

高等学校电子信息学科“十三五”规划教材·电子通信类

通信电子线路

主编 程知群 陈 瑾



学习资源



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

信息学科“十三五”规划教材·电子通信类

通信电子线路

主 编 程知群 陈 瑾
副主编 林 弥 周 涛 刘国华
董志华 柯华杰

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书主要介绍无线射频通信系统和功能模块中各电路的基本工作原理及分析方法。全书共6章,主要内容包括通信电子线路基本知识简介,射频放大器,正弦波振荡器,振幅调制、解调与混频,角度调制与解调,锁相环原理及应用。为便于学生加深学习,每章均配有相应的习题。

本书既重视理论的系统性与严密性,又注重内容的先进性与实用性。本书配有PPT课件、学习指导视频等。本书可作为高等院校电子信息工程类和通信工程专业本科生教材,也可供从事电子科学技术、通信及自动化等方面工作的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

通信电子线路/程知群,陈瑾主编. —西安:西安电子科技大学出版社,2019.1
ISBN 978-7-5606-5042-5

I. ①通… II. ①程… ②陈… III. ①通信系统—电子电路 IV. ①TN91

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 199481 号

策划编辑 陈 婷 马乐惠

责任编辑 许青青 陈 婷

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 陕西利达印务有限责任公司

版 次 2019年1月第1版 2019年1月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 11.75

字 数 274千字

印 数 1~3000册

定 价 28.00元

ISBN 978-7-5606-5042-5/TN

XDUP 5344001-1

*** 如有印装问题可调换 ***

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

前 言

“通信电子线路”是电子信息类专业的核心课程之一。本课程的主要目的是帮助学生掌握通信系统中各基本功能电路的组成、原理、性能和分析方法。与理论课程配套的实验课程可作为独立课程开设，目的是在学生学习了理论课程的基本原理和电路分析方法的基础上，训练学生电路设计、制作和测试的基本技能，加强学生进行电路调试和分析的能力。通过将理论课程和实验课程相结合，可为学生奠定坚实的理论基础，锻炼其良好的动手能力。本书主要介绍无线射频通信系统和功能模块中各电路的基本工作原理及分析方法，并未涵盖无线通信系统中的方方面面，力求主题相对集中，注重细节分析，并提供了详细的数学推导、更多的应用案例等。本书内容适合本科高年级学生在一个学期(16周，每周4课时)完成。章与章之间衔接合理，循序渐进，便于学生学习。

本书主要内容包括：

第1章为通信电子线路基本知识简介，主要介绍了通信电子线路的接收和发射单元的基本组成及工作原理、LC谐振回路的工作原理(如谐振条件、谐振特性、谐振曲线)以及非线性器件的特性和分析方法等。

第2章为射频放大器，主要介绍和分析了小信号调谐放大器和射频功率放大器的电路组成、工作原理、性能指标计算、动态特性及工作状态等。

第3章为正弦波振荡器，主要介绍了几种典型的高频正弦波振荡器，并对LC反馈型振荡器、石英晶体振荡器、负阻振荡器和压控振荡器的电路组成、工作原理、性能指标及优缺点等进行了分析。

第4章为振幅调制、解调与混频，主要介绍了振幅调制、解调与混频的基本概念及电路实现，并对相应的典型电路的组成、工作原理、性能特点及技术指标等进行了分析。

第5章为角度调制与解调，主要介绍了调频波、调相波的产生与解调，对典型的调频、调相电路及鉴频、鉴相电路的组成、工作原理、性能特点及技术指标等进行了分析。

第6章为锁相环原理及应用，主要介绍和分析了现代通信电路中相位锁定电路的组成、工作原理、数学模型以及应用等。

本书由杭州电子科技大学电子信息学院“通信电子线路”课程小组编写。

由于时间仓促，书中欠妥之处在所难免，敬请读者批评指正。

作者

2018年10月

于杭州电子科技大学

目 录

第 1 章 通信电子线路基本知识简介	1
1.1 通信系统简介	1
1.1.1 通信系统的组成原理	1
1.1.2 通信系统的分类	2
1.2 无线通信系统的基本组成	3
1.2.1 发射装置	3
1.2.2 信道	4
1.2.3 接收装置	6
1.3 无线通信频段的划分	7
1.4 选频电路	9
1.5 LC 谐振回路	10
1.5.1 LC 并联谐振回路的基本特性	10
1.5.2 LC 串联谐振回路的基本特性	15
1.6 固体滤波器	19
1.6.1 石英晶体滤波器	19
1.6.2 陶瓷滤波器	20
1.6.3 声表面波滤波器	21
1.7 阻抗变换网络	23
1.8 LC 选频匹配网络	25
1.8.1 阻抗电路的串并联等效转换	26
1.8.2 L 型选频匹配网络	27
1.8.3 T 型选频匹配网络	29
1.8.4 π 型选频匹配网络	30
1.9 非线性器件的基本特点	31
1.9.1 概述	31
1.9.2 非线性器件的特性	32
1.9.3 非线性器件的频率变换作用	33
1.10 课程主要内容安排	41
本章小结	41
习题	41

