



高等职业教育“十二五”规划教材

无线电技术与应用

◎ 李雄杰 编著

- ✓ 是作者30年来在无线电技术教学领域耕耘的结晶
- ✓ 取材新颖，结构严谨，叙述深入浅出，以物理概念为主，辅以必要的数学推导，兼顾实用性和先进性
- ✓ 包括无线电技术基础，调幅、变频技术及应用，电视广播与接收技术，无线电遥控与射频识别技术，移动通信与卫星通信，无线电调试工职业资格证书考核



赠电子课件
习题答案等



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



高等职业教育“十二五”规划教材

无线电技术与应用

李雄杰 编著



YZLI0890168411



机械工业出版社

本书依据高职高专电类专业人才培养目标, 结合国家职业资格标准编写, 主要内容包括无线电技术基础, 调幅、调频、变频技术及应用, 电视广播与接收技术, 无线电遥控与射频识别技术, 移动通信与卫星通信, 无线电调试工职业资格证书考核等内容。全书取材新颖, 结构严谨, 叙述深入浅出, 以物理概念为主, 辅以必要的数学推导, 兼顾实用性和先进性, 务求使读者在较短时间内能较全面地掌握无线电技术及应用。

本书可用于高职高专电类专业无线电技术课程的教材, 也可作为应用型本科院校、成人教育、中职学校的相关教材, 以及作为无线电爱好者的参考书。

为方便教学, 本书配有免费电子课件、习题答案等, 凡选用本书作为授课教材的学校, 均可通过来电(010-88379564)或电子邮件(cmpqu@163.com)索取。有任何技术问题也可通过以上方式联系。

图书在版编目(CIP)数据

无线电技术与应用/李雄杰编著. —北京: 机械工业出版社, 2012. 12

高等职业教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-111-40772-0

I. ①无… II. ①李… III. ①无线电技术—高等职业教育—教材 IV. ①TN014

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 301109 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 曲世海 责任编辑: 曲世海 韩 静

版式设计: 霍永明 责任校对: 肖 琳

封面设计: 赵颖喆 责任印制: 乔 宇

北京铭成印刷有限公司印刷

2013 年 2 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·12.5 印张·303 千字

0001—3000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-40772-0

定价: 25.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心: (010)88361066 教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售一部: (010)68326294 机工官网: <http://www.cmpbook.com>

销售二部: (010)88379649 机工官博: <http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线: (010)88379203 封面无防伪标均为盗版

前言

无线电技术应用十分广泛,如无线电报、调幅广播、调频广播、电视广播、移动电话、卫星通信、无线电遥控、射频识别、无线电紧急定位、数字微波传输、蓝牙短距离无线通信、业余无线电、无线电导航、雷达、微波加热、射电天文学等。因此,电类专业开设“无线电技术与应用”课程很有必要。

“无线电技术与应用”课程与“高频电子技术”课程的共同之处是,都是以理论性很强的调制、解调及变频作为课程的核心内容。两者的不同之处是,“高频电子技术”属于专业基础课程,通常以抽象的理论学习为主,数学推导多,实践性不够,这不适于高职学生学习;“无线电技术与应用”属于专业课程,可以选择若干个典型的无线电产品装配与调试作为课程的载体,从而采用“做中学”的教学方法,突出课程的实践性,化抽象为形象,易于学生学习。

目前,所有高职院校均实行学历文凭和职业资格证书制度,电类学生通常参加无线电调试工职业资格证书考核。因此,开设“无线电技术与应用”课程,可方便高职学生顺利地参加无线电调试工职业资格证书的考核。

本书内容新颖,第1章是必讲内容;第2章可有选择地讲解,或需要时再讲解,各校在教学中可增加一些配套实验,如谐振回路测试、扫频仪使用等;第3~6章是核心内容,建议以“无线电产品的装配与调试”为重点内容,以“做中学”方式组织教学,则效果更好一些;第7章可让学生自学。若学生要参加无线电调试工高级工职业技能考核,则64课时的教学内容安排见下表:

章 号	章名	重点教学内容	参考课时
第1章	无线电技术概述	无线电信号调制、传输与接收	4
第2章	无线电技术基础	信号频谱、谐振回路等	8
第3章	调幅、变频技术及应用	调幅波信号分析、调幅收音机装配与调试	12
第4章	调频技术及应用	调频波信号分析、调频收音、对讲机装配与调试	12
第5章	电视广播与接收技术	无线电调试工职业技能考核有大量电视广播技术内容,需要讲解	12
第6章	无线电遥控与射频识别技术	无线编码遥控门铃制作与调试	12
第7章	移动通信与卫星通信	均为选讲内容	—
第8章	无线电调试工职业资格证书考核	理论考核辅导	4

本书在编写过程中,非常注重内容的正确性、实用性、先进性、学习的灵活性、结构的合理性及文字的可读性。本书是本人30年来在无线电技术教学领域耕耘的结晶,编写中也参考了大量的相关资料和文献,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,时间仓促,书中错误和缺点难免,敬请广大读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第1章 无线电技术概述 1

