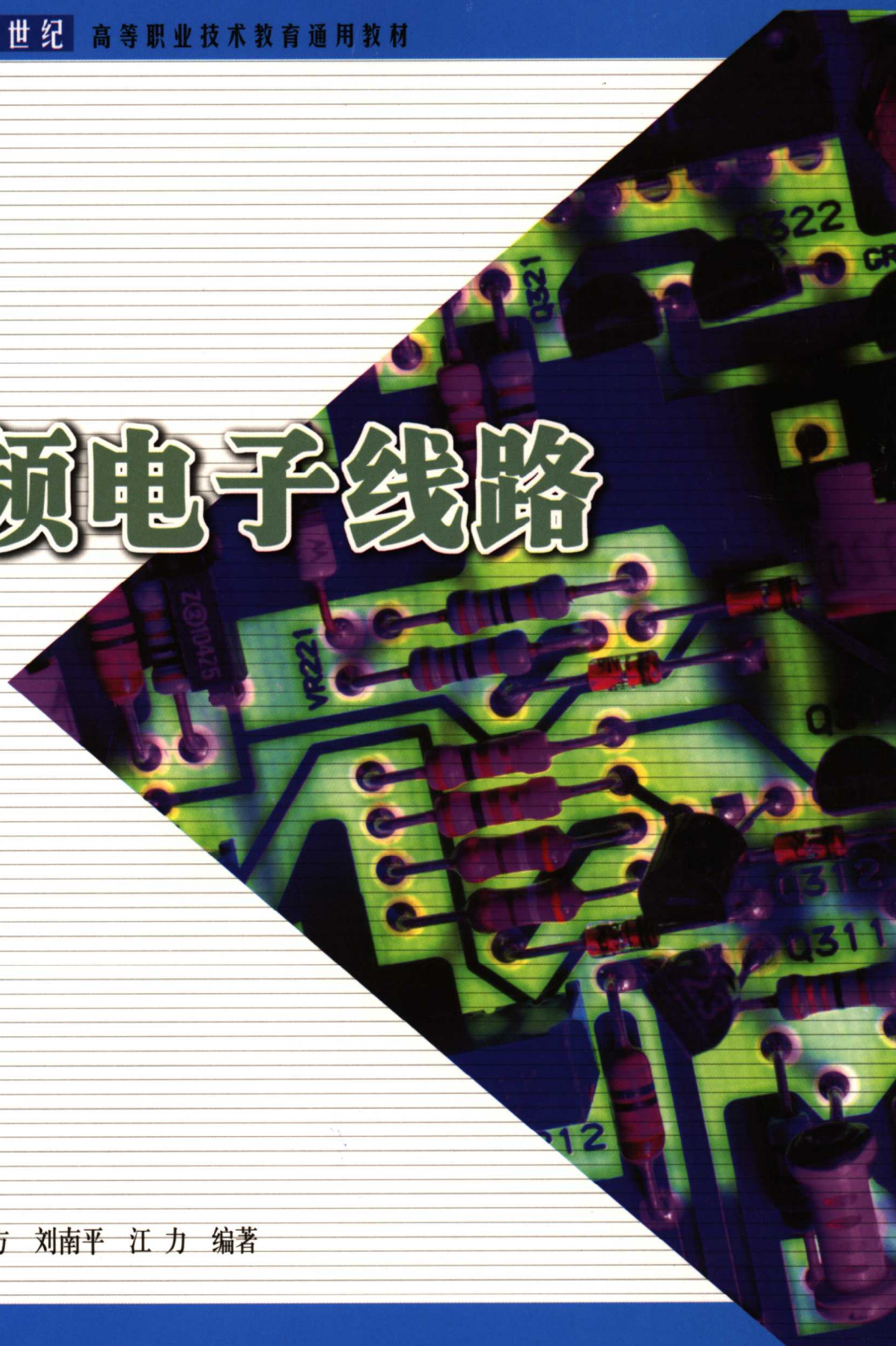




21世纪 高等职业技术教育通用教材

高频电子线路



● 蒋敦斌 林春方 刘南平 江力 编著

上海交通大学出版社

21 世纪高等职业技术教育通用教材

高频电子线路

蒋敦斌 林春方 刘南平 江 力 编著

上海交通大学出版社

内 容 简 介

本书是 21 世纪高等职业技术教育的特色教材。全书共分两部分:第一部分为基础理论,第二部分为实践训练。基础理论部分由绪论、谐振电路、小信号调谐放大器、非线性电路和参变电路分析基础、高频功率放大器、正弦波振荡器、调幅与检波、角度调制与解调、数字信号的调制与解调、锁相环路等章节组成。实践训练部分由高频电路常用测量仪器、基础实训、电路设计与制作、EDA 在高频电路设计中的应用等章节组成。本书强调基础理论够用为度,注重实践训练,增加了综合实训与应用的内容,有利于学生对高频电路的学习与应用。

本书可以作为普通高等院校特别是高职院校电子信息工程、通信技术、应用电子技术等专业的教材或主要参考书,也可以供相关专业工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

高频电子线路/蒋敦斌等编著. —上海:上海交通大学出版社,2003

21 世纪高等职业技术教育通用教材

ISBN7-313-03147-5

I. 高... II. 蒋... III. 高频—电子电路—高等学校:技术学校—教材 IV. TM
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 063648 号

高频电子线路

蒋敦斌等 编著

上海交通大学出版社出版发行

(上海市番禺路 877 号 邮政编码 200030)

电话:64071208 出版人:张天蔚

立信会计出版社常熟市印刷联营厂印刷 全国新华书店经销

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:20 字数:488 千字