第 2 章 射频放大器	44
2.1 射频放大器简介	44
2.2 小信号调谐放大器	44
2.2.1 晶体管模型	45
2.2.2 小信号放大器的性能	48
2.2.3 小信号调谐放大器	49
2.2.4 小信号放大器的稳定性	54
2.2.5 低噪声可变增益宽带放大器	54
2.3 射频功率放大器	56
2.3.1 射频功率放大器的性能指标	57
2.3.2 功率放大器的分类	58
2.3.3 周期性余弦脉冲分析	60
2.3.4 射频调谐 C 类功率放大器	62
2.3.5 偏置电路	69
本章小结	70
习题	71
第 3 章 正弦波振荡器	72
3.1 概述	72
3.2 反馈型振荡器的工作原理	72
3.2.1 振荡器的基本原理分析	72
3.2.2 反馈型振荡器的振荡条件	73
3.3 LC 反馈型振荡器	76
3.3.1 反馈型 LC 振荡器的组成原理	77
3.3.2 电容反馈型 LC 振荡器(考必兹电路)	78
3.3.3 电感反馈型 LC 振荡器(哈特莱电路)	79
3.4 改进型电容反馈式振荡器	81
3.4.1 串联改进型电容反馈式振荡器(克拉泼电路)	82
3.4.2 并联改进型电容反馈式振荡器(西勒电路)	84
3.5 振荡器的频率稳定度	85
3.5.1 频率稳定性的定性分析	86
3.5.2 导致频率不稳定的因素	86
3.5.3 稳频措施	87
3.6 石英晶体振荡器	88
3.6.1 石英晶体的等效电路和电特性	88
3.6.2 石英晶体振荡器电路	91
3.7 负阻振荡器	96
3.7.1 负阻器件的基本特性	96

3.7.2 负阻振荡电路	97
3.8 压控振荡器	99
3.8.1 变容二极管	99
3.8.2 变容二极管压控振荡器	100
3.8.3 射频 CMOS 压控振荡器	101
本章小结	102
习题	102
第 4 章 振幅调制、解调与混频	107
4.1 概述	107
4.2 调幅信号分析	108
4.2.1 标准(或普通)调幅波(AM 波)	108
4.2.2 抑制载波的双边带调幅波(DSB 波)	112
4.2.3 抑制载波的单边带调幅波(SSB 波)	113
4.3 振幅调制电路	114
4.3.1 高电平调幅电路	114
4.3.2 低电平调幅电路	116
4.4 振幅解调电路	119
4.4.1 二极管大信号峰值包络检波电路	119
4.4.2 同步检波电路	125
4.5 混频器	127
4.5.1 混频器的基本原理	127
4.5.2 混频器的主要技术指标	129
4.5.3 混频电路	130
4.5.4 混频干扰及其抑制方法	133
本章小结	136
习题	137
第 5 章 角度调制与解调	139
5.1 概述	139
5.2 角度调制波的性质	140
5.2.1 瞬时频率和瞬时相位	140
5.2.2 FM 波和 PM 波的数学表达式	140
5.2.3 FM 波、PM 波的频谱和带宽	142
5.3 调频信号的产生	144
5.3.1 调频方法	144
5.3.2 FM 电路的性能标准	145
5.4 FM 电路	145
5.4.1 变容二极管在 LC 振荡器中实现直接调频	145

