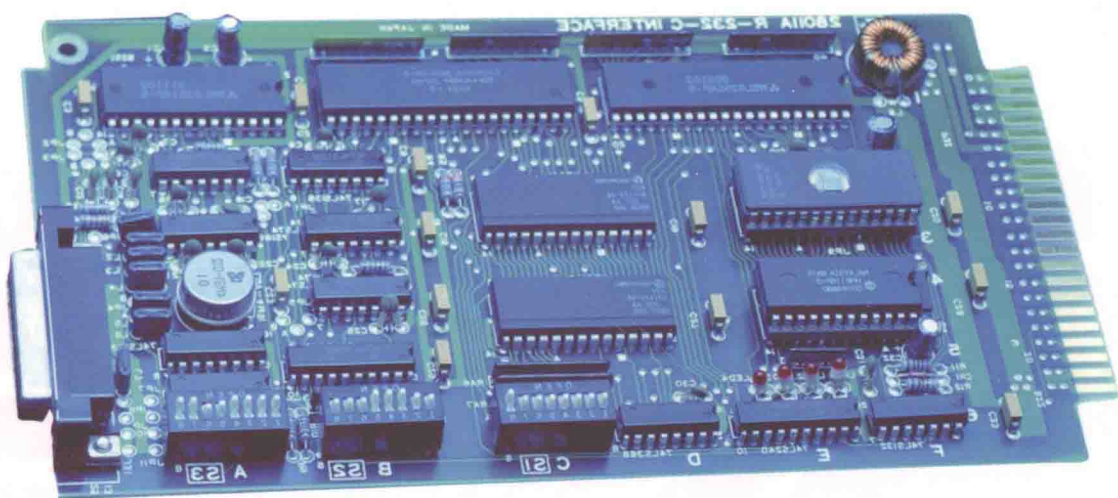


21世纪全国高职高专电子信息系列技能型规划教材



高频电子技术

主 编 朱小祥
副主编 陈晓黎 王文婷

- 精选典型实验，提高学生实操能力
- 采取集中实训，紧贴理论知识内容
- 运用仿真技术，验证电路相关知识



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

21 世纪全国高职高专电子信息系列技能型规划教材

高频电子技术

主 编 朱小祥
副主编 陈晓黎 王文婷
参 编 周福平 朱芸 张成军



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

高频电子技术是电子信息、通信类专业的主要技术基础课程,是模拟电子线路课程的后续内容。高频电子技术研究的是高频信号的产生、发射、接收和处理的相关电路,主要解决无线电广播、电视和通信中发射与接收信号的有关技术问题。本书主要内容有高频小信号放大器,高频功率放大器,正弦波振荡器,振幅调制、解调及混频,角度调制与解调,反馈控制电路,数字调制与解调,高频电子线路实验以及高频电子线路实训等。

本书根据应用型高职高专的教学要求和特点,注重理论与实践相结合,重视理论知识的实际应用。

本书可作为高等学校应用型高职高专电子信息、通信类专业的教材,也可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

高频电子技术/朱小祥主编. —北京:北京大学出版社, 2012. 6

(21 世纪全国高职高专电子信息系列技能型规划教材)