2003 年 1 月第 1 版 2003 年 1 月第 1 次印刷

印数:1-3 050

ISBN7-313-03147-5/TM·121 定价:26.00 元

版权所有 侵权必究

21 世纪高等职业技术教育通用教材

编 审 委 员 会

主 任 名 单

(以姓氏笔划为序)

编审委员会顾问

白同朔 詹平华

编审委员会名誉主任

王式正 叶春生

编审委员会主任

闵光太 潘立本

编审委员会常务副主任

东鲁红

编审委员会副主任

王永祥	王俊堂	王继东	牛宝林
东鲁红	冯伟国	朱家建	朱懿心
吴惠荣	房世荣	郑桂富	赵祥大
秦士嘉	黄 斌	黄永刚	常立学
薛志信			

序

发展高等职业技术教育,是实施科教兴国战略、贯彻《高等教育法》与《职业教育法》、实现《中国教育改革与发展纲要》及其《实施意见》所确定的目标和任务的重要环节;也是建立健全职业教育体系、调整高等教育结构的重要举措。

近年来,年青的高等职业教育以自己鲜明的特色,独树一帜,打破了高等教育界传统大学一统天下的局面,在适应现代社会人才的多样化需求、实施高等教育大众化等方面,做出了重大贡献。从而在世界范围内日益受到重视,得到迅速发展。

我国改革开放不久,从1980年开始,在一些经济发展较快的中心城市就先后开办了一批职业大学。1985年,中共中央、国务院在关于教育体制改革的决定中提出,要建立从初级到高级的职业教育体系,并与普通教育相沟通。1996年《中华人民共和国职业教育法》的颁布,从法律上规定了高等职业教育的地位和作用。目前,我国高等职业教育的发展与改革正面临着很好的形势和机遇:职业大学、高等专科学校和成人高校正在积极发展专科层次的高等职业教育;部分民办高校也在试办高等职业教育;一些本科院校也建立了高等职业技术学院,为发展本科层次的高等职业教育进行探索。国家学位委员会1997年会议决定,设立工程硕士、医疗专业硕士、教育专业硕士等学位,并指出,上述学位与工学硕士、医学科学硕士、教育学硕士等学位是不同类型的同一层次。这就为培养更高层次的一线岗位人才开了先河。

