

21世纪高等院校电子类课程系列教材

高频电子电路与仿真设计

GAOPIN DIANZI DIANLU YU FANGZHEN SHEJI

☀ 张海燕 苏新红 主编
余 周 审订



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

21 世纪高等院校电子类课程系列教材

高频电子电路与仿真设计

主 编 张海燕 苏新红
审 订 余 周

北京邮电大学出版社
· 北 京 ·

内 容 简 介

本书较详细地介绍了无线通信系统的各主要电路,主要内容有:串并联选频电路、放大电路、谐振电路、调幅及解调电路、调频及解调电路和自动控制电路等,对各电路进行了定性和定量分析。

本书可作为高等学校通信、电子和信息类专业本科专科学生的教材,也可以作为相关行业技术人员和研究人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

高频电子电路与仿真设计/张海燕,苏新红主编.--北京:北京邮电大学出版社,2010.3

ISBN 978-7-5635-1962-0

I. ①高… II. ①张…②苏… III. ①高频—电子电路—计算机仿真—高等学校—教材 IV. ①TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 017601 号

书 名: 高频电子电路与仿真设计

主 编: 张海燕 苏新红

责任编辑: 李欣一

出版发行: 北京邮电大学出版社

社 址: 北京市海淀区西土城路 10 号(邮编:100876)

发 行 部: 电话: 010-62282185 传真: 010-62283578

E-mail: publish@bupt.edu.cn

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京源海印刷有限责任公司印刷

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16

印 张: 13.25

字 数: 325 千字

印 数: 1—3 000 册

版 次: 2010 年 3 月第 1 版 2010 年 3 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5635-1962-0

定 价: 23.00 元

• 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社发行部联系 •

前 言

随着计算机和仿真软件的发展,现代通信系统的许多系统模型或电路更多地倾向于仿真设计。因此,本书是作者根据近几年对通信电子线路的教学经验和对仿真电路的使用经验编写而成的。

“通信电子线路”作为电子、通信和计算机类专业的一门专业基础课,是掌握无线电通信基础知识的较好课程。本课程主要讨论的是高频无线电通信系统中的发射机和接收机的组件,包括放大器、振荡器、调制解调电路和锁相环等。“通信电子线路”通常作为“模拟电路”和“数字逻辑”的后续课程,在教学体系中占据重要地位,可以作为本专科院校的教材或参考书,也可作为相关专业从业人员的技术资料。

结合“通信电子线路”的课程实际,本书在编写中主要考虑了以下几个方面的问题。

1. 内容上,本书以构成通信系统为目标,着重讲解了滤波网络、放大器、正弦信号发生器、幅度调制及解调电路、频率调制及解调电路、锁相环电路等重要组成部分。

2. 在每一章的前言部分,作者都将本章的重点难点及知识点的应用以表格的形式给出,读者学习前即可了解本章的学习要点。

3. 为了更好地掌握调幅及解调原理,作者用 SystemView 软件进行了仿真,并在书中给出了部分仿真框图、组件参数及仿真结果。

4. 用最简单易懂的语言讲解较为深奥的高频基础知识,对重要的原理和公式进行了较为详细的分析。

全书以通信系统为基础,从各模块功能的实现上分析各组件工作原理,结合具体电路分析其工作过程,并以信号处理为手段对各模块的电信号变换过程进行了讨论。

本书由张海燕、苏新红主编,其中第 1、2、3 章由张鹏、张荷涛编写,第 4 章由时伟编写,第 5 章由张广奇编写,第 6、7 章由张海燕、苏新红编写,第 8、9 章由李晓洁编写。

同时,感谢北京邮电大学出版社对本书出版的大力支持。

由于时间仓促和仿真软件的局限性,加之作者的水平有限,书中难免有错误和不妥之处,恳请读者给予批评指正。

编 者

目 录

第 1 章 概论	1
1.1 无线电系统的发展简史	1
1.1.1 无线电通信系统的组成	4
1.1.2 无线电通信系统的类型	6
1.2 信号的特性	7
1.3 本课程的特点	10
1.4 小结	10
思考题	11
习题	11
第 2 章 滤波电路	12
2.1 概述	12
2.2 高频电路中常用的元器件	12
2.2.1 高频电路中的元件	13
2.2.2 高频电路中的组件	13
2.3 串联谐振回路	19
2.3.1 串联谐振回路工作原理	19
2.3.2 特性分析	20
2.4 并联谐振回路	21
2.4.1 工作原理	21
2.4.2 特性分析	22
2.5 常用的滤波器	24
2.5.1 石英晶体滤波器	24
2.5.2 陶瓷滤波器	25
2.5.3 声表面波滤波器	26
2.5.4 衰减器及匹配器	27
2.6 小结	30
思考题	30
习题	31
第 3 章 高频功率滤波器	32
3.1 概述	32
3.2 高频小信号放大器	33

