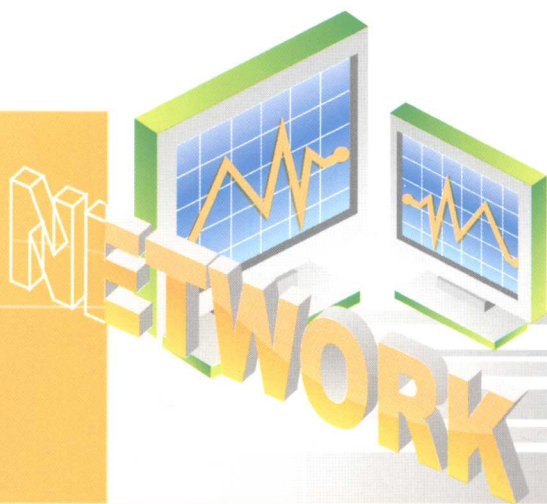




21st CENTURY
实用规划教材

21世纪全国应用型本科 电子通信系列 实用规划教材



高频电子线路 (第2版)

主 编 宋树祥 周冬梅



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

21 世纪全国应用型本科电子通信系列实用规划教材

高频电子线路 (第 2 版)

主 编 宋树祥 周冬梅
副主编 关连成 毛昕蓉 田熙燕

TN710.2-43
5778.02



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书覆盖了“电子信息科学与电气信息类基础课程教学指导分委员会”2004年版关于电子电路(II)基本要求的全部内容。书中详细介绍了通信系统中电路的基本原理、分析方法和典型应用。本书共分10章,包括绪论、噪声与干扰、高频小信号放大器、高频功率放大器、正弦波振荡器、非线性器件与频谱搬移电路、振幅调制与解调、角度调制与解调、反馈控制电路、频率合成技术。每章都对主要知识点进行了小结,内容深入浅出,理论联系实际。

本书可作为高等学校电子信息工程、通信工程、测控技术与仪器等专业的本科生教材或教学参考书,也可供相关专业工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

高频电子线路/宋树祥,周冬梅主编. —2版. —北京:北京大学出版社,2010.1
(21世纪全国应用型本科电子通信系列实用规划教材)
ISBN 978-7-301-16520-1

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

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第230337号

书 名: 高频电子线路(第2版)

著作责任者: 宋树祥 周冬梅 主编

责任编辑: 李娉婷

标准书号: ISBN 978-7-301-16520-1/TH·0055

出版者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路205号 100871

网 址: <http://www.pup.cn> <http://www.pup6.com>

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

电子邮箱: pup_6@163.com

印刷者: 河北滦县鑫华书刊印刷厂

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787毫米×1092毫米 16开本 24.25印张 561千字

2007年2月第1版

2010年1月第2版 2010年1月第1次印刷

定 价: 35.00元

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究

举报电话: 010-62752024

电子邮箱: fd@pup.pku.edu.cn

《21 世纪全国应用型本科电子通信系列实用规划教材》

专家编审委员会

主 任 殷瑞祥

顾 问 宋铁成

副主任 (按拼音顺序排名)

陈殿仁 曹茂永 李白萍 魏立峰

王霓虹 袁德成 周立求

委 员 (按拼音顺序排名)

曹继华 郭 勇 黄联芬 蒋学华 蒋 中

刘化君 聂 翔 王宝兴 吴舒辞 阎 毅

杨 雷 姚胜兴 张立毅 张雪英 张宗念

赵明富 周开利

丛书总序

随着招生规模迅速扩大,我国高等教育已经从“精英教育”转化为“大众教育”,全面素质教育必须在教育模式、教学手段等各个环节进行深入改革,以适应大众化教育的新形势。面对社会对高等教育人才的需求结构变化,自20世纪90年代以来,全国范围内出现了一大批以培养应用型人才为主要目标的应用型本科院校,很大程度上弥补了我国高等教育人才培养规格单一的缺陷。

但是,作为教学体系中重要信息载体的教材建设并没有能够及时跟上高等学校人才培养规格目标的变化,相当长一段时间以来,应用型本科院校仍只能借用长期存在的精英教育模式下研究型教学所使用的教材体系,出现了人才培养目标与教材体系的不协调,影响着应用型本科院校人才培养的质量,因此,认真研究应用型本科教育教学的特点,建立适合其发展需要的教材新体系越来越成为摆在广大应用型本科院校教师面前的迫切任务。

2005年4月北京大学出版社在南京工程学院组织召开《21世纪全国应用型本科电子通信系列实用规划教材》编写研讨会,会议邀请了全国知名学科专家、工业企业工程技术人员和部分应用型本科院校骨干教师共70余人,研究制定电子信息类应用型本科专业基础课程和主干专业课程体系,并遴选了各教材的编写组成人员,落实制定教材编写大纲。