高等职业教育本身具有鲜明的职业特征,这就要求我们在改革课程体系的基础上,认真研究和改革课程教学内容及教学方法,努力加强教材建设。但迄今为止,符合职业特点和需求的教材却还不多。由泰州职业技术学院、上海第二工业大学、金陵职业大学、扬州职业大学、彭城职业大学、沙洲职业工学院、上海交通高等职业技术学院、上海交通大学技术学院、上海汽车工业总公司职工大学、立信会计高等专科学校、江阴职工大学、江南学院、常州技术师范学院、苏州职业大学、锡山职业教育中心、上海商业职业技术学院、潍坊学院、上海工程技术大学等百余所院校长期从事高等教育、有丰富教学经验的资深教师共同编写的《21世纪高等职业技术教育通用教材》,将由上海交通大学出版社等陆续向读者朋友推出,这是一件值得庆贺的大好事,在此,我们表示衷心的祝贺。并向参加编写的全体教师表示敬意。

高职教育的教材面广量大,花色品种甚多,是一项浩繁而艰巨的工程,除了高职院校和出版社的继续努力外,还要靠国家教育部和省(市)教委加强领导,并设立高等职业教育教材基金,以资助教材编写工作,促进高职教育的发展和改革。高职教育以培养一线人才岗位与岗位群能力为中心,理论教学与实践训练并重,二者密切结合。我们在这方面的改革实践还不充分。在肯定现已编写的高职教材所取得的成绩的同时,有关学校和教师要结合各校的实际情况和实训计划,加以灵活运用,并随着教学改革的深入,进行必要的充实、修改,使之日臻完善。

阳春三月,莺歌燕舞,百花齐放,愿我国高等职业教育及其教材建设如春天里的花园,群芳争妍,为我国的经济建设和社会发展作出应有的贡献!

叶春生

前 言

为了适应高等职业院校电子信息类、通信技术类、应用电子技术类专业建设发展需要,本着基础理论够用为度、重视实践应用的原则,我们编写了面向高职、高专的《高频电子线路》教材。

高频电子线路是一门理论和实践性极强的课程,涉及到的概念多,公式多。根据本课程特点,本书结构上分基础理论和实践训练两大部分。

第一部分为基础理论,介绍高频电子线路相关基础理论,从通信系统组成与系统整体的概念出发,深入浅出地介绍高频电子线路的各个功能电路基本原理与相关知识。编写过程中,力求避免繁琐的理论推导,强调基本概念和各功能电路的分析方法。各章内容既有相对的独立性,又注意到了知识的连贯性和完整性。为了使本书具有先进性、实用性和可读性,内容安排上尽量采用最新技术,增强了专用集成电路的使用实例。

第二部分为本书的实践训练环节内容,集中介绍了高频电子技术常用测量仪器的工作原理和使用方法,安排了典型的实验环节和知识综合训练环节,并安排了现代电子设计与制作技术的应用和实践内容,特别是利用先进的 EDA 技术完成电路设计,使学生在掌握基本原理的基础上,通过实践环节训练,掌握分析问题和解决问题的能力。

本书可作高等职业院校电子信息工程、通信技术、应用电子技术等专业的教材,亦可供应用技术类本科生使用和相关工程技术人员参考。

全书第一部分中的第 1、2、3、4 章由天津职业大学蒋敦斌老师编写,第 5、6、7 章由江力老师编写,第 8、9、10 章由安徽电子信息职业技术学院林春方老师编写。第二部分由刘南平老师编写。全书由蒋敦斌负责统稿,并担任主编,林春方、刘南平担任副主编。