3.2.1 基本原理	33
3.2.2 特性分析	37
3.2.3 单调谐谐振回路放大器	39
3.2.4 多级单调谐回路谐振放大器	42
3.3 高频功率放大器	43
3.3.1 基本原理	43
3.3.2 电路组成	46
3.3.3 特性分析	47
3.3.4 常用的高频功放器	51
3.4 小结	54
思考题	54
习题	55
第4章 正弦波振荡器	56
4.1 概述	56
4.2 振荡器工作过程分析	57
4.2.1 起振状态	57
4.2.2 平衡状态	58
4.2.3 稳定状态及稳定度	58
4.3 LC 正弦振荡电路	60
4.3.1 三端式反馈型 LC 振荡器的构成原则	60
4.3.2 电容反馈振荡器	61
4.3.3 电感反馈振荡器	62
4.3.4 两种反馈振荡器的性能比较	63
4.3.5 改进型电容反馈振荡电路	63
4.4 石英晶体振荡器	64
4.5 小结	65
思考题	66
习题	66
第5章 非线性电路分析	70
5.1 概述	70
5.2 非线性电路原理	71
5.2.1 非线性电路特性	71
5.2.2 非线性电路分析方法	73
5.3 小结	82
思考题	82
习题	82

第 6 章 幅度调制及解调	84
6.1 概述	84
6.2 幅度调制原理	85
6.2.1 幅度调制方法分类及原理	85
6.2.2 调幅原理仿真	87
6.3 调幅电路	99
6.4 检波原理	101
6.4.1 检波方法的分类及原理	102
6.4.2 检波原理仿真	105
6.5 检波电路	108
6.6 混频	117
6.6.1 混频器原理	117
6.6.2 混频器的性能指标	119
6.6.3 常用的混频电路	120
6.6.4 混频器的干扰	122
6.7 小结	125
思考题	125
习题	126
第 7 章 角度调制与解调	130
7.1 概述	130
7.2 调频及调相	131
7.2.1 调频原理	131
7.2.2 调频原理仿真	132
7.2.3 调相原理	133
7.2.4 调相原理仿真	133
7.2.5 调频与调相的联系	134
7.3 调频器与调频方法	136
7.3.1 调频器	136
7.3.2 调频方法	136
7.4 调频电路	137
7.4.1 直接调频电路	137
7.4.2 间接调频电路	140
7.5 鉴频原理与鉴频方法	141
7.5.1 鉴频原理	141
7.5.2 鉴频方法	141

7.5.3 鉴频原理仿真	144
7.6 鉴频电路	145
7.6.1 叠加型耦合相位鉴频器	145
7.6.2 比例鉴频器	146
7.6.3 正交鉴频器	147
7.7 小结	147
思考题	148
习题	148
第8章 反馈控制电路	150
8.1 概述	150
8.2 自动增益控制电路	151
8.3 自动频率控制	154
8.4 锁相环	156
8.4.1 锁相环原理	156
8.4.2 锁相环原理仿真	161
8.4.3 锁相环的应用	164
8.5 小结	166
思考题	166
习题	166
第9章 无线通信新技术	168
9.1 功率合成技术	168
9.1.1 功率合成的一般概念	168
9.1.2 功率合成网络	170
9.1.3 功率分配网络	171
9.1.4 功率合成电路	172
9.2 频率合成技术	172
9.2.1 频率合成器的主要技术指标	173
9.2.2 直接频率合成	174
9.2.3 锁相频率合成	174
9.2.4 直接数字式频率合成器	180
9.3 蓝牙技术	181
9.3.1 什么是蓝牙	181
9.3.2 蓝牙的技术特点及其技术优势	182
9.3.3 蓝牙的系统构成	183
9.3.4 蓝牙的应用	184

