

新世纪
高等职业教育规划教材

收录音原理与技术

程亚惟 康 实 主编



2-43

 **机械工业出版社**
China Machine Press

新世纪高等职业教育规划教材

收录音原理与技术

主编 程亚惟 康 实
参编 李洪岩 肖耀南 许焕明
主审 何秉虔

机械工业出版社

本书为新世纪高等职业教育规划教材,分收音技术、录音技术、数字收录音技术三部分,主要包括了以下内容:无线电传输原理、调幅收音机原理及应用、调频收音机原理及应用、常用录音设备的原理和应用、数字信号的处理、数字调幅、调频收音机的原理和应用技术、数字录音原理及常用语音集成电路的应用等。

本书是为高等职业技术学院应用电子类专业编写的教材,也可作为其他大专院校电气及电子类专业使用。同时可供实践指导教师和从事电气、电子技术工作的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

收录音原理与技术/程亚惟、康实主编. —北京:机械工业出版社, 2002.8

新世纪高等职业教育规划教材

ISBN 7-111-10638-5

I. 收… II. ①程…②康… III. ①接收技术—高等学校:技术学校教材 ②录音—技术—高等学校:技术学校—教材 IV. ①TN85 ②TN912.12

中国版本图书馆CIP数据核字(2002)第053666号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:王保家 版式设计:霍永明 责任校对:刘秀芝

封面设计:姚毅 责任印制:付方敏

北京市密云县印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2002年8月第1版第1次印刷

787mm×1092mm^{1/32}·10印张·245千字

0 001—4 000册

定价 15.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010) 68993821、68326677-2527

封面无防伪标均为盗版

新世纪高等职业教育规划教材编审委员会

主任委员	李维东	广东白云职业技术学院	常务副院长
副主任委员	陈周钦	广东交通职业技术学院	院长
	石令明	广西柳州职业技术学院	院长
	蔡昌荣	广州民航职业技术学院	副院长
	覃洪斌	广西职业技术学院	副院长
	姚和芳	湖南铁道职业技术学院	副院长
	韩雪清	机械工业出版社教材编辑室	副主任
委 员	沈耀泉	深圳职业技术学院	副院长
	郑伟光	广东机电职业技术学院	副院长
	张尔利	广西交通职业技术学院	院长
	谈向群	无锡职业技术学院	副院长
	刘国生	番禺职业技术学院	副院长
	陈大路	温州职业技术学院理工学区	主任
	邹 宁	广西机电职业技术学院	副院长
	成王中	济源职业技术学院	副院长
	管 平	浙江机电职业技术学院	副院长
	韦荣敏	广西柳州市交通学校	校长
	田玉柯	遵义航天工业学校	校长
	黄秀猛	厦门市工业学校	校长
	张毓琴	广东白云职业技术学院	兼委员会秘书

编写说明

20 世纪 90 年代以来,我国高等职业教育为社会主义现代化建设事业培养了大批急需的各类专门人才,提高了劳动者的素质,对建设社会主义精神文明,促进社会进步和经济发展起到了重要作用。中共中央、国务院《关于深化教育改革,全面推进素质教育的决定》指出:“要大力发展高等职业教育。”教育部在《关于加强高职高专教育人才培养工作的意见》中明确指出:“高职高专教育是我国高等教育的重要组成部分,培养拥护党的基本路线,适应生产、建设、服务第一线需要的,德、智、体、美等方面全面发展的高等技术应用性专门人才;学生应在具有必备的基础理论知识和专门知识的基础上,重点掌握从事本专业领域实际工作的基本能力和基本技能。”加入 WTO 以后,我国将面临人才资源的全球竞争,其中包括研究开发型人才的竞争,也包括专业技能型优秀人才的竞争。高等职业教育要适应我国现代化建设的需要,适应世界市场和国际竞争的需要,尽快为国家培养出大批符合市场需求的、有熟练技能的高等技术应用性人才。

教材建设工作是整个高等职业教育工作中的重要内容,在贯彻国家教改精神、保证培养人才质量等方面起着重要作用。根据目前高等职业教育发展的趋势,机械工业出版社组织全国多所在高等职业教育办学有特色、在社会上有影响的高职院校成立了“新世纪高等职业教育规划教材编审委员会”,诚请教学经验丰富、实践能力强的专业骨干教师,组织、规划、编写了这套“新世纪高等职业教育规划教材”,首批教材含三个专业系列共 21 本书(书目附后)。系列教材凝聚了全体编审人员、编委会委员的大量心血,同时得到了各委员院校的大力支持,在此表示衷心感谢。

参加本套教材编写的作者均来自教学一线,他们对高职教育的专业设置、教学大纲、教改形势都有深刻的认识和体会。这为编写出具有创新性、适用性的高职教材奠定了良好基础。

本套教材的编写以保证基础、加强应用、体现先进、突出以能力为本位的职教特色为指导思想,在内容上遵循“宽、新、浅、用”的原则。所谓“宽”,即知识面宽,适用面广;所谓“新”,就是要体现新知识、新技术、新工艺、新方法;所谓“浅”,是指够用为度、通俗易懂;所谓“用”,就是要注重应用、面向实践。

本套教材的出版,将促进高等职业教育的教材建设,对我国高等职业教育的发展产生积极的影响。同时,我们也希望在今后的使用中不断改进、完善此套教材,更好地为高等职业教育服务,为经济建设服务。

新世纪高等职业教育规划教材编审委员会

前 言

收录音原理与技术是应用电子技术专业音视频和电子信息方向的专业课程,它是一门实践应用性较强的课程,在专业学习中起承前启后的作用,它的先修课程为电子技术基础、电子测量技术,其后续课程有电视原理与技术、数字电视技术等课程。