1.1 无线电技术发展简史 1

1.2 无线电信号的调制 3

1.3 无线电信号的传输 4

1.3.1 信号传输系统 4

1.3.2 无线电波的波段划分 5

1.3.3 电波的主要传播方式 5

1.4 无线电信号的接收 7

1.4.1 直放接收方式 7

1.4.2 超外差接收方式 8

习题 9

第2章 无线电技术基础 10

2.1 信号的频谱 10

2.1.1 时域分析与频域分析 10

2.1.2 音视频信号的频谱 10

2.2 谐振回路 12

2.2.1 LC元件的伏安特性 12

2.2.2 谐振回路及选频原理 13

2.2.3 谐振回路的阻抗特性 14

2.3 传输线与天线 16

2.3.1 传输线 16

2.3.2 天线 19

2.4 滤波器 22

2.4.1 LC滤波器 22

2.4.2 声表面波滤波器 26

2.4.3 陶瓷滤波器 27

2.4.4 梳状滤波器 27

2.5 选频放大电路 28

2.5.1 单调谐放大电路 28

2.5.2 双调谐放大电路 31

2.5.3 集成调谐放大电路 31

2.6 锁相电路 33

2.6.1 锁相电路组成与原理 33

2.6.2 锁相电路性能分析 33

2.6.3 锁相电路的应用 35

2.6.4 锁相电路的测试 36

2.7 无线电电路中的噪声与干扰 38

2.7.1 噪声的来源与性质 38

2.7.2 信噪比与噪声系数 39

2.7.3 无线电电路中的干扰 40

2.8 无线电测量技术与设备 42

2.8.1 测量误差 42

2.8.2 频率特性测试仪 43

2.8.3 频谱分析仪 46

习题 47

第3章 调幅、变频技术及应用 50

3.1 调幅信号分析 50

3.1.1 普通调幅波 50

3.1.2 多频率调幅与平衡调幅 51

3.2 常用调幅电路 52

3.2.1 模拟乘法器 52

3.2.2 模拟乘法器调幅电路 53

3.3 常用检波电路 54

3.3.1 二极管包络检波电路 55

3.3.2 模拟乘法器检波电路 55

3.4 变频电路 57

3.4.1 变频电路的组成及原理 57

3.4.2 混频电路 58

3.5 调幅收音机电路分析 59

3.5.1 分立元器件调幅收音机电路分析 59

3.5.2 集成电路调幅收音机电路分析 61

3.6 调幅收音机的装配与调试 63

3.6.1 电路装配 63

3.6.2 静态调试 66

3.6.3 仪器调整 66

3.6.4 手工调整 68

3.6.5 故障检修 69

习题	70	5.4.6 LED 背光模组驱动电路	126
第4章 调频技术及应用	73	5.5 液晶电视机测试与调试	128
4.1 调频信号分析	73	5.5.1 LE22T3 液晶电视机检查与测试	128
4.1.1 调频信号波形与表达式	73	5.5.2 LE22T3 液晶电视机调试	130
4.1.2 调频波的频谱	74	习题	134
4.2 常用调频电路	74	第6章 无线电遥控与射频识别技术	136
4.2.1 直接调频电路	74	6.1 红外线遥控技术	136
4.2.2 间接调频电路	76	6.1.1 红外线遥控技术概述	136
4.3 常用鉴频电路	76	6.1.2 电视机红外线遥控器	138
4.3.1 斜率鉴频器	77	6.2 无线电遥控技术	139
4.3.2 相位鉴频器	78	6.2.1 无线电遥控技术概述	139
4.4 调频收音机	81	6.2.2 无线编码遥控门铃装配与调试	141
4.4.1 调频立体声广播	81	6.3 射频识别技术	145
4.4.2 调频收音机电路组成	83	6.3.1 RFID 系统组成与工作原理	145
4.4.3 TA2111F 收音机电路	84	6.3.2 RFID 电子标签的分类	148
4.5 调频收音、对讲机的装配与 调试	87	6.3.3 RFID 技术的典型应用	150
4.5.1 电路分析	87	习题	152
4.5.2 电路装配	88	第7章 移动通信与卫星通信	154
4.5.3 电路调试	90	7.1 移动通信	154
习题	91	7.1.1 移动通信概述	154
第5章 电视广播与接收技术	93	7.1.2 码分多址与扩频通信	158
5.1 电视广播技术基础	93	7.1.3 CDMA 其他关键技术	162
5.1.1 CRT 图像显示原理	93	7.2 卫星通信	164
5.1.2 一行电视信号的组成	95	7.2.1 卫星通信概述	164
5.1.3 电视信号的调制与频道划分	96	7.2.2 通信卫星的种类	166
5.2 电视信号的编码与解码	99	7.2.3 卫星通信系统案例	168
5.2.1 色度学知识	99	7.3 全球定位系统	170
5.2.2 电视信号的编码	100	7.3.1 GPS 概述	170
5.2.3 电视信号的接收与解码	104	7.3.2 GPS 应用	173
5.3 液晶显示器结构与原理	107	习题	175
5.3.1 液晶基础知识	107	第8章 无线电调试工职业资格证书 考核	177
5.3.2 TFT 液晶显示器结构与原理	108	8.1 高级工理论考核	177
5.4 液晶电视机电路分析	111	8.2 高级工实践考核	180
5.4.1 LE22T3 性能与整机电路	111	8.2.1 高级工实践考核试卷(一)	180
5.4.2 LE22T3 图像通道分析	112	8.2.2 高级工实践考核试卷(二)	181
5.4.3 LE22T3 伴音通道分析	119	附录 无线电调试工国家职业标准 (中、高级)	186
5.4.4 LE22T3 中的各类存储器	121	参考文献	191
5.4.5 LVDS 信号	123		

第1章 无线电技术概述

1.1 无线电技术发展简史

1. 电生磁、磁生电(1820~1855年)