9.3.5 蓝牙的发展现状与展望	184
9.4 GPS	185
9.4.1 GPS 的构成	186
9.4.2 GPS 的原理	187
9.4.3 GPS 的种类	189
9.4.4 GPS 的特点及其广泛应用	190
9.5 3G 中的无线电技术	192
9.5.1 3G 的标准	192
9.5.2 3G、WLAN、蓝牙三者关系分析	194
9.5.3 中国第三代移动通信过渡策略	196
9.5.4 无线通信技术未来趋势	197
9.6 小结	198
思考题	198
习题	199
参考文献	200

概 论

【本章教学要点】

知识要点	掌握程度	相关知识	工程应用方向
无线电发展简史	了解	无线电发展历史中重要的代表人物及其贡献	
发信机和接收机	掌握	超外差式接收机	
信号的特性	理解	无线电信号的频谱特性、传播特性和调制特性	

【本章教学目标与要求】

- 了解无线电通信系统发展历史中重要的代表人物及其所作出的贡献；
- 掌握无线电通信系统的主要组成部分及其作用；
- 熟悉无线电通信系统的一般分类方法及常见类型；
- 理解无线电信号各种特性的含义及常见分析方法。

自从问世以来,无线电技术对社会生产和人类生产生活产生了极为深远的影响。随着科学技术的不断发展,无线电技术已广泛地应用于国民经济、军事和日常生活各个领域,技术水平也越来越高。无线电技术最早应用于通信,下面先对无线电通信系统的发展历史作简要的介绍,然后讨论无线电系统的组成、类型以及无线电信号的特性。

1.1 无线电系统的发展简史

信息传输是人类社会生活的重要内容,从古至今,人们一直都在寻求快速远距离通信的手段,直到19世纪电磁学的理论和实践已有坚实的基础后,人们开始寻求利用电磁能量传送信息的方法。无线电波是电磁谱的一部分,它像水池中的波纹一样向各个方向传播,电场和磁场瞬间变化,以光速进行传播。

早在1865年,麦克斯韦(J. C. Maxwell, 1831—1879)从电磁理论研究中就预言电磁波能以波的形式向外传播,其速度与光速相同。1887年德国物理学家赫兹(H. R. Hertz, 1857—1894)以著名的电火花放电实验证明了麦克斯韦的预言。他们的科学成果,为无线电通信技术的兴起作了理论上和实验上的准备。与此同时,爱迪生在研究如何延长碳丝白炽灯的寿命时,意外地发现了在灯丝与加有正电压的电极间有电流通过,而电极为负压时则无电流,这种热电子发射效应当时称做爱迪生效应。这一效应为后来电子管的发明准备了条件。在此之前,美国莫尔斯(S. Morse, 1791—1872)在1837年、1838年发明电磁式电报机和

点划组合的莫尔斯电码,1844年建成了从华盛顿到巴尔的摩的电报线路;贝尔(A. G. Bell, 1847—1922)1876年试验电话通话成功,1878年发展为波士顿与纽约间的长途通话(300 km)。所有这些,都为无线电电子学的发展与广泛应用准备了充分条件。1895年意大利人马可尼(G. Marconi, 1874—1937)在大量成功的无线电发送接收实验中发明了天地线装置,改进了发射机与接收机,利用当时仅有的金属检波器,有效地把无线电传播距离增加到2.8 km。

在马可尼向英国邮政局的官员演示他发明的无线电报后不久,1896年,电波已能飞越英吉利海峡(45英里),开创了无线电通信的新纪元。

最初的正常通信应用是在1898年英格兰海岸用无线电报报告派救生艇营救海上遇难者。1901年12月12日马可尼又首次完成了无线电波横渡大西洋(3 200 km)的试验,由此诞生了无线电报。1899年,德国人布劳恩(C. F. Braun, 1850—1918)还研制出一套能够调谐的接收系统,既能排除干扰,又大大提高了灵敏度,从根本上改进了马可尼的无线电系统。为此,马可尼和布劳恩共同获得1909年诺贝尔物理学奖金。与此同时,俄国物理学家波波夫(A. C. nOHOB, 1859—1906)也对无线电通信作出重要贡献,1895年他发表了论文,并公开表演了他制作的“雷电指示器”,实际上就是一台无线电接收机,1896年又成功地表演了无线电电报,传播距离250 m,传送的第一个电文就是“赫兹”。