ISBN 978 - 7 - 301 - 20706 - 2

I. ①高… II. ①朱… III. ①高频—电子电路—高等教育—教材 IV. ①TN710.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 108833 号

书 名: 高频电子技术

著作责任者: 朱小祥 主编

策 划 编 辑: 赖 青 张永见

责 任 编 辑: 刘健军

标 准 书 号: ISBN 978 - 7 - 301 - 20706 - 2/TN • 0089

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.cn>

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: 北京鑫海金澳胶印有限公司

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 16.75 印张 390 千字

2012 年 6 月第 1 版 2012 年 6 月第 1 次印刷

定 价: 32.00 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

北京大学出版社高职高专机电系列规划教材

序号	书号	书名	编著者	定价	出版日期
1	978-7-301-10371-9	液压传动与气动技术	曹建东	28.00	2011.2 第5次印刷
2	978-7-301-12181-8	自动控制原理与应用	梁南丁	23.00	2012.1 第3次印刷
3	978-7-5038-4861-2	公差配合与测量技术	南秀蓉	23.00	2011.12 第4次印刷
4	978-7-5038-4865-0	CAD/CAM 数控编程与实训(CAXA 版)	刘玉春	27.00	2011.2 第3次印刷
5	978-7-5038-4869-8	设备状态监测与故障诊断技术	林英志	22.00	2011.8 第3次印刷
6	978-7-301-13262-3	实用数控编程与操作	钱东东	32.00	2011.8 第3次印刷
7	978-7-301-13383-5	机械专业英语图解教程	朱派龙	22.00	2012.2 第4次印刷
8	978-7-301-13582-2	液压与气压传动技术	袁 广	24.00	2011.3 第3次印刷
9	978-7-301-13662-1	机械制造技术	宁广庆	42.00	2010.11 第2次印刷
10	978-7-301-13653-9	工程力学	武昭晖	25.00	2011.2 第3次印刷
11	978-7-301-13652-2	金工实训	柴增田	22.00	2011.11 第3次印刷
12	978-7-301-14470-1	数控编程与操作	刘瑞己	29.00	2011.2 第2次印刷
13	978-7-301-13651-5	金属工艺学	柴增田	27.00	2011.6 第2次印刷
14	978-7-301-12389-8	电机与拖动	梁南丁	32.00	2011.12 第2次印刷
15	978-7-301-13659-1	CAD/CAM 实体造型教程与实训 (Pro/ENGINEER 版)	诸小丽	38.00	2012.1 第3次印刷
16	978-7-301-13656-0	机械设计基础	时忠明	25.00	2010.12 第2次印刷
17	978-7-301-17122-6	AutoCAD 机械绘图项目教程	张海鹏	36.00	2011.10 第2次印刷
18	978-7-301-17148-6	普通机床零件加工	杨雪青	26.00	2010.6
19	978-7-301-17398-5	数控加工技术项目教程	李东君	48.00	2010.8
20	978-7-301-17573-6	AutoCAD 机械绘图基础教程	王长忠	32.00	2010.8
21	978-7-301-17557-6	CAD/CAM 数控编程项目教程(UG 版)	慕 灿	45.00	2012.4 第2次印刷
22	978-7-301-17609-2	液压传动	龚肖新	22.00	2010.8
23	978-7-301-17679-5	机械零件数控加工	李 文	38.00	2010.8
24	978-7-301-17608-5	机械加工工艺编制	于爱武	45.00	2012.2 第2次印刷
25	978-7-301-17707-5	零件加工信息分析	谢 蕾	46.00	2010.8
26	978-7-301-18357-1	机械制图	徐连孝	27.00	2011.1
27	978-7-301-18143-0	机械制图习题集	徐连孝	20.00	2011.1
28	978-7-301-18470-7	传感器检测技术及应用	王晓敏	35.00	2011.1
29	978-7-301-18471-4	冲压工艺与模具设计	张 芳	39.00	2011.3
30	978-7-301-18852-1	机电专业英语	戴正阳	28.00	2011.5
31	978-7-301-19272-6	电气控制与 PLC 程序设计(松下系列)	姜秀玲	36.00	2011.8
32	978-7-301-19297-9	机械制造工艺及夹具设计	徐 勇	28.00	2011.8
33	978-7-301-19319-8	电力系统自动装置	王 伟	24.00	2011.8
34	978-7-301-19374-7	公差配合与技术测量	庄佃霞	26.00	2011.8
35	978-7-301-19436-2	公差与测量技术	余 键	25.00	2011.9
36	978-7-301-19010-4	AutoCAD 机械绘图基础教程与实训(第2版)	欧阳全会	36.00	2012.1
37	978-7-301-19638-0	电气控制与 PLC 应用技术	郭 燕	24.00	2012.1
38	978-7-301-19933-6	冷冲压工艺与模具设计	刘洪贤	32.00	2012.1
39	978-7-301-20002-5	数控机床故障诊断与维修	陈学军	38.00	2012.1
40	978-7-301-20312-5	数控编程与加工项目教程	周晓宏	42.00	2012.3
41	978-7-301-20414-6	Pro/ENGINEER Wildfire 产品设计项目教程	罗 武	31.00	2012.5

北京大学出版社高职高专电子信息系列规划教材

序号	书号	书名	编著者	定价	出版日期
1	978-7-301-12180-1	单片机开发应用技术	李国兴	21.00	2010.9 第 2 次印刷
2	978-7-301-12386-7	高频电子线路	李福勤	20.00	2010.3 第 2 次印刷
3	978-7-301-12384-3	电路分析基础	徐 锋	22.00	2010.3 第 2 次印刷
4	978-7-301-13572-3	模拟电子技术及应用	刁修睦	28.00	2010.9 第 2 次印刷
5	978-7-301-12390-4	电力电子技术	梁南丁	29.00	2010.7 第 2 次印刷
6	978-7-301-12383-6	电气控制与 PLC(西门子系列)	李 伟	26.00	2012.3 第 2 次印刷
7	978-7-301-12387-4	电子线路 CAD	殷庆纵	28.00	2011.8 第 3 次印刷
8	978-7-301-12382-9	电气控制及 PLC 应用(三菱系列)	华满香	24.00	2012.5 第 2 次印刷
9	978-7-301-16898-1	单片机设计应用与仿真	陆旭明	26.00	2012.4 第 2 次印刷
10	978-7-301-16830-1	维修电工技能与实训	陈学平	37.00	2010.7
11	978-7-301-17324-4	电机控制与应用	魏润仙	34.00	2010.8
12	978-7-301-17569-9	电工电子技术项目教程	杨德明	32.00	2012.4 第 2 次印刷
13	978-7-301-17696-2	模拟电子技术	蒋 然	35.00	2010.8
14	978-7-301-17712-9	电子技术应用项目式教程	王志伟	32.00	2012.4 第 2 次印刷
15	978-7-301-17730-3	电力电子技术	崔 红	23.00	2010.9
16	978-7-301-17877-5	电子信息专业英语	高金玉	26.00	2011.11 第 2 次印刷
17	978-7-301-17958-1	单片机开发入门及应用实例	熊华波	30.00	2011.1
18	978-7-301-18188-1	可编程控制器应用技术项目教程(西门子)	崔维群	38.00	2011.1
19	978-7-301-18322-9	电子 EDA 技术(Multisim)	刘训非	30.00	2011.1
20	978-7-301-18144-7	数字电子技术项目教程	冯泽虎	28.00	2011.1
21	978-7-301-18470-7	传感器检测技术与应用	王晓敏	35.00	2011.1
22	978-7-301-18630-5	电机与电力拖动	孙英伟	33.00	2011.3
23	978-7-301-18519-3	电工技术应用	孙建领	26.00	2011.3
24	978-7-301-18770-8	电机应用技术	郭宝宁	33.00	2011.5
25	978-7-301-18520-9	电子线路分析与应用	梁玉国	34.00	2011.7
26	978-7-301-18622-0	PLC 与变频器控制系统设计与调试	姜永华	34.00	2011.6
27	978-7-301-19310-5	PCB 板的设计与制作	夏淑丽	33.00	2011.8
28	978-7-301-19326-6	综合电子设计与实践	钱卫钧	25.00	2011.8
29	978-7-301-19302-0	基于汇编语言的单片机仿真教程与实训	张秀国	32.00	2011.8
30	978-7-301-19153-8	数字电子技术及应用	宋雪臣	33.00	2011.9
31	978-7-301-19525-3	电工电子技术	倪 涛	38.00	2011.9
32	978-7-301-19953-4	电子技术项目教程	徐超明	38.00	2012.1
33	978-7-301-20000-1	单片机应用技术教程	罗国荣	40.00	2012.2
34	978-7-301-20009-4	数字逻辑与微机原理	宋振辉	49.00	2012.1
35	978-7-301-20706-2	高频电子技术	朱小样	32.00	2012.6

