

高等职业技术电子信息类专业教材

收录音技术

主 编 刘义雄

副主编 梁长垠 刘守义



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

URL: <http://www.phei.com.cn>

高等职业技术电子信息类专业教材

收录音技术

主编 刘义雄

副主编 梁长垠 刘守义

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书为高等职业技术学院电子信息类相关专业视听技术课程系列教材之一。

全书共 10 章,内容包括无线电广播基本知识、调幅超外差收音技术、调频超外差收音技术、录放音原理、录放音电路、机械运带系统、收录机特殊电路、数字调谐和数字录音技术、收录机检修技术和综合考评。每章后面均附有思考题。

本书还设有多个实际操作训练项目,内容包括收录机内部结构剖析、AM/FM 收音电路测试与调整、录放音电路测试与调整、录音机机芯的调整。另外,本书还以流程图的方式给出了常见故障分析、判断、检修的全过程以及综合考评的内容。

本书可作为高职、高等院校电子信息类专业相关课程的教材,也可作为家电行业工程技术人员和无线电爱好者的自学用书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,翻版必究。

图书在版编目(CIP)数据

收录音技术/刘义雄主编. - 北京:电子工业出版社,2001.4

(高等职业技术学院电子信息类专业教材)

ISBN 7-5053-6340-9

I. 收… II. 刘… 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. TN912.12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 02043 号

丛 书 名: 高等职业技术学院电子信息类专业教材

书 名: 收录音技术

主 编: 刘义雄

副 主 编: 梁长垠 刘守义

责任编辑: 应月燕 刘 娜

排版制作: 电子工业出版社计算机排版室

印 刷 者: 北京天竺颖华印刷厂

装 订 者: 三河市金马印装有限公司

出版发行: 电子工业出版社 URL: <http://www.phei.com.cn>

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销: 各地新华书店

开 本: 787×1092 1/16 印张: 15 插页: 1 字数: 396 千字

版 次: 2001 年 4 月第 1 版 2001 年 6 月第 2 次印刷

书 号: ISBN 7-5053-6340-9
TN·1418

印 数: 6 000 册 定价: 20.00 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页、所附磁盘或光盘有问题者,请向购买书店调换;
若书店售缺,请与本社发行部联系调换。电话 68279077

前 言

高等职业教育是高等教育的重要组成部分,近年来在我国得到蓬勃发展。高职教育的目标是培养应用型技术人材。本教材就是力图体现高职教育目标的一个尝试。

在体现高职教育特色方面本书具有以下几个方面的主要特点:

1. 以能力培养为核心设计全书内容

高职教育十分重视职业能力的培养,包括分析问题、解决问题的能力 and 实际动手操作能力的培养。前者需要一定的理论基础做后盾,后者需要加强实践方面的内容。因此,要解决能力培养问题,理论和实践都很重要。本书以能力培养为核心,在对内容进行更新的基础上,对收、录音理论和技术进行了新的编排,在保证“够用”的前提下,增加了很多实践方面的内容。如,收录机整机结构剖析、单元电路安装与调试、整机组装与调整、常见故障分析与检修。此外,还以流程图的形式给出了收录机故障分析、判断、检修的全过程。

2. 在编写体系上将理论与实践融为一体

收录机技术是一门理论性、实践性都比较强的课程。本书在理论与实践相结合方面作了一些探索。主要作法是将大部分实践课的内容分解到各章各节中去,使理论教学能以实践为依托,实践教学又能以理论为依据。这种理论与实践有机结合、融为一体的编写体系正是本书的一个特点。

另外,本教材十分注重基本概念的讲解、基本原理的应用和基本技能的训练。对理论性较强的部分,强调定性分析,避免繁琐的数学推导;对实践性较强的内容,给出方案,提出要求,让学生自己去分析、实践和总结。

3. 增加了成品机组装和综合考评的内容

与本教材配套使用的还有一台立体声收录机套件。从第一堂课起,学生就与这台套件结缘。从元器件的识别、检测,到单元电路的安装、调试,再到整机的组装与调整,始终与理论教学紧密结合,同步进行。

第10章为综合考评,分为技能考评和理论考评两个部分。每个部分都给出了考评要求和考评试题。它不仅是对所学知识、技能的考核和评价,也是对相关内容的复习、巩固和加深理解,还可作为学生进行视听技术等级考试的参考资料。

