放大话筒输出信号和推动扬声器工作而设置的, 是低频电路, 本书不讨论。发送端低频放大输出的信号控制高频载波振荡器的某个参数 (如幅度、频率等), 从而实现调制。已调制信号的频率若不够高, 还要进行倍频或上混 (变) 频处

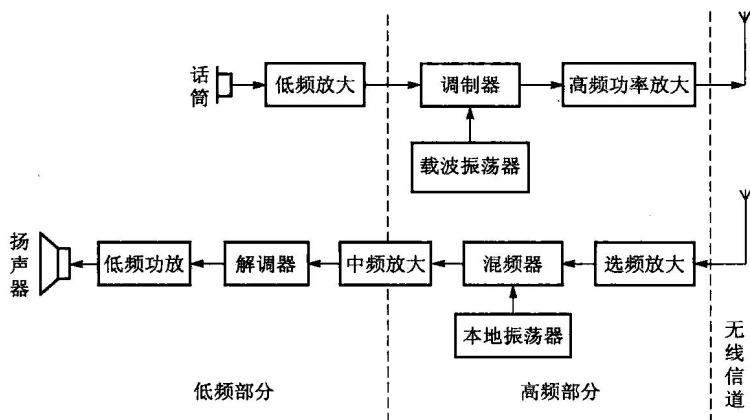


图 1-1 无线通信系统基本组成

理；若幅度不够，可根据需要进行若干级（通常有预放、激励和功放输出三级）放大，经天线发射出去。接收机一般采用超外差形式，将接收的调制信号经高频选频放大（同时滤除其他无用信号）后，进行混（变）频，取出中频信号后再进行中频放大（一般选择二至三级放大），以保证足够增益和较强的滤波能力，然后进行解调，还原成低频信号，经低频功率放大后送入扬声器转换成声音。信道为自由空间。

随着技术的发展，数字无线通信应用越来越广泛。数字通信系统的组成与图 1-1 类似，只需将模拟通信终端换成数字通信终端或者在模拟通信终端与调制解调器之间增加模拟/数字转换器（A/D）和数字/模拟转换器（D/A）即可。数字无线通信系统容易实现小型化，性能更佳，且容易对数字信号进行加密编码实现保密通信。数字通信系统接收机除了传统的超外差结构外，还有数字中频结构、直接变频结构等。

1.1.3 通信系统的类型

无线通信系统的类型，可以根据不同的方法来划分。按照无线通信系统中关键部分的不同特性，主要有以下一些类型。

（1）按传输媒质分类，根据消息由一地向另一地传递时传输媒质的不同，通信可分为两大类：一类称为有线通信，另一类称为无线通信。所谓有线通信，是指传输媒质为架空明线、电缆、光缆、波导等形式的通信，其特点是媒质看得见，摸得着。所谓无线通信，是指传输消息的媒质为看不见、摸不着的媒质（如电磁波）的一种通信形式。通常，有线通信可进一步再分类，如明线通信、电缆通信、光缆通信等。无线通信常见的形式有微波通信、短波通信、移动通信、卫星通信、散射通信和激光通信等，其形式较多。

（2）按照工作频段或传输手段分类，有长波通信、中波通信、短波通信、超短波通信、微波通信和卫星通信等。所谓工作频率，主要指发射与接收的射频（RF）频率。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。

（3）按照通信方式来分类，主要有（全）双工、半双工和单工方式。

（4）按照调制方式分类，根据是否采用调制，可将通信系统分为基带传输和频带（调

制)传输。基带传输是将没有经过调制的信号直接传送,如音频市内电话;频带传输是对各种信号调制后再送到信道中传输的总称,如调幅、调频、调相以及混合调制等。

(5) 按照传送的消息的类型分类,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。

(6) 按通信业务分类,可分为话务通信和非话务通信。电话业务在电信领域中一直占主导地位,它属于人与人之间的通信。近年来,非话务通信发展迅速,主要包括数据传输、计算机通信、电子信箱、电报、传真、可视图文及会议电视、图像通信等。另外从广义的角度来看,广播、电视、雷达、导航、遥控、遥测等也应列入通信的范畴,因为它们都满足通信的定义。由于广播、电视、雷达、导航等的不断发展,目前它们已从通信中派生出来,形成了独立的学科。