1820年,丹麦的奥斯特以《论磁针的电流撞击实验》这篇简短的论文正式向学术界宣告了电流磁效应的存在。至此,电与磁的秘密关系通过实验的方法被揭示出来,使欧洲物理学界产生了极大的震动,导致了大批实验成果的出现,由此开辟了物理学的新领域——电磁学。

1831年,法拉第完成了“磁电感应”实验,实现了“磁生电”的夙愿,宣告了电气时代的到来。法拉第是电磁场学说的创始人。

2. 电磁波来了(1855~1888年)

1855~1864年,英国的麦克斯韦发表了电磁场理论的三篇论文,从而将电磁场理论用简洁、对称、完美的数学形式表示出来,经后人整理和改写,成为经典电动力学主要基础——麦克斯韦方程组。据此,1865年他预言了电磁波的存在,并计算出了电磁波的传播速度等于光速。

1888年,德国的赫兹用实验验证了电磁波的存在,从而全面验证了麦克斯韦的电磁理论的正确性,轰动了全世界的科学界。由法拉第开创、麦克斯韦总结的电磁理论,至此才取得决定性的胜利。

3. 无线电的启航(1889~1910年)

1896年,俄国科学家波波夫在彼得堡大学两幢相距250m的大楼之间表演了传递莫尔斯电码的无线电通信。此后,波波夫将无线电投入到了军事应用中。

1896年,意大利的马可尼在英国伦敦用电磁波进行了约14.4km距离的无线电通信实验。一年后,以其姓名命名的“马可尼无线电电报与信号有限公司”成立。

1900年,马可尼正式取得由线圈和可变电容组成的调谐回路专利权。1901年,马可尼完成了横跨大西洋3600km的无线电远距离通信。1909年,马可尼获得诺贝尔物理学奖。

4. 无线电大发展(1910~1950年)

1906年,美国的德福雷斯特发明了真空晶体管。晶体管是无线电通信器材的“心脏”,能放大微弱的无线电信号。

1912年,美国的阿姆斯特朗发明了超外差接收方式,它能使因无线电信号直接接收和放大而引起的一系列困难得到解决。从此以后,无线电广播事业出现一片兴旺的景象。

1914年,第一次世界大战爆发,无线电使得战地部队间能够快速地通信,从而加快战事移动速度,掌握主动权。

1920年8月,美国底特律建立一家试验性电台,播送州长竞选新闻,被称为首次广播新闻。

1920年11月,美国的康拉德建造了世界上第一座广播电台。此后,法国、英国、德国、意大利和日本相继在1921~1925年间成立了自己的广播电台。

1925年,英国的贝尔德展示了一种非常实用的电视装置,成为现代电视机的雏形。1939年美国诞生了第一台黑白电视机。

1935年,英国的瓦特发明了世界上第一部雷达。在第二次世界大战中,防空雷达起到了重要的作用。

1947年,美国的巴丁、肖克莱和拉克发明了半导体晶体管,这一成果立刻轰动了电子学界,巴丁等被称为电子技术革命的杰出代表。

5. 移动通信闪亮登场(1950~1980年)

20世纪70年代中期至80年代中期,是移动通信蓬勃发展时期。1978年底,美国贝尔实验室研制成功先进移动电话系统,建成了蜂窝状移动通信网,其他工业化国家也相继开发出蜂窝式公用移动通信网,无线电移动通信系统真正地进入了个人领域,具有代表性的有美国的AMPS系统、英国的TACS系统、北欧的NMT系统、日本的NAMTS系统等。

移动通信大发展主要归功于三方面的技术进展:首先,微电子技术在这一时期得到长足发展,这使得通信设备的小型化、微型化有了可能性;其次,贝尔实验室提出了蜂窝网的概念,蜂窝网即所谓小区制,由于实现了频率再用,大大提高了系统容量;再次是大规模集成电路、微处理器技术、计算机技术的迅猛发展,从而为大型通信网的管理与控制提供了技术手段。

6. 无线电数字化革命(1980~2010年)

以AMPS和TACS为代表的第一代蜂窝移动通信网是模拟系统。模拟式蜂窝电话迅速发展,同时也开始显现出它的缺点,特别是在人口密集的大城市,由于模拟式蜂窝电话采用的频分多址技术造成频率资源严重不足,同时,模拟式蜂窝电话易被窃听,造成对用户利益的危害。解决上述问题的方法是开发新一代数字蜂窝移动通信系统。

1982年,欧洲成立了移动通信特别组(GSM),之后制定出数字蜂窝移动通信系统,并用该研究小组名字的缩写“GSM”命名。GSM移动电话系统频谱利用率高、容量大,同时可以自动漫游和自动切换,具有通信质量好、业务种类多、易于加密、抗干扰能力强、用户设备小、成本低等优点,使移动通信进入了一个新的里程。当GSM技术推出不久,摩托罗拉公司也开发出一种更先进的CDMA数字蜂窝移动通信技术。

数字化无线电通信在其他领域也施展着自己的才华,如广播、交通及文化领域,无不因为数字革命带来的新空气而以前所未有的速度向前跨越。

7. 无线电技术在中国的应用

近年来,随着我国社会经济的持续增长,我国无线电事业得到了快速发展,无线电技术业务已经渗透到通信、广播、定位、遥测、遥控等国民经济的多个领域。目前国际电信联盟《无线电规则》划分的42种无线电业务在我国已得到了全面应用。