本书第3、7、9、10章由梁长垠编写,第8章由刘守义编写,第2章由周山雪编写,第1、4、5、6章由刘义雄编写。全书由刘义雄统稿。

深圳职业技术学院戴士弘教授对本书的构思和编写工作给予了具体指导和帮助,深圳京华电子有限公司王志本先生为本书提供了宝贵的技术资料 and 实习套件,深圳职业技术学院成再君高级工程师对本书提出了宝贵意见并给予了很大帮助,谨在此一并表示感谢。

由于作者经验不足,水平有限,加之时间仓促,书中难免有不少缺点和错误,恳望读者批评指正。

编 者

2000年10月于深圳

目 录

第1章 无线电广播基本知识	(1)
1.1 无线电广播的基本概念	(1)
1.1.1 无线电波	(1)
1.1.2 无线电波段的划分	(1)
1.1.3 无线电波的传播特性	(2)
1.2 无线电信号的发送	(3)
1.2.1 无线电信号的调制	(3)
1.2.2 已调波的频谱与带宽	(5)
1.2.3 无线电广播信号的发射	(8)
1.3 无线电信号的接收	(10)
1.3.1 接收机的组成和作用	(10)
1.3.2 收音机的种类和特点	(10)
1.3.3 收音机的主要性能指标	(11)
实训一 收录机内部结构剖析	(14)
思考题	(15)
第2章 调幅超外差式收音技术	(16)
2.1 调幅超外差式收音电路的组成与特点	(16)
2.2 输入电路	(17)
2.2.1 输入电路的作用与工作原理	(17)
2.2.2 输入电路的性能要求	(17)
2.2.3 输入电路的种类与特点	(18)
2.3 变频器	(20)
2.3.1 变频器的组成与基本原理	(20)
2.3.2 变频器的性能要求	(21)
2.3.3 统调	(23)
实训二 变频电路的测试与统调	(25)
2.4 中频放大电路	(27)
2.4.1 中频放大电路的作用与组成	(27)
2.4.2 中频放大电路的性能要求	(28)
2.4.3 陶瓷滤波器在中频放大器中的应用	(29)
2.4.4 集成中频放大器	(30)
实训三 中频放大电路综合测试	(32)
2.5 检波与自动增益控制电路	(33)
2.5.1 检波器的作用、类型与性能要求	(33)
2.5.2 检波器的组成与工作原理	(34)
2.5.3 自动增益控制电路	(35)
2.6 低频放大电路	(36)
2.6.1 低频放大电路的作用与要求	(36)

2.6.2 低频放大电路的种类与特点	(37)
2.6.3 集成低频功率放大电路	(39)
实训四 双声道集成功率放大器测试	(40)
2.7 集成调幅超外差式收音电路分析	(41)
2.7.1 单片 AM 收音集成电路 TA7641BP	(42)
2.7.2 单片(TA7641BP)AM 收音机电路分析	(42)
思考题	(43)
第3章 调频超外差式收音技术	(45)
3.1 立体声与立体声广播	(45)
3.1.1 立体声基本概念	(45)
3.1.2 调频立体声广播	(47)
3.1.3 预加重与去加重	(48)
3.1.4 立体声复合信号	(49)
3.2 调频超外差式收音电路的组成和特点	(51)
3.2.1 单声道调频收音电路的组成	(52)
3.2.2 调频立体声收音电路的组成	(52)
3.3 调频高频头电路	(53)
3.3.1 调频高频头电路的作用与性能要求	(53)
3.3.2 调频高频头电路的组成和工作原理	(53)
3.3.3 集成调频高频头电路	(56)
实训五 调频高频头综合测试	(59)
3.4 中频放大器	(60)
3.4.1 中频放大器的作用与性能要求	(60)
3.4.2 调频中频放大器的特点	(60)
3.4.3 中频放大器的组成与工作原理	(60)
实训六 调频中频放大器综合测试	(61)
3.5 限幅器与鉴频器	(62)
3.5.1 限幅器	(62)
3.5.2 鉴频器	(64)
3.6 立体声解码电路	(68)
3.6.1 立体声解码器的作用与性能要求	(68)
3.6.2 矩阵式解码电路	(69)
3.6.3 开关式解码电路	(70)
3.6.4 锁相环式解码电路	(70)
实训七 立体声解码电路的测试与调整	(73)
3.7 附加信道广播(SCA)系统	(74)
3.7.1 附加信道广播(SCA)系统的组成与工作原理	(75)
3.7.2 SCA 广播的频率配置	(75)
3.7.3 SCA 解码器	(76)
3.8 调频双节目广播系统	(77)
3.8.1 调频双节目广播制式与基带组成	(77)
3.8.2 FM-FM 制双节目调频广播系统的组成与原理	(77)
思考题	(79)
第4章 录放音原理	(80)

