

应用型本科 电子及通信工程专业“十三五”规划教材

高频电子线路

范瑜 编著

- 内容新颖：新知识、新技术、新工艺
- 特色鲜明：突出“应用、实践、创新”
- 定位准确：面向工程技术型人才培养
- 质量上乘：应用型本科专家全力打造



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

应用型本科 电子及通信工程专业“十三五”规划教材

高频电子线路

范 瑜 编著

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书强化了通信及系统设计的基本概念,以构建通信系统所需电路为基本主线安排内容,主要包括绪论,高频电路中的元器件及基本电路,高频功率放大器,振荡器,幅度调制、解调与混频,角度调制与解调,电路中的噪声,锁相环等内容。

本书可作为应用型本科院校电子科学与技术、电子信息工程等专业的本科生教材,也可作为高职高专相关专业的教材和有关工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

高频电子线路/范瑜编著. —西安:西安电子科技大学出版社, 2016. 3

应用型本科 电子及通信工程专业“十三五”规划教材

ISBN 978-7-5606-4000-6

I. ① 高… II. ① 范… III. ① 高频—电子线路—高等学校—教材 IV. ① TN710.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 012058 号

策划编辑 高 樱

责任编辑 许青青

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西天意印务有限责任公司

版 次 2016年3月第1版 2016年3月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 14

字 数 324千字

印 数 1~3000册

定 价 28.00元

ISBN 978-7-5606-4000-6/TN

XDUP 4292001-1

* * * 如有印装问题可调换 * * *

应用型本科 电子及通信工程专业规划教材 编审专家委员名单

主 任：沈卫康(南京工程学院通信工程学院 院长/教授)

副主任：张士兵(南通大学 电子信息学院 副院长/教授)

陈 岚(上海应用技术学院 电气与电子工程学院 副院长/教授)

宋依青(常州工学院 计算机科学与工程学院 副院长/教授)

张明新(常熟理工学院计算机科学与工程学院 副院长/教授)

成 员：(按姓氏拼音排列)

鲍 蓉(徐州工程学院 信电工程学院 副院长/教授)

陈美君(金陵科技学院 网络与通信工程学院 副院长/副教授)

高 尚(江苏科技大学 计算机科学与工程学院 副院长/教授)

李文举(上海应用技术学院 计算机科学学院 副院长/教授)

梁 军(三江学院 电子信息工程学院 副院长/副教授)

潘启勇(常熟理工学院 物理与电子工程学院 副院长/副教授)

任建平(苏州科技学院 电子与信息工程学院 副院长/教授)

孙霓刚(常州大学 信息科学与工程学院 副院长/副教授)

谭 敏(合肥学院 电子信息与电气工程系 系主任/教授)

王杰华(南通大学 计算机科学与技术学院 副院长/副教授)

王章权(浙江树人大学 信息科技学院 副院长/副教授)

温宏愿(南京理工大学泰州科技学院 电子电气工程学院 副院长)

郁汉琪(南京工程学院 创新学院 院长/教授)

严云洋(淮阴工学院 计算机工程学院 院长/教授)

杨俊杰(上海电力学院 电子与信息工程学院 副院长/教授)

杨会成(安徽工程大学 电气工程学院 副院长/教授)

于继明(金陵科技学院 智能科学与控制工程学院 副院长/副教授)

前 言

高频电子线路是电子信息类专业一门重要的专业基础课程,对于电子科学与技术、电子信息工程或者通信工程的学生来说尤其重要。它上承模拟电路和信号系统,下接通信原理和射频电路等,对电类专业学生来说,学好了本课程,才算是在这个专业真正入了门。

高频电子线路是一门相对较难的课程,电路的非线性使得学生理解起来普遍感到困惑,计算的复杂性使得很多具体的定量计算难以实现。实际上,在现代电子电路设计中,我们几乎离不开计算机仿真工具,大量的定量计算及分析都由计算机来完成。对于教与学来说,其主要任务也已不再是具体的电路参数计算,而是电路原理的分析及电路结构的设计。

本书的主要内容包含构建一个模拟通信系统所必需的各个电路模块,特别是非线性的模块,具体如下:

绪论部分主要介绍了人类对于无线通信的认识历史及通信系统发展史、无线电通信的基本原理、无线通信系统的基本架构、无线通信频段、高频电子线路及其基本特点等。

第1章介绍了在高频电路中用到的电子元器件及基本电路,特别强调了在较高频率工作时电路可能出现的寄生参数效应等,同时还简要介绍了高频有源器件和谐振电路。考虑到阻抗匹配在高频及微波系统设计中的重要性,本章单独列出了一节介绍匹配的基本原理及常用的匹配和阻抗转换电路。