在公众通信领域,我国移动电话网络规模和用户规模均位居世界第一。移动通信发展对提升社会信息化水平、拉动国民经济发展发挥了重要作用。在广播领域,我国拥有先进的无线电声音广播和卫星电视播送网络。到目前为止,声音广播的国内覆盖率已占总人口的94%,电视广播的国内覆盖率已占总人口的95%。在空间通信和航天领域,我国是世界上少数拥有独立制造通信卫星、广播卫星、气象卫星、地球资源勘察卫星等不同应用系列航天

器能力的国家。除在地球范围通信外,我国的无线电技术能力还能够满足我国外空间高科技活动的需要,是我国航天技术的重要组成部分。此外,无线电技术在国防军事、渔业生产、水上交通、铁道运输、航空导航、气象预报、地震预报以及探测外空间天体的射电天文等专业部门都得到了普遍的应用,是我国国防建设的重要保障手段,为我国社会经济的持续发展提供了有效支撑。

复习思考题

- 1.1.1 请通过网络查询,谈谈我国无线电技术发展概况。
- 1.1.2 请举例说明无线电技术在工作及日常生活中的具体应用。

1.2 无线电信号的调制

1. 为什么要调制

变化的电场周围会产生变化的磁场,变化的磁场周围又产生变化的电场,如此循环往复,便使交变的电磁场由近及远地辐射传播出去,就像水池中的水波纹一样表现出波的特性,这就是电磁波。波峰之间的距离称为波长,单位时间内通过某一点的波峰数就称为频率。电磁波的传播速度为光速,频率在 3000GHz 以下的电磁波称为无线电波。

根据电磁波知识,信号波长 λ 与频率 f 的关系为

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (1-1)$$

式中, c 为光速($3 \times 10^8 \text{ m/s}$)。此式表明,波长与频率成反比。

由声音、文字及图像等转换成的电信号均属于低频信号,这些信号若要借助于天线以无线电波的形式来传输,则会由于信号的波长太长而难以实现。这是因为不管是信号的发射还是接收,只有当天线尺寸与信号波长相接近时,效果才好。所以,声音、文字及图像等转换成的电信号的无线传输,必须经过调制处理。调制可提高频率、缩短波长、便于发射;其次是用不同的载波频率将各路信号的频谱分开,以避免各路信号之间在同一信道传输中产生相互干扰。

2. 调幅、调频与调相

调制就是一个信号(如光、高频电磁波等)的某些参数(如振幅、频率、相位等)按照另一个欲传输的信号(如声音、图像等转换成的电信号)的特点变化的过程,即把要传送的信号“载”到高频振荡信号上去。

高频振荡信号就是携带信息的“运载”工具,所以称之为载波;而所要传送的信号就称为调制信号。按照被调制的高频振荡信号的参数不同,调制的方式也不同。设高频载波信号表示为 $u_c(t) = U_{cm} \cos(\omega_c t + \varphi)$,若用待传输的低频信号去控制高频载波的振幅 U_{cm} ,使其振幅随着低频信号的变化而变化,则称其为振幅调制(Amplitude Modulation),简称调幅,用 AM 表示,如图 1-1 所示;若用低频信号去改变高频信号的频率 ω_c ,使其频率随着低频信号的变化而变化,则称其为频率调制(Frequency Modulation),简称调频,用 FM 表示,如图 1-2 所示;若用低频信号去改变高频信号的相位 φ ,使其相位随着低频信号的变化而变化,则称其为相位调制(Phase Modulation),简称调相,用 PM 表示。

调制方式的选择是根据传输要求和各种调制的特点全面综合考虑的。例如:调幅制由于

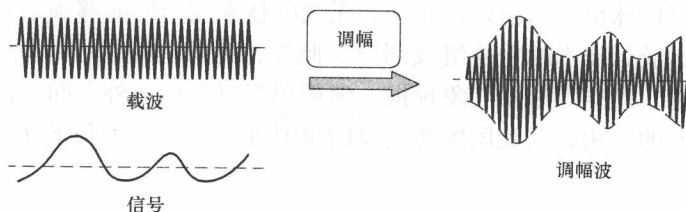


图 1-1 调幅过程

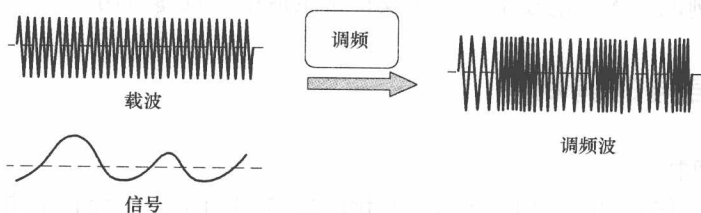


图 1-2 调频过程

其所需接收设备简单，因而适用于各种中、短波及超短波段的无线电广播，但其抗干扰能力差；调频制抗干扰能力强，但由于占用频带宽，因而适用于超短波波段，如电视伴音、移动通信等；调相则主要应用于数字通信或间接调频系统中。