5.4.2	变容二极管在石英晶体振荡器中实现直接调频	148
5.4.3	间接调频电路	149
5.5	调频信号的解调	152
5.5.1	鉴频方法和电路模型	153
5.5.2	鉴频器的性能指标	154
5.5.3	斜率鉴频器	154
5.5.4	相位鉴频器	156
5.5.5	比例鉴频器	162
5.5.6	脉冲计数式鉴频器	164
5.6	限幅器	166
5.6.1	限幅器简介	166
5.6.2	二极管限幅器	166
5.6.3	三极管限幅器	167
5.7	不同调制方式的比较	167
5.8	基于数字集成芯片的低功耗 FM 接收机系统	168
	本章小结	170
	习题	170
第 6 章	锁相环原理及应用	173
6.1	锁相环简介	173
6.2	锁相环的基本组成和工作原理	173
6.3	锁相环的线性数学模型	174
6.3.1	鉴相器的数学模型	174
6.3.2	环路滤波器的数学模型	175
6.3.3	压控振荡器(VCO)的数学模型	176
6.3.4	锁相环的完整数学模型	177
6.4	锁相环的应用	177
6.4.1	频率合成器	178
6.4.2	锁相鉴频器	179
6.4.3	时钟产生器	179
	本章小结	179
	习题	179
	参考文献	180

第1章 通信电子线路基本知识简介

1.1 通信系统简介

通信指的是将信息从发送端传送到接收端的过程。实现信息传递所需的一切技术设备和传输媒质的总和叫作通信系统。实现通信的方式有很多,人类通信的历史可以追溯到远古时代,信标、烽火、驿站等可能是最原始的通信方式。经过几千年的延续,1600年至1750年电磁现象的研究为通信奠定了理论基础。一直到1837年美国莫尔斯发明人工电报装置后,才开始近代电通信的实用阶段。由于电通信准确、迅速、可靠,又不受时间、地点、距离的限制,因而当前的通信越来越依赖利用“电”来传递消息的电通信方式。

1.1.1 通信系统的组成原理

现代通信大多以电压、电流、电磁波或者光信号的形式出现。本书中的通信均指电通信。通信系统的一般模型如图1.1所示。

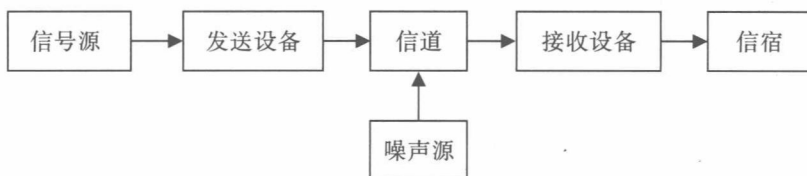


图 1.1 通信系统的一般模型

信号源也称发送端,指的是发出信息的源头,其作用是把各种待传输消息转换成原始电信号,如电话机就可看成信号源。信号源可分为模拟信号源和数字信号源。输出连续幅度信号的为模拟信号源,如电话机、电视机、摄像机等;输出离散数字信号的为数字信号源,如计算机等数字终端设备。信号源输出的信号称为基带信号或者调制信号。所谓基带信号(或者调制信号),指的是没有经过调制的原始电信号,其特点是信号频谱从零频附近开始,通常为低频信号。相应地,基带信号可分为数字基带信号和模拟基带信号。

发送设备是将信号源和信道匹配起来,对基带信号进行各种变换和处理,使基带信号适合在信道中传输的一种变换装置。因为声音、文字、图像等原始消息都是非电信号,不能以电信号的形式来传输,所以必须通过发送设备先将原始的非电信号转换成电信号,再对电信号进行进一步变换,使其变换成适合在信道中传输的电信号的形式。变换方式是多种多样的,在需要频谱搬移或者频谱变换的场合,调制是最常见的变换方式。例如,手机的话筒就是将语音信号变换成幅度连续变化的模拟电信号,再进一步转换后送到信道上。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模块。

信道是指信号传输的通道,既给信号传输提供通路,又对信号产生各种干扰和噪声。

传输媒质的固有特性和干扰会直接关系到通信的质量。信道可以是有线的，也可以是无线的，甚至可以包含某些设备。有线信道和无线信道均有多种传输媒质。有线信道包括电缆、光缆等。无线信道可以是地球表面、水下、地底等自由空间。在无线模拟通信系统中，信道指自由空间。

噪声源是信道中所有噪声以及分散在通信系统中其他各处噪声的集合。

接收设备的功能与发送设备相反，即进行解调、解码等。它的任务是从带有干扰的接收信号中恢复出发送设备中输入的原始电信号，例如电话机将对方传来的电信号还原成了声音。由于信号在传输和恢复的过程中存在着干扰和失真，因此接收设备要尽量减少这种失真。对于多路复用信号，接收设备还具有解除多路复用和实现正确分路的功能。