2005年8月在北京召开了《21世纪全国应用型本科电子通信系列实用规划教材》审纲会,广泛征求了用人单位对应用型本科毕业生的知识能力需求和应用型本科院校教学一线教师的意见,对各本教材主编提出的编写大纲进行了认真细致的审核和修改,在会上确定了32本教材的编写大纲,为这套系列教材的质量奠定了基础。

经过各位主编、副主编和参编教师的努力,在北京大学出版社和各参编学校领导的关心和支持下,经过北京大学出版社编辑们的辛苦工作,我们这套系列教材终于在2006年与读者见面了。

《21世纪全国应用型本科电子通信系列实用规划教材》涵盖了电子信息、通信等专业的基础课程和主干专业课程,同时还包括其他非电类专业的电工电子基础课程。

电工电子与信息技术越来越渗透到社会的各行各业,知识和技术更新迅速,要求应用型本科院校在人才培养过程中,必须紧密结合现行工业企业技术现状。因此,教材内容必须能够将技术的最新发展和当今应用状况及时反映进来。

参加系列教材编写的作者主要是来自全国各地应用型本科院校的第一线教师和部分工业企业工程技术人员,他们都具有多年从事应用型本科教学的经验,非常熟悉应用型本科教育教学的现状、目标,同时还熟悉工业企业的技术现状和人才知识能力需求。本系列教材明确定位于“应用型人才培养”目标,具有以下特点:

(1) **强调大基础:**针对应用型本科教学对象特点和电子信息学科知识结构,调整理顺了课程之间的关系,避免了内容的重复,将众多电子、电气类专业基础课程整合在一个统

一的大平台上,有利于教学过程的实施。

(2) **突出应用性:**教材内容编排上力求尽可能把科学技术发展的新成果吸收进来、把工业企业的实际应用情况反映到教材中,教材中的例题和习题尽量选用具有实际工程背景的问题,避免空洞。

(3) **坚持科学发展观:**教材内容组织从可持续发展的观念出发,根据课程特点,力求反映学科现代新理论、新技术、新材料、新工艺。

(4) **教学资源齐全:**与纸质教材相配套,同时编制配套的电子教案、数字化素材、网络课程等多种媒体形式的教学资源,方便教师 and 学生的教学组织实施。

衷心感谢本套系列教材的各位编著者,没有他们在教学第一线的教改和工程第一线的辛勤实践,要出版如此规模的系列实用教材是不可能的。同时感谢北京大学出版社为我们广大编著者提供了广阔的平台,为我们进一步提高本专业领域的教学质量和教学水平提供了很好的条件。

我们真诚希望使用本系列教材的教师和学生,不吝指正,随时给我们提出宝贵的意见,以期进一步对本系列教材进行修订、完善。

《21 世纪全国应用型本科电子通信系列实用规划教材》

专家编审委员会

2006 年 4 月

前 言

随着我国高等教育的迅速发展,为了满足高等学校应用型人才培养的需要,根据国家教育部制定的电子通信类专业“电子电路(I)、(II)课程教学基本要求”和长期教学改革与实践的经验,在北京大学出版社的支持下,我们编写了本书第1版。本书第1版自2007年出版以来,经有关院校教学使用,反映良好。为了使内容更加通俗易懂,更好地适应广大读者的学习要求,本书在第1版的基础上对第3章高频小信号放大器的内容进行了修改和调整,同时对第1版中其他各章的内容也作了一些调整,同时对第1版中出现的错误也进行了更正,并推出第2版。本书适用于应用型本科电子信息工程、通信工程、测控技术与仪器等专业作为教材或教学参考书,也可供有关工程技术人员参考。

高频电子线路是本科电子信息类专业重要的技术基础课,是一门理论性、工程性与实践性很强的课程,它内容丰富,应用广泛,新技术、新器件发展迅速。考虑到应用型本科人才培养的特点,本书在编写中特别注意以下几点。