解调是调制的逆过程，亦即把低频调制信号从高频已调制信号中还原出来的过程。调幅波的解调过程称为检波，调频波的解调过程称为鉴频，调相波的解调过程称为鉴相。

复习思考题

- 1.2.1 信号传输之前，为什么要经过调制处理？
- 1.2.2 何谓调幅、调频、调相、检波、鉴频和鉴相？

1.3 无线电信号的传输

1.3.1 信号传输系统

大多数信号传输系统框图如图 1-3 所示，它包括信号源、发送设备、传输信道、接收设备和终端设备。

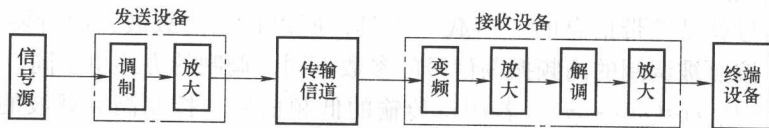


图 1-3 信号传输系统框图

信息可以是声音、文字及图像等。在传输之前，先要将声音、文字及图像等信息转换成电信号，这个电信号就是信号源。

发送设备主要有两大任务：一是将信号调制在高频载波上，以便通过天线或馈线高效率地、远距离地在传输信道中传送；二是对调制后的信号进行放大，以便输出功率足够的高频

调制信号。

传输信道是连接发送和接收两端的信号通道, 又称传输媒介。传输信道可分为两大类: 一类是有线信道, 即利用馈线来传输电信号; 另一类是无线信道, 即以无线电波(或光波)的形式来传输信号。

接收设备的任务是对信道传送过来的高频调制信号进行变频、放大和解调处理, 以恢复成与发送端相一致的原始电信号。由于信道中存在着许多干扰信号, 因而接收设备还必须具有从众多信号中选择有用信号、滤除干扰信号的能力。

终端设备将电信号转换成原来的信息, 如声音、文字及图像等, 供用户使用。常见终端设备有扬声器和显示屏等。

1.3.2 无线电波的波段划分

无线电波的波段划分见表 1-1。根据需要, 可以选择合适的波段进行通信、广播、电视、导航和探测等, 但不同波段电波的传播特性有很大差别。

表 1-1 无线电波的波段划分

波段名称		波长范围/m	频段名称	频率范围
超长波		100000 ~ 10000	甚低频(VLF)	3 ~ 30kHz
长波		10000 ~ 1000	低频(LF)	30 ~ 300kHz
中波		1000 ~ 100	中频(MF)	300 ~ 3000kHz
短波		100 ~ 10	高频(HF)	3 ~ 30MHz
超短波(米波)		10 ~ 1	甚高频(VHF)	30 ~ 300MHz
微波	分米波	1 ~ 0.1	特高频(UHF)	300 ~ 3000MHz
	厘米波	0.1 ~ 0.01	超高频(SHF)	3 ~ 30GHz
	毫米波	0.01 ~ 0.001	极高频(EHF)	30 ~ 300GHz

1.3.3 电波的主要传播方式

电波传播不依靠电线传播, 也不像声波那样, 必须依靠空气媒介传播, 有些电波能够在地球表面传播, 有些电波能够在空间直线传播, 也能够从大气层上空反射传播, 有些电波甚至能穿透大气层, 飞向遥远的宇宙空间。

任何一种无线电信号传播系统均由发射部分、接收部分和传输媒质三部分组成。传播无线电信号的媒质主要有地表和电离层等, 这些媒质的电特性对不同波段的无线电波的传播有着不同的影响。根据媒质及不同媒质分界面对电波传播产生的影响不同, 可将电波传播方式分成下列几种:

1. 地波传播

沿地球表面空间传播的无线电波叫做地波, 如图 1-4 所示。由于地面上有高低不平的山坡和房屋等障碍物, 只有能绕过这些障碍物的无线电波, 才能被各处的接收机收到。当波长大于或相当于障碍物的尺寸时, 就可以绕过障碍物到达它们的后面。地面上的障碍物尺寸一般不大, 长波可以相当容易地绕过它们, 中波和中短波也能较好地绕过去, 短波和微波由于

波长较短, 很难绕过它们。由于地球是一个大导体, 地球表面会因地波的传播引起感应电流, 因此地波在传播过程中要损失能量, 频率越高损失的能量也越多。地波传播特点是信号比较稳定, 主要适用于长波、中波段。

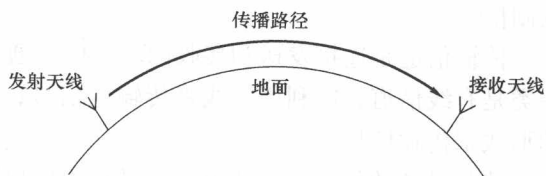


图 1-4 地波传播

2. 天波传播

声音碰到墙壁或高山就会反射回来形成回声, 光线射到镜面上也会反射。无线电波也能够反射。在大气层中, 从几十千米至几百千米的高空有几层“电离层”, 形成了一种天然的反射体, 就像一只悬空的金属盖, 电波射到“电离层”就会被反射回来, 走这一途径的电波就称为天波或反射波, 如图 1-5 所示。在电波中, 主要是短波具有这种特性。