限于作者水平,书中难免有错误和疏漏不妥之处,敬请读者批评指出。

编著者

2002 年 9 月

目 录

第一部分 基础理论

第 1 章 绪论	3
1.1 引言	3
1.2 通信系统基本组成	3
1.3 无线通信发送设备的工作过程	4
1.4 无线通信接收设备的工作过程	6
1.5 信号的频谱表示法	8
1.6 无线电波频段的划分.....	10
1.7 电磁波的传播.....	11
1.8 无线电通信系统的干扰与噪声.....	13
思考与习题	14
第 2 章 谐振电路	15
2.1 引言.....	15
2.2 并联谐振回路的频率特性.....	15
2.3 谐振回路的通频带与选择性.....	17
2.4 并联谐振回路的耦合连接.....	22
2.5 耦合回路.....	24
思考与习题	30
第 3 章 小信号调谐放大器	32
3.1 引言.....	32
3.2 晶体管高频等效电路.....	32
3.3 单调谐放大器.....	37
3.4 双调谐放大器.....	42
3.5 调谐放大器的稳定性.....	45
3.6 集中选频放大器.....	48
3.7 放大器的噪声.....	56
思考与习题	61

第4章 非线性电路和参变电路分析基础	62
4.1 引言	62
4.2 线性元件与非线性元件	62
4.3 非线性特性的幂级数分析法	63
4.4 参变倍频器	66
思考与习题	68
第5章 高频功率放大器	69
5.1 概述	69
5.2 高频功率放大器的工作原理	71
5.3 丙类高频功率放大器的性能分析	74
5.4 谐振功率放大器电路	79
5.5 高频功率放大器的调谐与调整	84
思考与习题	85
第6章 正弦波振荡器	86
6.1 正弦波振荡器的基本概念	86
6.2 LC 正弦波振荡器	91
6.3 改进型电容三点式振荡器	96
6.4 振荡器的频率稳定度	98
6.5 石英晶体振荡器	100
6.6 RC 文氏电桥正弦波振荡器	102
思考与习题	104
第7章 调幅与检波	107
7.1 调幅波的特性分析	107
7.2 调幅电路	110
7.3 检波器组成及技术指标	117
7.4 检波器	119
7.5 自动增益控制电路(AGC)	125
7.6 变频电路	127
思考与习题	131
第8章 角度调制与解调	133
8.1 调角波的基本性质	133
8.2 调频电路	140
8.3 鉴频电路	147
8.4 自动频率微调与电子调谐	154

思考与习题·····	160
第 9 章 数字信号的调制与解调·····	164
9.1 数字信号及其传输概述·····	164
9.2 基带数字信号·····	166
9.3 幅度键控·····	170
9.4 频率键控·····	173
9.5 相位键控·····	177
思考与习题·····	183
第 10 章 锁相环路·····	185
10.1 锁相环路的基本工作原理·····	185
10.2 锁相环路的性能分析·····	186
10.3 扩大捕捉带和减小捕捉时间的方法·····	192
10.4 集成锁相环路·····	194
10.5 锁相环路的应用·····	199
思考与习题·····	204

第二部分 实践训练

第 11 章 高频电路常用测量仪器·····	209
11.1 信号发生器·····	209
11.2 计数器·····	223
11.3 频率特性测试仪·····	227
11.4 频谱分析仪·····	232
11.5 失真度测量仪·····	235
11.6 Q 表·····	238
第 12 章 基础实训·····	242
12.1 电容反馈三点式振荡器实训·····	242
12.2 幅度调制与解调实训·····	245
12.3 集成混频器实训·····	248
12.4 相位鉴频器实训·····	251
12.5 锁相环实训·····	253
12.6 高频功率放大电路实训·····	257
12.7 调频电路实训·····	261

第 13 章 电路设计与制作	263
13.1 高、中频信号发生器制作	263
13.2 简易电视信号发生器制作	268
13.3 全分立件收音机制作	274
13.4 集成电路超外差收音机制作	285
13.5 简易数字频率计设计	289
13.6 短波调频接收机设计	292
第 14 章 EDA 在高频电路设计中的应用	294
14.1 常见 EDA 软件	294
14.2 电路及 PCB 设计实例	295
14.3 用 EWB 进行电路仿真分析	298
14.4 印制板设计时应考虑的因素	301
参考文献	305

第一部分 基础理论

第 1 章 绪论

本章以无线电通信系统为例,重点介绍无线电通信系统的基本组成、无线通信发送与接收的工作过程,阐述各种部件的作用和基本原理,并简明扼要地介绍有关通信的相关名词术语和基本概念。