4.1 录音机的基本组成及主要性能指标	(80)
4.1.1 录音机的基本组成与分类	(80)
4.1.2 录音机的主要性能指标	(81)
4.2 录放音电磁基础	(84)
4.2.1 与磁场有关的基本物理量	(84)
4.2.2 电和磁的基本转换关系	(86)
4.2.3 磁性材料的基本特性	(86)
4.3 磁头和磁带	(88)
4.3.1 磁头的种类与结构	(88)
4.3.2 磁头的主要性能	(90)
4.3.3 磁带的种类与结构	(91)
4.3.4 磁带的主要性能	(93)
实训八 磁头阻抗测试与盒式磁带调整	(94)
4.4 录音原理	(95)
4.4.1 录音基本原理	(95)
4.4.2 偏磁录音	(96)
4.4.3 偏磁录音特性	(98)
4.5 抹音原理	(100)
4.5.1 永磁抹音	(100)
4.5.2 直流抹音	(100)
4.5.3 交流抹音	(100)
4.6 放音原理	(101)
4.7 录放音过程中的损耗与频率补偿特性	(102)
4.7.1 录音过程中的损耗	(102)
4.7.2 放音过程中的损耗	(103)
4.7.3 录放音频率补偿特性	(104)
思考题	(106)
第5章 录放音电路	(107)
5.1 录放音电路的组成与特点	(107)
5.2 放音均衡放大电路	(108)
5.2.1 放音均衡放大电路的作用与性能要求	(108)
5.2.2 放音均衡放大电路的类型与工作原理	(109)
5.3 录音输入与放大电路	(112)
5.3.1 输入电路的特点与输入方式	(112)
5.3.2 双前置放大电路 TA7668AP	(113)
5.3.3 集成双前置放大电路 BA3308/BA3308F	(114)
实训九 双前置放大电路测试	(116)
5.4 自动录音电平控制(ALC)电路	(117)
5.4.1 ALC 电路的作用原理	(117)
5.4.2 ALC 电路的控制特性	(118)
5.4.3 ALC 电路工作原理	(119)
5.4.4 立体声录音机的 ALC 电路	(122)
5.5 恒流录音和录音频率补偿电路	(123)
5.5.1 恒流录音	(123)

5.5.2 录音频率补偿电路	(123)
5.6 超音频偏磁振荡电路	(125)
5.6.1 对超音频偏磁振荡电路的要求	(125)
5.6.2 超音频偏磁振荡电路	(126)
5.6.3 偏磁陷波电路	(127)
实训十 录音电路的调整	(128)
思考题	(129)
第6章 机械运带系统	(131)
6.1 机心的功能与组成	(131)
6.1.1 机心的功能	(131)
6.1.2 机心的分类与组成	(131)
6.1.3 机心的结构	(132)
6.2 恒速运带与快速进带/倒带机构	(132)
6.2.1 走带机构中的重要部件	(132)
6.2.2 恒速运带机构	(137)
6.2.3 快速进带与倒带机构	(138)
6.3 制动、停止与暂停机构	(138)
6.3.1 制动机构	(138)
6.3.2 自停机构	(139)
6.3.3 暂停机构	(141)
6.4 自动反转运带机构	(142)
6.5 操作、出盒与防误抹机构	(143)
6.5.1 操作机构	(143)
6.5.2 出盒机构	(145)
6.5.3 防误抹机构	(145)
6.6 直流电动机与稳速电路	(146)
6.6.1 对直流电动机的要求	(146)
6.6.2 直流电动机的结构与工作原理	(146)
6.6.3 机械稳速装置	(148)
6.6.4 电子稳速电路	(148)
实训十一 录音机机心的调整	(149)
思考题	(152)
第7章 立体声收录机的特殊电路	(153)
7.1 静噪电路	(153)
7.1.1 静噪调谐电路	(153)
7.1.2 自动选曲静噪电路	(154)
7.2 降噪电路	(155)
7.2.1 降噪电路的作用和工作原理	(155)
7.2.2 杜比降噪电路	(155)
7.2.3 使用杜比降噪电路时应注意的事项	(156)
7.3 音调控制电路	(157)
7.3.1 简单 RC 高音衰减式音调控制电路	(157)
7.3.2 RC 衰减式高低音音调控制电路	(157)
7.3.3 衰减负反馈式音调控制电路	(157)