请登录 www.pup6.cn 免费下载本系列教材的电子书(PDF 版)、电子课件和相关教学资源。

欢迎免费索取样书,并欢迎到北京大学出版社来出版您的大作,可在 www.pup6.cn 在线申请样书和进行选题登记,也可下载相关表格填写后发到我们的邮箱,我们将及时与您取得联系并做好全方位的服务。

联系方式: 010-62750667, yongjian3000@163.com, linzhangbo@126.com, 欢迎来电来信。

前 言

高频电子技术是应用电子技术、电子信息技术及通信技术等专业的一门基础课,其理论性及实践性都极其重要。

本书除提供一般高频教材要求掌握的高频小信号放大器、高频功率放大器、正弦波振荡器、振幅调制、检波及混频、角度调制与解调、反馈控制电路和数字信号的调制与解调等内容外,还用两章的篇幅着重讲解高频典型的实验,以及强调学生实际动手能力的高频实训。通过这些实验及实训,最终激发学生对高频的兴趣,掌握无线信号发送与接收的原理,日后可以应对电子设计中关于高频的内容,达到能够检修维护无线电信号发送或接收设备的目的。

为适应高频电子技术高职高专的教学要求,本书在编写的过程中,理论知识部分从够用的角度出发,相关知识点摒弃了纷繁复杂的计算,以降低学生学习本门课程的畏难情绪。另外,从实践教学考虑,本书从3个方面立体考虑。一是选取6个典型的实验,其实验板可根据本书提供的电路图自己制作,提高学生的实际制作能力。通过这6个实验,学生基本掌握所对应的理论知识内容。二是从集中实训出发,本书提供了3个较为典型的动手操作内容,紧贴理论知识内容。三是采用仿真技术,几个重要的章节列举了典型的电路进行仿真,使得学生能够方便地进行相关知识点的验证。每一章后面还提供了大量丰富的习题内容,通过练习,使学生进一步巩固所学内容,并拥有独立分析问题、解决问题的能力。

本书内容讲解深入浅出、编排独特、形式新颖、目标明确、方式多样,有利于促进高职高专学生对本课程的求知欲和学习主动性。本书安排的课时为86课时左右,其中理论教学60课时左右,集中实训一周(26课时左右)。

本书由武汉软件工程职业学院朱小祥任主编并统稿全书,湖北科技职业学院陈晓黎、淄博职业学院王文婷任副主编,武汉软件工程职业学院周福平、朱芸、武汉信息传播职业技术学院张成军参编。本书第2章、第3章3.6节、第9章和第10章由朱小祥编写,第6章和第7章由陈晓黎编写,第1章和第4章由王文婷编写,第5章由周福平编写,第3章3.1~3.5节由朱芸编写,第8章由张成军编写。

由于编者水平有限,书中难免存在不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者

2012年2月

目 录

第 1 章 绪论	1	4.6 RC 振荡器	93
1.1 无线电发展概况	2	4.7 负阻正弦波振荡器	97
1.2 无线电通信系统	2	4.8 仿真实训:正弦波振荡器性能 分析	100
1.3 无线电信号的发射	6	本章小结	103
1.4 无线电信号的接收	9	习题	104
本章小结	10	第 5 章 振幅调制、解调及混频	109
习题	11	5.1 概述	110
第 2 章 高频小信号放大器	12	5.2 振幅调制原理及特性	111
2.1 概述	13	5.3 振幅调制电路	117
2.2 高频电路基础	16	5.4 调幅信号的解调	123
2.3 小信号谐振放大器	23	5.5 混频器原理及电路	127
2.4 集中选频放大器	33	5.6 仿真实训:振幅调制、解调及 混频	133
2.5 仿真实训:高频小信号放大器的性能 分析	38	本章小结	138
本章小结	41	习题	139
习题	41	第 6 章 角度调制与解调	141
第 3 章 高频功率放大器	44	6.1 概述	143
3.1 概述	45	6.2 调频信号与调相信号	144
3.2 丙类谐振功率放大器的工作原理和 性能分析	47	6.3 调频原理及其电路	151
3.3 丙类谐振功率放大器的实际 线路	56	6.4 鉴频器	156
3.4 丙类倍频器	61	6.5 仿真实训:角度调制与解调的性能 分析	164
3.5 宽带高频功率放大器	63	本章小结	167
3.6 仿真实训:高频功率放大器性能 分析	67	习题	167
本章小结	70	第 7 章 反馈控制电路	172
习题	71	7.1 反馈控制电路概述	173
第 4 章 正弦波振荡器	72	7.2 自动增益控制电路(AGC)	174
4.1 反馈型自激振荡器的工作原理	73	7.3 自动频率控制电路(AFC)	179
4.2 LC 正弦波振荡电路	77	7.4 锁相环路(PLL)	180
4.3 振荡器的频率稳定度	85	7.5 仿真实训:反馈控制电路性能 测试	190
4.4 晶体振荡器	86	本章小结	191
4.5 压控振荡器	91	习题	192