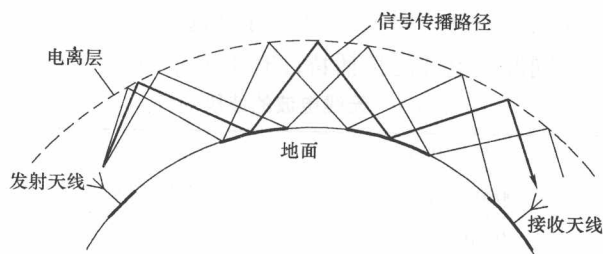


图 1-5 天波传播

大气层受到阳光照射, 就会产生电离。电离层一方面反射电波, 另一方面也要吸收电波。电离层对电波的反射和吸收与频率(波长)有关。频率越低, 吸收越多, 频率越高, 吸收越少, 但频率太高, 就不能反射了, 电波将穿越电离层。所以, 短波的天波可以用作远距离通信。此外, 反射和吸收与白天还是黑夜也有关。白天, 电离层可把中波几乎全部吸收掉, 收音机只能收听当地的电台, 而夜里却能收到远距离的中波电台。对于短波, 电离层吸收得较少, 所以短波收音机不论白天黑夜都能收到远距离的电台。不过, 电离层是变动的, 反射的天波时强时弱, 所以, 从收音机听到的声音忽大忽小, 并不稳定。

3. 空间波传播

电波直接从发射天线传到接收天线, 以直线传播的波就叫做空间波或直射波, 这种传播方式仅限于视线距离以内。目前广泛使用的超短波(微波)通信和卫星通信的电波传播均属于这种传播方式。

超短波的传播特性比较特殊, 它既不能绕射, 也不能被电离层反射, 而只能以直线传播, 如图 1-6 所示。由于空间波不会拐弯, 因此它的传播距离就受到限制。发射天线架得越高, 空间波传得越远。所以电视发射天线和电视接收天线应尽量架得高一些。尽管如此, 传播距离仍受到地球拱形表面的阻挡, 实际只有 50km 左右。

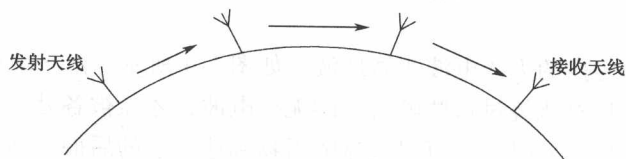


图 1-6 空间波传播

超短波(微波)不能被电离层反射,但它能穿透电离层,所以在地球的上空就无阻隔可言,这样,我们就可以利用空间波与遥远太空中的宇宙飞船、人造卫星等取得联系。此外,卫星中继通信、卫星电视转播等也主要是利用空间波作为传播途径。

复习思考题

1.3.1 短波广播信号为什么传输距离极远,但不稳定?

1.3.2 各城市中的电视台天线为什么架设得很高?

1.4 无线电信号的接收

1.4.1 直放接收方式

1. 最简单的接收方式

以调幅广播信号接收为例,最简单的调幅广播接收方式如图 1-7 所示,它主要由接收天线、输入电路、解调器及耳机组成。接收天线的作用是将无线电波转换成电信号;输入电路的作用是从众多广播电台信号中选择出一个需要收听的电台;解调器就是检波器,其作用是从调幅信号中解调出音频信号;耳机的作用是将音频信号转换成声波。

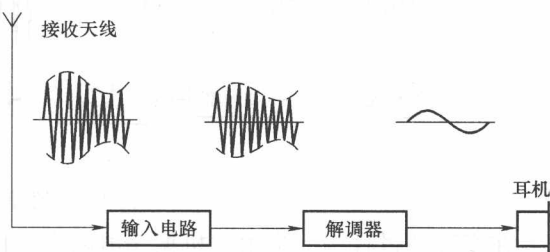


图 1-7 最简单的调幅广播接收方式

由于信号没有经过放大,所以只能采用耳机收听。

2. 直放接收方式

“直放”就是直接对所接收到的无线电高频信号进行放大。以调幅广播信号接收为例,直放式调幅广播接收如图 1-8 所示,它与图 1-7 的区别是增加了放大环节,包括高频放大与低频(音频)放大。高频信号在检波之前被直接放大,可提高检波效率;对检波后的音频信号再进行放大,可使信号幅度达到所需要收听的幅度。

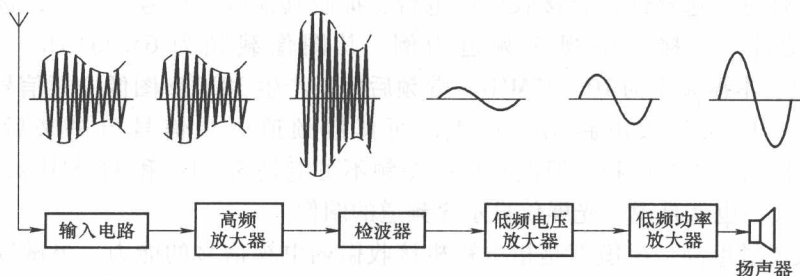


图 1-8 直放式调幅广播接收

直放式接收机虽然电路简单,但对不同载波频率的广播电台信号接收不均匀、灵敏度低、选择性差,已经被超外差接收方式所取代。

1.4.2 超外差接收方式

1912年,美国的阿姆斯特朗发明了超外差接收方式,它能使因无线电信号直接接收和放大而引起的一系列困难得到解决。利用超外差接收方法,能使接收机电路大大简化,接收机的性能与灵敏度也得到提高。从此以后,无线电广播事业出现一片兴旺的景象。

1. 超外差接收框图

无线电信号的接收通常采用超外差接收方式,超外差接收框图如图1-9所示。所谓超外差接收,就是将天线接收到的高频信号变换成中频信号,然后再放大到检波所需要的幅度,最后通过检波以获得低频信号。