早期的无线电通信,由于缺乏相应的电子元件,只能限于短距离的符号通信,发展受到限制。1904年,英国工程师弗莱明(J. A. Fleming, 1849—1945)利用热电子发射效应,发明了热电子真空二极管,可用来检测无线电信号,有灵敏的检波整流作用。1906年,美国德福雷斯特(L. deForest, 1873—1961)制成真空三极管,具有放大与控制作用,并可用于发生高频振荡信号,从而代替了电火花发生器和高频交流发电机,成为无线电技术中最基本、最关键的电真空器件,并为无线电技术由长波向短波发展提供了条件。1906年圣诞节前夕,美国费森登(R. A. Fessenden, 1866—1932)利用50千赫发电机作发射机,用微音器直接串入天线实现调制,首次完成用无线电波从波士顿传送语言和音乐的实验,使大西洋航船上的报务员能够听到,创立了现代意义的无线电广播。三极管的运用,大大促进了无线电波的发射和接收。1913年,美国电工学家阿姆斯特朗(E. H. Armstrong, 1890—1954)设计出再生式放大线路,1919年又设计出超外差式接收机。同时,哈特莱(R. V. L. Hartley)等先后改进了振荡电路,无线电广播与收音机迅速发展。1919年,第一个定时广播电台在英国建成。1920年,美国匹茨堡建成了第一座商业电台(KDKA),第一天播音时把当天总统竞选结果立即告知人们,获得巨大成功。1926年美国组成世界上第一个全国广播网。在此期间,加拿大、澳大利亚、丹麦、苏、法、英、德、意、日以及墨西哥也都相继建立了无线电台,到1930年已经形成全球性的无线电广播系统。

早期无线电通信使用的都是长波,这一方面限于发射设备的频率不太高,另一方面只知道电磁波传播中波的波长越长衰减越小。实际上沿地球表面传播的长波,受天线限制,无法再增大传播距离。而随着电子技术的发展,低频区段已拥挤不堪,广播和军事的需要,都要开发短波区段。早在1900年,已经有人偶尔收到过直视距离之外的短波信号,英国的亥维赛(O. Heaviside, 1850—1925)和美国的肯涅利(A. E. Kennelly, 1861—1939)认为波长几十米的短波可被高空的电离层反射回来,经多次反射,即可增大传播距离。这一观点到1924年被英国物理学家阿普顿(E. V. Appleton, 1892—1965)的实验证实和补充。而三极管的产生,又提供了技术条件,于是无线电广播和通信得以迅速向短波区域发展起来。

美国早在第一次世界大战就开始研究军用短波通信技术,到1918年已研制成功波长为70~150 m的发射接收设备。继之,出现了一代新的电子器件:1921年,美国的赫耳(A. W. Hull, 1880—1966)制成大功率微波器件磁控管,可产生几米波长的超短波。1923年,拉文德(H. J. Raund)发明了比三极管更适用于高频的五极管。1933年,阿姆斯特朗发明了调频技术,1939年发明了适用于超短波放大和振荡的速调管。美国从1929年开始采用超短波通信。到20世纪30年代以后无线电通信已进入10 m以内波长的超短波波段。

在实现了用无线电波传播听觉信号以后,人们又试图用来传播视觉信号,这就需要更高的频率,中短波广播一般为500 kHz,而一般电视频率要几十至几百兆赫,而雷达定位、自动跟踪要求波长更短。光电管、阴极射线管和无线电短波通信等发明为电视、雷达技术准备了条件。早在19世纪中叶,巴伊恩(A. Bain, 1818—1903)就发明了一种通过有线电信传递静止图像的机械装置。1913年,考恩(A. Korn, 1870—1938)第一次用无线电通信从柏林向巴黎传递了画面,但还只是无线电传真的静止图像。1923年,兹沃雷金(V. K. Zworykin, 1889—1982)取得电子显像管专利,到1933年又研制成功光电摄像管,至此完成了电视拍摄与显像的完全电子化过程,现代电视系统基本成型。至1939年4月美国无线电公司的全电子电视首先播映,获得巨大成功。

第二次世界大战暂时阻碍了电视的发展,但是超短波、微波技术特别是雷达技术的发展,也推动了电视技术,所以第二次世界大战结束后,电视就进入了大规模实用与普及阶段。广播电视成为有力的宣传教育工具,它使人类文明广泛传播,知识迅速普及,其意义相当于历史上印刷术的发明。电磁波波长越短,方向性越好,遇到障碍物后的反射性越强。利用这一性质,通过短电磁波的发射与反射,可以测定障碍物的方位与距离。无线电探索与测距(Radio Detection and Ranging)装置,英文缩写为Radar,简称雷达,就是根据这一性质制作的。它的出现带动了无线电天文学、无线电气象学等科学的兴起。20世纪40年代以来,电子计算机的诞生和宇航技术的发展又促进了无线电技术向更高的阶段发展。