收录音原理与技术是电子技术应用的一个方面,它有较长的发展历程。特别是近 20~30 年随着电子技术的迅速发展,收录音原理与技术也飞快发展,出现了数字收录音等新技术。本教材力图突破以往同类教材的框架,将数字收录音的原理和技术内容以较大的篇幅纳入到教材中,使教材内容与目前技术应用和发展相适应,增强教材的活力。在教材编写过程中,始终贯彻保证基础、加强应用、体现先进、能力本位的职教特色的指导思想。在教材编写风格上,从高职教育的特点出发,努力做到知识面宽、内容新颖、易教易学、注重培养能力的“宽、新、浅、用”的编写原则。在内容组织上,浓缩模拟收音技术内容,保证录音技术内容,加强与充实数字收录音技术的内容,力争在较少的学时和篇幅中容纳较丰富的内容。本教材的参考学时为 50 学时。为完成本课程的实习和实训,单独编写了《收录音原理与技术实训》作为配套的实训教材。

参加本书编写工作的教师有广东白云职业技术学院的程亚惟(第六、七章),广东交通职业技术学院的康实(第一、五章)、湖南铁道职业技术学院的肖耀南(第三章)、广东白云职业技术学院的李洪岩(第四章)、广东交通职业技术学院的许焕明(第二章)。程亚惟老师和康实老师共同担任主编,并负责全书的统稿。广东工业大学信息工程学院的何秉虔教授担任本书的主审,何秉虔教授认真仔细地审阅了初稿并提出了许多宝贵的意见和建议。

由于编者学识和水平有限,书中难免有不妥之处,敬请广大师生和工程技术人员批评指正。

编 者

目 录

编写说明

前言

第一章 无线电广播的概述	1
第一节 无线电波	1
第二节 无线电广播的发送	3
第三节 无线电广播的接收	8
第四节 数字声音广播	10
复习思考题	12
第二章 调幅收音原理与技术	14
第一节 调幅收音机的组成原理	14
第二节 输入电路	14
第三节 变频电路	17
第四节 中频放大电路	21
第五节 检波电路	24
第六节 AGC 控制电路	26
第七节 音频功率放大电路	27
第八节 集成调幅收音机电路分析	31
复习思考题	34
第三章 调频收音原理与技术	35
第一节 调频接收原理	35
第二节 调频高频头电路	41
第三节 中频放大电路	45
第四节 限幅器与鉴频器	48
第五节 立体声解码电路	53
第六节 集成 FM 立体声调谐器 电路分析	57
复习思考题	62
第四章 磁录放音的原理	63
第一节 磁录音技术的产生和发展	63
第二节 铁磁材料及磁滞回线	64
第三节 抹音原理	66
第四节 录音和放音原理	67
第五节 磁头	69
第六节 磁带	72
第七节 录放音过程中的损耗与 频率补偿	73
复习思考题	76

第五章 录放音电路及带盒

驱动机构	77
第一节 录放音电路的组成原理	77
第二节 录音输入电路	78
第三节 录音放大电路和录音 输出电路	79
第四节 频率补偿网络和录音 补偿电路	81
第五节 放音频率均衡与放音 输入电路	84
第六节 放音输出电路	86
第七节 录音偏磁与抹音电路	88
第八节 自动录音电平控制电路 (ALC 电路)	90
第九节 收录音机的录放音电路系统的 实例分析	92
第十节 录音电平指示器	98
第十一节 杜比降噪电路	99
第十二节 带盒驱动机构	102
复习思考题	112
第六章 数字录放音原理与技术	113
第一节 数字化	113
第二节 信号的采样、量化和编码	116
第三节 信号的调制	120
第四节 A/D 和 D/A 变换	122
第五节 信号的检错与纠错	126
第六节 模拟信号的恢复	129
复习思考题	130
第七章 现代收录音技术及应用	131
第一节 数字调谐收音机	131
第二节 双伴音/立体声及数字丽音 (NICAM) 电视广播	136
第三节 数字语音集成电路	142
第四节 数字声频工作站	148
复习思考题	152
参考文献	153

第一章 无线电广播的概述

本章介绍无线电波的传播、无线电广播的发射和接收系统的基本组成原理、无线电收音技术的基本原理以及数字声音广播的基本知识等内容。

第一节 无线电波

一、无线电电磁波

英国物理学家麦克斯韦总结了人类对电和磁的规律的认识，提出了电磁场理论，并在1864年预言了电磁波的存在。二十余年后，在1888年，德国物理学家赫兹用实验的方法证实了电磁波，从此拉开了人类对电磁波的研究、开发和应用的序幕。

简单地说，电磁波就是交变的电场和磁场在空间以光速传播的电磁能量波。自然界中的光、红外线、紫外线、X射线、 γ 射线以及无线电波都是电磁波。当我们给一导体通以交流电流时，在导线周围会产生变化的磁场，而变化的磁场又在周围产生变化的电场，变化的电场又向外产生变化的磁场，这样产生的电场和磁场相互交替、互相推挽，以光速不断向四周推波助澜地传播，这就是电磁波。横向电磁波的传播方向、电场方向和磁场方向三者互相垂直的关系如图1-1所示。电磁波的波长、频率和传播速度三者关系式为