第2章介绍了高频功率放大器,除了传统的丙类功率放大器之外,特别介绍了在现代电路设计中较为常见的几种功率放大器,包括E类、F类和Doherty功率放大器。

第3章介绍了几种常见的振荡器,包括传统的LC正弦波振荡器和石英晶体振荡器,作为电路中的信号源,这是每一个通信系统中都不可或缺的。本章特别对晶体的基本特性做了较为详细的分析。

第4章介绍了幅度调制、解调与混频,这是传统的模拟通信系统所采用的调制方式,只有很好地理解并掌握了这些原理才能进一步研究现代的高级调制技术。本章介绍了幅度调制的基本类型、实现手段及电路构成,分析了包络检波和同步检波系统的特点。同时,本章分析了混频器在电路系统中的作用、混频器的基本原理和基本电路、混频干扰的产生与消除方法等。

第5章介绍了角度调制与解调电路,重点分析了频率调制与解调电路,简要介绍了目前常见的调频立体声广播的基本原理。

第6章介绍了电路中的噪声,对噪声系数特别是多级线性系统的噪声系数进行了分析,简要给出了EMC和EMI的基本概念。

第7章介绍了锁相环的基本概念,考虑到这部分内容的理论分析难度较大,本章仅作了基本概念的阐述。

一般来说,在电路分析课程中我们强调对基础电路的定量计算,培养学生扎实的电路

分析功底，而在高频电路中，我们更强调对电路基本原理的分析，并不特别强调计算。本书各章的习题大都是开放式的，要求学生查阅相关资料并仔细思考和研究。现代电路设计和仿真工具已经进入到电路设计前后端的各个领域，学生在学习书本基本概念和知识的同时也应该积极掌握现代计算机仿真工具，特别是在学习实践中应该尝试用计算机仿真工具进行电路的深入分析与研究。

本书作者讲授高频电子线路课程已经十五年了，历年的学生对教学内容与方法都提出了许多建议和意见，作者所在单位历任领导也给予了极大关心与无私帮助，终于促成了本书的撰写。作者在写作本书的过程中，参阅了大量国内外相关经典书籍资料，对于前人的辛勤工作始终敬仰并感激。西安电子科技大学出版社高樱编辑对本书投入了极大的关心与帮助，对于她的督促和鼓励，作者深表感谢。

在此特别感谢历年来作者教过的学生，他们对知识的渴求使我不敢有丝毫懈怠。

感谢我的家人，无数个夜晚我都与电脑为伴而忽略了他们，感谢他们给予的关心和支持。

由于作者水平有限，时间仓促，书中难免有不妥之处，恳请读者批评指正。作者邮箱：fanyu_2000@163.com。

作 者

2015 年 11 月

江苏省常熟理工学院

目 录

绪论	1
0.1 无线电与无线通信的发展	1
0.2 无线电通信的基本原理	4
0.3 无线通信系统的基本架构	5
0.3.1 通信系统的组成	5
0.3.2 无线通信系统的基本工作原理	5
0.4 无线通信频段	6
0.4.1 频谱利用与分配问题	6
0.4.2 无线电业务种类	7
0.4.3 无线电频谱划分	7
0.4.4 无线电频段分配	8
0.4.5 无线电波传播方式	9
0.5 高频电子线路及其基本特点	10
0.5.1 概述	10
0.5.2 高频电子线路的作用	10
0.5.3 高频电子线路的基本特点	12
思考题	15
第 1 章 高频电路中的元器件及基本电路	16
1.1 高频电路中的无源器件	16
1.1.1 导线	16
1.1.2 电阻	17
1.1.3 电容	20
1.1.4 电感	23
1.2 二极管及其基本模型	27
1.2.1 二极管的基本特性	27
1.2.2 肖特基二极管	28
1.3 三极管及其基本模型	30
1.3.1 晶体管等效电路	30
1.3.2 输入阻抗	31
1.3.3 输出阻抗	32
1.3.4 反馈特性	32
1.3.5 增益	33
1.3.6 二端口网络等效	34
1.3.7 双端口 Y 参数和 H 参数	34
1.4 谐振电路	36
1.4.1 串联谐振回路	36
1.4.2 并联谐振回路	37
1.4.3 品质因数的物理意义	38
1.4.4 串并联谐振回路的通频带与选择性	40