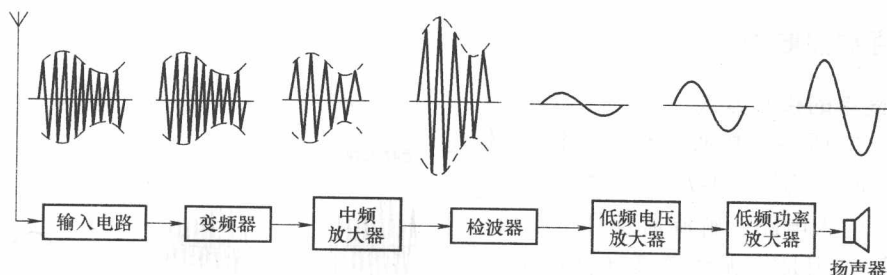


图 1-9 超外差接收框图

在变频的过程中,先由本机振荡电路产生比外来高频信号超出一个中频频率(电视机为38MHz,调幅收音机为465kHz,调频收音机为10.7MHz)的正弦波本振信号,然后将所接收的外来高频信号与本振信号送入混频器进行混频,混频后有差频(中频38MHz、465kHz、10.7MHz)、和频及其他频率成分产生,再利用中频放大电路选出所需要的中频信号进行放大。

2. 超外差接收的优点

(1) 接收均匀 我们知道,因为广播电台不同,载波频率也不同,则放大电路的增益也会有所不同。现在不管接收到什么广播电台信号,一律先变换成中频信号后再放大,显然各广播电台信号的增益几乎一致了。

(2) 选择性好 选择性是指接收所需电台、抑制其他电台信号的能力,选择性取决于电路的选频特性。以接收电视3频道为例,其图像载频为65.75MHz、伴音载频为72.25MHz,只要本振频率为103.75MHz,混频后便能产生38MHz图像中频信号及31.5MHz伴音中频信号,中频放大电路给予放大,而其他频道电视信号窜进来后,它也会与103.75MHz本振信号进行混频,但混频后的差频不可能是38MHz和31.5MHz,中频放大电路将不给予放大,也就是说荧光屏仅显示3频道的图像。

(3) 接收灵敏度高 灵敏度是指电视机接收微弱电视信号的能力,灵敏度取决于信号通道的增益。如果直接放大高频信号,因频率太高,电路增益难以设计得很高。变换成中频后,频率降低,容易将中频放大电路的增益设计得高一些,于是使接收灵敏度提高。

超外差接收原理不仅适用于收音机、电视机的无线电信号接收,也适用于微波通信、雷达等无线电技术的各个领域。超外差原理已成为现代无线电接收理论的基础,凡是涉及无线电信号接收的电子设备,都离不开超外差接收电路。阿姆斯特朗的这项重要发明,不仅推动

了无线电技术早期发展的进程,而且在无线电事业的征途上至今还闪现着它的技术光芒。

复习思考题

- 1.4.1 什么是超外差接收方式?
- 1.4.2 超外差接收方式有何优点?为什么?

习 题

1. 一个同学发出声音的频率约为 1.0kHz , 这样的声音通过中央人民广播电台第二套节目 720kHz 向外广播时, 发出的无线电波的波长是多少?

2. 要有效地发送低频电信号, 必须把低频电信号附加在高频载波上, 这个过程在电磁波的发射过程中叫做()。

- A. 调谐 B. 解调 C. 调制 D. 检波

3. 高频振荡信号就是携带信息的“运载”工具, 所以称之为_____, 而所要传送的信号就称为调制信号。若用待传输的低频信号去控制高频载波的振幅, 则称其为_____, 英文表示为_____; 若用低频信号去改变高频信号的频率, 则称其为_____, 英文表示为_____; 若用低频信号去改变高频信号的相位, 则称其为_____, 英文表示为_____。

4. 中波广播的载波频率范围是 $535 \sim 1605\text{kHz}$, 它主要依靠_____波传播; 短波广播的载波频率范围为 $6 \sim 12\text{MHz}$, 它主要依靠_____波传播; 调频广播的载波频率范围是 $87 \sim 108\text{MHz}$, 它主要依靠_____波传播; 电视广播的频率范围是 $48.5 \sim 958\text{MHz}$, 它主要依靠_____波传播。

5. 若中波收音机要接收 810kHz 的广播电台信号, 则收音机中的本机振荡频率应为_____ kHz ; 若调频收音机要接收 92.0MHz 的广播信号, 则收音机中的本机振荡频率应为_____ MHz ; 若电视机要接收图像载频为 200.25MHz 的电视信号, 则电视机中的本机振荡频率应为_____ MHz 。

6. 关于电磁波在真空中的传播, 下列说法中正确的是()。

- A. 频率越高, 传播速度越快
B. 波长越长, 传播速度越快
C. 电磁波的能量越大, 传播的速度越快
D. 频率、波长、能量都不影响电磁波的传播速度

第2章 无线电技术基础

2.1 信号的频谱

2.1.1 时域分析与频域分析

无线电通信所传输的信号通常是语音、图像、视频或数字信号，这些信号均为复杂的非正弦波信号，它很难用波形表示，此时我们需要知道它由哪些频率成分组成？即这些信号的频谱如何？这是很重要的。

1. 时域分析

分析信号的不同角度称为“域”。分析信号强度随时间的变化规律称为“时域分析”，时域分析是以时间轴为坐标表示动态信号的关系。

一般来说，时域的分析较为形象与直观。例如，用示波器观察电信号的幅度随时间变化的情况，我们可能想知道信号在哪个时刻达到最大值或最小值？它的幅度是多大？它从最小值到最大值的变化过程是不是很快？占用多少时间？这些都属于时域分析的问题。