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

式中 c ——光的传播速度，约为 $3 \times 10^8 \text{m/s}$ ；

f ——电磁波的频率；

λ ——电磁波的波长。

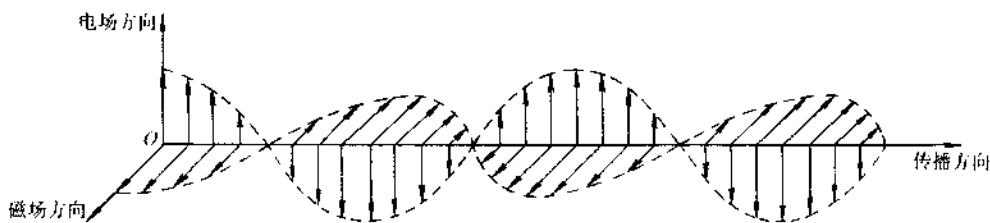


图1-1 横向电磁波的传播

二、无线电波波段划分

无线电波一般指由电流产生的、频率范围从几十赫兹到几十万兆赫兹范围内的电磁波。按照波长的长短或频率的高低，无线电波的波长或频率范围通常划分为以下几种，如表1-1所示。

三、无线电波的传播方式和途径

无线电波的波动性决定无线电波传播时具有直射、反射、折射、绕射等基本传播方式，这样就形成无线电波在地球上传播的三种传播途径：地波、天波和空间波传播。不同的波段

表 1-1 无线电波段或频段的划分

波段名称	波长范围	频率范围	频率名称	用 途
超长波	$10^4 \sim 10^5 \text{m}$	$3 \sim 30 \text{kHz}$	甚低频 (VLF)	海上远距离通信
长波	$10^3 \sim 10^4 \text{m}$	$30 \sim 300 \text{kHz}$	低频 (LF)	电报通信
中波	$2 \times 10^2 \sim 10^2 \text{m}$	$300 \sim 1500 \text{kHz}$	中频 (MF)	无线电广播
中短波	$50 \sim 200 \text{m}$	$1500 \sim 6000 \text{kHz}$	中高频 (HF)	电报通信、业余者通信
短波	$10 \sim 50 \text{m}$	$6 \sim 30 \text{MHz}$	高频 (HF)	无线电广播、电报通信、业余者通信
米波	$1 \sim 10 \text{m}$	$30 \sim 300 \text{MHz}$	甚高频 (VHF)	无线电广播、电视、导航和业余者通信
分米波	$1 \sim 10 \text{dm}$	$300 \sim 3000 \text{MHz}$	特高频 (UHF)	电视、雷达、无线电导航
厘米波	$1 \sim 10 \text{cm}$	$3 \sim 30 \text{GHz}$	超高频 (SHF)	无线电接力通信、雷达、卫星通信
毫米波	$1 \sim 10 \text{mm}$	$30 \sim 300 \text{GHz}$	极高频 (EHF)	电视、雷达、无线电导航
亚毫米波	1mm 以下	300GHz	超极高频	无线电接力通信

(或频段)的无线电波在地球上的传播途径有所不同,具有以下特点。

1. 长波和中波的地波传播

地波传播是指电波沿地球表面的传播,如图 1-2a 所示。一般地说,电波的波长越长,其绕射能力就越强,地波传播的就越远;另一方面,地球表面对电波也有损耗和衰减的作用,电波的频率越高,地球表面对电波的衰减就越大。

因为长波和中波的频率低、波长长,所以其地波传播的衰减小、距离远。电离层对长波和中波有较强的吸收作用,特别是在白天,由于电离层的电离密度大,这种吸收作用更强,所以它们在白天基本上不靠电离层反射来传播。因此,长波和中波的主要传播途径是地波传播。地波传播一般不受昼夜交替和天气变化的影响,传播性能比较稳定。

2. 短波的天波传播

天波传播是指电波经由电离层的传播,如图 1-2b 所示。电离层是指因大气气体电离产生了带有大量的自由电子和带电离子的一些大气壳层,它们距地面的高度范围约为 $50 \sim 400 \text{km}$ 。

电离层与电波的关系是:电离层对电波具有折射、反射和吸收的作用,电波则具有穿透电离层的能力。一般来说,电离密度越大,对电波的反射和吸收的作用也越大;电波的频率越高,其穿透电离层的能力就越强。电离层对电波的反射程度还与电波进入电离层的人射角度有关,入射角越大反射率就越高;电波穿透电离层的能力也与电波进入电离层的人射角度有关,入射角越小穿透力就越强。白天电离层的电离密度较大,电离层就较厚,对电波的吸收就较大,这就是白天接收到的电波较夜晚少的缘故。

短波的频率较高,其地波传播衰减大、距离短,因此,短波主要是依靠天波传播。天波传播的主要缺点是可靠性和稳定性较差,这是由于电离层的高度、厚度和电离密度与太阳的辐射程度和气候密切相关、时刻变化。

3. 超短波和微波的空间波传播

空间波传播是指电波以直线和地面反射传播,如图 1-2c 所示。超短波和微波的波长短,沿地绕射传播的损耗大,但是它们穿越电离层的能力很强,电离层对其反射率低,因此它们只能依靠空间波传播。由于地球表面是圆的,视距范围只有 $50 \sim 60 \text{km}$,因此空间波要