无线电在我们当前的生活中发挥着重要的作用。首先是无线电通信,最常见的手机就是最普及的一种无线电通信设备,这种由手机、基站、交换终端等设备组成的网络系统极大地方便了我们的生活;无线电通信的另一种常见形式是电台通信,比如在灾害中,当基站或者交换系统无法工作时,电台通信就可以发挥其不依靠网络通信的优势,在应急通信中,可以说电台通信具有无法替代的作用,这种通信手段还广泛地应用于武警、消防、林业部门等,而业余无线电爱好者也是这种通信的使用者之一。还有就是卫星通信,我们现在所看到的电视直播都是通过卫星信号来传输的,宇航员与地面工作人员进行天地通话也是通过卫星信号进行的。

另一个重要领域是无线电控制,当我们在家里轻松地拿着遥控器调换电视频道的时候肯定能体会到无线电控制的巨大作用,在很多特种行业及普通的工业生产中,基于无线电控制的自动化越来越普及,如火箭升空、机器人排爆、深海探测,以及放射性垃圾的处理等,无线电控制是必不可少的。

值得一提的还有无线电定位和无线电遥感技术,当需要对一个地形复杂的地方进行定位的时候就要用到无线电定位技术,如已经被救援机构、海事部门、户外爱好者广泛使用的GPS定位系统就是一种无线电定位技术。从无线电技术诞生到现在,它对人类的生活和生产活动产生了非常深刻的影响。可以说,上至天文地理,下到工农业生产以及社会、家庭生

活,都离不开无线电技术,它的发展是从利用电磁波传输信息的无线电通信扩展到计算机科学、宇航技术、自动控制以及其他学科领域的,虽然头绪繁多、应用极广,但其主要任务是解决信息传输和信息处理问题。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两个基本点出发来进行研究的。

1.1.1 无线电通信系统的组成

通信的一般含义是从发送者到接收者之间信息的传递。用无线电信号传输信息的系统称为无线电通信系统。无线通信(或称无线电通信)的类型很多,可以根据传输方法、频率范围、用途等分类。不同的无线通信系统,其设备组成和复杂度虽然有较大差异,但基本组成不变,图 1.1.1 所示为无线电通信系统的主要构成示意图。

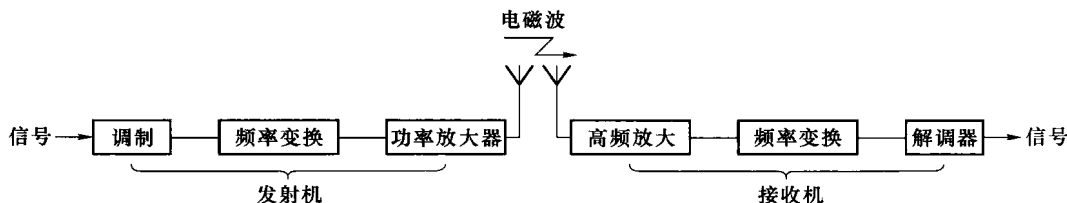


图 1.1.1 无线电通信系统的主要构成

一个完整的无线通信系统一般由信源、信号输入输出设备、收发信机、供电设备、信道以及天线、馈线等组成。

信息的来源称之为信源,它有不同形式,如语言、文字、音乐、图像、电码等。信号输入设备中的输入变换器能将信源输入的各种不同形式的信息变换成电信号,称该信号为基带信号,不同的信源需要不同的变换器,如电话机、摄像机、话筒等。

发信设备即发信机或发射机,通常由多级组成,是指能够产生射频振荡,并对信号进行调制、放大等处理后,将输出的射频功率信号馈送至传输线路或天馈线的设备,发信设备的输出信号为已调信号。

信道是信号传输的通道,又可称为传输媒介,无线电通信系统的信道主要包括地球表面、地下、水下、地球大气层及宇宙空间。

收信设备即收信机或接收机,是指能够将源自传输线路或天馈线的信号进行选择、放大、解调、变换等信号处理,得到与发送端相对应的基带信号。该基带信号可经输出变换器复原为原来形式的信息。