1.1 引言

21 世纪是信息技术的时代。随着科学技术的不断发展,尤其是微电子技术、计算机应用技术和网络技术等飞速发展,通信技术的应用范围迅速扩大,对人类的生活和生产活动起着非常深刻的作用和影响。无线电技术最早应用在通信方面。现在的无线电通信,早已远远超出一般的通信领域,它可传递各种性质的信息,成为各种科学技术以及各行各业的重要工具。

信息技术概括起来包括两类技术:信息处理与信息传输。

信息处理的目的在于高效、可靠、方便地传递信息。信息一词是一个抽象的概念。信息的具体形式是多种多样、丰富多彩的,如图形、图像、数据、音乐、文字、语言、符号等等。这些信息绝大多数是一些非电量,需要经过传感器变换成电信号,然后加工处理,从中获取信息。

信息传输是指将获取的信息不失真地、可靠地从一个地方传递到另一个地方。传递信息既可以通过有线、光缆传递,也可以通过无线传递。信号的无线传递是无线电技术的主要应用,所以,可以说通信技术和现代化充分地反映了无线电技术的发展和现代化。

因此,在本书中,将以无线通信系统为主要研究对象,阐述无线电设备中的谐振、高频小信号放大、非线性电路与参变电路、高频功率放大与倍频、正弦波振荡器、幅度调制解调与混频、角度调制与解调、数字信号的调制与解调、锁相技术等方面电子电路的基本原理和应用。本书的第一部分集中介绍高频电子电路的基本原理,第二部分集中介绍基于本书内容的综合实践训练及相关知识。

1.2 通信系统基本组成

通信系统的种类很多,按传输信息的物理特征分类,可分为电话、电报、传真通信系统、广播电视通信系统、数据通信系统等;按传输基带信号的物理特征分类,可分为模拟通信系统和数字通信系统;按信息传输媒介的物理特征分类,又可以分为有线通信系统和无线通信系统。

传递信息的系统统称为通信系统。通信系统的任务是完成信息的传输任务。一个完整的通信系统应包括信号源、发送设备、传输信道、接收设备和收信装置五部分,如图 1.1 所示。这里以无线电通信为例,简要说明各部分功能。

信号源:其任务是产生将要传递的电信号。此电信号是输入变换器将要传递的图像或声音信息变换成的输出信号。信号源输出的信号称为基带信号。基带信号包括了原始信息的全部信息。图像、声音等非电量是如何经过输入变换器变换成电信号的,不属于本书的讨论对

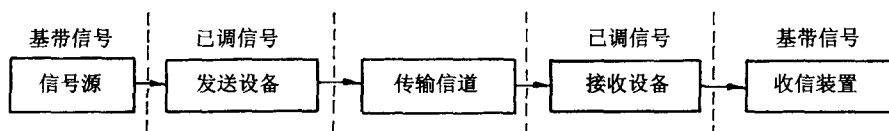


图 1.1 通信系统基本结构框图

象,请读者参考相关教材。

发送设备:为了适应不同信道对要传输信号的要求,信号源输出的基带信号必须经过调制等处理,并且需有足够的发射功率,才能送入信道实现信号的有效发送,这就是发送设备的基本任务。

传输信道:是传输信号的通道,即传输媒介。传输信道的媒介视具体情况而定,例如,在有线通信中,可以是平行线电缆或光缆;在无线通信中,可以是自由空间。

接收设备:其任务与发送设备相反,用来恢复原始基带信号。

收信装置:其任务是将已恢复的原始基带信号重新恢复成原始的图像或声音信息,以便人们接收,如收音机中的扬声器、电视机中的显示器等设备。

本书介绍无线电发送设备和接收设备的工作原理和通信系统的基本组成,重点介绍构成发送、接收设备的各种单元电子电路的工作原理、典型电路和分析方法,以及实践运用。在具体介绍这些单元电路之前,本章仅扼要介绍无线电广播的原理,了解无线电信号的发送和接收过程,以及收、发设备的组成,使读者对无线电系统有一个较全面的认识,对各部分之间的相互联系有所了解。这对全书的学习有很大帮助。