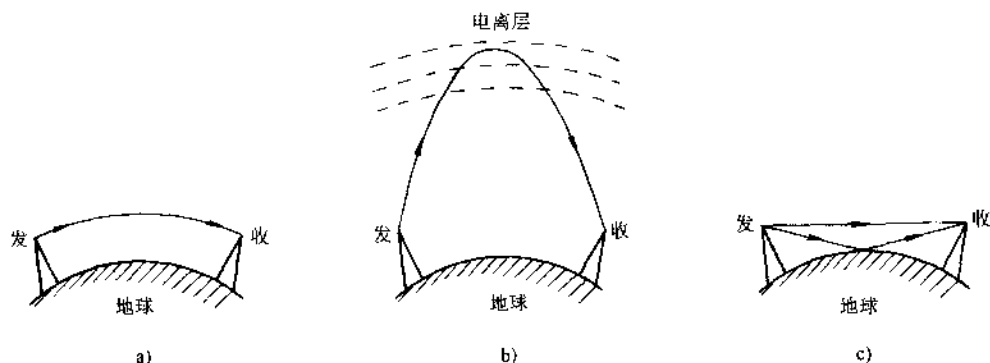


图 1-2 无线电波传播的途径

a) 地波 b) 天波 c) 空间波

依靠接力站才能传播到地球上更远的地方。

可见，不同波长段的无线电波有不同的传输路径和传输特点。因此，它们有各自的用途，如表 1-1 所示。

第二节 无线电广播的发送

1897 年，马可尼成功地使用无线电装置与航行在英吉利海峡的船舶实现了无线电联络，开始了无线电在信息传输方面应用。进入 20 世纪，随着电子管的问世，无线电技术取得了长足的进展。第一次世界大战期间，交战双方使用了无线电话等通信手段。战后，无线电技术的应用开始转向民用领域，20 世纪 20 年代，各国开始建立面向大众的中波和短波波段调幅制无线电广播（简称调幅广播），开辟了无线电广播的发展历程。随后，20 世纪 40 年代出现了超短波波段的调频制广播（简称调频广播），20 世纪 60 年代出现了通过卫星转发的微波波段的广播（简称卫星广播），20 世纪 90 年代开始了广播数字化新潮流，相继出现了数字卫星广播、数字 AM 广播和数字 FM 广播。

无线电广播是无线电技术应用的一重要领域。以下主要介绍无线电广播发射机的组成与调制的基本概念。

一、无线电广播发射机的基本组成

无线电发射机是产生和发送无线电信号的装置，与一般的无线电发讯机的基本组成一样，无线电广播发射机也是由载波发生器、调制器、变频器、高频功率放大器和发射天线这些基本部分组成，其组成原理的框图如图 1-3 所示。

它的工作原理是：通过调制器，声音信号调制载波产生已调载波信号，然后由变频器将已调载波信号搬移到发射频率上，接着经高频功率放大后推动发射天线，由发射天线将射频信号功率转变成电磁波辐射送出。

无线电广播是采用调制的方式来传送声音信号，而不是直接让音频电流通过发射天线发送的，因为后者是行不通的。简单地说，原因有两点：第一，要将某频率的电磁波有效地辐射出去，必须使天线的尺寸与其波长相当，一般音频信号的频率约为 $20 \sim 20000\text{Hz}$ ，波长范围在 $15 \times 10^3 \sim 15 \times 10^6\text{m}$ ，而要制作和安装相当于这样波长长度的天线是相当困难的；第

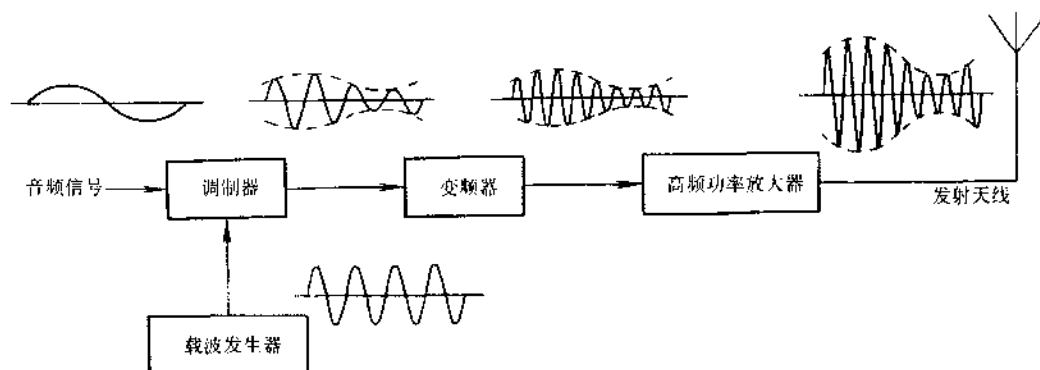


图 1-3 无线电广播发射机的基本组成

二，即使能将音频信号以电磁波的形式直接辐射出去，那么各广播电台挤在同一无线电波的频率范围内，必然导致各电台信号相互干扰而无法选台接收。

所谓调制，就是指用音频信号去改变载波信号的幅度、频率或者相位，使它们按音频信号的规律变化，即将声音信息寄载在载波的幅度、频率或相位参数上。发送端发射的是被音频信号调制的载波（称为已调波）而不是直接发送音频信号。当然，在接收时，就可以从接收到的已调波中解调出其所携带的音频信号。调制的目的是为了可靠地和有效地发射、传送和接收信号。