需要指出的是,发信和收信设备是无线电通信系统中的核心部分,不同的无线电系统,其发信和收信设备的组成不尽相同,但基本结构相似。下面以无线电广播系统为例来说明发送和接收设备的基本组成。

1. 无线电广播发信设备

图 1.1.2 所示为采用调幅方式的中波广播发射机组成方框图,图中还画出了各部分输出电压的波形。

高频振荡器用来产生几十 kHz 以上的高频振荡信号。高频放大器(倍频器)可将高频振荡器产生的高频信号频率整倍数升高到所需值,并提供足够大的载波功率。其输出即为载波频率信号。在倍频器后通常还设置有高频功率放大器,用来放大载波信号,使之有足够

的功率推动末级调制器。低频放大器由低频电压和功率放大级组成,用来放大话筒所产生的微弱语音信号,然后送入调幅器。调幅器是将输入的高频载波信号和低频调制信号变换成高频已调信号,并以足够大的功率输送到天线,然后辐射到空间当中。

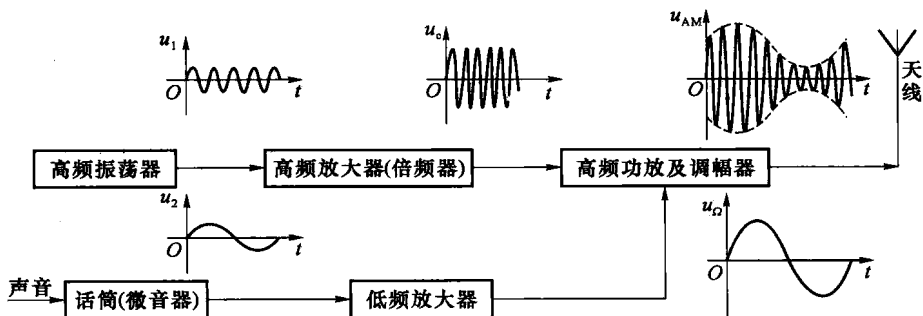


图 1.1.2 采用调幅方式的中波广播发射机组组成方框图

2. 无线电调幅广播接收设备

当前使用最广泛的接收机是超外差式接收机,图 1.1.3 为采用调幅方式的超外差式接收机组组成方框图,图中还画出了各部分输出电压的波形。超外差接收机的主要特点就是由频率固定的中频放大器来完成对接收信号的选择和放大。当信号频率改变时,只要相应地改变本地振荡信号频率即可。

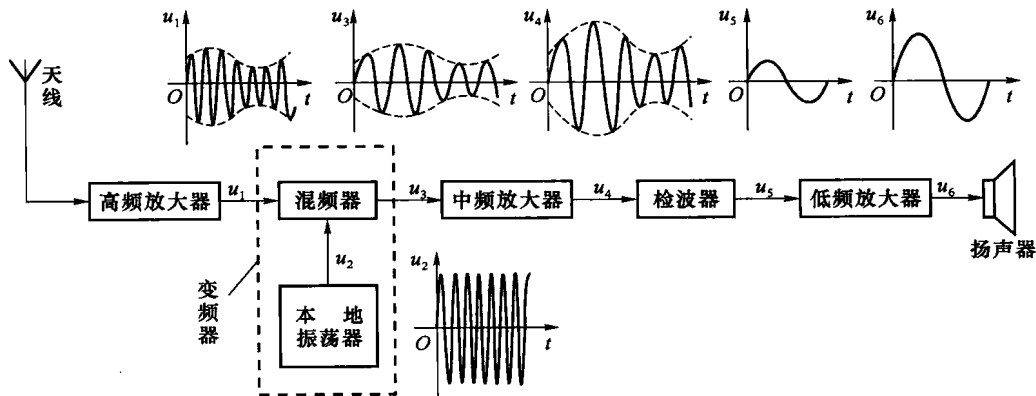


图 1.1.3 采用调幅方式的超外差式接收机组组成方框图

(1) 高频放大器

高频放大器也称射频放大器。它应具有足够的增益,通常约为 10 dB,而且要求低噪声,这样可降低整个接收机的噪声系数;要求选频放大,以抑制不需要的信号与干扰,如镜像干扰以及在混频级可能引起各种互调失真的某些信号;要求加一定的自动增益控制,以防止输入过强信号时,引起中放级的过载;同时,也要求高频放大器能抑制本机振荡器辐射至天线而干扰其他用户。所以,高频放大级的主要指标要求是增益要高,噪声要低,选择性要好,动态范围要大,防止辐射的能力要强。级别较低的接收机,可以不设高放级。电视接收机的高频放大器目前都采用双栅 MOS 型场效应管制成。