7.3.4	模拟电感图示式音调控制电路	(159)
7.4	等响度控制电路	(161)
7.4.1	等响度控制电路的作用	(161)
7.4.2	等响度控制电路及工作原理	(161)
7.5	立体声平衡与扩展电路	(162)
7.5.1	立体声平衡电路	(162)
7.5.2	立体声扩展电路	(163)
7.6	电平指示电路	(164)
7.6.1	电平表指示电路	(164)
7.6.2	发光二极管指示电路	(165)
7.7	电脑自动选曲电路	(167)
7.7.1	电脑自动选曲电路的组成与原理	(167)
7.7.2	典型应用电路分析	(169)
	思考题	(170)
第8章	数字调谐与数字录音技术	(172)
8.1	数字调谐技术	(172)
8.1.1	数字调谐收音机的特点	(172)
8.1.2	数字调谐收音机的基本组成	(173)
8.1.3	数字调谐器的工作原理	(175)
8.1.4	实用数字调谐收音机电路分析	(176)
8.2	数字音响技术简介	(178)
8.2.1	数字音响技术概述	(178)
8.2.2	数字录音放音系统的原理与组成	(180)
	思考题	(184)
第9章	收录机检修技术	(185)
9.1	收录机检修基本要求	(185)
9.1.1	收录机检修前的准备工作	(185)
9.1.2	收录机检修时的注意事项	(186)
9.1.3	收录机检修的基本原则	(186)
9.2	收录机的基本检修方法	(187)
9.2.1	直观检查法	(187)
9.2.2	万用表检查法	(188)
9.2.3	注入信号法	(188)
9.2.4	替换法	(190)
9.2.5	分割法	(190)
9.2.6	信号短路法	(190)
9.3	收录机常见故障分析与处理	(190)
9.3.1	收录机公共通道故障分析与处理	(190)
9.3.2	收音电路故障分析与处理	(192)
9.3.3	放音电路故障分析与处理	(197)
9.3.4	录音电路故障分析与处理	(200)
9.3.5	机械故障分析与处理	(204)
	思考题	(206)
第10章	综合考评	(207)

10.1	技能考评	(207)
10.1.1	技能考评的要求	(207)
10.1.2	检修报告	(208)
10.1.3	技能考评试题	(208)
10.2	理论考评	(215)
10.2.1	理论考评的要求	(215)
10.2.2	理论考评试题	(215)
附录 A 京华 JW-568 型立体声收录机电原理图		
附录 B 数字调谐收音机电原理图		

第1章 无线电广播基本知识

利用无线电波把要广播的节目内容传送出去的过程,称为无线电广播。利用接收机把无线电波接收下来,并还原为原广播节目内容的过程,称为收音。为了深入研究无线电收音技术,必须首先了解无线电广播基本知识。

本章主要介绍无线电广播的基本概念和无线电广播信号发送与接收方面的基本知识。

1.1 无线电广播的基本概念

1.1.1 无线电波

在无线电技术中,我们把能够向周围空间传播一定距离的交替变化的电场和磁场,称为无线电波。无线电波简称电波。电波在空间传播速度很快,约等于光速,即波速 $c \approx 3 \times 10^8$ m/s(米每秒)。

无线电波除用传播速度,即波速表示外,还可用波长和频率来表示。波长,是指无线电波在传播过程中,每变化一个周期所传播的距离;频率,是指在1秒钟内,无线电波变化的次数。显然,波速、波长、频率三者之者的关系可用下式表示:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