按照音频信号（调制信号）调制载波的参数的不同，可将调制分为调幅、调频和调相三种基本调制方式，模拟无线电广播常用调幅和调频方式。

二、调幅信号

1. 调幅信号的波形

用音频信号去调制载波的振幅而产生的已调信号，称为调幅信号或调幅波，波形如图 1-4 所示。

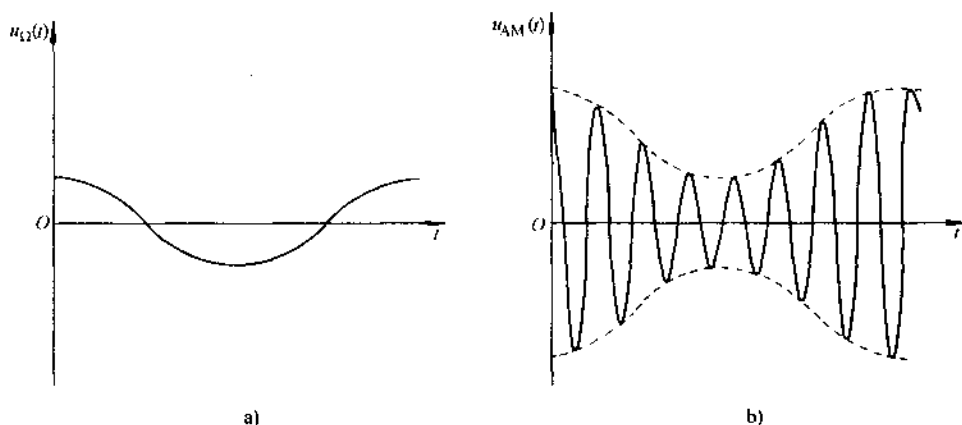


图 1-4 调幅信号波形

a) 音频信号波形 b) 调幅信号波形

由调幅信号的波形可以看出，调幅波包络的形状与调制信号的波形完全一样。因此，接收时只要提取出调幅信号的包络就得到了原音频信号。

2. 调幅波的表达式

若音频调制信号和载波分别为 $u_{\Omega}(t) = U_{\Omega m} \cos \Omega t$ 和 $u_c(t) = U_{cm} \sin \omega_c t$ ，则可写出调幅波的数学表达式

$$\begin{aligned} u_{AM}(t) &= (U_{cm} + kU_{\Omega m} \cos \Omega t) \sin \omega_c t \\ &= U_{cm} \left(1 + \frac{kU_{\Omega m}}{U_{cm}} \cos \Omega t \right) \sin \omega_c t \\ &= U_{cm} (1 + m_a \cos \Omega t) \sin \omega_c t \end{aligned} \quad (1-2)$$

式中 m_a ——调幅波的调幅指数或调幅度，它反映了调制信号对载波振幅的调制程度，常用百分数表示

$$m_a = \frac{kU_{\Omega m}}{U_{cm}} \times 100\% \quad (1-3)$$

调幅指数越大，则已调波的平均功率也越大，并且已调波中的信号所占的比例也越大。 m_a 的取值应在 $0 \sim 1$ 范围内，否则，调幅波的包络与音频信号的波形不完全一样，这将使接收和解调的技术更加复杂。

3. 调幅波的频谱

将式 (1-2) 的调幅波表达式用三角公式展开如下

$$\begin{aligned} u_{AM}(t) &= (U_{cm} + kU_{\Omega m} \cos \Omega t) \sin \omega_c t \\ &= U_{cm} \sin \omega_c t + \frac{1}{2} m_a U_{cm} \sin(\omega_c + \Omega)t + \frac{1}{2} m_a U_{cm} \sin(\omega_c - \Omega)t \end{aligned} \quad (1-4)$$

得到信号的频谱成分，并画其频谱图，如图 1-5 所示。

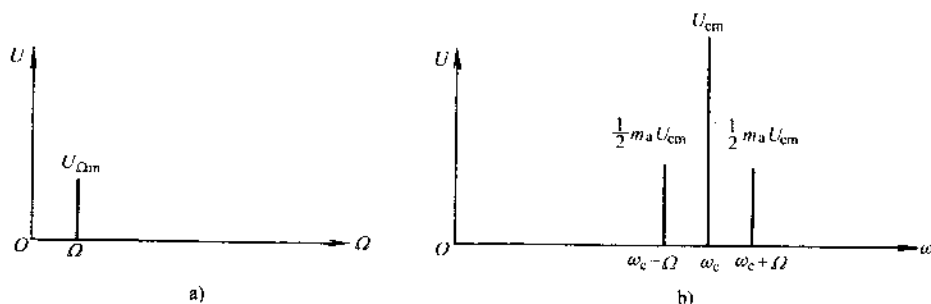


图 1-5 单音调幅波的频谱

a) 单音信号的频谱 b) 调幅波的频谱

如果音频调制信号是具有一定频率带宽的语音信号，那么它所产生的调幅信号频谱，如图 1-6 所示。

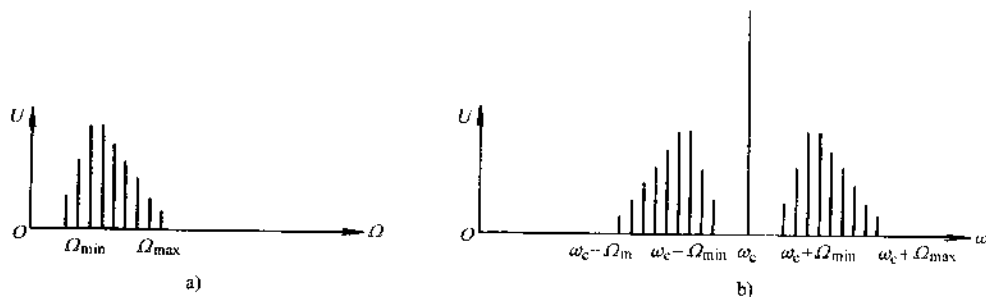


图 1-6 语音信号调幅波的频谱

a) 语音信号的频谱 b) 调幅波的频谱

从调幅波的频谱结构可以看出, 调幅波含有调制信号的信息, 且调幅信号的频谱在载波频率左右的两倍音频频率范围内。可见调幅波频带宽度为调制信号最高频率的二倍, 即

$$BW_{AM} = 2f_{\max} \quad (1-5)$$

语音和音域不宽的音乐节目的频率范围为 $50\text{Hz} \sim 4.5\text{kHz}$, 因此, 调幅广播的每路带宽约在 9kHz 以内, 因此, 规定相邻两调幅广播电台载波频率的间隔不得小于 9kHz 。