(1) 突出重点,着重于通信电路中常用的一些基本功能部件的原理、电路、计算及分析方法,力求避免繁琐的数学推导,加强基本理论和基本分析方法的讨论。

(2) 注重应用,加强电路组成模型与应用方法的介绍,在讲清分立元件电路的分析之后,给出集成化的实际应用电路,注意内容的适度更新。

(3) 注意理论讲授和实际电路的 EWB 仿真相结合的教学模式,在教学中注重工程应用背景,充分调动学生学习的积极性和主动性。

(4) 难点适当分散,力图深入浅出,层次分明,简明扼要,有利于教与学。

本书共分为10章,参考学时为60~70学时。第1章绪论,主要介绍通信系统的组成,发射机和接收机的组成,课程的研究对象和特点;第2章噪声与干扰,主要介绍通信系统中的噪声与干扰,无线通信发射机和接收机的主要技术指标、测量方法;第3章高频小信号放大器,主要介绍LC选频的基本特性,阻抗变换网络,晶体管的高频小信号等效模型,集中选频放大器;第4章高频功率放大器,主要介绍高频功率放大器的工作原理、功率、效率分析和实用电路,丙类倍频器,宽带高频功率放大器与功率合成电路,集成高频功率放大电路;第5章正弦波振荡器,主要介绍反馈型自激振荡的工作原理,LC正弦波振荡电路,晶体振荡器;第6章非线性器件与频谱搬移电路,主要介绍非线性元器件的特性描述,模拟相乘器及基本单元电路,混频器及其干扰;第7章振幅调制与解调,主要介绍振幅调制的原理,标准振幅调制信号分析,双边带调幅信号,单边带调幅信号,调幅解调的方法,二极管大信号包络检波器,同步检波器;第8章角度调制与解调,主要介绍调角信号的分析,实现调频、调相的方法,调频波的解调原理及电路;第9章反馈控制电路,主要介绍反馈控制电路的基本原理与分析方法,自动增益控制(AGC)电路,自动频率控制(AFC)电路,锁相环路(PLL);第10章频率合成技术,主要介绍频率合成器的特点、指标和各种频率合成器的电路分析。书中每章都对主要知识点进行了小结,对难于理解的地方用例题作进一

步讲解分析。

本书由宋树祥、周冬梅主编，宋树祥统稿。第 1、2、4、9、10 章和第 3~8 章每章的最后一节仿真及附录由宋树祥编写，第 3 章由毛昕蓉编写，第 5 章由关连成编写，第 6 章由田熙燕、宋树祥共同编写，第 7、8 章由周冬梅编写。在第 2 版的修订过程中湖南工学院电气与信息工程系的曹才开教授和姚胜兴教授以及诸多读者对本书提出了许多宝贵的修改建议，编者在此深表感谢。

由于时间仓促及作者水平有限，书中难免有疏漏之处，恳请广大读者批评指正。

编 者
2009 年 8 月

目 录

第 1 章 绪论	1	3.2 LC 串并联谐振回路	27
1.1 概述	1	3.2.1 串联谐振回路	27
1.2 通信系统的组成	2	3.2.2 并联谐振回路	31
1.3 发射机和接收机的组成	3	3.2.3 串、并联阻抗等效互换与 回路抽头时的阻抗变换	36
1.4 无线电波段的划分	5	3.2.4 耦合回路	40
1.5 无线电波的传播	6	3.3 晶体管高频小信号等效电路与参数	46
1.6 本课程的研究对象和特点	7	3.3.1 Y 参数等效电路	46
1.7 本章小结	8	3.3.2 混合 π 型等效电路	47
1.8 习题	8	3.3.3 Y 参数等效电路与混合 π 等效电路参数的转换	48
第 2 章 噪声与干扰	9	3.4 晶体管谐振放大器	49
2.1 概述	9	3.4.1 单级单调谐回路谐振放大器	49
2.2 噪声	9	3.4.2 多级单调谐回路谐振放大器	54
2.2.1 电阻热噪声	10	3.5 集中选频滤波器与集成调谐放大器	56
2.2.2 晶体三极管噪声	12	3.5.1 集中选频滤波器	57
2.2.3 场效应管噪声	13	3.5.2 集成谐振放大器	65
2.2.4 天线噪声	13	*3.6 高频小信号谐振放大器的仿真	67
2.2.5 噪声系数	14	3.7 本章小结	69
2.3 干扰	16	3.8 习题	70
2.3.1 工业干扰	17	第 4 章 高频功率放大器	73
2.3.2 天电干扰	18	4.1 概述	73
2.4 发射机和接收机的主要性能指标	19	4.2 谐振功率放大器的工作原理	74
2.4.1 发射机的主要指标	19	4.2.1 基本工作原理	74
2.4.2 发射机整机的参量测量	19	4.2.2 输出功率与效率	78
2.4.3 接收机的主要性能指标	20	4.3 高频功率放大器的动态分析	80
2.4.4 接收机的性能指标举例	22	4.3.1 高频功率放大器的动态特性	80
2.4.5 接收机整机参数的测量	23	4.3.2 高频功率放大器的负载特性	82
2.5 本章小结	24	4.3.3 高频功率放大器的调制特性	85
2.6 习题	25	4.3.4 高频功率放大器的放大特性	87
第 3 章 高频小信号放大器	26	4.3.5 高频功率放大器的调谐特性	88
3.1 概述	26	4.3.6 高频功率放大器的高频效应	89
3.1.1 高频小信号放大器的分类	26		
3.1.2 高频小信号放大器的主要 性能指标	26		