信宿是传输信息的接收者，与信号源相对应，其作用是将复原的原始信号转换成相应的消息。

1.1.2 通信系统的分类

通信系统可以划分成不同类型，虽然系统组成和设备不大相同，但工作原理都是相似的。

(1) 按照传输信道的类型不同，通信系统可以分为有线通信系统和无线通信系统两大类。有线通信系统是指传输信道为架空明线、电缆、光缆、波导等形式的通信系统，其特点是信道能看得见、摸得着。无线通信系统是指传输消息的信道为电磁波的一种通信系统。无线通信系统包括微波通信系统、短波通信系统、移动通信系统、卫星通信系统、散射通信系统和激光通信系统等。

(2) 按信道传输的信号类型不同，通信系统可以分为模拟通信系统和数字通信系统。

(3) 按调制方式不同，通信系统可以分为基带传输通信系统和频带(调制)传输通信系统。基带传输通信系统将没有经过调制的信号直接传送；频带传输通信系统对各种信号调制后再送到信道中传输。

(4) 按通信方式或者信号传输的方向不同，通信系统可以分为单工通信系统、半双工通信系统和全双工通信系统三大类。单工通信系统是指消息只能单方向进行传输的通信系统。例如，广播、遥控、电视等，信号(消息)只从广播发射台、遥控器和电视台分别传到收音机、遥控对象和电视机上。半双工通信系统是指通信双方都能收发消息，但不能同时进行收和发的通信系统。对讲机、收发报机等都是半双工通信系统。全双工通信系统是指通信双方可同时进行双向传输消息的通信系统。电话机、手机等都是全双工通信系统。

(5) 按通信者是否运动，通信系统可以分为移动通信系统和固定通信系统。移动通信系统是指通信双方至少有一方在运动中进行信息交换的通信系统。固定通信系统是指通信双方都在静止不动中进行信息交换的通信系统。

(6) 按传输信息的物理特征不同，通信系统可以分为电话通信系统、电报通信系统、传真通信系统、广播电视通信系统、数据通信系统等。

(7) 按通信设备的工作频率不同，通信系统可分为长波通信系统、中波通信系统、短波通信系统、微波通信系统等。

另外，通信系统还有其他分类方法，如按多地址方式可分为频分多址通信系统、时分

多址通信系统、码分多址通信系统等,按用户类型可分为公用通信系统和专用通信系统,按通信对象的位置可分为地面通信系统、对空通信系统、深空通信系统、水下通信系统等。

本节将以无线模拟通信系统为重点进行分析。

1.2 无线通信系统的基本组成

通信电子线路是指通信系统中的电子线路,本书主要讨论用于无线通信系统的电子线路。无线通信系统主要由发射装置、信道、接收装置三部分组成。

1.2.1 发射装置

发射装置主要由发射机、换能器和天线三部分组成,其组成框图如图 1.2 所示。

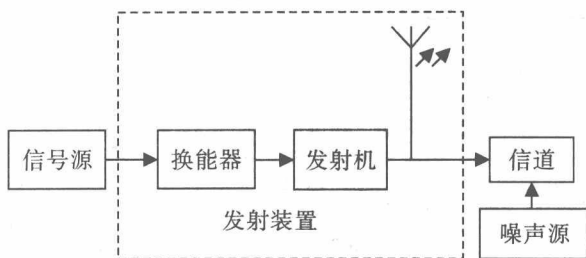


图 1.2 发射装置组成框图

发射装置的核心就是发射机。发射机主要完成调制、功率放大等功能。其主要性能指标有调制信号的频谱宽度、发射机的工作频率、发射机的输出功率、发射机的工作效率、频率稳定度、杂散发射、带外噪声、带内杂散等。

换能器用于将非电的原始信息转换为电信号。这个电信号通常具有“低通型”频谱结构,是一个低频信号,故叫作调制信号或者基带信号。但这个信号并不能通过天线直接发射出去。信号若想直接以电磁波的形式从天线辐射出去,就必须使天线尺寸与信号波长可以相比拟,这时信号才能被天线有效辐射。以语音信号为例,其频率范围分布为 300~3400 Hz,无线电波在空间中传播的速度 v 为 3×10^8 m/s,语音信号的波长:

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad (1.1)$$

由此可得天线的尺寸将达到几百千米,这是无法制造的尺寸,只有将信号的频率增大,天线尺寸才能下降。这一问题只有通过调制才能解决。所谓调制,指的是用调制信号(基带信号)去控制高频载波信号的某一个参数,该参数可以是幅度,也可以是频率或者相位,使得该参数按照调制信号(基带信号)的变化规律而变化。经过调制后的高频信号称为已调信号。若受控的参数是幅度,则这种调制方式称为振幅调制;若受控的参数是频率,则这种调制方式称为频率调制;若受控的参数是相位,则这种调制方式称为相位调制。