(2) 混频器和本地振荡器

混频器的作用是将高频调制信号变换为中频调制信号,所改变的只是被调信号的载频,而信号的调制规律是不能改变的。混频器有不同类型,混频增益约为 $-10\sim 30$ dB,混频器的输出应和中放输入级匹配。

对本地振荡器的要求是:频率可调,并和输入回路及高放负载回路同步调整(统调),以满足选择电台信号及混频器差拍的需要;本振的频率稳定度要高,有时要采用自动频率调整电路(AFC),如彩色电视接收机;本振输出的波形要好,谐波成分要少,避免在混频器中产生较多的组合频率干扰;本振的工作要稳定,电压和温度漂移都要求小;另外,还要求本振的辐射小,幅度稳定,大小合适。本振与混频之间,一般采用弱耦合方式。

(3) 中频放大器

这部分电路的主要任务是放大和选频,并要求有足够的稳定性和相当的自动增益控制能力,接收机增益的获得主要集中在这里。对于中、短波收音机而言,中放级的增益约为 $40\sim 50$ dB,而电视接收机的中放级增益可达 $60\sim 80$ dB,很显然,要达到如此高的增益,中频放大级必须由多级放大器组成。

除图 1.1.3 中所示组成部分外,超外差式接收机还具有解调器、AGC 电路和 AFC 电路等。

对于不同的调制信号,解调器的形式是不同的,电路也多种多样,有些解调器有增益,有的有损耗。解调器的主要任务是从中频信号中恢复出原调制信号,因此要求解调效率高、失真小、谐波滤除能力强、信号辐射小。

自动增益控制电路(AGC)的作用是在接收天线输入信号电平变化时,能自动地控制中放级,进而控制高放级的增益,使输出至解调器的已调信号电平变化不大。对 AGC 电路一般有以下几点要求:控制范围要宽,一般为 $20\sim 60$ dB,要视不同的机型、不同的设计而定;在控制放大级的增益时,不能影响通道的频率特性;控制灵敏度要高,一般在 3 dB 以内;AGC 控制对信号内容的变化不产生影响;AGC 电路稳定可靠,不受噪声影响,不能引起自激振荡等。对于调频接收机而言,中放可不加 AGC 控制,AGC 信号也不从解调后取得。这是由于从天线至解调输出,整机的高频增益是相当大的,不同功能的接收机其增益数值也不同。例如,广播收音机较低,约为 60 dB;电视接收机约为 $80\sim 90$ dB;某些通信接收机则高达 120 dB。

自动频率控制电路(AFC)是为了提高本振电路的频率稳定性能而设计的。一些较为简单的接收机是没有 AFC 电路的,如广播收音机、低档的黑白电视接收机等。

1.1.2 无线电通信系统的类型

按照无线通信系统中关键部分的不同特性,有以下一些类型:

(1) 按照工作频段或传输手段分类,有中波通信、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。

(2) 按照通信方式来分类,主要有全双工、半双工和单工方式。

单工通信方式(Simplex Duplex Communication)只支持数据在一个方向上传输,即通信双方设备中发送器与接收器分工明确,只能在由发送器向接收器的单一固定方向上传送

数据。又称为单向通信。如无线电广播和电视广播都是单工通信。

半双工通信方式(Half Duplex Communication)允许数据在两个方向上传输,通信双方设备既是发送器,也是接收器,两台设备可以相互传送数据,但在同一时刻,只允许数据在一个方向上传输,它实际上是一种可切换方向的单工通信。例如,步话机是半双工设备,因为在一个时刻只能有一方说话。

全双工通信方式(Full Duplex Communication),是指在通信的任意时刻,线路上存在 A 到 B 和 B 到 A 的双向信号传输。全双工通信允许数据同时在两个方向上传输,又称为双向同时通信,即通信的双方可以同时发送和接收数据。在全双工方式下,通信系统的每一端都设置了发送器和接收器,因此,能控制数据同时在两个方向上传送。全双工方式无须进行方向的切换,因此,没有切换操作所产生的时间延迟,这对那些不能有时间延误的交互式应用(如远程监测和控制系统)十分有利。例如,电话是全双工设备,因为双方可同时说话。