式中, c 为波速,单位是 m/s(米每秒); λ 为波长,单位是 m(米); f 为频率,单位是 Hz(赫兹)。

当发射天线上通过的电流为正弦波时,它在周围空间所形成的电场和磁场(即无线电波)也将按正弦规律变化。当无线电波的传播方向与无线电波的电场方向、磁场方向三者之间互相垂直时,我们称这种电波为横向波。横向波的传播方向可用右手确定:伸出右手,使拇指、中指、食指三个手指互相垂直,让中指指向电场方向,食指指向磁场方向,则拇指所指方向就是电波传播的方向。无线电波的变化规律和传播方向如图 1-1 所示。

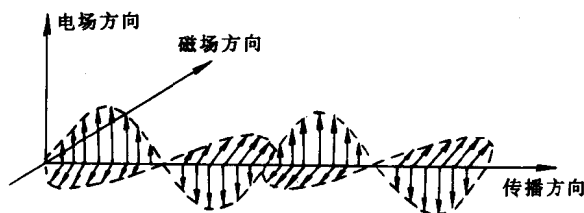


图 1-1 无线电波的变化规律和传播方向

1.1.2 无线电波段的划分

依据电波频率的不同,可将无线电波划分成极长波、超长波、特长波、甚长波、长波、中波、短波、超短波和微波等 12 个波段,其中微波又可划分为分米波、厘米波、毫米波和丝米波等波段。从收录音技术的角度,部分波段对应的波长、频率范围如表 1.1 所示。

表 1.1 无线电波段划分(部分)

波 段	波 长 范 围	频 段	频 率 范 围
超长波	100 000~10 000 m	甚低频(VLF)	3~30 kHz
长波	10 000~1 000 m	低频(LF)	30~300 kHz
中波	1 000~100 m	中频(MF)	300~3 000 kHz
短波	100~10 m	高频(HF)	3~30 MHz
超短波	10~1 m	甚高频(VHF)	30~300 MHz
微波	1 m~1 mm	超高频(UHF)	300 MHz~300 GHz

不同波段的无线电波,其传播特性和规律也不尽相同。电波不同的传播特性决定了各个波段的应用范围。例如,超长波常用于海上远距离通信;长波常用于电报通信;中波和短波常用于无线电广播和电报通信;超短波常用于导航和无线电广播;微波常用于电视、雷达、导航、移动通信和卫星通信。

用于广播的无线电波是频率范围很宽的电磁波。随着电子技术的发展,这个范围向极长和极短两个方向发展。现在,波长最长的可达几万里,最短的可到几百微米。

1.1.3 无线电波的传播特性

根据无线电波的传播特性,可将无线电波分为地波、天波和空间波三种。地波是沿地面传播的无线电波;天波是依靠空中电离层的反射和折射作用而传播的无线电波;空间波是从发射点直接传播到接收点的无线电波。由于大地和天空对无线电波的影响,决定了不同波段的无线电波的传播方式和传播特性。

1. 地波传播

长波和中波主要是沿着地球表面进行传播,属于地波传播方式。图 1-2(a)是这种传播方式的示意图。地波传播的特点是:

- (1) 不受昼夜和天气变化的影响,传播性能比较稳定。
- (2) 遇到地面障碍物时,能够以绕射的方式进行传播。其绕射能力主要取决于电波频率、传播距离和电波发射功率。频率越低、距离越近、功率越大,绕射能力就越强。
- (3) 由于地球表面对地波有吸收作用,故地波在沿地面传播时总是越传越弱。地面对地波影响的程度,视地面情况而定。一般对潮湿的地面和海面,由于其导电性能好,电波在传播过程中损耗小,衰减慢,因而传播距离远,而对于干燥的地面和森林传播距离较近。

2. 天波传播

短波主要靠电离层和地面间的来回反射将电波传向远方,属于天波传播方式。图 1-2(b)是这种传播方式的示意图。

在离地面约 50~400 km 的高空,稀薄的大气层由于受太阳紫外线的辐射和宇宙射线的影响,会发生电离现象而产生大量的自由电子和正离子。这种被电离的大气层称为电离层。电离层的特性常用单位空间内所含自由电子和正离子的多少,即电离密度来描述。一般,夏季电离层电离的密度比冬季大,白天电离层的电离密度比夜间大。