通过调制,将携带有用信息的调制信号频谱搬移到频率较高的载波信号频率附近,可以显著减小天线的尺寸。如果天线尺寸为辐射信号波长的 $1/4$,则更便于发挥天线的辐射能力。因此,民用广播的频段为 535~1605 kHz(中频段),对应波长为 187~560 m,天线长度为几十米到上百米;而移动通信手机的天线长度不到 10 cm,它使用了 900 MHz 频段。这

些广播与移动通信都必须采用某种调制方式将语音或编码基带频谱搬移到应用频段。此外,调制还能将不同电台发送的信息分配到不同频率的载波信号上,使接收机可选择特定电台的信息而抑制其他电台发送的信息和各种干扰。



调幅发射系统

以无线电中波广播调幅发射系统为例,它主要包括三个组成部分:高频部分、低频部分和电源部分,其组成框图及每一级的波形如图 1.3 所示。

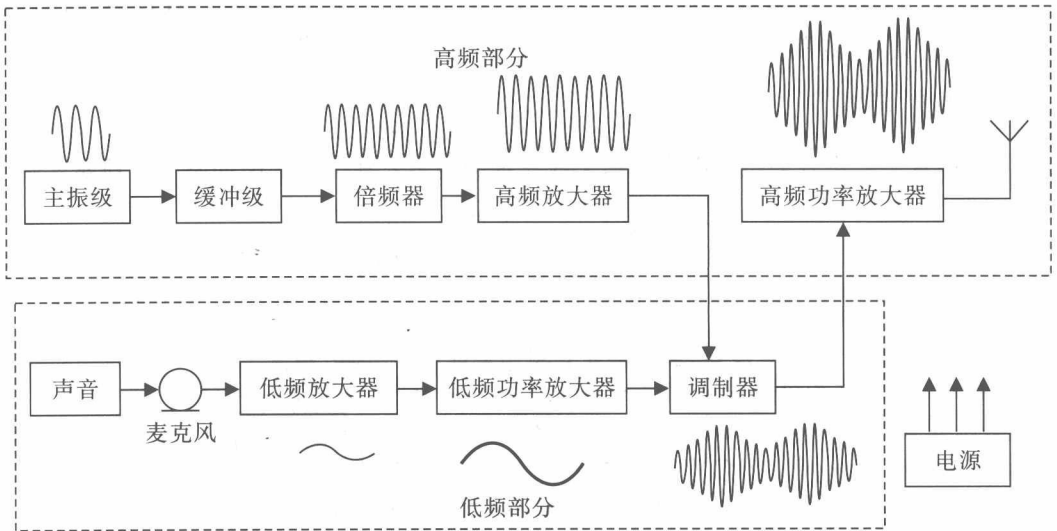


图 1.3 无线电中波广播调幅发射系统的组成框图

高频部分通常由主振级、缓冲级、倍频器、高频放大器、高频功率放大器组成。

- (1) 主振级。主振级产生频率为 f_{osc} 的高频振荡信号,频率一般为几十千赫兹以上。
- (2) 缓冲级。缓冲级一般为放大器,用于减弱后级对主振级的影响。
- (3) 倍频器。倍频器由一级或多级带谐振回路的谐振放大器(包括倍频器)构成,用于放大振荡信号,使频率倍增至载波频率 f_c 。
- (4) 高频放大器。高频放大器用来提供足够大的载波功率。
- (5) 高频功率放大器。高频功率放大器又称受调放大器,用来提供功率足够的已调信号,使末级功放的输出功率达到所需的发射功率,再经天线辐射出去。

低频部分包括低频放大器、低频功率放大器和调制器。

- (1) 低频放大器。低频放大器由多级小信号放大器组成,用于放大从话筒采集进来的电信号。
- (2) 低频功率放大器。低频功率放大器用于将低频调制信号进一步放大到调制所需的功率。
- (3) 调制器。调制器用于实现调幅功能,将输入的载波信号和调制信号变换为所需的调幅信号,并送到末级高频功率放大器进行放大后加到天线上。