三、调频信号

1. 调频信号的波形

用音频信号去调制载波的频率产生的已调信号称为调频信号或调频波, 调频信号的波形如图 1-7 所示。

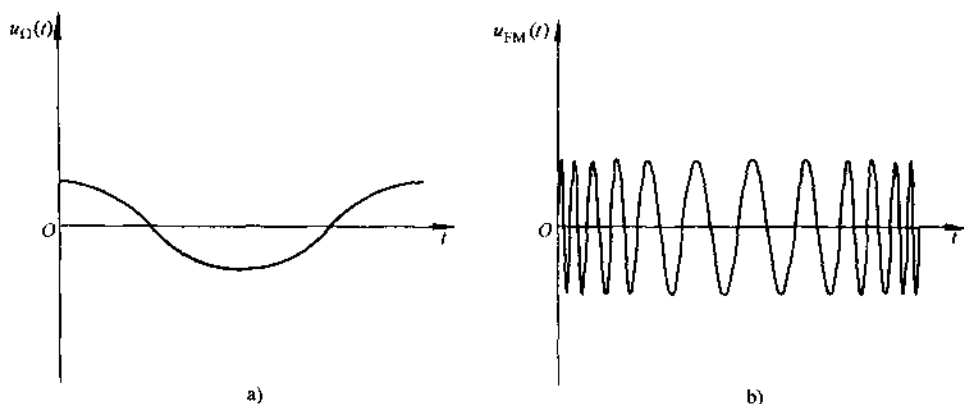


图 1-7 调频信号的波形

a) 单音信号 b) 调频信号的波形

2. 调频波的表达式

若调制信号和载波的分别为 $u_{\Omega}(t) = U_{\Omega m} \cos \Omega t$ 和 $u_c(t) = U_{cm} \sin \omega_c t$, 并且调频频偏为

$$\begin{aligned} \Delta \omega &= k \cdot u_{\Omega}(t) = k \cdot U_{\Omega m} \cos \Omega t \\ &= \Delta \omega_m \cos \Omega t \end{aligned} \quad (1-6)$$

式中 $\Delta \omega_m$ ——最大角频偏。

则写出调频波表达式如下

$$\begin{aligned} u_{FM} &= U_{cm} \cos \varphi(t) = U_{cm} \cos \left(\int_0^t \omega(t) dt + \varphi_0 \right) \\ &= U_{cm} \cos \left(\int_0^t (\omega_c + \Delta \omega) dt + \varphi_0 \right) \\ &= U_{cm} \cos \left(\omega_c t + \frac{\Delta \omega_m}{\Omega} \sin \Omega t + \varphi_0 \right) \\ &= U_{cm} \cos (\omega_c t + m_f \sin \Omega t + \varphi_0) \end{aligned}$$

不计初相位 φ_0 , 得调频波表达式

$$u_{FM} = U_{cm} \cos (\omega_c t + m_f \sin \Omega t) \quad (1-7)$$

式中 m_f ——调制指数

$$m_f = \frac{\Delta \omega_m}{\Omega} \quad (1-8)$$

3. 调频信号的频谱结构

当音频的频率 $f = \Omega/2\pi = 5\text{kHz}$ 时, 逐渐增大音频信号的频率调制深度, 即加大调频频偏 $\Delta\omega_m$, 此时调频指数 m_f 也跟着增大。不同的调制指数下调频信号的频谱结构如图 1-8 所示。由图可以看出, 调频指数越大, 则调频波中载波成分就越小、信号成分就越大、边频数就越多、调频信号的频带也越宽。

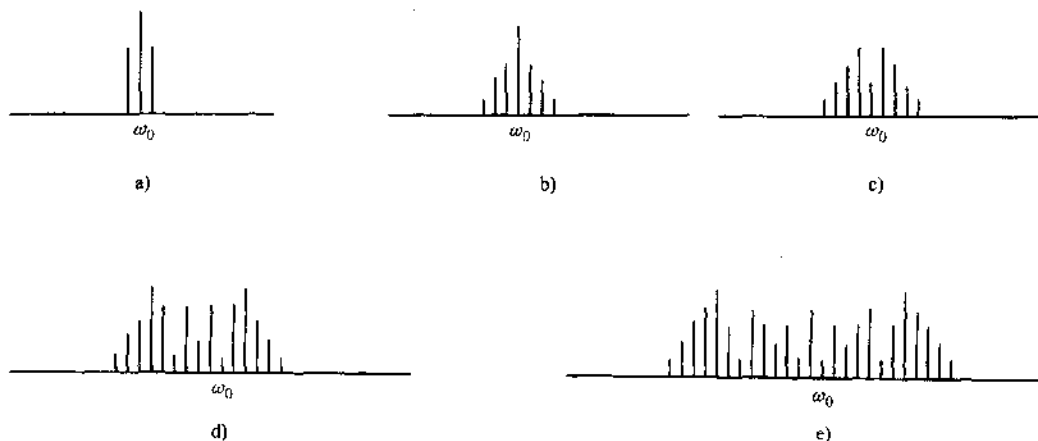


图 1-8 不同调制指数下调频信号频谱的结构

a) $m_f=0.5$ b) $m_f=1$ c) $m_f=2$ d) $m_f=5$ e) $m_f=10$

调频信号的功率不随调制系数的改变而变化, 调频指数可以大于 1。这说明调频信号中的调制信号可以有更大的动态范围, 并且在相同发射功率的条件下, 调制指数越大, 信噪比就越高。当然, 这些优点是以占用更宽的频带为代价的。