电离层对电波有折射、反射和吸收的作用。对于长波和中波吸收作用较强,特别是在白天,

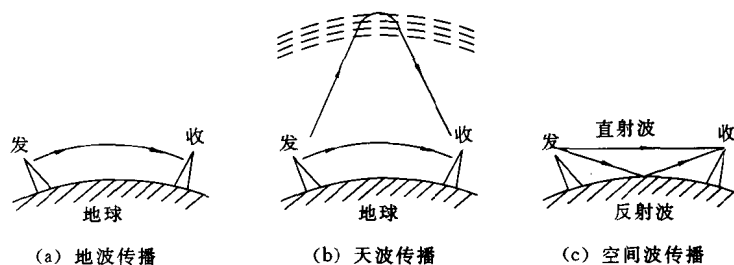


图 1-2 无线电波的传播方式

由于电离层的电离密度大,吸收作用更强。所以,在白天基本不能靠电离层的反射来传播长波和中波。而对于短波,地面吸收作用强,而电离层吸收作用小,反射和折射多,因此短波主要靠电离层的反射和折射进行传播。电波被反射的程度,除主要取决于电波的频率外,还与电离层电离的密度和电波对电离层的入射角有关。一般,电离密度越大,入射角越大,电波越容易被反射。对于频率高于 30 MHz 的超短波和微波,它能够穿透电离层传向宇宙太空。因此,天波传播适用于短波波段。

天波传播的主要缺点是,反射回地面的电波不够稳定,可靠性比较差。这主要是由于受气候、白昼等诸多因素的影响,使电离层的高度、厚度和电离密度等参数每时每刻都在发生变化所致。另外,天波传播还存在着干扰比较大,部分地段传播不到的现象。

3. 空间波传播

超短波和微波,频率高,波长短,发射出去后被电离层反射回来的很少,沿地面绕射时损耗也很大,因此该波段的电波主要依靠直线传播,属于空间波传播方式。图 1-2(c)是这种传播方式的示意图。

由于地球表面呈球形,因此空间波传播距离不远,大致在视距(50~60 km)范围之内,故又称为“视距传播”。

空间波传播的距离除与频率有关外,还与电台的发射功率和发射天线的高度有关。功率大,天线高,传得就远;反之,传得就近。

1.2 无线电信号的发送

1.2.1 无线电信号的调制

利用天线可以将无线电波辐射出去,但对于要传送的音频信号,由于其频率在 20 Hz~20 kHz,波长范围在 $15 \times 10^3 \sim 15 \times 10^6$ m,为了得到有效的电磁辐射,天线尺寸必须做得很大(和波长可以相比),这在实际中是不可能的。即使音频信号能够辐射出去,由于各电台发出的都是音频信号,彼此互相干扰,听者无法从中选择所要接收的信号。解决这一问题的方法是,将要传送的带有信息的音频信号加到无线电波上去,再通过天线辐射出去。

将带有信息的音频信号加到无线电波上去的过程,称为无线电波的调制;带有信息的音频信号称为调制信号;载运信息的无线电波称为载波。经调制后的无线电波,其振幅、频率(或相位)将随着调制信号的变化而变化,称这种电波为已调波或调制波。