1.2.2 信道

从天线辐射出来的电磁波将沿着信道传播,不同频率有着不同的传播方式。电磁波从

发射到接收的途径大体分为三种：靠地面传播的，称为地波；靠地球上空电离层反射到地面采用单跳或多跳方式传播的，称为天波；靠空间两点间直线传播的，称为空间波。

1. 地波

地波是无线电波沿地球表面传播的传播模式，如图 1.4(a)所示。地波的传播比较稳定，不受昼夜变化的影响，而且能够沿着弯曲的地球表面到达地平线以外的地方。但这种传播方式容易产生趋肤效应。所谓趋肤效应(Skin Effect)，是指当导体中有交流电或者交变电磁场时，导体内部的电流分布不均匀，电流集中在导体的“皮肤”部分。也就是说，电流集中在导体外表的薄层部分，越靠近导体表面，电流密度越大，导线内部实际的电流越小。趋肤效应会使导体的电阻增加，使其损耗功率也增加。地球是个良导体，地球表面会因地波的传播引起感应电流，产生趋肤效应，且频率越高，趋肤效应越大，损失的能量越多。因此地波适于波长在 200 m 以上或者频率在 1500 kHz 以下的中长波和中波，中波和中长波的传播距离不大，一般在几百千米范围内。收音机在这两个波段一般只能收听到本地或邻近省市的电台，如民用广播为 535~1605 kHz 频段(每 10 kHz 一个节目)。

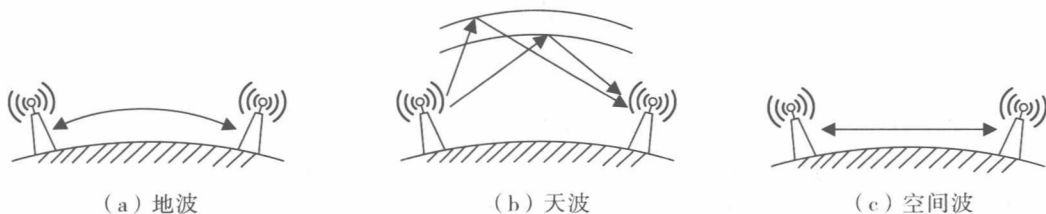


图 1.4 无线电波传播方式

2. 天波

在地面上空 50 千米到几百千米的范围内，大气中一部分气体分子由于受到太阳光的照射而丢失电子，发生电离，产生带正电的离子和自由电子，这一范围内的大气层就叫作电离层。依靠电离层的反射来传播的无线电波叫作天波，如图 1.4(b)所示。波长为 10~200 m 或者频率为 1500 kHz~30 MHz 的信号短波(高频段)适用于天波传播。波长短于 10 m 的微波会穿过电离层，波长超过 3000 m 的长波几乎会被电离层全部吸收。对于中波、中短波、短波这些信号，波长越短，电离层对它吸收得越少，而反射得越多。因此，短波最适宜以天波的形式传播，它可以被电离层反射到几千千米以外。但是，电离层是不稳定的，电离层会对反射的电磁波进行吸收，使其衰减，电离浓度越大，则损耗越大，而这种因电离层随机变化导致的电磁波起伏衰减就是衰落现象。白天受阳光照射时电离程度高，夜晚电离程度低，因此夜间电离层对中波和中短波的吸收减弱，这时中波和中短波也能以天波的形式传播。收音机在夜晚能够收听到许多远距离的中波或中短波电台，就是这个缘故。

3. 空间波

波长在 10 m 以下或频率在 30 MHz 以上的超短波通常被称为微波。微波和超短波既不能以地波的形式传播，也不能依靠电离层的反射以天波的形式传播，它们是沿直线传播的，这种沿直线传播的电磁波叫作空间波，如图 1.4(c)所示。直线的传播方式受大气的干扰小，能量损耗少，所以收到的信号较强且比较稳定。电视、雷达采用的都是微波。但由

于地球表面是球形的,而微波需要沿直线传播,因此虽然发射天线和接收天线都建得很高,但最多也只能达到几十千米。为了增大传播距离,在进行远距离通信时,要设立中继站,由某地发射出去的微波,被中继站接收,进行放大,再传向下一站。这就像接力赛跑一样,一站传一站,把电信号传播到远方。例如,用同步通信卫星传送微波时,同步通信卫星就静止在赤道上空 36 000 km 的高空中,用它来作中继站,可以使无线电信号跨越大陆和海洋。

1.2.3 接收装置

接收装置主要包括接收天线、接收机和换能器三部分,其组成框图如图 1.5 所示。



接收设备

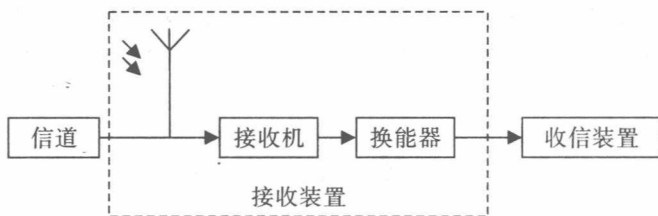


图 1.5 接收装置组成框图

接收是发射的逆过程。由于电磁波经过长距离的传输,能量已经产生很大的损耗,且空间中有其他电台的发射信号、各种工业设备辐射的电磁波、大气层和宇宙固有的电磁干扰等,因此对接收装置的要求是能从众多电磁波中选出有用的微弱信号。

接收天线用于将空间接收到的电磁波转换为高频电振荡。

接收机用于将接收天线感应到的微弱高频电振荡转换为电信号并进行有选择性的放大,恢复其中的有用信号,这个过程叫作解调。所谓解调,是从已调信号中恢复出调制信号(基带信号)的过程,是调制的逆过程。对应于不同的调制方式,解调也分为三种:对调幅波的解调用作幅度检波;对调频波的解调用作频率检波,又称为鉴频;对调相波的解调用作相位检波,又称为鉴相。

换能器用于将接收到的电信号还原成原始信息。

接收机主要有超外差式(Super Heterodyne)、镜频抑制式、直接变换式、零中频式和数字中频式等。目前,无线电接收设备基本上都采用超外差式,它能克服其他接收机波段性差、高频小信号调谐放大器级数受限等缺点,从而得到了广泛的应用。所谓超外差式,是指利用本地产生的振荡波与输入信号混频,将输入信号频率变换为某个预先确定的频率。超外差式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。虽然超外差式接收机电路比较复杂,也存在着诸如组合频率干扰、副波道干扰、交调干扰等现象,但这种接收机的性能优于高频(直接)放大式接收机,容易得到足够大且比较稳定的放大量,具有较高的选择性和较好的频率特性,方便调整,所以至今仍广泛应用于远程信号的接收,并且已推广应用到测量技术等方面。

以采用调幅方式的无线电广播超外差式接收系统为例,从天线接收到的频率为 f_c 的微弱信号,先经过一级或者几级高频小信号放大,再送到混频器与本地振荡器所产生的频率

为 f_L 的本振信号相混合, 输出频率为 f_1 、包络形状不变的调幅信号。 f_1 叫作中频频率, 是 f_L 与 f_c 两个频率之差或者之和。中频信号再经过中频放大器放大, 送入检波器, 检波后得到低频调制信号, 最后经低频放大器放大幅度, 送到扬声器转变为声音信号。这种接收系统的组成框图及每一级的波形如图 1.6 所示。



超外差接收机

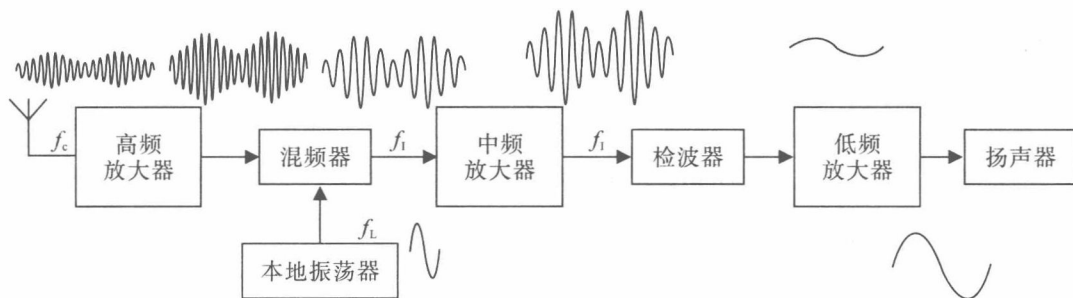


图 1.6 采用调幅方式的无线电广播超外差式接收系统的组成框图

图 1.6 中:

(1) 高频放大器。高频放大器由一级或多级小信号谐振放大器组成, 用于放大从天线上接收到的微弱信号, 同时还有选频和滤波的作用, 通常以 LC 谐振回路作为负载完成选频作用。高频放大器的谐振频率与载波频率 f_c 相同。