1.3 无线通信发送设备的工作过程

以无线电广播为例,说明无线通信发送设备的工作过程和基本原理。

无线电广播的目的是把声音信号传送出去。人们能听到的声波信号,通常称为音频信号,其频率在 $20 \sim 20\,000\text{Hz}$ 范围内。音频信号在空气中不但传播速度慢(约 340m/s),且衰减很快,很难传到远方。常用的办法是把声音信号通过话筒变成电信号,再经过音频放大器放大。放大后的音频信号可以用导线传送出去,再经过喇叭恢复成原来的声音,就实现了有线传送。

声音的无线传送要比有线传送复杂得多。

我们知道,交变的电振荡可以利用天线向空中辐射出去,但条件是天线的长度必须和电振荡的波长相比拟,才能使电振荡有效地通过天线辐射出去。要想把音频信号通过天线辐射出去,天线的长度必须足够长,约在 $15 \times 10^3 \sim 15 \times 10^6\text{m}$,显然这是不现实的。要想无线传播声音信号,就必须利用频率更高即波长更短的电振荡,并设法将音频信号装载到这种高频振荡中去,才能由天线辐射出去,同时做到天线尺寸既小,又能采用不同的高频振荡频率达到选台的目的。这个发射过程可用图 1.2 说明。

在无线电广播电台,由高频振荡器产生的高频信号采用倍频放大后,经过音频放大信号的调制作用,即音频信号控制高频振荡的过程,产生出已调信号,就可以通过天线辐射出去,传到远方。

综上所述,无线电发送设备主要包括低频部分、高频部分、天线和电源(图中未画出)四部

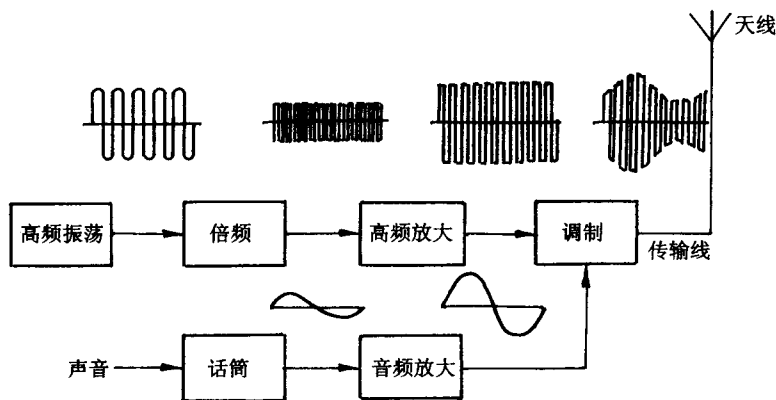


图 1.2 音频信号发射过程方框图

分。低频部分包括声音的变换与放大，这一部分频率较低；高频部分包括高频信号产生、放大与调制，这一部分频率较高，统称高频部分。

在图 1.2 中，高频振荡器的作用是产生高频振荡。高频振荡为正弦波，是用来运载声音信号的，称之为载波。载波的频率称之为载频。需要指出的是，高频振荡器输出并不一定等于所需要的载波频率，可能是载波频率的若干分之一，因此需要用倍频器把高频振荡频率提升到所需要的频率值。倍频器输出信号很弱，需要高频放大器放大到一定强度。