调频波中边频间隔等于音频信号频率 f , 越远离载波中心频率, 边频的幅度越小。实验表明, 舍去幅度小于载波幅度 10% 的边频, 对信号的传输质量并无多大影响, 于是得到调频波的有效边频数 $N = 2 \times (m_f + 1)$, 因此调频信号的有效带宽为

$$BW_{FM} = 2 \times (m_f + 1)f \quad (1-9)$$

或写成

$$BW_{FM} = 2 \times (\Delta f_m + f) \quad (1-10)$$

国际上规定: 调频广播的最大频偏为 75kHz, 调频道间隔为 200kHz。取最大频偏 $\Delta f_m = 75\text{kHz}$, 最高音频调制频率 $f = 15\text{kHz}$, 则调频波的频带宽度为 $BW_{FM} = 2 \times (75\text{kHz} + 15\text{kHz}) \approx 180\text{kHz}$ 。

可以看出, 调频广播所占用的频带比调幅广播电台频带要宽得多, 因此, 调频不使用中短波波段, 而只能安排在频带较宽的波段, 如超短波波段。

四、调幅广播与调频广播

调幅广播是最早使用的广播调制制式, 主要用于中波和短波波段。随着无线电广播业的发展, 无线电台的数目越来越多, 中波与短波的波段范围已越来越拥挤, 不能进一步地容纳更多频道, 必须向上开发新的较宽的频率资源 (如超短波和微波)。并且, 人们对广播的质量提出更高的要求, 在这种情况下, 20 世纪 40 年代, 人们开辟了超短波波段的调频制无线电广播。

调幅制广播的特点是, 发射与接收设备较简单, 占用的频带较窄, 适合工作于波段频率

范围较窄的无线电频段（如中波和短波波段），并且中波和短波的覆盖区域大。但是，调幅制广播的抗干扰能力较差，广播质量不高。

调频制广播的特点是抗干扰能较强，因为干扰主要影响已调信号的幅度，而调频信号的信息寄载在载波的频率上，所以不会受到多大影响。为了获得较高广播质量（即高的信噪比和大的动态范围），调频广播就得占用较调幅广播要宽许多的频带，因此只适合工作在无线电频率较高的频段（如超短波波段），但是超短波的广播覆盖区域较小，其有效半径一般不超过 100km。

随着人们对广播质量要求的提高以及无线电广播技术的发展，在普及单声道调幅广播与调频广播的同时，相继开发了调频立体声广播以及调幅立体声广播，它们都是兼容式的。目前，国际上调频立体声广播大致有三种制式：导频制（或称为 AM-FM 制）、极化调制和 FM-FM 制。由于导频制调频立体声广播的发射系统和接收系统简单，因此被大多数国家所采用。国际上调幅立体声广播有五种制式，其中，摩托罗拉制式（即兼容正交幅度调制，英文缩写为 C-QUAM）较为典型。

第三节 无线电广播的接收

一、超外差接收机的组成原理

接收机的基本任务是，通过接收天线拾取无线电波，然后从中选择所需要的已调信号，经一定的放大后解调出原信号。从已调载波中提取出原调制信号的过程称为解调（也称检波）。

早期的无线电接收机的结构很简单，它由接收天线、输入回路、高放电路、检波电路、音频电压放大和功率放大电路组成，如图 1-9 所示，称为直放式接收机。

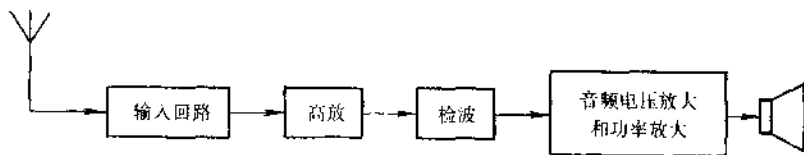


图 1-9 直放式接收机的组成框图

直放式接收机整机的灵敏度由高放电路的增益决定，选择性由输入回路频率选择性决定。因此，直放式接收机整机的灵敏度和选择指标都不高。

为了能收到更遥远的无线电波以及从越来越多的无线电台信号选择出所需无线电台信号，人们对接收机的灵敏度和选择性提出了更高的要求。

超外差接收机结构是在直放式接收机结构的基础上增加了变频环节（包括本振和混频）、选频中放环节，如图 1-10 所示。超外差接收机的灵敏度和选择性主要由中放通道的电路增益和频率选择性决定，这大大地提高了接收机整机的选择性和灵敏度。超外差接收结构已成为现代接收机的基本组成框架。AGC 自动增益控制电路的作用是随输入信号的强弱自动调节接收机的接收灵敏度和防止强信号阻塞。

超外差接收机的接收处理过程是：通过接收天线，将无线电电磁波转换成射频信号，输入回路对要接收的信号进行滤波粗选，然后通过变频级（起变频作用）变成频率较低的中频

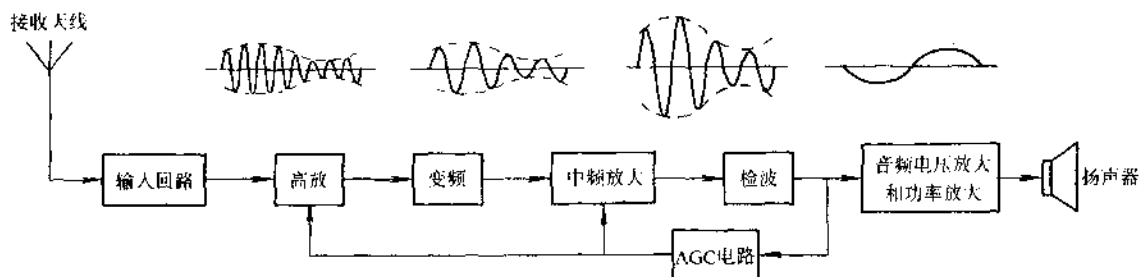


图 1-10 超外差接收机的组成框图

已调载波（调幅收音机的中频为 465kHz，调频收音信号的中频为 10.7MHz），接着通过中放通道的选频网络细选出要接收的已调载波，随后，进行放大和解调（检波），从已调载波中提取出原电信号。这就完成了无线电信号的接收和解调。然后通过前置放大和功放驱动扬声器还原成声音（对于收音机）。