(3) 按照调制方式的不同来划分,有调幅、调频、调相以及混合调制等。

调幅(AM):用调制信号控制载波的振幅,使载波的振幅随着调制信号变化。已调波称为调幅波。调幅波的频率仍是载波频率,调幅波包络的形状反映调制信号的波形。调幅系统实现简单,但抗干扰性差,传输时信号容易失真。

调频(FM):用调制信号控制载波的振荡频率,使载波的频率随着调制信号变化。已调波称为调频波。调频波的振幅保持不变,调频波的瞬时频率偏离载波频率的量与调制信号的瞬时值成比例。调频系统实现稍复杂,占用的频带远较调幅波宽,因此必须工作在超短波段;但抗干扰性能好,传输时信号失真小,设备利用率也较高。

调相(PM):用调制信号控制载波的相位,使载波的相位随着调制信号变化。已调波称为调相波。

(4) 按照传送的消息的类型分类,可分为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。

各种不同类型的通信系统,其系统组成和设备的复杂程度都有很大不同。但是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。

1.2 信号的特性

在高频电路中,要处理的无线电信号主要有 3 种:基带(消息)信号、高频载波信号和已调信号。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。无线电信号具有如下一些特性。

1. 时域特性

时域特性是指无线电信号随时间变化快慢的特性,通常用时域波形和数学表达式(电压或电流的时间函数)表示,要求传输信号电路的时间特性(如时间常数)必须与该信号的时间特性相适应。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。

2. 频谱特性

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。任何形式的信号都可以分解为许多不同频率、不同幅度的正弦信号之和。谐波次数越高,幅度越小,

影响越小。频谱特性有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。

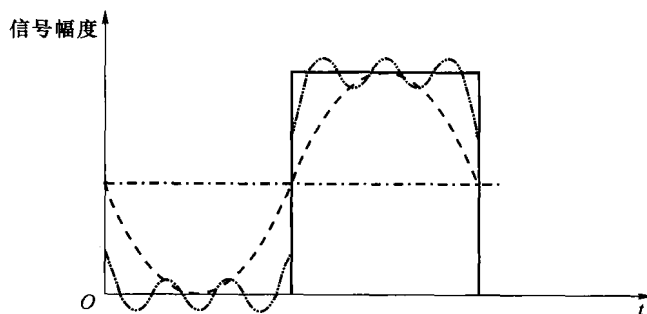


图 1.2.1 信号分解

对于周期性信号,可以表示为许多离散的频率分量(各分量间成谐频关系),例如图 1.2.2即为图 1.2.1 所示信号的频谱图;对于非周期性信号,可以用傅里叶变换的方法分解为连续谱,信号为连续谱的积分。

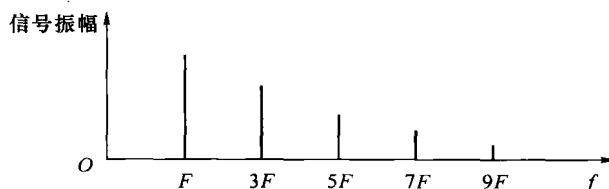


图 1.2.2 频谱图

任何信号都会占据一定的带宽。从频谱特性上看,带宽就是信号能量主要部分(一般为 90%以上)所占据的频率范围或频带宽度。不同信号,带宽不同,高频频率越高,可利用的频带宽度就越宽,从而可以容纳更多信号。这就是无线电通信采用高频的原因之一。

3. 频率特性

任何信号都具有一定的频率或波长。我们这里所讲的频率特性就是无线电信号的频率或波长。电磁波辐射的波谱很宽,如图 1.2.3 所示。

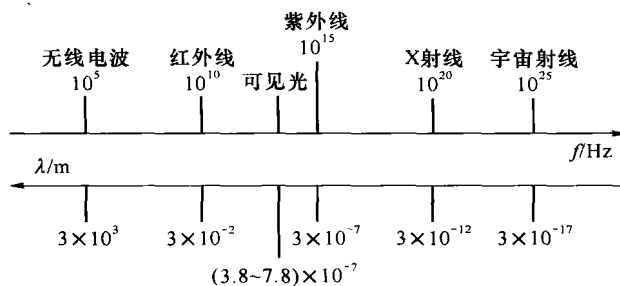


图 1.2.3 电磁波波谱

无线电波只是一种波长比较长的电磁波,占据的频率范围很广。在自由空间中,波长与频率存在以下关系: