



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

高频电子线路

(第二版)

刘波粒 刘彩霞 主编



科学出版社

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

高频电子线路

(第二版)

刘波粒 刘彩霞 主编

科学出版社

北京

内 容 简 介

本教材参照教育部教学指导委员会制定的《电子信息科学与电气信息类“电子线路(Ⅱ)”课程教学基本要求》,博取国内外同类教材之优点,以编者多年的教学经验和教改需要编写而成。编者在“工程教育”的理念下,以“精选内容、突出重点、联系实际”为原则,旨在服务于教学,贴近于实践。同时编者制作了与教材同步的2个教学课件(包括 Authorware 版和 PPT 版),其中 Authorware 版以“板书演示”、“动画演示”和“仿真演示”三位一体的形式再现了课堂教学新体系,便于教师教学与学生自学。

本教材由绪论、高频电路基础、高频小信号放大器、高频功率放大器、正弦波振荡器、振幅调制与解调及混频、角度调制与解调、反馈控制电路、无线电技术的应用9章组成。

本教材可作为高等院校电子信息工程、通信工程等专业高频电子线路、通信电子线路、非线性电子线路等课程的本科教材或教学参考书,也可供从事电子技术的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

高频电子线路/刘波粒,刘彩霞主编. —2版. —北京:科学出版社,2014.6
普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-03-041136-5

I. ①高… II. ①刘…②刘… III. ①高频-电子电路-高等学校-教材
IV. ①TN710.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第128282号

责任编辑:潘斯斯 / 责任校对:韩 杨

责任印制:闫 磊 / 封面设计:迷底书装

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

铭浩彩色印装有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2008年7月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2014年6月第 二 版 印张:15 3/4

2014年6月第七次印刷 字数:413 000

定价:39.00元(含光盘)

(如有印装质量问题,我社负责调换)

第二版前言

“高频电子线路”是电子信息工程、通信工程等电子信息类专业重要的专业基础课程,具有很强的理论性、工程性与实践性。本教材为普通高等教育“十一五”国家级规划教材,第一版于2008年出版后,已先后印刷6次,并得到了国内几十所高校师生的认可。

随着现代通信技术和无线电技术的发展,组成通信系统的主要功能电路虽然经历了电子管、晶体管、场效应管、集成电路及大规模集成系统等不同的实现过程,但是各个功能电路输入信号与输出信号的频谱变换关系是没有变化的,即基本原理是不变的。为此,编者以“精选内容、突出重点、联系实际”为原则,尽量体现“分立为基础,分立为集成服务”的教学思想。

第二版在保持原有教材特点的同时,考虑到不少高等院校习惯于传统的《高频电子线路》内容以及学时有限的情况,对原教材进行了较大程度的改编。

(1) 将分属于原第2章“高频小信号放大器”和第5章“变频电路”中的选频网络和非线性电路的分析方法两部分内容抽取出来,组成高频电路基础,作为第2章的内容。教师在教学中可以根据教学需要把本章内容分布到相应章节中介绍。

(2) 由于RC正弦波振荡器的振荡频率较低,且在先修课《模拟电子技术基础》中已经介绍,所以将原第4章“正弦波振荡器”中的RC正弦波振荡器删去,剩余部分作为第5章内容。

(3) 为了体现频谱线性搬移的特点,将原第5章“变频电路”与第6章“振幅调制与解调电路”合二为一,组成“振幅调制、解调及混频”,作为第6章内容。

(4) 由于本课程主要研究模拟通信系统,且在后续的《通信原理》课程中,将详细介绍有关数字调制与解调的知识,所以删去原第9章“数字调制与解调”的内容。

(5) 在内容编排上,体现由单元电路到系统电路的认识规律,重视基础功能电路。在电路分析中,力求讲透基本单元电路,对所涉及的基本原理和基本分析方法尽量阐述详尽。在各章节主要知识点处添加例题,有助于读者加深对基础知识的理解和应用。

(6) 为了体现“卓越工程师”培养计划中所要求的“能力”,添加了实际电路,培养读者的分析能力和工程设计意识。

本教材由刘波粒、刘彩霞任主编,安晓峰、赵立志、玄金红任副主编,具体分工如下:刘波粒主要负责第1~5章的编写、统稿、校对;刘彩霞主要负责第6~8章的编写和第9章部分内容的编写,全书校对,PPT课件制作;安晓峰参与了教材中部分章节的编写、校对;赵立志编写第9章部分内容;玄金红编写自测题、习题及答案;郭际负责 Authorware 课件的程序设计及制作;郭要军负责课件的 Flash 动画制作;屈建萍负责课件的 EWB 实验仿真。

随书光盘将提供两个课件以及教材中自测题和习题的详解。EWB 仿真软件获北京掌宇金仪科教仪器设备有限公司的正式授权。

本教材由西安电子科技大学曾兴雯教授主审,曾教授在百忙中仔细审阅书稿,并提出了很

多宝贵的修改建议,对提高本版编写质量起到了重要作用。

在此特别感谢科学出版社对第二版教材出版的关注和支持,感谢为第一版作出贡献的所有教师和多年来广大读者、兄弟院校教师对本教材提出的建议。

由于编者水平有限,再加上时间仓促,难免有疏漏或不妥之处,恳请广大读者和同行批评指正,意见和要求可联系电子信箱:liuboli@126.com。

主 编

2013年12月

第一版前言

《高频电子线路》是电子、信息、通信类专业重要的必修课,是基础理论课程向专业工程类课程过渡的桥梁。

鉴于本课程概念抽象、内容庞杂、学时有限等特点,我们围绕着如何培养学生的能力这一中心进行着多方位的教学改革。在教材内容方面,侧重电路的形成,旨在突出设计思想;强化实际电路分析,介绍前沿知识,旨在理论联系实际;编排自测题(包括填空、选择、判断)、思考题与习题,并附有详细的参考答案(在光盘上),便于学生自学。同时,为了便于教与学,我们开创性地制作了与教材同步的教学课件,实现了“板书演示、动画演示、仿真演示”三位一体的课堂教学新体系。

在教材编写中,刘彩霞编写了第1、4、9章,第3章和第7章的部分内容,并对各章进行了“本章小结”;刘波粒编写了第2、10章;黄伟志编写了第3章;赵彦霞编写了第5、8章;安颖编写了第6、7章。崔岳完成了电路图的绘制工作。

在课件制作中,刘彩霞负责课件内容的精选、排版、画图等大量工作;胡纪刚、刘巧丽制作了课件片头,郭要军、郭际负责动画制作和 EWB 仿真实验。

本教材由刘彩霞、刘波粒任主编,黄伟志、安颖、赵彦霞任副主编,其中,刘彩霞进行教材组织、统稿、校对等大量工作,刘波粒、边晓娜、靳慧龙进行了部分校对工作。边晓娜、屈建萍、玄金红、栗苹、胡永杰等参与了课件的制作。

由于编者水平有限,再加上时间仓促,难免有疏漏或不妥之处,恳请广大读者批评指正,意见和建议可联系电子信箱:hbsdlex@126.com。

主 编

2008年4月

目 录

第二版前言

第一版前言

第 1 章 绪论	1
1.1 通信技术发展简史	1
1.2 通信系统的组成	2
1.2.1 通信系统的基本组成	2
1.2.2 模拟和数字通信系统	6
1.3 发射机和接收机的组成	7
1.3.1 无线广播调幅发射机的组成框图	7
1.3.2 无线广播调幅接收机的组成框图	8
1.4 本课程的研究内容与特点	9
本章小结	9
自测题	10
习题	11
第 2 章 高频电路基础	12
2.1 概述	12
2.2 选频网络	12
2.2.1 单调谐回路	13
2.2.2 双调谐回路	20
2.2.3 固体滤波器	22
2.3 非线性电路分析基础	25
2.3.1 非线性电路的工程分析方法	25
2.3.2 相乘器及频率变换作用	30
本章小结	36
自测题	37
习题	38
第 3 章 高频小信号放大器	40
3.1 概述	40
3.2 分散选频放大器	41
3.2.1 晶体管高频 Y 参数等效电路	41
3.2.2 单调谐回路谐振放大器	43
3.2.3 双调谐回路谐振放大器	49
3.2.4 高频小信号谐振放大器的稳定性	51
3.3 集中选频放大器	53
3.3.1 集中选频放大器的组成框图	54

3.3.2	集成宽带放大器	54
3.3.3	集中选频放大器实例简介	56
3.4	放大器中的噪声	56
3.4.1	噪声的来源	56
3.4.2	信噪比和噪声系数	57
	本章小结	58
	自测题	59
	习题	60
第4章	高频功率放大器	63
4.1	概述	63
4.2	丙类谐振功率放大器的工作原理	63
4.2.1	丙类谐振功率放大器的基本原理	63
4.2.2	丙类谐振功率放大器的功率和效率	67
4.3	丙类谐振功率放大器的特性分析	68
4.3.1	丙类谐振功率放大器的动态特性曲线	68
4.3.2	丙类谐振功率放大器的工作状态	69
4.3.3	丙类谐振功率放大器的外部特性	71
4.4	丙类谐振功率放大器的实际电路	76
4.4.1	直流馈电电路	76
4.4.2	滤波匹配网络	78
4.4.3	实用电路	82
4.5	倍频器	83
4.6	宽带高频功率放大器	84
4.6.1	高频功率合成器概述	85
4.6.2	传输线变压器	85
4.6.3	耦合网络及其应用实例	88
	本章小结	93
	自测题	94
	习题	95
第5章	正弦波振荡器	98
5.1	概述	98
5.2	反馈型振荡器的工作原理	98
5.2.1	反馈型振荡器的基本组成	98
5.2.2	振荡器的三个振荡条件	99
5.2.3	振荡器的分析方法	101
5.3	LC 正弦波振荡器	103
5.3.1	互感耦合式振荡器	103
5.3.2	LC 三点式振荡器	104
5.4	振荡器的频率稳定度	111
5.4.1	频率准确度和频率稳定度	111

5.4.2 提高频率稳定度的措施	113
5.5 石英晶体振荡器	114
5.5.1 并联型晶体振荡器	114
5.5.2 串联型晶体振荡器	115
5.5.3 泛音晶体振荡器	116
5.6 负阻振荡器	117
5.6.1 负阻器件的伏安特性	117
5.6.2 负阻振荡器	118
5.7 其他类型振荡器	119
5.7.1 压控振荡器	119
5.7.2 集成电路振荡器	121
5.7.3 集成运放振荡器	122
本章小结	123
自测题	124
习题	125
第 6 章 振幅调制、解调及混频	129
6.1 概述	129
6.2 调幅信号的分析	129
6.2.1 普通调幅信号	129
6.2.2 抑制载波调幅信号	133
6.2.3 残留边带调幅信号	136
6.3 调幅信号的产生电路	136
6.3.1 调幅电路的分类	137
6.3.2 高电平调幅电路	137
6.3.3 低电平调幅电路	138
6.4 调幅信号的解调电路	141
6.4.1 振幅解调电路的作用及其分类	141
6.4.2 二极管峰值包络检波器	141
6.4.3 同步检波器	147
6.5 混频器	150
6.5.1 混频器的作用、组成及主要参数	150
6.5.2 晶体管混频器	152
6.5.3 二极管混频器	155
6.5.4 模拟相乘器混频器	155
6.5.5 混频器的干扰	156
本章小结	160
自测题	161
习题	162
第 7 章 角度调制与解调	165
7.1 概述	165

7.2 调角信号的分析	165
7.2.1 调频信号与调相信号的数学表达式和波形	165
7.2.2 调角信号的频谱和有效频带宽度	168
7.3 调频信号的产生电路	171
7.3.1 调频电路的类型和技术指标	171
7.3.2 直接调频电路	172
7.3.3 间接调频电路	177
7.3.4 扩展最大线性频偏的方法	180
7.4 调频信号的解调电路	181
7.4.1 鉴频方法和鉴频器的技术指标	181
7.4.2 斜率鉴频器	184
7.4.3 相位鉴频器	187
7.4.4 比例鉴频器	191
本章小结	193
自测题	194
习题	195
第8章 反馈控制电路	200
8.1 概述	200
8.2 自动增益控制电路	201
8.2.1 基本工作原理	201
8.2.2 AGC 电路的应用	201
8.3 自动频率控制电路	203
8.3.1 基本工作原理	203
8.3.2 AFC 电路的应用	204
8.4 锁相环路	205
8.4.1 基本工作原理	205
8.4.2 锁相环路的应用	210
8.4.3 集成锁相环简介	213
本章小结	215
自测题	216
习题	217
第9章 无线电技术的应用	219
9.1 概述	219
9.2 调幅发射机和接收机的组成及其电路分析	219
9.2.1 调幅发射机和接收机的组成框图	219
9.2.2 调幅发射机电子线路的分析	219
9.2.3 调幅接收机电子线路的分析	221
9.3 调频发射机和接收机的组成及其电路分析	224
9.3.1 调频发射机和接收机的组成框图	224
9.3.2 调频发射机电子线路的分析	226