下面着重介绍调制的作用和方法。

可以用下式描述一个高频正弦波振荡：

$$u_c(t) = U_{cm} \cos(\omega_c t + \varphi_c) \quad (1-1)$$

式中： $u_c(t)$ 为高频正弦波瞬时值； U_{cm} 为振幅； ω_c 为角频率； φ_c 为初相位角。

为说明问题起见，假定音频信号也是正弦波，其表达式为

$$u_a(t) = U_{am} \cos \Omega t \quad (1-2)$$

式中： U_a 、 Ω 分别表示音频信号的幅值和角频率。假设初相位 $\varphi_a = 0$ 。

将音频信号装载到高频振荡中去的方法有几种。目前我国中短波段语音广播大多采用调幅制。调幅方法是令高频振荡的振幅随音频信号而变化。具体地讲，当音频信号的瞬时值 $u_a = 0$ 时，高频振荡的振幅 U_{cm} 保持不变；当 u_a 增大时，高频振幅 U_{cm} 也增大；当 u_a 减小时，高频振幅 U_{cm} 也减小。因此，高频振荡的振幅可写成 $U_{cm}(1 + m \cos \Omega t)$ ，相应的高频电振荡波称之为调幅波。载波信号、音频信号和调幅信号对应波形分别如图 1.3(a)、(b)、(c) 所示。调幅波的表达式为

$$u(t) = U_{cm}(1 + m \cos \Omega t) \cos(\omega_c t + \varphi_c) \quad (1-3)$$

式中： m 为小于 1 的常数，称为调幅系数。

应注意的是，调幅后的信号既不是原来的音频信号，也不是单纯的载频振荡信号，而是包含有若干个频率分量的高频电振荡。显而易见，将音频信号对高频载波进行调幅之后，就可以利用较小尺寸的天线，把声音信号从空中传播至远方。这便是无线电广播发射信号的基本过程。

实际上，将音频信号装载到高频振荡中去的方法还有调频法和调相法。调频和调相的工

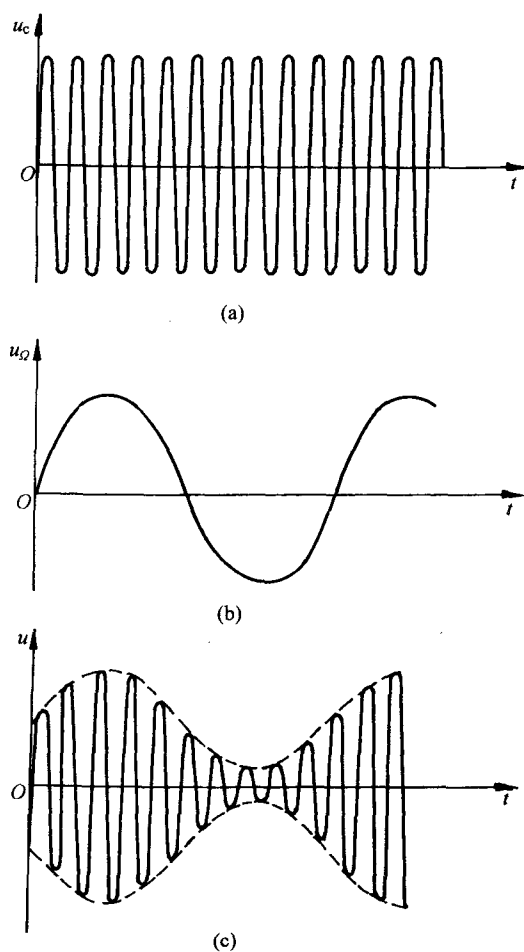


图 1.3 调幅波形图

作原理将在后面有关章节中介绍。

除中短波语音广播目前大多采用调幅制外,电视广播中图像部分也采用调幅制,而伴音部分则采用调频制;雷达信号多用调幅信号;通信系统大多采用调幅和调频;在目前的数字通信中,大多采用调相制。调相制是目前迅速发展的一种调制方法。

1.4 无线通信接收设备的工作过程

仍以无线电广播为例,说明无线通信接收设备的工作过程和基本原理。

无线通信接收设备的基本任务是将空中传过来的电磁波接收下来,并复原成原来的信号。接收电磁波的任务由接收天线来完成。由于接收天线接收到的信号来自不同的电台,具有不同载频的无线电信号,因此,在天线接收之后,必须要有一个信号选择电路,其作用是把所需要的无线电信号挑选出来,把不需要的信号滤掉,以免产生干扰。信号选择电路由电感线圈 L 和电容器 C 组成,通常称之为 LC 振荡回路(又称谐振回路)。 LC 谐振回路工作原理将在后面