1.4.5 耦合谐振回路	44
1.5 阻抗匹配与阻抗转换	49
1.5.1 阻抗匹配简介	49
1.5.2 L形阻抗匹配电路	51
* 1.5.3 π 形变换电路	53
* 1.5.4 T形变换电路	54
1.5.5 抽头电容变换电路	55
* 1.5.6 并联双调谐变压器	58
思考题	61
第2章 高频功率放大器	62
2.1 概述	62
2.2 功率放大器的基本参数	63
2.3 经典高频丙类功率放大器	67
2.3.1 丙类谐振功率放大器的特点	67
2.3.2 丙类谐振功放的工作原理	68
2.3.3 动态分析与外部特性	71
* 2.3.4 倍频器	75
2.4 丁类功率放大器	75
* 2.5 E类、F类和 Doherty 功率放大器	78
2.5.1 E类功率放大器	78
2.5.2 F类功率放大器	82
2.5.3 Doherty 功率放大器	87
* 2.6 其他相关问题	91
2.6.1 最佳集电极负载电阻	91
2.6.2 驱动放大器和级间阻抗匹配	92
2.6.3 同轴电缆的阻抗匹配	92
2.6.4 自动掉电保护电路	93
2.6.5 宽频变压器	94
2.6.6 功率分配器与合成器	95
2.6.7 实际的变压器绕线方法	96
2.6.8 巴伦设计	97
思考题	99
第3章 振荡器	100
3.1 概述	100
3.2 反馈型振荡器的基本工作原理	101
3.2.1 反馈型振荡器的含义与用途	101
3.2.2 反馈型振荡器的工作原理	101
3.3 LC 正弦波振荡器	103
3.3.1 变压器反馈式 LC 正弦波振荡器	103
3.3.2 三端式振荡电路	105
3.4 石英晶体振荡器	108
3.4.1 石英晶体及其等效电路	108
3.4.2 石英晶体振荡器	114
思考题	117
第4章 幅度调制、解调与混频	118
4.1 概述	118

4.2 调幅信号的分析	118
4.2.1 普通调幅	118
4.2.2 抑制载波的双边带调幅和单边带调幅	121
4.3 幅度调制电路	122
4.3.1 低电平调幅电路	122
4.3.2 高电平调幅电路	126
4.3.3 单边带信号的产生	128
4.4 幅度信号的解调电路	129
4.4.1 幅度信号解调的基本原理	129
4.4.2 检波器的主要性能指标	130
4.4.3 同步解调	130
4.4.4 包络检波	133
4.5 混频原理与分析	139
4.5.1 混频器的基本原理与作用	139
4.5.2 混频器指标介绍	140
4.6 混频电路	142
4.6.1 概述	142
4.6.2 无源混频器	144
4.6.3 有源混频器	146
4.7 混频干扰	147
4.7.1 组合频率干扰	148
4.7.2 寄生通道干扰	148
4.7.3 其他干扰	149
4.7.4 减少混频干扰的方法	150
思考题	150
第5章 角度调制与解调	151
5.1 概述	151
5.2 角度调制信号分析	152
5.3 调频电路	156
5.3.1 调频(FM)的基本方法	156
5.3.2 变容二极管调频器——直接调频法	156
5.4 角度解调电路	161
5.4.1 调角信号解调电路的功能	161
5.4.2 主要技术指标	161
5.4.3 鉴相器	161
5.4.4 鉴频器	166
5.5 调频立体声广播	170
思考题	173
第6章 电路中的噪声	174
6.1 概述	174
6.2 内部噪声的特点和来源	174
6.2.1 内部噪声的特点	174
6.2.2 电阻热噪声	177
6.2.3 天线热噪声	179
6.2.4 晶体管的噪声	180
6.3 噪声的表示和计算方法	181

6.3.1 等效噪声带宽	181
6.3.2 噪声系数	183
6.3.3 额定功率、额定功率增益和以此定义的噪声系数	184
6.3.4 噪声温度	185
6.3.5 多级线性系统的噪声系数	186
6.4 工业干扰与天电干扰	188
6.4.1 工业干扰	188
6.4.2 天电干扰	189
6.5 减小噪声系数的措施	190
思考题	191
第7章 锁相环	192
7.1 概述	192
7.2 锁相环基础	193
7.3 环路设计原则	194
7.4 锁相环的组成	195
7.4.1 鉴相器	195
7.4.2 振荡器	196
7.4.3 环路滤波器	198
7.4.4 分频器	199
7.5 锁相环的锁相过程	199
7.6 锁相环的线性分析	201
7.6.1 环路的传输函数	201
7.6.2 环路类型	203
7.7 锁相环的设计方程	204
7.7.1 实际低通滤波器的设计	207
7.7.2 滤波器参数设计举例	209
7.7.3 锁相环设计实例	209
7.8 锁相环的应用	210
思考题	211
参考文献	212