9.3.3 调频接收机电子线路的分析	230
9.4 移动通信技术简介	234
9.4.1 移动通信中的多址接入技术	234
9.4.2 CDMA 手机电路的组成框图	235
本章小结	238
思考题	238
参考文献	239

第 1 章 绪 论

无线电技术是人们在不断寻求传递信息的各种方式中发展起来的,它和无线电通信的发展几乎是密不可分的。广义地说,凡是在发信者和收信者之间,利用任何方法,通过任何媒介完成信息的传递都可称为通信。能够完成信息传递的设备总和称为通信系统。

本章在追溯无线电通信技术发展的同时,重点介绍无线通信系统的组成。

1.1 通信技术发展简史

在实现远距离快速传递信息方面,史料上就有烽火狼烟、驿站快马接力、信鸽、旗语等记载。

直到 19 世纪电磁学的理论与实践已有坚实的基础后,人们才开始探索用电磁能量传递信息的方法。1837 年,美国发明家莫尔斯(F. B. Morse)发明了有线电报(telegraph),创造了莫尔斯电码,开创了近代通信的新纪元。1876 年,美籍英国发明家贝尔(Alexander G. Bell)发明了电话(telephone),能够直接将话音信号变为电信号沿导线传送,并成立了世界上第一家电话公司。由于电报、电话都是沿导线传送信号的,从而实现了早期的有线通信。

1864 年,英国物理学家麦克斯韦(J. Clerk Maxwell)发表了“电磁场的动力学理论”这一著名论文,总结了前人在电磁学方面的工作,得出了电磁场方程,从理论上预见了电磁波的存在,为后来无线电技术的发展奠定了坚实的理论基础。1887 年,德国物理学家赫兹(H. Hertz)以卓越的实验技巧证实了电磁波是客观存在的,他在实验中指出:电磁波在自由空间的传播速率与光速相同,并能产生反射、折射等与光波性质相同的现象。打破了人们认为电只能够沿导线传输的思维方式。此后,许多国家的科学家如英国的罗吉(O. J. Lodge)、法国的勃兰利(Branly)、俄国的波波夫(A. C. Пойков)和意大利的马克尼(Guglielmo Marconi)都在纷纷研究如何利用电磁波来实现信息的传输,其中马克尼的贡献最大,他于 1895 年首次用电磁波进行了几百米距离的通信并获得成功,1901 年又完成了横跨大西洋的通信,从而无线电通信进入了实用阶段,并于 1909 年获得了诺贝尔物理学奖。但那时的无线电通信设备是:发送设备用火花发射机、电弧发生器或高频发电机等;接收设备则用粉末(金属屑)检波器。

1904 年,英国科学家弗莱明(J. A. Fleming)发明电子二极管之后,才开始进入无线电电子学时代。1907 年,美国物理学家李·德·福雷斯特(Lee de Forest)在电子二极管的基础上发明了电子三极管,用它可组成具有放大、振荡、变频、调制、检波和波形变换等重要功能的电子线路,为现代千变万化的电子线路提供了“心脏”器件。电子管的出现是电子技术发展史上的第一个里程碑。

1948 年,美国物理学家肖克莱(W. Shockley)、巴丁(Bardeen)和布拉顿(W. H. Brattain)共同发明了晶体三极管(transistor),并一起获得 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、延长寿命等方面远胜过电子管,取代了电子管的统治地位,成为电子技术发展史上的第二个里程碑。

1958 年,美国德州仪器公司工程师杰克·基尔比(J. K. Kilby)发明了集成电路,奠定了现

代微电子技术的基础,也因此于2000年获得了诺贝尔物理学奖。这种将“管”和“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。

1978年,美国贝尔实验室研制成功第一代模拟移动通信技术(简称1G)先进移动电话系统(Advanced Mobile Phone System, AMPS),建成了蜂窝状移动通信系统,主要特点是采用频分复用(FDMA)模拟制式,语音信号为模拟调制,典型代表是美国的AMPS和英国的全接入通信系统(Total Access Communications System, TACS)。1987年出现了利用数字传输方式实现语音、数据等业务的第二代数字移动通信技术(简称2G),主要采用的是时分多址(TDMA)技术(典型代表是美国的D-AMPS、欧洲的GSM和日本的PDC系统)和窄带码分多址(CDMA)技术(典型代表是美国的IS-95系统)。2G以传输话音和低速数据业务为目的,又称为窄带数字通信系统,它与1G相比,仅仅是移动通信性能提高了许多。从1996年开始,为了解决中速数据传输问题,又出现了以GPRS和IS-95B为代表的第2.5代移动通信技术(简称2.5G)。2000年,国际电信联盟(ITU)从10种第三代(简称3G)地面候选无线接口技术方案中最终确定了三个通信系统的接口技术标准,即欧洲和日本共同提出的WCDMA、美国以高通公司为代表提出的CDMA2000以及我国以大唐电信集团为代表提出的TD-SCDMA,这三种标准都采用了CDMA这一核心技术。近年来3G已经进入市场应用和推广,它可以提供前两代产品不能提供的宽带信息服务。

移动通信系统从2G到3G的发展实现了从单纯的语音通信向数据通信的跨越,尽管其传输速率可达2Mbit/s,但仍无法满足无线多媒体通信和信息时代迅猛发展的要求,这一切无疑推动了业界对下一代通信系统的研发工作。根据ITU的规定,第四代移动通信技术(简称4G)应该满足以下两个条件:静态传输速率达到1Gbit/s,移动状态下传输速率要达到100Mbit/s(比目前的拨号上网快2000倍)。它集3G与WLAN(无线局域网)技术于一体,能够传输高质量视频图像,并满足几乎所有用户对无线服务的要求。为了达到上述技术指标及实现各项功能,世界各技术阵营基本均以OFDM和MIMO技术作为4G核心技术。2010年10月,由我国主导的新一代宽带移动通信技术TD-LTE-Advanced已成功被ITU确定为全球4G标准,TD-SCDMA与4G主流技术有机结合,显著提高了系统性能。2013年底工业和信息化部正式发放4G牌照,宣告中国通信行业进入4G时代。当然要顺利地把4G系统投入实际应用,会遇到技术和市场等很多方面的挑战,还有很长的路要走。

第五代移动通信技术(简称5G)是4G之后的延伸,目前正在研究中,还没有一个具体标准。但是有消息报道韩国已成功研发5G,手机在利用该技术后无线下载速度可以达到每秒3.6G,这一技术预计将于2020年开始推向商业化。目前,包括中国在内的很多国家都开始投入5G的准备和研发工作。

移动通信技术每一代的发展都是技术的突破和观念的创新。

1.2 通信系统的组成

1.2.1 通信系统的基本组成

通信的一般含义是从发送者到接收者之间信息的传递。通信系统是指实现这一通信过程的全部技术设备和信道的总和。通信系统的种类很多,它们的具体设备和业务功能可能各不相同,然而经过抽象和概括,均可用图1.2.1所示的基本组成框图来表示。

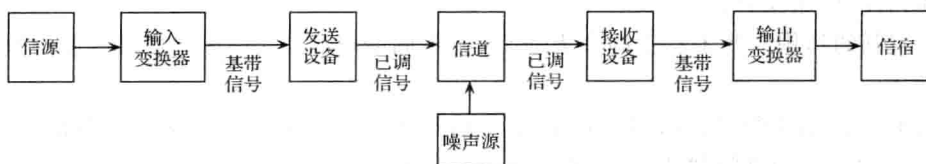


图 1.2.1 通信系统的组成框图

1. 信源与输入变换器

信源就是信息的来源,它有不同形式,如声音、图像、文字、电码等。

当输入信息为非电量(如声音、图像等)时,必须有输入变换器(如话筒、摄像机等),其作用是将信源输入的信息转换成电信号(通常也称为基带信号)。当输入信息本身就是电信号(如计算机输出的二进制信号、传感器输出的电流或电压信号等)时,在能够满足发送设备要求的条件下,输入变换器可省略而直接进入发送设备。

2. 发送设备

发送设备用来将基带信号进行某种处理并以足够的功率送入信道,以实现信号有效传输,因此发送设备主要有两个任务:一是调制,二是放大。

所谓调制(modulation)就是用基带信号控制高频振荡信号的某一参数,使该参数随基带信号而线性变化的过程,以便将基带信号转换成适合信道传输的频带信号。通常将基带信号称为调制信号(modulating signal);等幅高频振荡信号称为载波(carrier)信号,它就像人们出远门要乘坐的飞机和火车一样,是装载调制信号的工具;携有调制信号的载波称为已调信号(modulated signal)。

所谓放大是指对调制信号及已调信号的电压和功率进行放大、滤波等处理,以保证已调信号有足够的功率送入信道。

为什么信号在发送设备中要进行调制呢?

我们知道,人耳能听到的声音频率在 20Hz~20kHz 范围内,通常把这一范围的频率称为音频。声波在空气中传播的速率(约 340m/s)比光速慢得多,而且衰减相当快。一个人无论怎样尽力高声呼喊,他的声音也不会传得很远。为了把声音传到远方,常用的方法是将其变为电信号,再设法把电信号传出去。传送图像也是一样。

1) 信号传送存在的问题

(1) 由天线理论可知,只有天线实际长度与电信号的波长相近时,电信号才能通过天线以电磁波形式有效进行辐射。例如,声音信号的各频率分量分布在 0.02~20kHz,由 $\lambda = c/f$ (其中 $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$) 可知其对应的波长为 $15 \times 10^3 \sim 15 \times 10^6 \text{ m}$,显然利用天线辐射是不现实的。

(2) 即使这样超长的天线能够制造出来,当基带信号由天线直接发射时,由于各发射台发射的均为同一频段的低频信号,它们也会在信道中混在一起,互相干扰,接收设备也无法选出需要电台的信号。就像许多人都在说唱,相互干扰,人们无法听到想要听到的声音一样。

此外,还存在信道利用率低和抗干扰性能差等问题。

2) 调制的作用及方式

(1) 调制的作用。为了易于制作天线,区分不同的电台信号,同时实现信道的复用,需采用调制技术。

理论和实践都证明,只有高频(射频)信号适于天线辐射和无线传播。若将低频调制信号装载到不同的指定的高频载波上,则不仅使天线长度大大缩短,而且接收机可以选择不同电台的载波频率,实现了频分多路通信。另外改变了相对带宽,提高了系统性能。

(2) 调制方式。根据调制信号和载波的不同,调制可分为模拟调制(analog modulation)和数字调制(digital modulation)。若用模拟调制信号控制高频正弦载波的两个参数(振幅、频率和相位)中的某一个,则将有调幅(Amplitude Modulation, AM)、调频(Frequency Modulation, FM)和调相(Phase Modulation, PM)三种调制方式。例如,电视信号中,图像是调幅,伴音是调频,广播电台信号中常用的方法是调幅与调频。若调制信号是数字信号,则还可以有数字键控方式的调制,如幅度键控(ASK)、频移键控(FSK)、相移键控(PSK)以及差分相移键控(DPSK)等,近年来还出现了很多窄带调制方式,如MSK、16QAM等。

为了便于读者理解,在此以普通调幅波为例,直观地认识一下调制方式。

假设调制信号 $u_{\Omega}(t) = U_{\Omega m} \cos \Omega t$, 载波信号 $u_c(t) = U_{cm} \cos \omega_c t$, 并且载波信号的角频率 ω_c 远大于调制信号的角频率 Ω , 其波形如图 1.2.2(a) 和图 1.2.2(b) 所示。按照调制的概念可知,对于普通调幅可理解为载波的振幅 U_{cm} 随调制信号 $u_{\Omega}(t)$ 大小的变化而变化,由此可得到相应的普通调幅波波形,如图 1.2.2(c)。

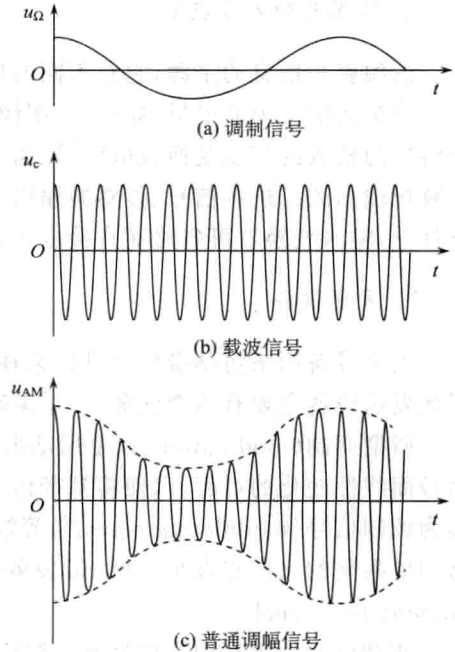


图 1.2.2 单频调制普通调幅信号

3. 信道与噪声源

信道是连接发、收两端信号的通道,又称为传输媒介。通信系统中应用信道可分为无线信道(如自由空间、海水等)和有线信道(如电线、电缆、光缆等)。不同信道有不同的传输特性,相同信道对不同频率的信号传输特性也是不同的。下面着重介绍自由空间的无线信道电磁波的传播情况。

为了讨论问题的方便,对不同频率的电磁波人为地划分为若干个区域,称为频段,也称为波段。从 30kHz 开始,频率每增加 10 倍作为一个波段,其实波段的划分是很粗略的,没有明显的分界线。各波段的划分及其主要的传播方式如表 1.2.1 所示。

电磁波从发射天线辐射出去后,其传播方式与波长有关,主要有沿地面传播的地波、靠电离层折射和反射传播的天波以及沿空间直线传播的空间波。另外还有当大气层或电离层出现不均匀团块时,无线电波有可能被这些不均匀媒质向四面八方反射,使一部分能量到达接收点,这就是散射波。

表 1.2.1 无线电波的波(频)段划分及其用途

波段名称	波长范围	频率范围	主要传播方式和用途
长波波段	$10^3 \sim 10^4$ m	30~300kHz (低频 LF)	地波; 远距离通信
中波波段	$10^2 \sim 10^3$ m	300~3000kHz (中频 MF)	地波、天波; 广播、通信、导航
短波波段	10~100m	3~30MHz (高频 HF)	天波、地波; 广播、通信
超短波波段	1~10m	30~300MHz (甚高频 VHF)	空间波、散射; 通信、电视广播、调频广播、雷达
微波波段	分米波	10~100cm	空间波、散射; 通信、中继与卫星通信、电视广播、雷达
	厘米波	1~10cm	空间波; 中继与卫星通信、雷达
	毫米波	1~10mm	空间波; 微波通信、雷达

频率在 1.5MHz 以下的电磁波主要沿地表传播,称为地波,如图 1.2.3(a)所示。由于大地不是理想导体,当电磁波沿其传播时,有一部分能量被损耗,频率越高趋肤效应越严重,能量损耗也就越大,所以频率较高的电磁波不宜沿地表传播。

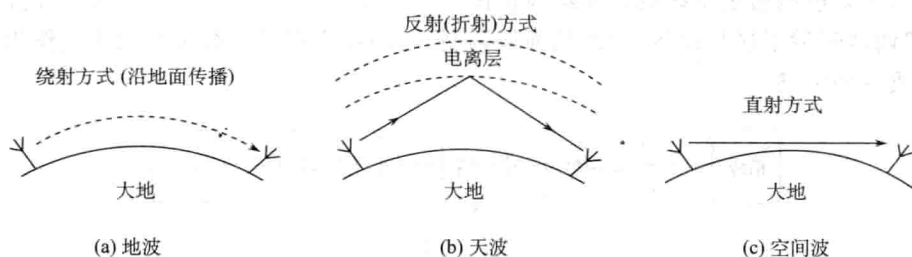


图 1.2.3 无线电波传播方式示意图

频率在 1.5~30MHz 的电磁波,由于频率较高,地面吸收较强,用地波传播时衰减很快。它主要靠大气层上部电离层的反射与折射传播,称为天波,如图 1.2.3(b)所示。电离层是由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,一部分能量被反射与折射到地面,其中,频率较低的电磁波被反射到地面,频率较高的电磁波穿过电离层后不再反射到地面。因此频率更高的电磁波不宜采用天波方式传播。

频率在 30MHz 以上的电磁波,它会穿过电离层而不再返回地面,因此频率在 30MHz 以上的超短波通信系统只能选择直射传播方式,即空间波,如图 1.2.3(c)所示。地表的弯曲使空间波传播距离受限于视距范围,所以高架发射天线可以增大其传输距离。

综上所述,长波信号以地波绕射为主;中波和短波信号可以地波和天波两种方式传播,但是前者以地波传播为主,后者以天波(反射与折射)为主;超短波以上频段的信号大多以空间波传播,也可采用对流层散射的方式传播。

图 1.2.1 中的噪声源集中表示了信道以及分散在通信系统中其他各处的噪声和干扰。它们的存在,使接收端信号与发射端信号之间存在一定的误差。

4. 接收设备

接收设备的任务是选频、放大和解调(demodulation)。即将信道传送过来的已调信号进

行处理,恢复出与发送端相一致的基带信号,这一过程称为解调,显然解调是调制的逆过程。信道的衰减特性,使传送到接收端的信号电平很微弱,需要放大后才能解调。同时接收设备还必须具有从众多信号中选择有用信号、抑制干扰信号的能力。

5. 输出变换器与信宿

输出变换器(如扬声器、显示器等)是将接收设备输出的基带信号变换成发送端所要传递的信息,如声音、图像、文字等。

信宿是信息传输的归宿,得到原来信源形式的信息。

1.2.2 模拟和数字通信系统

图 1.2.1 所示的方框图是对各种通信系统的简化和概括,它反映了通信系统的共性。如果按照信道上传输的信号是模拟信号还是数字信号,则通信系统又分为模拟通信系统和数字通信系统。本教材重点介绍模拟通信系统。

1. 模拟通信系统

图 1.2.4 是模拟通信系统的基本组成框图。与图 1.2.1 相比,这里用调制器代替了发送设备、用解调器代替了接收设备,目的是强调调制、解调在模拟通信系统中的作用,它们是保证通信质量的关键。

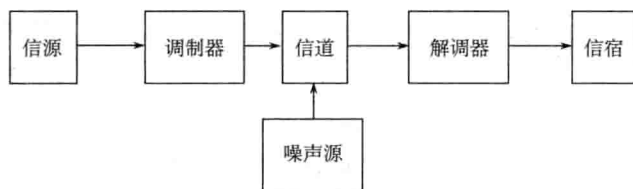


图 1.2.4 模拟通信系统的基本组成框图

2. 数字通信系统

对于数字通信系统,图 1.2.1 可以具体化为图 1.2.5。

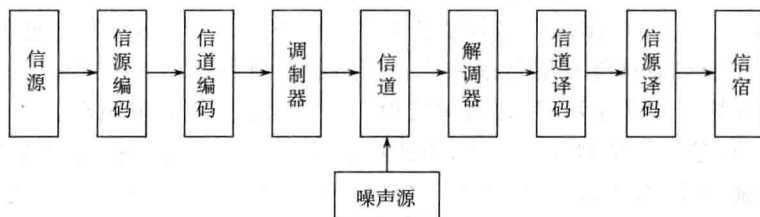


图 1.2.5 数字通信系统的组成框图

信源编码是为了提高信号传输的有效性而对信号所采取的处理。信源编码后的信号仍然是基带信号。为了确保信息传输的安全保密性,对编码后的信号可以进行加密处理。

信道编码是为了提高信号传输的可靠性而采取的一种差错控制编码。它是在信源编码后