第 8 章 数字调制与解调	194	9.5 二极管检波	225
8.1 数字通信系统概述	195	9.6 变容二极管调频器与相位 鉴频器	226
8.2 数字信号调制原理与特性	196	第 10 章 高频电子线路实训	232
8.3 数字信号解调的原理	202	10.1 七管超外差调幅收音机装配 实训	232
本章小结	208	10.2 无线话筒设计装配实训	240
习题	209	10.3 集成电路收音机的组装与 调试	246
第 9 章 高频电子线路实验	210	参考文献	260
9.1 高频小信号调谐放大电路	210		
9.2 高频功率放大与发射	214		
9.3 LC 与晶体振荡器	216		
9.4 幅度调制与解调	221		

第1章

绪论

知识目标

通过本章的学习，要求掌握通信系统的组成；模拟通信中调制的必要性，无线电波波段划分和无线电波的传播方式；建立非线性电子线路的基本概念。

能力目标

能力目标	知识要点	相关知识	权重	自测分数
无线电发展史	无线电发展及通信系统组成、波段划分	通信系统组成框图，通信频段、用途及无线电波的传输	20%	
无线信号的发射与接收	无线电信号发送与接收设备框图	无线电信号产生、调制与解调、发送与接收电路框图组成	80%	

 引言

本课程的研究对象是无线模拟通信系统中发送设备和接收设备的各种功能电路的电路组成、工作原理和分析方法。首先,信号源如话筒把声音转换成电信号、摄像机把图像转换成电信号、传感器把压力、温度、气体浓度等参数转换成电信号,再通过发送设备处理后发射出去。携带信号的无线电波经过空间传输,到达目的地经由接收设备处理,以恢复发送端的基带信号,还原成声音、图像、压力、温度等参数。其示意图如图 1-1 所示。

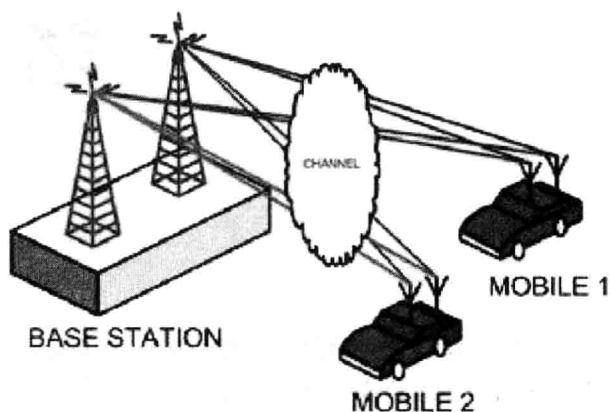


图 1-1 无线电信号发送与接收

生活中最典型的无线电信号接收设备有电视机、收音机等,手机、对讲机和车载电台既是发送设备,也是接收设备。

1.1 无线电发展概况

无线电的发明起源于电磁学的发展。19 世纪 60 年代,麦克斯韦总结库仑、安培、法拉第等人的研究后,提出了电磁波的概念。1887 年,赫兹成功地在导线中激起高频电流,验证了电磁场的存在。1896 年 3 月,苏联物理学家波波夫在莫斯科首次进行无线电电报的发射与接收试验。1901 年,意大利科学家马可尼首次完成横跨大西洋的无线电通信。1973 年 4 月,手机发明者马丁·库帕第一次在街头使用手机通话。此后,无线电技术获得了迅速发展,其应用领域也不断扩大,但是到现在信息传输和处理仍是其主要的应用领域。

现今,在各种信息传输技术中,无线电通信的应用是最广泛、最方便的。人们可以利用移动电话自由方便地通话,用收音机收听无线电广播,用电视机收看世界各地的电视节目。高频电子技术研究的对象主要是无线电发送与接收设备中电路的原理、组成与功能。

1.2 无线电通信系统

1. 通信系统基本组成

所谓通信系统,可以简单称为传输信息的系统,即实现信息传递所需的一切设备和传



输媒质的总和。以点对点通信为例,通信系统的组成如图 1-2 所示。

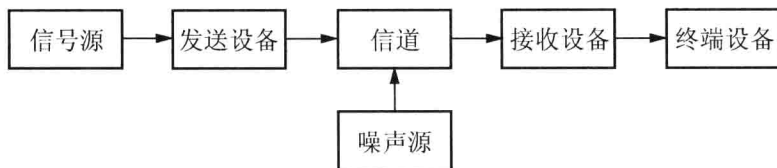


图 1-2 通信系统框图

图中信号源的作用是把待传输的原始消息转换成电信号,如话筒,将原始语音信号(20Hz~20kHz)转变成音频电信号。发送设备是将电信号变换成适合在信道中传输的形式——已调信号。变换方式是多种多样的,在需要频谱搬移的场合,调制是常见的变换方式;对传输数字信号来说,发送设备又常常包含信源编码和信道编码等。