时域分析通常用于分析简单的周期性信号(能用示波器观察)。

2. 频域分析

分析信号是由哪些频率的正弦波合成称为“频域分析”，频域分析是把信号变为以频率轴为坐标的形式表示出来。

频域分析通常用于分析复杂的非正弦波信号，数学工具是傅里叶级数，分析仪器是频谱分析仪。例如，用频谱分析仪观察一个音乐信号，看看它到底是由什么频率成分组成的。傅里叶理论告诉我们：任何一个时域信号都是由 n 个具有一定频率、幅度和相位的正弦信号叠加而成的。我们可以按照一定的比例，用 n 个正弦信号合成出一个复杂的信号。也可以利用滤波技术，将某些频率成分剔除掉，达到信号处理的目的。

时域分析与频域分析的区别如图 2-1 所示。

总之，时域和频域是两个不同的领域，两者互相联系，缺一不可，相辅相成。我们可以恰当地选择在哪个领域进行信号分析，有时在时域很难分析求解的问题，变换到频域就十分简单了。

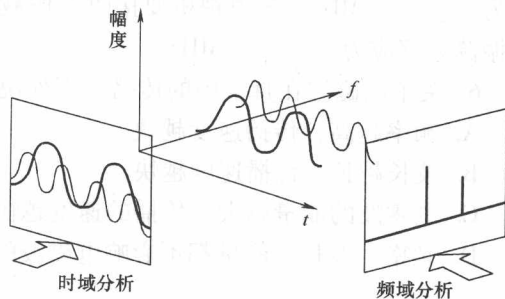


图 2-1 时域分析与频域分析的区别

2.1.2 音视频信号的频谱

1. 什么是信号的频谱

设有周期性信号 $f(t)$ ，周期为 T ，角频率为 $\Omega = 2\pi/T$ ，当其满足狄里赫利条件时， $f(t)$

分解成傅里叶级数为

$$\begin{aligned} f(t) &= a_0/2 + a_1 \cos \Omega t + a_2 \cos 2\Omega t + \cdots + b_1 \sin \Omega t + b_2 \sin 2\Omega t + \cdots \\ &= a_0/2 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos n\Omega t + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin n\Omega t \\ &= a_0/2 + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos(n\Omega t + \phi_n) \end{aligned} \quad (2-1)$$

式中, a_n 、 b_n 是傅里叶系数(计算可参阅数学书籍); $A_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2}$; $\phi_n = -\arctan(b_n/a_n)$ 。由式(2-1)可以看出, 任何一个时域信号都是由 n 个具有一定频率、幅度和相位的正弦波信号叠加而成。

若以频率为横坐标, 以各频率的正弦波的振幅为纵坐标, 则可以画出振幅频谱图, 简称频谱图。它可以直观地表示出信号由哪些频率分量组成, 以及各频率分量的振幅大小。

例如: 周期为 $T=2\pi$ 的方波波形如图 2-2a 所示, 其傅里叶级数可表示为

$$u = \frac{4}{\pi} \left(\sin t + \frac{1}{3} \sin 3t + \frac{1}{5} \sin 5t + \frac{1}{7} \sin 7t + \frac{1}{9} \sin 9t + \cdots \right)$$

此方波所对应的频谱是离散型的, 如图 2-2b 所示。通常称 $\omega=1$ 的正弦波为基波, $\omega=3$ 的正弦波为 3 次谐波, $\omega=5$ 的正弦波为 5 次谐波, ……。谐波次数越高, 幅度越小。

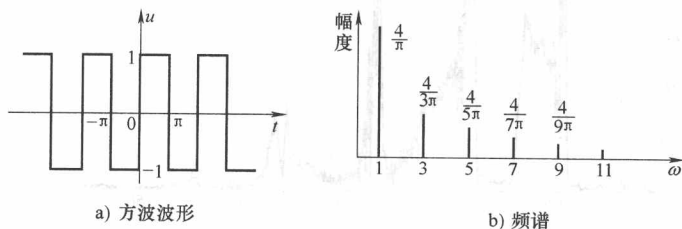


图 2-2 方波波形与频谱

2. 音频信号的频谱

人耳可以听到的声波频率范围是 20Hz ~ 20kHz, 这一频率范围又称为音频(AUDIO)频率(频谱)范围。20Hz 以下的声波称为次声波, 20kHz 以上的声波称为超声波, 对于次声波和超声波, 人耳都听不见。声音可以是单频率的纯音, 但绝大多数声音都是由多个频率成分组成的复音, 如语言、音乐都是复音。

通常又将 20Hz ~ 20kHz 范围的音频信号划分为高音频段(6 ~ 20kHz)、中高音频段(600Hz ~ 6kHz)、中低音频段(200 ~ 600Hz)及低音频段(20 ~ 200Hz)。

以图 2-3 所示的女声英文 a 的时域波形为例, 其对应的频谱如图 2-4 所示。

3. 视频信号的频谱

视频信号(VIDEO)又称图像信号, 视频信号的频率(频谱)范围与人眼对图像细节的分辨率有关, 频率范围通常为 0 ~ 6MHz。视频信号的高频成分代表图像的轮廓与细节, 视频信号的低频成分代表图像的大面积部分。

复习思考题

- 2.1.1 什么是信号的时域分析法? 什么是信号的频域分析法?
- 2.1.2 什么是信号的频谱? 音视频信号的频谱如何?