绪 论

高频电子线路的产生和发展很多源自于无线电通信的需要,所以本书也从通信开始讲起。

0.1 无线电与无线通信的发展

无线电发展的历史需要向前追溯约 200 年的时间,从那时起,在奥斯特、法拉第等一批科学家的努力下,人们逐渐认识了电与磁的关系及它们之间的转化规律。

电流可以产生磁场,而有磁场变化的地方其周围不管是导体还是电介质,都有感应电场存在。这个道理在今天学过电磁学的人看起来是很简单的,但历史上人们用了几十年的时间才认识清楚这一点。下面我们来简单梳理一下几个重要的时间节点:

1820 年,丹麦科学家奥斯特公布了电流磁效应,揭示出了电与磁的内在联系。

1821 年,法拉第提出了“以磁生电”的设想。

1822 年,法国科学家安培给出了电流产生磁场的基本定律。

1831 年,英国的法拉第和美国的亨利各自独立地发现了电磁感应现象。

那么电与磁之间的本质关系到底如何呢?历史将集大成的重担交给了麦克斯韦(见图 0-1),他经过创造性地总结,终于将电磁现象的规律用数学形式揭示了出来。1864 年,麦克斯韦提出了描述电磁场最本质特征的麦克斯韦方程组——也就是现在在“电磁场与电磁波”课程中学到的四个偏微分方程,用这个方程组可以概括一切电磁现象。另外,麦克斯韦计算出电磁波传递的速度等同于光速,因此他断言光也是一种电磁波,这个发现也是多年之后爱因斯坦思考狭义相对论的重要背景。

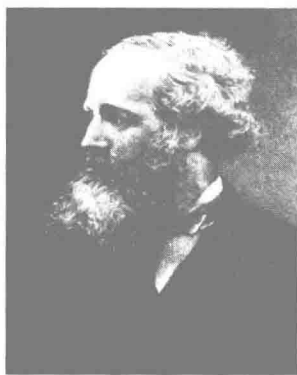


图 0-1 麦克斯韦

在麦克斯韦理论的指导下,1888 年德国物理学家赫兹设计了一个发射振荡器,专门用来发射无线电波,同时用一个一端有缺口的金属圈捕获电磁波。当把金属圈放置在发射机的电磁场内时,缺口处会产生火花。这就证明电磁波可以发射到空间里并且可以远距离被捕获,这就是我们所说的“赫兹电波”。这一发现从实验上证实了麦克斯韦的理论,开启了 20 世纪的无线电时代,可惜的是麦克斯韦本人没有看到这一天。

出生于意大利的马可尼(见图 0-2)对于赫兹的发现欣喜不已,他意识到如果电磁波可以发射并且在远距离被捕获,那么无线电报当然也可以实现。1894 年他开始了试验,在花园尽头安装了简陋的天线,在百米之外成功地接收到了信号。1895 年年底他将距离增加到了 1 英里(1 英里=1.609 344 千米)。图 0-3 所示为马可尼早期做的发射机。



图0-2 马可尼和他的家人

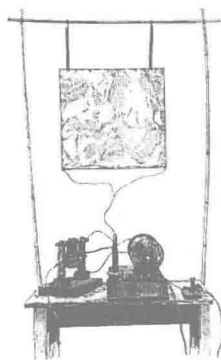


图0-3 马可尼早期做的发射机

1896年2月,马可尼来到了英国,在伦敦邮政总局大楼里对他的实验进行了展示,信号传输到1.5英里以外也可以成功接收。1897年他获得了无线电报的专利,并且在姆斯福成立了电报和信号公司。1898年世界上第一个无线电厂在那里建立。1901年12月12日,马可尼和他的助手成功地发射了穿越大西洋的信号。之后,越来越多的船只配备了这项新的装置。在海上危机中挽救了很多人的生命,其中就包括著名的泰坦尼克号事件。在那起沉船悲剧中由马可尼无线电装置发出的求救信号挽救了很多人的生命,由此人们真正认识到了无线电通信的重要价值。