4.4 谐振功率放大器电路	91	5.5.5 高稳定度石英晶振电路	141
4.4.1 直流馈电电路	91	5.6 集成电路振荡器	143
4.4.2 滤波匹配网络	93	5.6.1 差分对管振荡电路	143
4.4.3 谐振功率放大器电路举例	97	5.6.2 单片集成振荡电路 E1648	144
4.5 丁类谐振功率放大器	98	5.6.3 运放振荡器	145
4.6 集成高频功率放大器及其应用	100	5.6.4 集成宽带高频正弦波振荡 电路	146
4.7 丙类倍频器	101	5.7 压控振荡器	146
4.8 宽带高频功率放大器	103	5.7.1 变容二极管	147
4.8.1 传输线变压器	103	5.7.2 变容二极管压控振荡器	148
4.8.2 功率合成技术	106	5.7.3 晶体压控振荡器	150
4.8.3 宽带高频功率放大电路	109	5.8 几种特殊振荡现象	151
*4.9 高频谐振功率放大器的仿真	110	5.8.1 寄生振荡	151
4.10 本章小结	113	5.8.2 间歇振荡现象与自给偏压 建立过程	153
4.11 习题	114	*5.9 正弦波振荡电路的仿真	154
第 5 章 正弦波振荡器	117	5.10 本章小结	157
5.1 概述	117	5.11 习题	158
5.2 反馈振荡器的工作原理	117	第 6 章 非线性器件与频谱搬移电路	162
5.2.1 反馈振荡器产生振荡的 基本原理	117	6.1 概述	162
5.2.2 平衡条件	118	6.2 非线性元器件频率变换特性及分析 方法	163
5.2.3 起振条件	120	6.2.1 非线性器件	163
5.2.4 稳定条件	121	6.2.2 非线性器件的频率变换 作用	164
5.3 LC 正弦波振荡器	123	6.2.3 非线性电路分析的常用 方法	165
5.3.1 互感耦合振荡器	123	6.3 频率变换电路	168
5.3.2 LC 三点式振荡器相位 平衡条件的判断准则	124	6.3.1 频率变换电路的分类	168
5.3.3 电容三点式振荡器	125	6.3.2 线性时变电路分析方法	169
5.3.4 克拉泼和西勒振荡器	129	6.4 模拟乘法器及基本单元电路	172
5.3.5 电感三点式振荡器	132	6.4.1 模拟乘法器的基本概念	173
5.4 振荡器的频率稳定度	133	6.4.2 模拟乘法器的单元电路	175
5.4.1 频率准确度和频率稳定度	133	6.5 单片集成模拟乘法器及其典型 应用	179
5.4.2 提高频率稳定度的措施	134	6.5.1 MC1596 / MC1496 及其 应用	179
5.4.3 LC 振荡器的设计考虑	135		
5.5 石英晶体振荡器	136		
5.5.1 并联谐振型晶体振荡器	136		
5.5.2 串联谐振型晶体振荡器	138		
5.5.3 密勒(Miller)振荡电路	139		
5.5.4 泛音晶体振荡器	139		

6.5.2 BG314(MC1495/MC1595) 及其应用	181	8.3.2 间接调频电路	277
6.5.3 第二代、第三代集成模拟 乘法器	186	8.4 调频波的解调	279
6.6 混频器及其干扰	188	8.4.1 调频波的解调方法	279
6.6.1 混频器原理	189	8.4.2 叠加型相位鉴频器	284
6.6.2 混频器主要性能指标	190	8.4.3 比例鉴频器	289
6.6.3 实用混频电路	191	8.4.4 其他鉴频器	291
6.6.4 混频器的干扰与失真	199	*8.5 角度调制与解调的仿真	294
*6.7 集成模拟乘法器的仿真	202	8.6 本章小结	298
6.8 本章小结	205	8.7 习题	299
6.9 习题	206	第 9 章 反馈控制电路	302
第 7 章 振幅调制与解调	208	9.1 概述	302
7.1 概述	208	9.2 自动增益控制电路	303
7.2 调幅的基本原理	209	9.2.1 基本工作原理	303
7.2.1 普通调幅波	209	9.2.2 自动增益控制电路的应用	304
7.2.2 抑制载波的双边带调幅 信号	215	9.3 自动频率控制电路	305
7.2.3 单边带调幅信号	218	9.3.1 基本工作原理	305
7.3 幅度调制电路	223	9.3.2 自动频率控制电路的应用	309
7.3.1 高电平调幅电路	223	9.4 锁相环路的基本工作原理	310
7.3.2 低电平调幅电路	227	9.4.1 锁相环路的基本工作原理	310
7.4 调幅波的解调	233	9.4.2 锁相环路的数学模型	314
7.4.1 调幅波的解调方法	233	9.4.3 锁相环路的捕捉过程	315
7.4.2 二极管峰值包络检波器	236	9.5 集成锁相环	317
7.4.3 同步检波	246	9.5.1 通用型单片集成锁相环路 L562	318
*7.5 振幅调制与解调的仿真	249	9.5.2 CMOS 锁相环路 CD4046	319
7.6 本章小结	252	9.6 锁相环路的应用	320
7.7 习题	253	9.6.1 锁相环路的调频与鉴频	321
第 8 章 角度调制与解调	257	9.6.2 锁相接收机	323
8.1 概述	257	9.6.3 锁相同步检波电路	323
8.2 角度调制的基本原理	257	9.7 本章小结	324
8.2.1 调角波的表达式及波形	258	9.8 习题	325
8.2.2 调角波的频谱和带宽	262	第 10 章 频率合成技术	328
8.2.3 各种调制方式的比较	267	10.1 概述	328
8.3 频率调制电路	269	10.2 直接频率合成法	329
8.3.1 直接调频电路	269	10.3 间接频率合成法	331
8.3.2 间接调频电路	277	10.3.1 锁相频率合成器	331
8.4 调频波的解调	279	10.3.2 多环锁相频率合成器	332
8.4.1 调频波的解调方法	279		
8.4.2 叠加型相位鉴频器	284		
8.4.3 比例鉴频器	289		
8.4.4 其他鉴频器	291		
*8.5 角度调制与解调的仿真	294		
8.6 本章小结	298		
8.7 习题	299		

10.3.3 吞脉冲锁相频率合成器	333	10.5.3 DDS 芯片 AD9854 简介	343
10.3.4 直接数字合成法	335	10.6 本章小结	350
10.3.5 DDS/PLL 组合频率 合成法	335	10.7 习题	351
10.4 DDS 的工作原理和性能特点	339	附录 1 EWB 软件的简介	353
10.4.1 DDS 工作原理	339	附录 2 贝塞尔函数的数值表	365
10.4.2 DDS 性能特点	340	附录 3 余弦脉冲分解系数表	366
10.5 典型的 DDS 芯片	342	部分习题答案	369
10.5.1 典型的高速 DDS 芯片	342	参考文献	373
10.5.2 典型的中速 DDS 芯片	342		

第1章 绪 论

教学提示：无线通信系统由信息源、输入换能器、发送设备、信道、接收设备和输出换能器六部分所组成，本章主要对发射机和接收机的组成框图进行分析，为本书的学习奠定基础。

教学要求：本章让学生了解无线通信的发展史、现代通信系统组成和无线电波段的划分。重点是让学生掌握发射机和接收机的组成以及各组成部分的作用，以便让学生清楚本书将要讨论的“高频电子线路”究竟包括哪些电路，它们都有什么功用，高频电子线路有什么特点等。

1.1 概 述

信息传递是人类社会生活的重要内容。没有通信，人类社会是不可想象的。从古代的烽火到近代的旗语，都是人们寻求快速远距离通信的手段。1837年莫尔斯发明了电报，创造了莫尔斯电码，开创了通信的新纪元。1876年贝尔发明了电话，能够直接地将语言信号转换为电能沿导线传送，在这种代码中，用点、划、空隔的适当组合来代表字母和数字，可以说是“数字通信”的雏形。而英国物理学家麦克斯韦1864年发表的“电磁场的动力理论”则为以后的无线电发明和发展奠定了坚实的理论基础。以后经过德国物理学家赫兹、英国的罗吉的发展，1895年意大利的马可尼与俄罗斯的波波夫实现了无线电通信，1901年又首次完成了横渡大西洋的通信。1907年福雷斯特发明的二极管、肖克莱等发明的三极管和后来出现的集成电路极大地推动了无线电的发展，真正开始进入无线电的时代。

从发明无线电开始，传输信息就是无线电技术的首要任务。最基本的信息传输手段当然是语言与文字。如音频在空气中的传播速度很慢，约为340m/s，而且衰减很快。因此它的声音不可能传得很远，所以人们想到了借助电来传播，首先是将音频信号变成电信号，然后再设法将这信号传输出去。

由天线理论可知，要将无线电信号有效地发射出去，天线的尺寸必须和电信号的波长相当。由原始非电量信息经转换的原始电信号一般是低频信号，波长很长。例如音频信号频率范围为20Hz~20kHz，对应波长范围为15~15000km，要制造出相应的巨大天线是不现实的，即使这样巨大的天线制造出来，由于各个发射台均为同一频段的低频信号，在信道中会互相重叠、干扰，接收设备也无法选择所要接收的信号。

因此，为了有效地进行传输，必须采用几百千赫以上的高频振荡信号作为载体，将携带信息的低频电信号“装载”在高频振荡信号上(这一过程称为调制)，然后经天线发送出去。到了接收端后，再把低频电信号从高频振荡信号上“卸载”下来(这一过程称为解调)。其中，未经调制的高频振荡信号称为载波信号，低频电信号称为调制信号，经过调制的高

频振荡信号称为已调制信号。

采用调制方式以后,由于传送的是高频振荡信号,所需天线尺寸便可大大下降。同时,不同的发射台可以采用不同频率的高频振荡信号作为载波,这样在频谱上就可以互相区分开了。

本书主要讨论用于各种无线电技术设备和系统中的高频电子线路,它是一种工作在高频频段范围内实现特定电功能的电路,是一种非线性的电子线路。它已广泛应用于无线电通信、广播、电视、雷达、导航等几个主要方面,尽管它们在传递信息形式、工作方式和设备体制等方面有差别,但它们的共同特点都是利用高频(射频)无线电波来传递信息,因此设备中发射和接收、检测高频信号的基本功能电路大都是相同的。为了具体了解高频电子线路的种类和功用,现以通信系统为例,作一概要的介绍。

1.2 通信系统的组成

从广义上说,凡是在发信者和收信者之间,以任何方式进行消息的传递,都可称之为通信。实现消息传递所需设备的总和,称为通信系统。19世纪末迅速发展起来的以电信号为消息载体的通信方式,称为现代通信系统。例如,广播电台是传输声音的系统,电视是传输图像信息与声音信息的系统,计算机通信是传送数据的系统,它们都是通信系统。一个完整的通信系统应包括:信息源、输入换能器、发送设备、传输信道、接收设备和输出换能器六部分,如图1.1所示。各部分的主要作用简介如下:

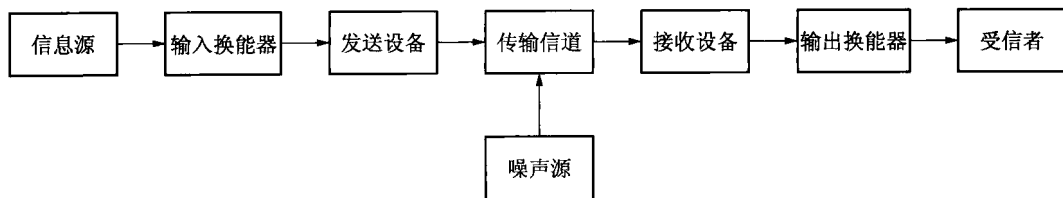


图 1.1 现代通信系统组成框图

信息源 信息源是指需要传送的原始信息,如语言、音乐、图像、文字等,一般是非电物理量。原始信息经换能器转换成电信号后,送入发送设备,将其变成适合于信道传输的信号,然后经过天线送入信道。

输入换能器 输入换能器的主要任务是将发信者提供的非电量消息(如声音、景物等)变换为电信号,如话筒、摄像机、各种传感装置,它应能反映待发的全部消息,通常具有“低通型”频谱结构,故称为基带信号。当输入消息本身就是电信号(如计算机输出的二进制信号)时,输入换能器可省略而直接进入发送设备。

发送设备 发送设备主要有两大任务:一是调制;二是放大。所谓调制,就是将基带信号变换成适合信道传输特性传输的频带信号。在连续波调制中,是指用原始电信号去控制高频振荡信号的某一参数,使之随原始电信号的变化规律而变化。对于正弦波信号,其主要参数是振幅、频率和相位,因而出现了振幅调制、频率调制和相位调制(后两种合称为角度调制)等不同的调制方式。

所谓放大,是指对调制信号和已调信号的电压和功率放大、滤波等处理过程,以保证

送入信道足够大的已调信号功率。

传输信道 信道是连接发、收两端的信号通道，又称传输媒介。通信系统中应用的信道可分为两大类：有线信道(如架空明线、电缆、波导、光纤等)和无线信道(如海水、地球表面、自由空间等)。不同信道有不同的传输特性，相同媒介对不同频率的信号传输特性也是不同的。例如，在自由空间媒介里，电磁能量是以电磁波的形式传播的。然而，不同频率的电磁波却有着不同的传播方式。1.5MHz 以下的电磁波主要沿地表传播，称为地波。由于大地不是理想的导体，当电磁波沿其传播时，有一部分能量被损耗掉，频率越高，趋表效应越严重，损耗越大，因此频率较高的电磁波不宜沿地表传播。1.5~30MHz 的电磁波，主要靠天空中电离层的折射和反射传播，称为天波。电离层是由于太阳和星际空间的辐射引起大气上层电离形成的。电磁波到达电离层后，一部分能量被吸收，一部分能量被反射和折射到地面。频率越高，被吸收的能量越小，电磁波穿入电离层也越深。当频率超过一定值后，电磁波就会穿透电离层而不再返回地面。因此频率更高的电磁波不宜用天波传播。30MHz 以上的电磁波主要沿空间直线传播，称为空间波。由于地球表面的弯曲，空间波传播距离受限于视距范围，架高发射天线可以增大其传输距离。

接收设备 接收设备的任务是将信道传送过来的已调信号进行处理，以恢复出与发送端相一致的基带信号，这种从已调波中恢复基带信号的处理过程，称为解调。显然解调是调制的反过程。又由于信道的衰减特性，经远距离传输到达接收端的信号电平通常是很微弱的(微伏数量级)，需要放大后才好解调。同时，在信道中还会存在许多干扰信号，因而接收设备还必须具有从众多干扰信号中选择有用信号、抑制干扰的能力。

输出换能器 输出换能器的作用是将接收设备输出的基带信号变换成原来形式的消息，如声音、景物等，供收信者使用。

1.3 发射机和接收机的组成

发射机和接收机是现代通信系统的核心部件。它们是为了使基带信号在信道中有效和可靠地传输而设置的。现以无线广播调幅发射机为例，说明它的组成，如图 1.2 所示。

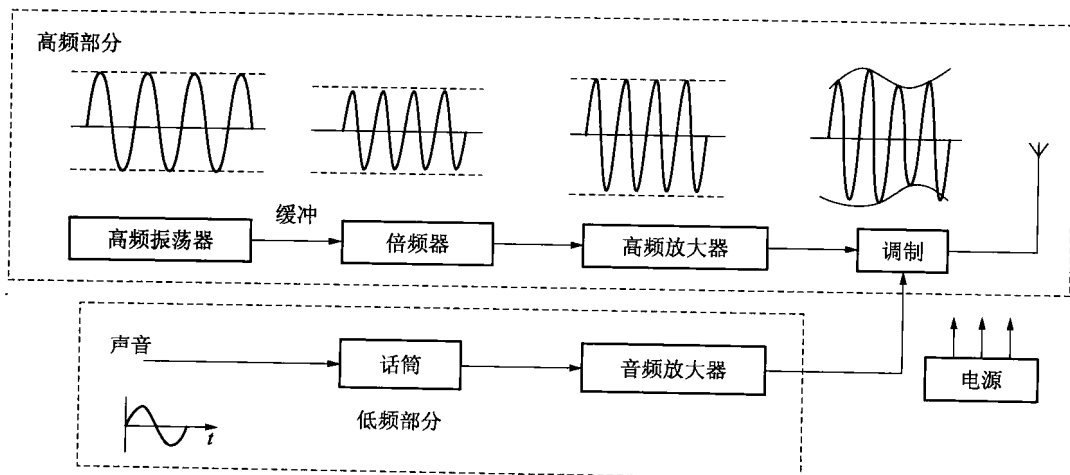


图 1.2 调幅发射机组成框图

高频部分通常由高频振荡器、倍频器和高频放大器组成。高频振荡器的作用是产生高频电振荡信号，这种高频电波是用来运载声音信号的，我们就把它叫做载波，它的频率称为载频。它的作用就像公共汽车一样，是运载工具。公共汽车运载乘客，而载波是运载信息。一般我们收听广播所说的频率就是指的这个频率。例如中央台 640kHz，就是针对载波频率而言。

缓冲级是为减弱后级对主振级的影响而设置的。倍频器的作用是提高高频振荡频率，高频振荡器所产生的电振荡的频率不一定恰好等于所需要的载波频率，一般低于载波频率若干分之一，这主要是为了保证振荡器的频率稳定度，所以需要倍频器把频率提高到所需要的数值。

倍频级后加若干级高频放大器，以逐步提高输出功率，最后经功放推动级，使末级功放输出功率达到所需的发射功率电平，经发射天线辐射出去。

低频部分包括话筒和音频放大器。基带音频信号通过放大，获得对高频末级功率放大器进行调制所需的功率电平。末级功率放大级又称为调制器。

无线通信的接收过程正好和发射过程相反。在接收端，接收天线将收到的电磁波转变为已调波电流，然后从这些已调波电流中选择出所需的信号进行放大和解调，这种最简单的接收机叫做直接检波式接收机，其方框图如图 1.3 所示。

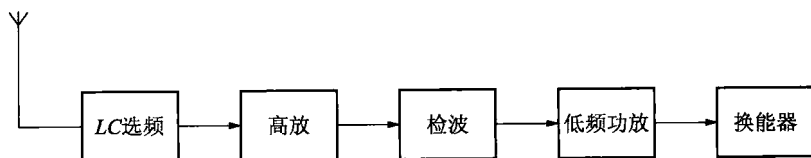


图 1.3 直接检波式接收机的方框图

接收从空中传来的电磁波的任务是由接收天线来完成的。这里必须注意的是，由于广播电台很多，在同一时间内，接收天线所收到的将不仅是我们希望收听的电台的信号，而且包含若干个来自不同电台的，具有不同载频的无线电信号，这些广播电台之所以采用各种不同的载频，其目的就是让听众按照电台频率的不同，设法选择出所需要的节目。因此在接收天线之后，应该有一个选择性电路。它的作用就是把所要接收的无线电信号挑选出来，并把不要的信号滤掉，以免产生干扰。选择性电路是由振荡线圈 L 和电容器 C 组成的。这种 LC 电路通常叫做谐振回路，收听广播时，我们调节接收机里的可变电容器，其作用就是使振荡回路调谐到我们要收听的电台的频率。 LC 谐振回路将在第 3 章中详细讨论。选择性电路的输出就是高频小信号放大器，放大后的信号为某个电台的高频调幅波，如果利用它直接去推动耳机(收音装置)是不成的，因为频率太高，耳机薄膜振动跟不上，所以还必须先把它恢复成原来的音频信号。这种从高频调幅波中检取出音频信号的过程叫做检波，也称为振幅解调，用来完成解调的部件叫做检波器或解调器。把检波器获得的音频信号经过音频放大送到耳机，就可以收听到所需要的广播节目。

由于直放式接收机的灵敏度和选择性都与工作频率有关(即波段性差)，并受高频小信号调谐放大器级数限制，不能过高，同时调谐也比较复杂。这是因为，要把天线接收来的高频信号放大到几百毫伏，一般需要用几级高频放大器，而每一级高频放大器大都需要一个由 LC 组成的谐振回路，当被接收信号的频率改变时，整个接收机的所有 LC 谐振回路

都需要重新调谐，很不方便。为了克服这种缺点，现在的接收机几乎都采用超外差式的线路，如图 1.4 所示。

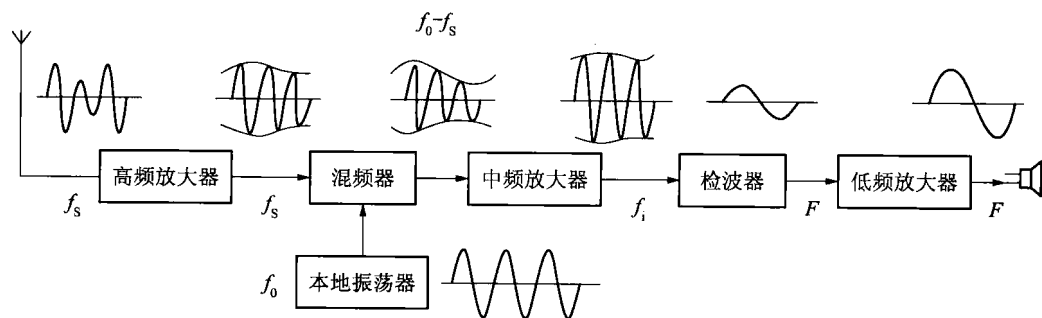


图 1.4 超外差式接收机的方框图

超外差式接收机的主要特点：把被接收的高频调幅信号的载波频率 f_s 先变为频率较低的而且是固定不变的中频 f_i ，再利用中频放大器加以放大，然后进行检波。由于中频是固定的，因此中频放大器的选择性与增益都与接收的载波频率无关。把高频信号的载波频率变为中频的任务是由混频器来完成的。在以后介绍混频器时，我们将证明：把一个载频 f_s 的调幅波和一个频率为 f_0 的正弦波同时加到混频器上，经过变频所得到的仍是一个调幅波，不过它的“载波”频率已经不是原来的载频 f_s ，而是这两个频率之差 ($f_0 - f_s$)，或取两个频率之和 ($f_0 + f_s$)。从上面的讨论可以看出，在超外差式接收机中为了产生变频作用，还需要有一个外加的正弦信号。这个信号通常叫做外差信号，产生外差信号的部件叫做外差振荡器，也叫本地振荡器。外差信号的频率应该随时和被接收信号频率相差一个固定频率，该频率称为中频。经变频后得到的中频信号经中频放大器放大。由于变频后的“载波”频率是固定的，所以中频放大器的谐振回路不需要随时调整，不管信号频率怎么变，中频总是不变的，选择性容易做好，这也是超外差式接收机的优点。当然，超外差式接收机电路比较复杂，还存在一些特殊的混频干扰现象这是超外差式接收机的缺点。

1.4 无线电波段的划分

频率从几十千赫至几万兆赫的电磁波都属于无线电波，在这样宽广的范围内的无线电振荡虽然具有许多共同的特点，但是频率不同时，高频振荡的产生、放大和接收方法等就不太一样，特别是无线电波的传播特点更不相同。为了便于分析和应用，习惯上将无线电的频率范围划分为若干个区域，叫做频段，也叫做波段。

无线电波段可以按频率划分，也可以按波长划分，表 1-1 列出了按波长划分的波段名称。

表 1-1 无线电波段的划分

波段名称	波长范围	频率范围	频段名称
超长波	10 000~100 000m	30~3kHz	甚低频 VLF
长波	1 000~10 000m	300~30kHz	低频 LF