信道是指信号传输的通道,可以是电缆线、光导纤维,也可以是自由空间。图中的噪声源是信道中的所有噪声以及分散在通信系统中其他各处噪声的集合。

在接收端,接收设备的功能与发送设备相反,即进行信号的解调、译码、解码等。它的任务是从带有干扰的接收信号中恢复出与发送端相对应的电信号;终端设备是将复原的电信号转换成相应的原始消息,如将音频信号还原成声音。

按照信道中所传已调信号的形式不同,通信系统又分为模拟通信系统和数字通信系统。

信道中传输模拟信号的系统称为模拟通信系统。模拟通信系统的组成可由图 1-2 略加改变而成,如图 1-3 所示。这里,图 1-2 中的发送设备和接收设备分别用调制器和解调器来代替,以突出模拟通信的主要组成设备。

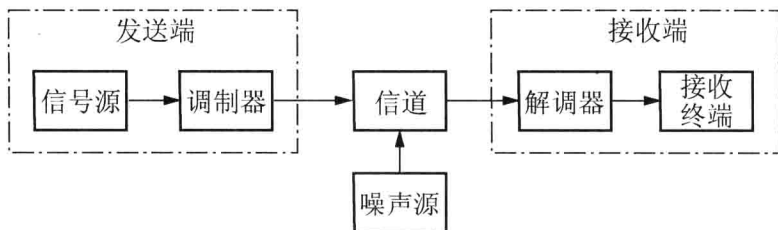


图 1-3 模拟通信系统框图

在模拟通信系统中,主要应用两种变换。一是将原始消息变换成连续变化的电信号(由发送端信号源完成)和把电信号恢复成最初的连续信号(由接收端终端装置完成)。由于信号源输出的电信号频率较低,不能直接送到信道中去。因此,模拟通信系统有第二种变换,这一变换由调制器完成,即用电信号(又称调制信号)去控制高频振荡(载波)的某一参量,经过调制后的信号称为已调信号。无线通信中常用的已调信号有调幅、调频和调相信号。在接收端同样要经过相反的变换,它由解调器完成。已调信号有 3 个基本特点:一是携带消息;二是适合在信道中传输;三是频谱具有一定带宽,且中心频率远离零频。

从消息的发送到消息的恢复,在无线通信系统里还有滤波、放大、高频功放、天线辐射与接收、控制和低频功放等环节。本书重点介绍模拟通信系统的主要单元电路,简要介绍数字调制与解调技术。

信道中传输数字信号的系统称为数字通信系统。数字通信的基本特征是,它的信号具

有“离散”或“数字”的特性,从而使数字通信具有许多独特的问题。

第一,数字信号传输时,信道噪声或干扰所造成的差错,原则上是可以控制的,即通过差错控制编码来实现,因此,要在发送端增加一个编码器,而在接收端相应需要一个解码器。第二,当需要实现保密通信时,可对数字信号进行“加密”,相应地在接收端就需要进行“解密”。第三,由于数字通信传输的是按一定节拍传送的数字信号,因而接收端必须有一个与发送端相同的节拍,否则就会因收发步调不一致而造成混乱,这就是数字通信中的“同步”。综上所述,点对点的数字通信系统如图 1-4 所示。

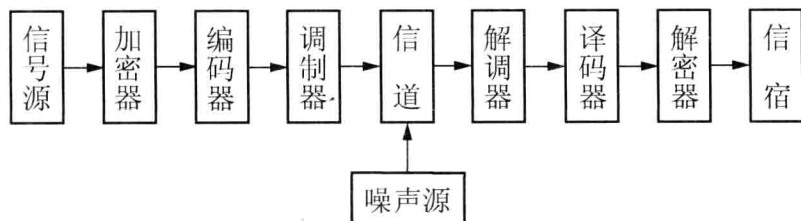


图 1-4 数字通信系统框图

需要说明,图中调制器/解调器、加密器/解密器、编码器/译码器等环节,在具体通信系统中是否全部采用,取决于设计要求和条件。但在一个通信系统中,如果发送端有调制/加密/编码,则接收端必须有解调/解密/译码。

数字通信的主要优点有:抗干扰能力强、差错可控、易于加密及便于与现代电子技术、计算机技术相结合。因此,数字通信在今后的通信方式中将占主导地位。

2. 无线电波段划分

频率从几十千赫至几万兆赫的电磁波都属于无线电波(指载波频率范围为 $10^4 \sim 10^{10}$ Hz)。在如此宽广的频率范围内,无线电波虽然具有许多共同的特点,但是随着频率的升高,高频振荡的产生、放大和处理方法等都有所不同,特别是无线电波的传播特点不尽相同。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频段,也称为波段。它可以按频率划分,也可以按波长划分。

无线电波在空间传播的速度是每秒 30 万千米。电波在一个振荡周期 T 内的传播距离称为波长,用符号 λ 表示。波长 λ 、频率 f 和电波传播速度 C 的关系为

$$\lambda = C \cdot T = \frac{C}{f}$$

式中:波长 λ 的单位为米(m);频率 f 的单位为赫(Hz); $C=3 \times 10^8$ m/s 为电磁波在自由空间中的传播速度。上式是电磁波的一个基本关系式。

表 1-1 列出了通信中使用的频段、波长范围及主要用途。米波和分米波有时合称为超短波,波长小于 30cm 的又称微波。

表 1-1 通信频段及主要用途

频段名称	频率范围	波长	用途
甚低频 VLF	3~30kHz	$10^8 \sim 10^4$ m	音频、电话、数据终端、长距离导航、时标
低频 LF	30~300kHz	$10^4 \sim 10^3$ m	导航、信标、电力线通信