(7) 按通信者是否运动分类,通信还可分为移动通信和固定通信。移动通信是指通信双方至少有一方在运动中进行信息交换。另外,通信还有其他一些分类方法,如按多址方式可分为频分多址通信、时分多址通信、码分多址通信等;按用户类型可分为公用通信和专用通信;按通信对象的位置可分为地面通信、对空通信、深空通信、水下通信等。

1.1.4 通信系统中的信道与信号

1. 信道

通信中的信道从狭义上分为无线信道和有线信道。无线信道就是自由空间,信号的传输媒体是电磁波,有地波传播(如广播电视系统中的中波调幅广播)、天波传输(电离层反射、散射,如短波调幅广播)、直线传播(如微波中继、卫星通信)。有线信道有明线、对称电缆、同轴电缆、光纤等。广义上分为调制信道(如恒参信道、随参信道)和编码信道(如有记忆信道、无记忆信道)。

2. 无线电信号

在高频电路中,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波信号。所谓基带信号,就是没有进行调制之前的原始信号,也称调制信号;所谓高频载波信号,就是未经调制的高频振荡信号;所谓已调波信号,就是经过调制的高频振荡信号,即包含有基带信号的高频载波信号。

所谓“高频”是一个相对的概念,狭义地讲,指的是短波波段,其频率范围为 $3 \sim 30$ MHz;广义地讲,“高频”指的是射频,其频率范围非常宽,只要电路尺寸比工作波长小得多,可以用集中参数来分析实现,都可以认为属于“高频”。就目前技术来讲,“高频”的上限频率可达 3 GHz。20世纪60年代以来,模拟通信已大量使用 $2 \sim 10$ GHz频段,数字微波系统的发展集中到更高的频率, $11 \sim 19$ GHz频段已在启用。但在使用这样高的频率时,要考虑大气层中的氧气与水蒸气对信号的吸收。

一个无线电信号,可以将它表示为电压或电流的时间函数,通常用时域波形或数学表达式来描述。信号的时间特性要求传输该信号的电路的时间特性(如时间常数)与之相适应。对于较复杂的信号(如话音信号、图像信号等),用频谱分析法表示较为方便。信号的频谱特性就是信号中各频率成分的特性。频谱特性包含幅频特性和相频特性两部分,它们分别反



映信号中各个频率分量的振幅和相位的分布情况。无线电信号传播一般都要采用高频（射频）进行调制，其原因就是高频适于天线辐射和无线传播。只有当天线的尺寸可以与信号波长相比拟时，天线的辐射效率才会较高，从而以较小的信号功率传播较远的距离，接收天线也才能有效地接收信号。无线电信号的传播特性主要根据其所处的频段或波段来区分。

知识扩展

通信中基带信号分为两类，即模拟信号和数字信号。模拟信号是指幅度上的取值是连续的（幅值可由无限个数值表示），大多数模拟信号在时间上也是连续的，时间上离散的模拟信号是一种抽样信号；数字信号是指幅度上的取值是离散的（幅值表示被限制在有限个数值之内）。模拟通信的优点是直观且容易实现，但存在两个主要缺点：①保密性差，模拟通信尤其是微波通信和有线明线通信，很容易被窃听。②抗干扰能力弱，电信号在沿线路的传输过程中会受到外界的和通信系统内部的各种噪声干扰，噪声和信号混合后难以分开，从而使得通信质量下降。数字通信有如下优点：①加强了通信的保密性。语音信号经 A/D 变换后，可以先进行加密处理，再进行传输，在接收端解密后再经 D/A 变换还原成模拟信号。②提高了抗干扰能力，尤其在中继时，数字信号可以再生而消除噪声的积累。③传输差错可以控制，从而改善了传输质量。④便于使用现代数字信号处理技术来对数字信息进行处理。⑤可构建综合数字通信网，综合传递各种消息，使通信系统功能增强。但数字通信也存在缺点，例如：占用频带较宽，技术要求复杂，进行模/数转换时会带来量化误差等。

1.2 通信系统中发射与接收

1.2.1 无线电波的传播特性

电磁波从发射天线辐射出去后，不仅电波的能量会扩散，接收机只能收到其中极小的一部分，而且在传播过程中，电波的能量会被地面、建筑物或高空的电离层吸收或反射，或者在大气层中产生折射或散射等现象，从而造成到达接收机时的强度大大衰减。根据无线电波在传播过程所发生的现象，电波的传播方式主要有直射（视距）传播、绕射（地波）传播、折射和反射（天波）传播及散射传播等。决定传播方式和传播特点的关键因素是无线电信号的频率。传播方式示意图如图 1-2 所示。

1) 视距传播（直射波）

特点：收、发信高架（高度比波长大得多）。主要用于超短波、微波波段的通信和电视广播。例如，卫星通信采用视距传播。

2) 地波传播（绕射波）

特点：波长越长，传播损耗越小。主要用于中、长波无线电通信和导航。例如，收音机接收的广播台中波信号。

3) 天波（折射和反射波）传播（也称电离层传播）

特点：损耗小，传播距离远。电离层是指分布在地球周围 60 km 以上的大气层中的电离

区域。在这个区域中,存在大量的自由电子与正离子,还可能有大量的负离子以及未被电离的中性离子。因电离层状态不断变化使天波传播不稳定,又要满足从电离层返回地面的条件,工作频率受到限制。天波传播主要用于短波、中波的远距离通信和广播。例如,收音机接收的广播电台短波信号或军用短波电台。

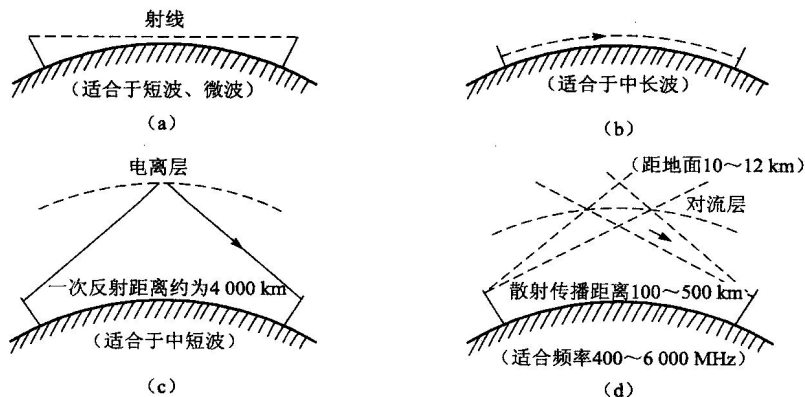


图 1-2 无线电波的主要传播方式

(a) 直射传播; (b) 地波传播; (c) 天波传播; (d) 散射传播

4) 散射传播 (也称对流层传播)

特点: 散射信号相当微弱, 损耗很大, 传播距离可达 300 ~ 800 km。大气对流层中, 除了有规则的片状或层状气流外, 还存在不规则的气流, 这类似于水流中漩涡的不均匀体。相应地, 在电离层中即有电子密度的不均匀性。当天线辐射出去的电波投射到这些不均匀体的时候, 类似于光的散射和反射现象, 电波发生散射或反射, 一部分能量传播到接收点, 这种传播称为散射传播。散射传播适用于无法建立微波中继站的地区, 例如用于海岛之间和跨越湖泊、沙漠、雪山等地区。散射通信必须采用大功率发射机, 高灵敏度接收机和高增益天线。

电磁波的传播情况很复杂, 它不属于本书的范围, 这里进行介绍是为了建立一个初步概念, 作为后续章节学习的预备知识。

1.2.2 发射设备

发送设备主要有以下几种。

(1) 变换器 (换能器): 其作用是将被发送的信息变换为电信号。例如话筒将声音变为电信号。

(2) 发射机: 其作用是将换能器输出的电信号变换为强度足够的高频电振荡。

(3) 天线: 将高频电振荡变换为电磁波向传输媒质辐射。

图 1-3 所示为无线广播发送原理框图。

图 1-3 中, 高频振荡器产生一个高频正弦波信号——载波。消息信号经过换能器变换为电信号, 经过低频放大器放大送到调制器中, 调制器将消息信号寄载到载波上, 图中是寄载到载波振幅上, 这叫调幅。调制后的高频信号叫已调波, 称这种已调波为调幅波。

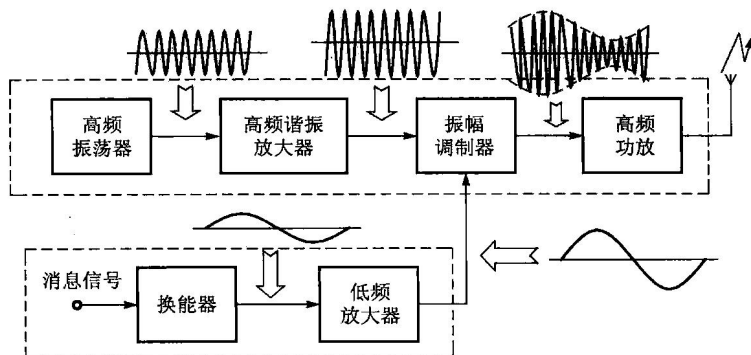


图 1-3 无线广播发送原理框图

1.2.3 接收设备

接收设备主要有以下几种。

- (1) 接收天线：其作用是将空间传播到其上的电磁波转换为高频电振荡。
- (2) 接收机：其作用是将高频电振荡处理为电信号。
- (3) 变换器（换能器）：其作用是将电信号转换为所传送信息。

接收是发射的逆过程。图 1-4 所示为超外差式无线电接收原理框图。

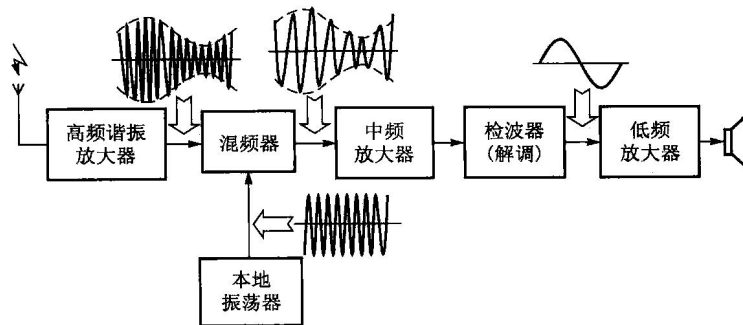


图 1-4 超外差式无线电接收原理框图

图 1-4 中，天线中感应的无线电信号，经过高频谐振放大器取出并放大为要收听的已调波信号，送到混频器中，与本振进行差频，得到固定的中频信号，经过中频放大后，进行解调，得到所需的音频信号，再放大后推动扬声器，产生出要收听的语音信号。这种接收机是目前广泛采用的超外差式接收机。

知识扩展

除了超外差式接收机外，还有直接放大式接收机和超再生接收机。直接放大式接收机是将接收到的高频信号直接放大后再检波。优点是结构简单，成本低，特别适合固定工作频率的接收机；缺点是接收机灵敏度和选择性因接收频率不同而变化较剧烈。现在