1906年圣诞节前夕的一天晚上8点左右,新英格兰附近几艘轮船上的无线电报务员突然从耳机里听到一个男人的说话声,讲的是《圣经》“路加福音”中的圣诞故事。接着耳机中又传来一首优美的小提琴曲和祝大家圣诞快乐的声音。几分钟后,声音消失了,耳机里重新响起莫尔斯电码那熟悉的嘀嗒声。这意外的声音使收听到它的无线电报务员既惊异又兴奋,他们谁也没有想到,这就是世界上第一次无线电广播,主持这次历史性广播的是美籍加拿大发明家费森登。自此以后,一个新的通信时代便开始了。

费森登曾在美国新泽西州的爱迪生实验室工作过,并在几所大学里讲授过“电力工程学”。他不仅对刚刚问世的无线电技术有着透彻的了解,而且长期以来一直梦想着把人的声音通过无线电播送出去。1900年,费森登为美国国家气象局进行无线电实验时就开始考虑有声广播的问题了,他要用人富有变化的声音去代替电报枯燥呆板的莫尔斯电码嘀嗒声。

两年后,在匹兹堡两位金融家的赞助下,费森登在马萨诸塞州的布兰特罗建起无线电广播实验室,开始了实现自己梦想的艰难历程。他把自己关在实验室里,整天与电线、管子、电池、天线打交道,试图利用电磁波把人的声音传播到远方。

大家都知道,马可尼和波波夫发明的无线电报是利用产生电火花的方式发射出电磁波的,电火花只能持续很短的时间,因此,要用这种方法得到稳定的、长时间连续发射的电磁波是不可能的。这样一来,怎样产生一种把声音传到远方去的电磁波,就成了一个很关键的问题。电磁波的频率比一般交流电的频率要高成百上千倍,甚至几万倍,而一般发电机只能产生低频交流电。为了解决这个问题,费森登进行了反复实验,花了很多时间,发明了高频发电机,利用它产生的高频振荡电流来发射电磁波。之后,就可以应用电话机和麦克风的原理,将声音的强弱转换成电流的强弱,然后将其加载到高频电流上,随电磁波

一起传送出去。

但接下来的问题是,从电磁波接收来的交变电流因为频率很高,流过受话器时都消失了,不能推动耳机或扬声器工作。正当费森登的实验举步维艰时,美国物理学家德福雷斯特发明了一种可以把人的声音传送出去的电子器件——真空三极管,并于1907年获得了专利。真空三极管具有非常重要的放大功能,可以将弱电流放大成强电流,解决了无线电的接收问题。真空三极管的发明和应用,等于给无线电装上了心脏,很快它就成了一切无线电收音机通用的标准真空管。

德福雷斯特还用三极管制作成功了电子管振荡器。这种振荡器所产生的高频电磁波,要比费森登的高频发电机产生的电磁波的性能好很多,解决了无线电的发送问题。后来,德福雷斯特又把若干个放大三极管级联起来,制成了多级放大器,再给电子管振荡器安装上多级放大器,制成了强力无线电发射机。

由于有了德福雷斯特发明的真空三极管,无线电所需的发射、接收、放大等装置都一一解决了。这样一来,无线电广播就进入了实用阶段。

与此同时,技术的革新也为无线电广播的发展铺平了道路。美国的兰德米阿改进了德福雷斯特发明的真空三极管。他用敷钍钨丝做三极管的丝极,使电子更容易逸出,从而大大提高了三极管的性能。美国年轻的电机工程师阿姆斯特朗继发明新型无线电接收机之后,又发明了超外差电路。超外差电路可防止两个频率相近的信号在接收机中产生干扰,能够保证把不同频率的信号区别开来。这样一来,接收机就能分别接收各种不同频率的广播了。同一时期,发明家们还对振荡回路做了不少改进,由此人们迎来了无线电广播的黄金时代。

1920年,美国威斯汀豪斯公司聘请当时著名的无线电专家康拉德为该公司在匹兹堡建立一座商用广播电台——KDKA电台。“广播”一词就是由康拉德最早提出的。当年11月2日,KDKA电台进行了第一次商业性广播,以最快的速度报道了当天哈定和考克斯竞选美国总统的结果,使那些通过公用高音喇叭收听这次广播的公众大为振奋。这标志着广播事业的开始,一时之间,广播器材、收音机制造业成为20世纪20年代美国发展最快的产业。直到今天,无线电广播仍如同天籁之音,为我们的生活增添了一道亮丽的色彩。

接下来让我们梳理一下在过去的百年中无线电广播的发展历程:

1912年阿姆斯特朗发明的超外差接收方法,为现代无线电接收技术奠定了基础。

1933年阿姆斯特朗发明的频率调制方法,开创了崭新的高质量通信方式,开始了高保真优质广播的新时代。

1937年里布斯发明脉冲编码调制(PCM)等。

1941年元旦,美国25家调频电台同时开业。

1961年6月1日,无线调频立体声广播正式开播,60年代中期得到了飞速发展。从70年代后期开始,有些国家开始研究立体感更强的无线调频立体声广播,如四声道全景声广播和立体环绕声广播等。

20世纪90年代,随着计算机技术、无线数字通信的成熟与发展,西方国家开始进行数字广播的研究与应用,目前已经有了欧洲的DRM与美国的IBOC等几套标准,我国的数字音频广播CDR标准也开始了相应的测试工作。广播数字化大大提升了播出品质,拓展了应用,具有深远的意义。

进入21世纪,随着数字移动通信技术与计算机网络技术的飞速发展,人类进入了一个

前所未有的自由通信时代,任何人在任何时间、任何地方、与任何人通信已经在很大程度上实现了。我们需要感谢电磁波给我们的生活带来的一切。

除了无线电广播,还有电视、雷达、移动通信、无线电定位、射电天文等,都是无线电波的应用。

0.2 无线电通信的基本原理

简单地说,无线电通信就是先将信息用无线电波表示出来,接着把无线电波发送到接收端,然后把无线电波表示的信息恢复为人可以识别的信息。

具体来说,从传播手段来看,无线电通信可以分为两大类:无线通信,即在真空、空气、水中传输信息;有线通信,即常见的用双绞线、同轴线、电缆、光纤等介质来传输信息。相比较而言,有线通信的优势在于信道质量好,容量大;而无线通信的优势在于灵活及组网方便。

下面以声音通信为例来说明通信技术的发展历史。人耳能听到的声音频率很低,在20~20 kHz的范围内。将声音转换为电磁波信号,以20 kHz为例,在空气中的波长 λ 约为15 km。根据电磁场与电磁波的相关知识,实际的天线要有效地将信号辐射出去,要求其长度与信号的波长可比拟,比如天线长度 $L=\lambda/4, \lambda/2, \lambda$ 。显然,制造这样庞大的天线是非常困难的。所以除了海底无线通信等极个别场合,很少使用如此低频的信号作为无线通信信号直接发送。

无线电广播需要利用高频的无线电波作为“运输工具”,首先把所需传送的音频信号“装载”到高频信号上,然后再由发射天线发送出去。在发射端将信号“装载”在载波上的过程称为调制;在接收端,需要将信号从载波上“卸载”下来,这个过程称为解调。能够携带低频信号的等幅高频电磁波称为载波,载波的频率称为载频。例如,上海人民广播电台的一个频率是990 kHz,这个频率指的就是载频。与此对应,我们将所传递的信息称为基带信号。通俗地说,载波类似于一条船,传输的信息就好比是需要运送的货物,调制就是把货物装到船上去,而解调就是把货物从船上卸载下来。船只是用来运输货物,其自身不是传输的目的。也就是说,载波只是用来帮助信号的传输,本身并没有信息。在后续章节中读者会逐步加深对这个概念的理解。

传统的无线电广播可分为两大类:调幅广播(AM)和调频广播(FM)。调幅广播用高频载波信号的幅值来装载音频信号,即用音频信号来调制高频载波信号的幅值,从而使原为等幅的高频载波信号的幅度随着调制信号的幅度的变化而变化。幅值被音频信号调制过的高频载波信号称为已调幅信号,简称为调幅信号。调频广播用高频载波信号的频率来装载音频信号(调制信号),即用音频信号来调制高频载波信号的频率,从而使原为等幅的高频载波信号的频率随着调制信号的幅度的变化而变化。频率被音频信号调制过的高频载波信号称为已调频信号,简称调频信号。

调幅信号和调频信号统称为已调制信号,或简称为已调信号。本书后续章节将重点介绍这两种调制方式以及实现的具体电路。

在我国,调幅广播的频率范围为535~1606.5 kHz,调频广播的频率范围为87~108 MHz。不同国家的标准略有区别。

从调幅和调频广播的频率范围可以看出,调幅广播所用的波长较长,其特点是传播距离远,覆盖面积大,接收机的电路也比较简单,价格便宜,缺点是所能传输的音频频带较窄,音质较差,因而不宜传输高质量的音乐节目,并且其抗干扰能力较差;无线调频广播所能传输的音频频带较宽,适合传输高保真的音乐节目,并且它的抗干扰能力较强,但由于无线调频广播工作于超短波波段,其缺点是传播距离短,覆盖范围小,且容易被高大建筑物等所阻挡。