续表

频段名称	频率范围	波长	用途
中频 MF	300kHz~3MHz	$10^3 \sim 10^2 \text{m}$	调幅广播、移动陆地通信、业余无线电
高频 HF	3~30MHz	$10^2 \sim 10 \text{m}$	移动无线电、短波广播、定点军用通信、业余无线电
甚高频 VHF	30~300MHz	$10 \sim 1 \text{m}$	电视、调频广播、空中管制、车辆通信、导航、集群通信
特高频 UHF	300MHz~3GHz	$100 \sim 10 \text{cm}$	电视、空间遥测、雷达导航、点对点通信、移动通信
超高频 SHF	3~30GHz	$10 \sim 1 \text{cm}$	微波接力、卫星和空间通信、雷达
极高频 EHF	30~300GHz	$10 \sim 1 \text{mm}$	雷达、微波接力、射电天文学

上述各波段的划分是相对的,波段之间并没有显著的分界线。还有其他的划分方法,如中波调幅广播 AM 波段为 535~1605kHz,调频广播 FM 波段为 88~108MHz,这是按应用范围来划分的波段,其他划分方法就不一一列举了。

3. 无线电波的传播

当电磁波自波源(天线)发出后,要经过各种可能的途径到达接收天线,几种主要的传播途径如图 1-5 所示,它们分别为空间波传播、地波传播和天波传播。

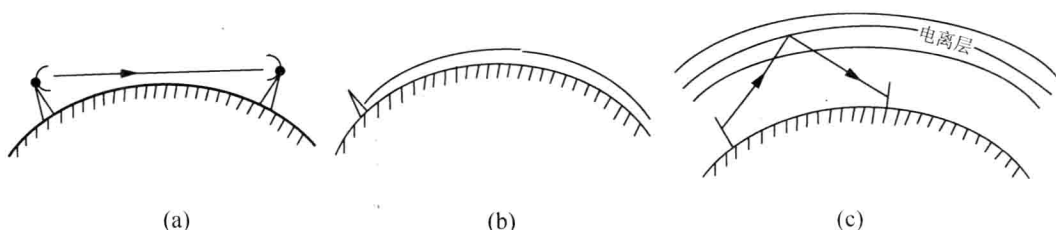


图 1-5 电波传播的途径

1) 空间波传播

空间波传播又称为视距传播,如图 1-5(a)所示。在可视距离以内由发射端直接传送到接收端的电磁波称为直射波,而通过地面或四周物体反射到达接收端的电磁波称为反射波。直射波和反射波统称为空间波。由于这种传播方式需要架设高度至少在一个波长以上的天线,这在长、中、短波波段内是困难的。

电视、微波中继通信、卫星通信及测速定位雷达的电波属于视距传播。空间波能够直射传播,从发射天线发出的电磁波沿直线传播到接收天线,如果把接收天线放到卫星上,通信距离可以大大增加,微波中继通信就是通过卫星中继转发信号来进行通信。

由于地球表面是一个曲面,如果天线太低,电波传播时会受到地面的阻挡,发射和接收天线越高,能够进行通信的距离也越远。理论计算和实验表明:当发射和接收天线各为 50m 时,视距传播的通信距离约为 50km。因此,只有在超短波波段才能采用空间波的传播方式。

2) 地波传播

地波传播又称表面波传播,图 1-5(b)所示即电磁波沿地球表面绕射的传播。电波沿地球表面传播时,将有一部分能量被消耗掉。波长越长,损耗越小。长波沿地面绕射传播

的本领最强,白天的中波广播就是靠地波传播。由于地面的电性能在较短时间内的变化不会很大,所以,地波传播比较稳定。晚上,电离层对中波的作用减小,这时中波可借天空波传播到较远的地方,例如某些位于远处的电台,白天听不到,晚间却听得很清楚。

3) 天波传播

无线电波利用电离层的反射和折射传播的电波称为天空波,又称天波,如图 1-5(c) 所示。我们知道,地球表面有一层厚厚的大气层,由于受到太阳的照射,大气层上部的气体将发生电离,产生自由电子和离子,这部分大气层称为电离层。电离层中电子和离子的密度与高度有关。对电波传播有明显作用电离层有两层:一层叫 E 层,离地面约 100~130km;另一层叫 F 层,离地面约 200~400km。电离层的高度以及电子和离子的密度与太阳有密切关系。在一年四季中、在一昼夜间受太阳活动变化的影响,电离层都在变化。

当无线电波遇到电离层时,电磁波会被反射与折射,同时也有一部分被电离层吸收。电离层的电离程度越大,对电波的反射、折射和吸收作用就越强;此外,波长较长的无线电波容易从电离层反射回到地面,而波长较短的无线电波比较容易穿过电离层 E 传播到电离层 F,然后返回地面。

长波在低电离层(如 E 层)中受到较强的反射作用。从地面天线辐射出去的长波,受到电离层的反射而折回地面,又将受到地面的反射折回电离层。这样多次反射与折射的结果,可以使长波传播到很远的地方。长波波段主要用于导航和播送标准时间信号,也用于长距离无线电报。短波从高电离层(如 F 层)反射回地面,又受到地面的反射,又射向天空,向前传播。因此,短波的传播距离可以很远,几乎可达到地球的每个角落。因此,它是国际无线电广播的主要手段。但短波天空波的传播受电离层的影响很大,而电离层的物理特性又是经常变化的,所以短波的传播很不稳定,通常在两点间进行短波通信时,接收信号往往会突然减弱,有时甚至无法接收。