(2) 本地振荡器。本地振荡器用来产生本振信号, 其频率为 f_L 。 f_L 可调, 且能跟踪 f_c 。

(3) 混频器。混频器是超外差式接收机的核心, 有两个输入信号, 分别是频率为 f_c 的高频已调信号与频率为 f_L 的本地振荡信号。通过混频器, 将接收到的不同频率的高频已调信号变换为频率固定为 f_1 的中频信号, 这就是所谓的外差作用。当输入信号频率变化时, 本地振荡器的频率也相应地改变, 以保持中频固定不变。 f_1 的表达式如下:

$$f_1 = |f_L - f_c| \quad (1.2)$$

我国调幅广播的中频 $f_1 = 465 \text{ kHz}$, 调频广播的中频 $f_1 = 10.7 \text{ MHz}$, 电视图像的中频 $f_1 = 38 \text{ MHz}$, 微波接收机、卫星接收机的中频 $f_1 = 70 \text{ MHz}$ 或者 140 MHz 。

(4) 中频放大器。中频放大器由谐振小信号放大器组成。由于中频是固定的, 因此中频放大器的选择性和增益均与接收的载波频率无关。

(5) 检波器。检波器实现解调功能, 将中频调幅波转换成低频的调制信号。

(6) 低频放大器。低频放大器由低频小信号放大器和低频功率放大器组成, 用于放大解调信号, 同时向扬声器提供所需的功率。

1.3 无线通信频段的划分

在通信领域, 频段指的是电磁波的频率范围, 单位为 Hz 。无线通信中使用的频段只是电磁波频段中很小的一部分, 定义了无线电波的频率范围。无线电波按波长的不同可划分为超长波、长波、中波、短波、超短波(米波)和微波(包括分米波、厘米波、毫米波)等, 按频率的不同可划分为甚低频、低频、中频、高频、甚高频、特高频、超高频和极高频等频段。

全部无线通信均通过自由空间传播, 为了合理使用频谱资源, 保证各个行业的不同业

务使用频谱资源时彼此之间不会干扰,国际电信联盟无线委员会(ITU-R)颁布了国际无线电规则,对各种业务和通信系统所使用的无线频段都进行了统一的频率范围规定。这些频段的频率范围在各个国家和地区实际应用时会略有不同,但都必须在国际上规定的这些范围内。国际无线电规则将现有的无线电通信共分成航空通信、航海通信、陆地通信、卫星通信、广播、电视、无线电导航、定位以及遥测、遥控、空间探索等 50 多种不同的业务,并对每种业务都规定了一定的频段。我国常用的频段如下:

中波调幅广播(AM): 535~1605 kHz。

短波调幅广播(AM): 2~30 MHz。

调频广播(FM): 88~108 MHz。

电视频道(TV): 50~100 MHz(第 1~5 频道), 170~220 MHz(第 6~12 频道), 470~870 MHz(第 13 以上频道)。

卫星直播电视(SDTV): 4~6 GHz, 12~14 GHz。

卫星直播广播(SDB): 12~14 GHz。

全球卫星定位系统(GPS): $L_1=1575.42$ MHz, $L_2=1227.60$ MHz。

表 1.1 列出了无线电频段划分及主要应用。

表 1.1 无线电频(波)段划分

波段名称	频段名称	波长范围	频率范围	主要用途
超长波(甚低频)	VLF	100~10 km	3~30 kHz	音频、电话、数据终端、长距离导航、时标
长波(低频)	LF	10~1 km	30~300 kHz	电力线通信、海上导航、信标
中波(中频)	MF	1000~100 m	300 kHz~3 MHz	AM 广播、业余无线电、移动陆地通信
短波(高频)	HF	100~10 m	3~30 MHz	短波广播、业余无线电、移动无线电话、定点军用通信
超短波(甚高频)	VHF	10~1 m	30~300 MHz	FM 广播、电视、导航、移动通信、空中管制、车辆通信、无线寻呼
分米波(特高频)	UHF	1~0.1 m	300~3000 MHz	电视、空间遥测、雷达导航、移动通信、点对点通信
厘米波(超高频)	SHF	10~1 cm	3~30 GHz	微波通信、卫星通信、雷达
毫米波(极高频)	EHF	10~1 mm	30~300 GHz	穿入大气层时的通信、雷达、微波接力
光波		300~0.006 μm	1~50 THz	光纤通信

表 1.1 中,频段的划分只是相对的,相邻的频段之间并没有绝对的分界线。其中,“高频”也只是一个相对的概念。只要电路尺寸比工作波长小得多,都可以认为是“高频”范围。不同频段信号的产生、放大、传输和收发方法都不同。对于米波以上的信号,通常采用集中(总)参数的方法和“路”的概念来分析和实现;而对于米波以下的信号,一般采用分布参数的方法和“场”的概念来分析和实现。本书中涉及的频率范围包含中频(MF)到超高频(SHF)。