数字广播是近年来发展起来的一种广播形式,采用了诸如 QPSK 和 OFDM 等数字通信的调制与传输方式,本书后续部分不再涉及这部分内容,读者可以参考相关文献。

0.3 无线通信系统的基本架构

0.3.1 通信系统的组成

通信系统就是用电信号(光信号严格来说也是一种电信号)传递消息的各所需设备的总和,其基本组成框图如图 0-4 所示。

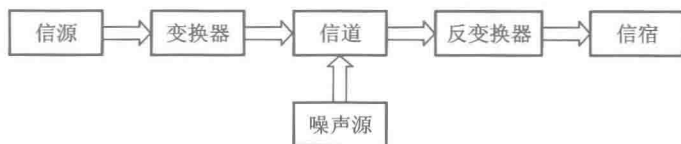


图 0-4 通信系统基本组成原理图

信源发出的语音、文字、图像等消息首先通过变换器中的输入变换器变为基带信号,再经过变换器中的调制设备变换为可在信道中传送的频带信号,经信道传送到接收端,再经过相反的过程,最后到达信宿。这是一个通信过程的最简单描述,后续部分将逐步展开具体讲解。

0.3.2 无线通信系统的基本工作原理

典型的无线通信系统的发送、接收框图如图 0-5 所示(这里我们以无线电调幅广播通信系统为例)。

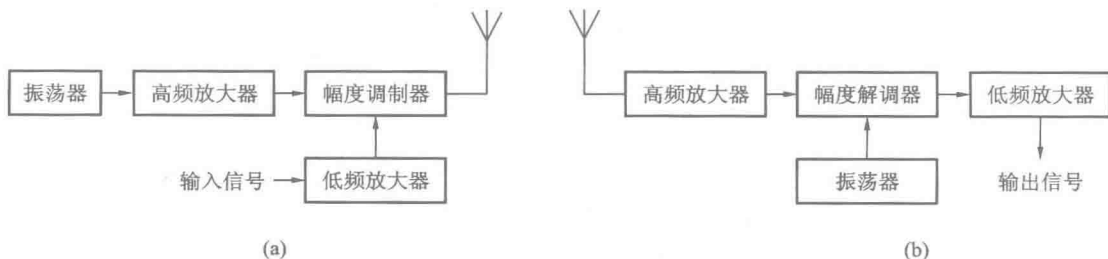


图 0-5 无线通信系统发送与接收框图

图 0-5 中,发送端的振荡器用来产生作为载波工具的高频信号,高频放大器用来放大载波功率,语音或其他低频输入信号经放大器作为基带信号,送入幅度调制器,幅度调制

器将输入的基带信号调制到高频载波信号上,变为已调信号并以足够大的功率通过天线发送出去。在接收端,高频放大器把接收到的有用频率信号进行初步选择和放大,再经过幅度解调器解调(非同步解调不需要振荡器,后续章节会有详细解释),恢复出原基带信号,经低频放大后输出。以上就是无线电广播通信系统的整个信号流通过程。

0.4 无线通信频段

电磁波都满足麦克斯韦方程组这一共同的规律,但不同频段电磁波的传播方式和特点有很大的区别,它们的用途自然也不同。能够作为通信使用的无线电其频率范围是有限的,不能无秩序地随意占用,需要有专门的管理机构进行分配,所以不少人将频谱看作大自然赐予人类的财富,是非常宝贵的资源。在国外,商用的电磁波频谱往往都采用拍卖的方式来确定其使用权,而且价格不菲。

在无线电频率分配上需要特别注意的一点就是干扰问题。因为电磁波是按照其频段的特点传播的,此外再无什么规律来约束它,所以如果两个电台用相同的或极其相近的频率工作于同一地区、同一时段,就必然会造成干扰。研究电磁兼容与电磁环境已经成为现代无线通信系统研究中不可或缺的重要方向。

0.4.1 频谱利用与分配问题

频谱利用问题包含两方面:① 频谱的分配,即将频率根据不同的业务加以分配,以避免频率使用方面的混乱;② 频谱的节约。

从频谱利用的观点来看,由于总的频谱范围是有限的,因此每个电台所占的频谱应尽量减少,以便容纳更多电台和减少干扰。这就要求尽量压缩每个电台的带宽,减小信道间的间隔并减少杂散发射。

因为电磁波是在全球传播的,因此,要有专门的国际会议来讨论和确定这些划分,提出建议或规定。同时,由于科学不断发展,因此这些划分也是不断改变的。在历史上,关于频谱分配的会议已有多次,如1906年柏林会议,1912年伦敦会议,1927年华盛顿会议,1932年马德里会议,1938年开罗会议,1947年大西洋城会议和1959年日内瓦会议。

图0-6为1959年日内瓦会议制订的将世界划分为三个频率分区的示意图。图中,1

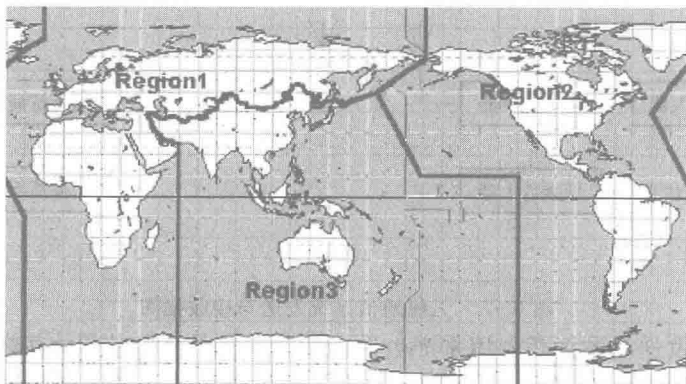


图 0-6 ITU 世界频率分区

区为欧洲和非洲；2区为北美洲和南美洲；3区为亚洲和澳洲。

现在进行频率分配工作的世界组织是国际电信联盟(ITU)。其下设有：国际无线电咨询委员会(CCIR)，主要研究有关的各种技术问题并提出建议；国际频率登记局(IFRB)，负责国际上使用频率的登记管理工作。频率的分配和使用主要根据：① 各个波段电磁波的传播特性；② 各种业务的特性及共用要求。另外，还要考虑历史的条件、技术的发展等。

0.4.2 无线电业务种类

根据具体用途的不同，无线电频率的业务分为很多种。根据ITU协议，无线电业务划分为以下16种，主要包括：

- (1) 定点通信业务：定点之间进行通信的业务。
- (2) 航空定点通信业务：航空的安全飞行所需用的定点通信。
- (3) 广播业务：包括声音广播和电视广播。根据不同的标准，各国有所差别，以我国为例，调幅广播的频带宽度为9 kHz，调频广播的频带宽度为180 kHz，实际分配200 kHz，模拟电视的频带宽度为8 MHz。
- (4) 移动通信业务：在移动电台(车载、舰载、机载等)与陆上电台之间或移动电台之间的无线电通信。
- (5) 航空移动通信业务：在航空台站与飞机电台之间的通信，或飞机之间的通信。
- (6) 航海移动通信业务：在岸、船之间，或船舶之间的无线电通信。
- (7) 陆上移动通信业务：在陆上移动台与基台之间或陆上移动台之间的无线电通信。
- (8) 无线电导航业务：无线电导航(包括海上和空中导航)、测向等业务。这种业务要求稳定地、不间断地工作，并且不允许存在盲区(静区)。
- (9) 无线电定位业务：一般指雷达。
- (10) 空间通信业务：在地面站与空间站(卫星或宇宙飞船)之间或在空间站之间的通信。
- (11) 无线电天文学业务：就是供无线电天文学用的一种业务。无线电天文学主要观察星体辐射来的电磁波，如观察单原子氢的辐射(1420.405 MHz)等。
- (12) 气象业务：气象用的无线电通信，如播发气象报告等。
- (13) 业余无线电业务：在国外，有业余无线电爱好者进行无线电通信或研究。这些在国际上是被认可的，并指定了适当的频率。
- (14) 标准频率业务：发送高度准确的供科学技术上使用的标准频率。
- (15) 授时信号业务：由天文台播发的高度准确的授时信号。
- (16) 工、科、医用频率：在工业、科学或医疗上往往需要用高频率的电流。由于这些业务的功率往往很大，因此为了防止它们对通信的干扰，现在也划出一定的频率给其使用。

上述第(11)、(12)、(14)、(15)项业务是公认不应该被干扰的。因此，分配给这些业务使用的频率，其他业务不应该使用，或只在不干扰的条件下才能使用。

0.4.3 无线电频谱划分

无线电频率通常按频率高低(即波长的长短)来划分波段。波段的划分标准不完全统