1.3 无线电信号的发射

调幅发送设备的组成框图如图 1-6 所示。其中,高频振荡器用来产生频率稳定、波长符合要求的高频正弦波。高频放大器及倍频器将振荡器产生的高频信号幅度放大并通过倍频将频率提高到载频(射频)。

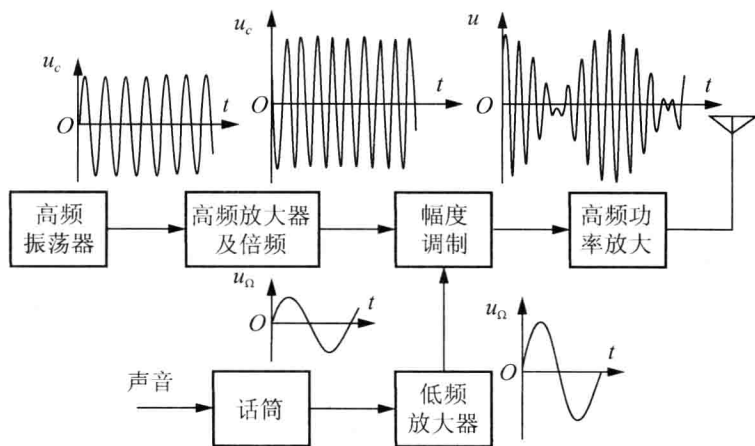


图 1-6 调幅发送设备框图

话筒(微音器)的作用是将语言、音乐转换成电信号,该电信号又称为调制信号;低频放大器将电信号放大到一定的强度,以满足幅度调制的要求;幅度调制器将调制信号“装载”到载波上,调制信号“装载”到载波幅度上的调制方式叫调幅(AM),若调制信号“装载”到载波频率上,则调制方式叫调频,经调制后携带音频电信号的高频波,称为已调波;高频功率放大器对高频波(或载波,或已调波)进行功率放大;天线将具有一定功率的已调波信号以电磁波的形式辐射到自由空间、传送到四面八方。调幅发送设备各部分的作用如下。

1. 载波产生电路

载波产生电路由高频振荡器、高频放大器及倍频器组成,它的功能是产生高频大功率的正弦波信号。高频振荡器又称主振器,其主要功能是产生波形纯正、频率稳定的高频正弦波信号。为提高正弦波的频率稳定度,主振器一般用石英晶体振荡器。

高稳定度的石英晶体振荡器的振荡频率并不高,因此石英晶体振荡器所产生的正弦波频率往往达不到所要求的载频,故必须对主振器产生的高频正弦波进行放大和倍频,使正弦波信号的幅度增大、频率成倍增加,以满足发送设备对载波的要求。

2. 调制信号产生电路

调制信号产生电路由话筒和低频放大器组成。话筒的功能是将声音转换成音频(低频)信号;由于话筒输出的音频信号很微弱(一般为毫伏级),远不能满足振幅调制器对调制信号幅度的要求,为此,在话筒与调制器之间,增加一级或多级低频信号放大器,将调制信号放大到调制器所需要的电平。

3. 幅度调制器

幅度调制器的功能是将调制信号“装载”到载波的幅度上,使高频正弦波信号的幅度跟随调制信号的变化规律而变化。幅度调制的基本原理将在本书第4章详细介绍。

如果音频信号为具有一定频带的信号,例如 $50\text{Hz}\sim 4.5\text{kHz}$,已调波的频带宽度将等于两倍的最高调制信号频率,即带宽 $BW=2\times 4.5=9(\text{kHz})$,这就是我国无线电广播中波波段一个电台所占用的频带宽度。



特别提示

采用调制发射方式的原因:无线电通信是将已调信号馈送到天线上,交变的信号在天线四周激起以光速向远处传播的电磁波,这称为电波辐射。为了使已调波通过天线有效地辐射出去,已调信号的载波波长应与天线的尺寸可相比拟。比如 1000MHz 的手机信号,其波长为 0.3m ,所以手机天线长度 10cm 左右就可以了。而对于 1000kHz 的中波信号,其波长为 300m ,天线长度就需几十米到一百米。比中频低很多的频率是不易辐射的,通常把能有效辐射的几百千赫兹以上的信号称为射频信号。

调制信号多为复杂的非正弦信号,它可分解为一个由许多正弦量组成的频带。例如声音信号的频带为 $20\text{Hz}\sim 20\text{kHz}$,这是一个低频信号,也称音频信号。用于无线电广播的音频信号(调制信号)频带范围为 $50\sim 4500\text{Hz}$;用于电视广播的视频信号频带范围约为 $0\sim 6\text{MHz}$ 。现以视频信号为例来说明调制信号不宜直接发射和接收的原因。

一是视频信号中的低频成分,即零到几百千赫的信号难以从天线有效辐射出去。

二是因视频信号包括从低频到高频的很宽频率范围,馈送到天线上,低频和高频辐射效果不同,整个视频信号不可能均匀地、有效地辐射出去;而接收到这样的信号也不可能通过解调恢复成原视频信号。

三是即使不考虑上述两个因素,假设视频信号能从天线辐射,可是一个地区不可能只有一个频道的电视节目,当数个电视节目在 $0\sim 6\text{MHz}$ 频率范围内向空中辐射电磁波时,接收端无法把它们分开,只能全部接收、混在一起、相互干扰而无法正常收看电视节目。