二、超外差接收机的灵敏度和选择性

灵敏度和选择性是衡量接收机性能优劣的基本依据是接收机两项重要指标。

1. 灵敏度

灵敏度是衡量接收机接收微弱电台信号能力的指标，灵敏度越高，接收机接收微弱信号的能力就越强。

灵敏度的定义：在满足一定输出信噪比的条件下，当接收机输出标准功率信号时输入端必须输入的最小信号的电压值。显然，提高接收机的增益可以提高灵敏度，但接收机增益的提高就意味着要增加收音机放大电路的级数，这样也就增大了接收机的内部噪声的输出，当输出的噪声超出一定程度时，接收机的输出信噪比就恶化而无法获得要求的接收质量。因此，无限制地提高增益并不能无限地提高接收机的灵敏度，也就是说，接收机的灵敏度是受收音机内部噪声限制的，提高接收机灵敏度的关键是降低接收机内部噪声。

收音机灵敏度的表示有两种方法：①对于使用磁棒天线的收音机（如中波调幅收音机），用磁棒天线处的电磁波的电场强度来表示，单位是毫伏/米（即 mV/m ），我国目前普及型收音机，中波波段灵敏度约为 $0.2 \sim 1.5 \text{mV/m}$ ，也就是说，在一定输出功率和输出信噪比（26dB）的条件下，只要磁性天线在此大小的电场强度处，就能清楚地收到电台的声音。②对于使用拉杆天线的收音机，采用输入调谐回路两端的信号电压的大小来表示其灵敏度，单位是微伏（ μV ），我国普及型短波段调幅收音机的灵敏度为 $50 \sim 200 \mu\text{V}$ 。

2. 选择性

选择性是指接收机从众多不同频率的信号中筛选所要信号、抑制干扰的能力。

（1）邻道选择性 邻道选择性是指接收机选出所要接收的电信号而抑制邻近信道信号干扰的能力，它主要取决于中频通道的选择性。

收音机中波波段的選擇性的測量是这样规定的：在调谐频率为 1000kHz 条件下，测得灵敏度为 1mV/m ，然后，在不改变调谐频率的条件下分别外加 991kHz 和 1009kHz 的测试信号，测得其灵敏度为 10mV/m ，显然，在偏离 $\pm 9 \text{Hz}$ 的失谐时的接收灵敏度降低了 10 倍，则选择性为 20dB。分贝数越大，表明选择性越好。我国标准规定，A 类机不低于 30dB，B 类机不低于 16dB，C 类机不低于 10dB。

(2) 镜像抑制和中频抑制

现代接收机采用超外差接收机,虽然明显地提高了灵敏度和选择性指标,但是超外差接收机的中频滤波通道不能抑制镜像干扰和中频干扰。

在超外差接收机中,接收信号的频率总与本振的频率相差一个中频,若有一干扰信号与本振也相差一个中频,并且干扰信号的频率位置与接收信号的频率位置分别位于本振频率的两边,那么干扰经过混频级也产生中频输出,这个干扰被称为镜像干扰。超外差接收机抑制镜像干扰指标用接收机在接收镜像频率信号的灵敏度与接收灵敏度的比的分贝数来表示,称为镜像抑制比。

中频上的干扰信号可以直接通过混频级进入中放级干扰要接收的信号,这个干扰被称为中频干扰。超外差接收机抑制中频干扰的指标是用接收中频干扰信号的灵敏度与接收机灵敏度的比的分贝数来表示,称为中频抑制比。

普通接收机一般通过提高前端电路选择性来加强对镜像干扰和中频干扰的抑制,譬如采用统调式的输入电路和高放电路。在高质量的超外差接收机中,则采用二次变频的高中频方案来获得高的镜像抑制比和中频抑制比,而且可以降低对接收机前端选择性的要求,以简化甚至取消前端电路统调机构。除这两项指标外,一些质量较高的接收机还有其他一些指标要求(互调和交调指标),这里就不一一例举。有关调幅收音机和调频收音机特有的指标要求请见第二章和第三章中内容。

三、模拟广播制式中收音机的发展

无线电收音(简称收音)是指通过无线电电波接收声音信号,做为无线电波广播的接收装置——收音机,随着电子管和半导体技术的产生和发展,收音机经历了从最古老的矿石收音机、电子管收音机、晶体管收音机各发展历程,一直发展到当今广泛使用的集成电路收音机。集成电路收音机不但体积小、重量轻、耗电小,而且性能好、功能多。目前,应用微处理技术的数字调谐式集成电路收音正在日益普及。

第四节 数字声音广播

一、声音的数字化潮流

进入20世纪70年代,随着大规模集成电路、大容量半导体存储器件和计算机技术的发展,数字技术开始越来越多地用于音频等模拟信号的处理。模拟信号在存储、处理和传输等方面的数字化,具有显著的优越性,简要概括为以下几个方面。

1. 数字记录和传输的有效性高

数字信号是通过对模拟信号进行离散时间上的抽样(采样)和在幅度上进行量化产生的,在相同的时间内采集的数据和数据量点是有限的,并且通过数字压缩处理去冗余之后,可以进一步降低数据量,这将使信号的记录和传送更为有效。

2. 数字传输的可靠性高

数字信号传输过程中抗干扰能力较模拟信号强,而且可以采用检纠错编码技术来提高传输数字信号的抗干扰能力,保证信号恢复的质量。

3. 数字处理电路的集成化程度高

由于采用数字处理的方式,处理电路可以采用大规模数字集成电路来完成。数字集成电