详细介绍。选择性电路的输出是某一广播电台的高频调幅波,必须先把它恢复成原来的音频信号,才能驱动收信装置(如耳机等)。这种从高频调幅波中把音频信号取出来的过程称为检波(又称解调)。完成此过程的部件称为检波器或解调器。将检波器输出的音频信号送至耳机,便可收听到所需要的广播声音了。这就是接收机最基本的工作过程,见图1.4。这种接收机称之为直接检波式接收机。

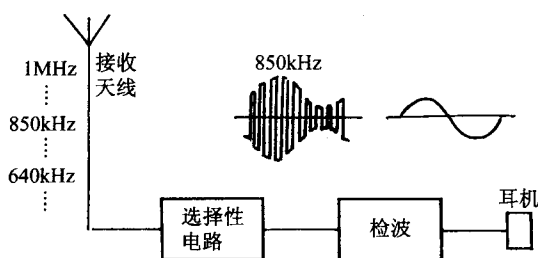


图 1.4 简单接收机的方框图

实际的接收机是比较复杂的。通常由天线接收到的高频调幅信号很弱,约几十微伏到几个毫伏,而检波器有效检波输入电压需要几百毫伏以上。因此,在选择性电路和检波器之间应需加一级高频放大器,其放大倍数需要几百乃至几万倍。放大了的高频调幅信号虽然满足检波要求,但检波器输出的音频信号也不过几百毫伏,要推动像喇叭这样功率大的负载,功率还是不够的。因此,接收机中都需要把检波器输出信号再加以功率放大,再推动扬声器。通常把带有高频放大器的接收机称之为高放式接收机。

高放式接收机虽然灵敏度高、功率较大,但存在选择性差、调谐复杂等缺点。这是不难理解的,首先,要把天线接收到的微弱高频调幅信号放大到几百毫伏,需要多级高频放大器,而一级高频放大器与下一级高频放大器之间都需要一个由 LC 构成的谐振回路耦合。一旦被接收的信号频率改变,整个接收机的所有 LC 谐振回路都必须从新调谐,非常不方便。

为了克服高放式接收机的缺点,几乎所有的现代接收机都采用超外差式的线路。图 1.5 表示了一个典型超外差接收机的工作过程方框图。

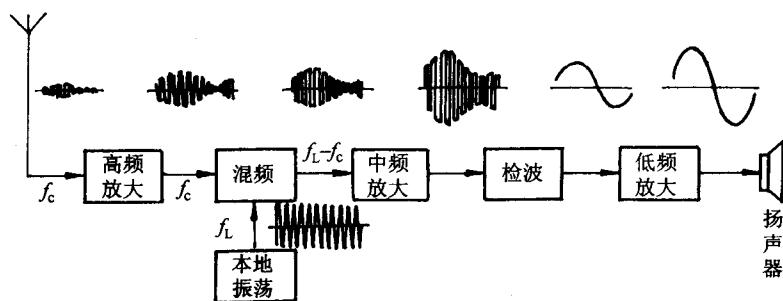


图 1.5 典型超外差接收机工作方框图

超外差接收机与高放式接收机的本质区别在于,它把接受到的高频调幅信号的载波频率 f_c 先变成频率较低且固定不变的中频 f_L ,再利用中频放大器加以放大,然后检波,低频功率放大,推动扬声器。把高频信号的载波降低为中频,是由混频器完成的。混频器工作原理以后将详细介绍,其简要工作过程是,把一个载频 f_c 的调幅波和一个频率为 f_L 的正弦波同时送给混频器,经过变频后所得到的仍然是一个调幅波,但是混频器输出的“载波”频率是这两个频率之差,即 $(f_L - f_c)$,而已经不是原来的载频 f_c 。通常把这个新的“载波”频率称之为中频。变频后得到的新的调幅信号称为中频信号。不同通信情况,中频信号的频率是不一样的。例如,广播收音机的中频一般为 465kHz,电视机中图像部分的中频为 38MHz,而雷达和微波通信机中