上述 3 个原因使直接发射音频或视频信号(调制信号)来实现无线电通信几乎不可能。利用调制技术将音频或视频信号调制到高频载波上,则可以实现有效辐射。另外,将不同的调制信号调制到不同的载波上可以实现“多路复用”,接收到不同的载波,通过解调技术就可以恢复这个载波所携带的音频或视频信号。例如,无线广播的中波波段(即 AM 波段)频率范围为 $535\sim 1605\text{kHz}$,该波段传送的音频信号频率范围为 $50\sim 4500\text{Hz}$,则在同一地区此波段内最多可以容纳的广播电台数目可计算如下。

每个调幅广播电台所占带宽为

$$2 \times 4500 = 9000(\text{Hz}) = 9(\text{kHz})$$

同时工作的电台数为

$$\frac{1605 - 535}{9} = \frac{1070}{9} = 118.8 \approx 118$$

综上所述,采用调制发射方式的原因是:无线电波通过天线有效辐射的条件和“多路复用”的需要。

4. 高频功率放大器

由于幅度调制电路输出的功率不大,通常要对其输出的调幅信号进行功率放大,以增大射频信号的覆盖率,即增大发射设备的作用距离,使接收机在覆盖范围内能有效地接收。

5. 调制与解调

无线电波通过天线传播时,只有当天线的长度与信号波长可比拟时才能有效地辐射。为了减小天线尺寸和区分不同的电台信号,必须把需要传送的基带信号调制到频率较高的载频上。

1) 调制

调制是将基带信号装载到高频振荡上的过程。模拟调制可分为 3 种方式。

(1) 振幅调制(AM):即用基带信号去改变载波的振幅。

(2) 频率调制(FM):即用基带信号去改变载波的瞬时频率。

(3) 相位调制(PM):即用基带信号去改变载波的瞬时相位。

频率调制和相位调制统称为角度调制。

2) 解调

解调是调制的逆过程,即从已调制信号中恢复出原基带信号的过程,根据调制信号的不同,它可分为振幅解调(检波)、频率解调(鉴频)和相位解调(鉴相)。

1.4 无线电信号的接收

无论是无线电广播接收机、电视接收机、通信接收机或是雷达接收机,现今都毫无例外地采用“超外差”式接收机的形式。各类接收机的组成与工作原理基本相似,所以,下面以超外差收音机为例,对其工作原理作简要分析。超外差调幅接收机的组成框图如图 1-7 所示。由图可见,调幅接收机由高频放大器、本振电路、混频器、中频放大器、检波器和低频放大器等部分组成。

超外差接收机的基本工作原理如下:接收天线接收从空中传来的微弱(一般只有几微伏至几十微伏)的电磁波,并通过谐振电路感生出微弱的高频已调信号,高频放大器从中选择出所需的信号并进行放大,得到高频调幅波信号 $u_c(t)$,本地振荡器(又称本机振荡器)产生高频等幅振荡信号 $u_L(t)$,它比载波信号 $u_c(t)$ 高一个特定的“中频”频率。载波信号 $u_c(t)$ 和本振信号 $u_L(t)$ 同时送入混频器进行混频,输出中频信号 $u_1(t)$ 。 $u_1(t)$ 与 $u_c(t)$ 相比,其包络的形状不变,这表明 $u_1(t)$ 中承载有调制信号的信息,但载波的频率则变换为本振频率与载波频率之差,这个频率就称为“中频”,故 $u_1(t)$ 为中频调幅波信号。 $u_1(t)$ 经中频放大器放大后,送入检波器。检波器从中频调幅信号 $u_1(t)$ 中提取出反映所传送信息的调制信号 $u_\Omega(t)$,经低频放大器进行功率放大后送到扬声器中变换为声音信号。

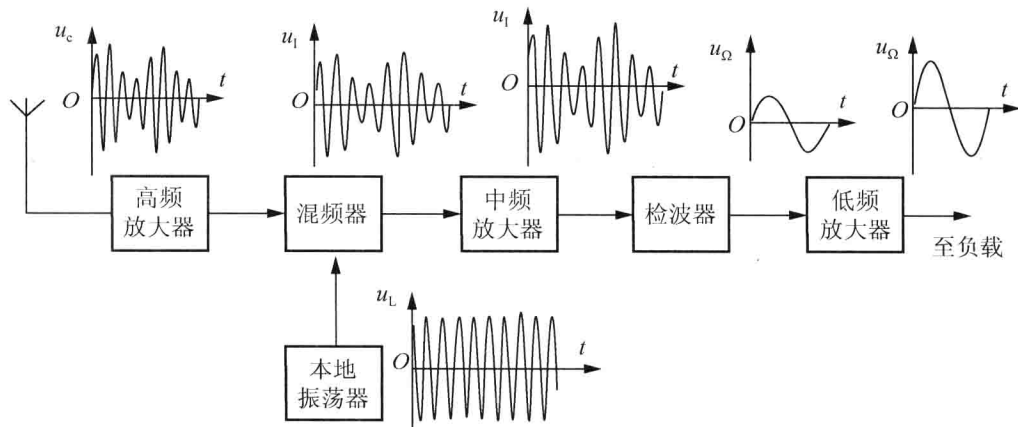


图 1-7 调幅接收设备框图

1. 高频放大器

高频放大器的主要任务有两个:一是从接收到的众多电台中选择一个所需要的电台信号;二是对所选中的信号进行放大。也就是说,高频放大器是选频放大器,放大器的谐振频率调谐于该电台的载频上,选出这个电台的已调信号,并加以放大。



特别提示

为降低整机的噪声,提高整机的灵敏度,高频管应尽量选用低噪声的放大管,高频放大器的选频功能应尽可能好,这类放大器的负载回路一般为 LC 谐振电路,常称这类放大器为小信号选频放大器。