无线电波的调制方式有调幅和调频两种。载波的振幅随着音频信号电压变化的调制方式

称为调幅。经调幅后的已调信号(已调波)称为调幅波。载波的频率、相位随着音频信号电压变化的调制方式,分别称为调频和调相。相应的已调信号称为调频波和调相波。

载波、调制信号、调幅波、调频波和调频波瞬时角频率的波形如图 1-3 所示。

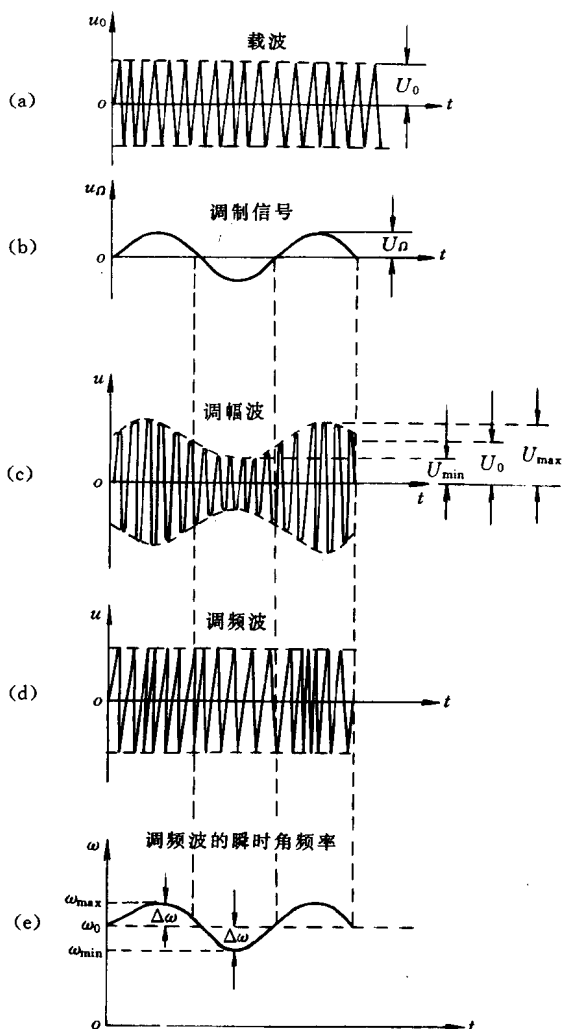


图 1-3 调幅波和调频波

由图示波形可以看出,调幅波的包络形状和调制信号完全一样。因此,在接收机中只要把调幅波的包络形状取出来,就能如实恢复原音频信号。而对于调频波,由于调制信号对其频率的控制主要反映在频偏上,因此,接收机需要一个频率检波器(鉴频器),才能把原音频信号解调出来。

1. 调幅波

设载波为一恒定频率的等幅高频正弦电压,即

$$u_0 = U_0 \sin \omega_0 t$$

式中, u_0 为载波瞬时值; U_0 为载波振幅; ω_0 为载波角频率。

调制信号为单一频率的余弦电压,即

$$u_{\Omega} = U_{\Omega} \cos \Omega t$$

式中, u_{Ω} 为调制信号瞬时值; U_{Ω} 为调制信号振幅; Ω 为调制信号角频率。

则经过调制后的调幅波可表达为

$$\begin{aligned} u &= (U_0 + U_{\Omega} \cos \Omega t) \sin \omega_0 t \\ &= U_0 (1 + \frac{U_{\Omega}}{U_0} \cos \Omega t) \sin \omega_0 t \\ &= U_0 (1 + m_a \cos \Omega t) \sin \omega_0 t \end{aligned} \quad (1.1)$$

式中, m_a 称为调幅波的调幅度或调幅指数, 其值为

$$m_a = \frac{U_{\Omega}}{U_0} \times 100\%$$

$U_0(1 + m_a \cos \Omega t)$ 为调幅波的振幅。振幅的最大值 $U_{\max}$ 和最小值 $U_{\min}$ 分别为

$$U_{\max} = U_0 (1 + m_a) \quad (1.2)$$

$$U_{\min} = U_0 (1 - m_a) \quad (1.3)$$

将(1.2)、(1.3)式联立求解, 可得调幅度为

$$m_a = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{U_{\max} + U_{\min}} \times 100\% \quad (1.4)$$

调幅度 m_a 反映了调制信号对载波振幅的调制程度。 m_a 越大, 载波振幅变化越大, 解调后输出的信号也就越大。因此, 发射端在调幅过程中总是想法增大 m_a 。 m_a 的取值通常在 0~1 的范围内。如果 $m_a > 1$, 载波振幅就会在某些时间段内为零, 使已调波的包络线和调制信号不成线性关系, 出现严重失真。

2. 调频波

设载波信号电压为 $u_0 = U_0 \sin \omega_0 t$, 音频调制信号电压为 $u_{\Omega} = U_{\Omega} \cos \Omega t$, 则载波经音频进行频率调制后, 可得到已调制的调频波为

$$\begin{aligned} u &= U_0 \sin(\omega_0 t + \frac{\Delta \omega}{\Omega} \sin \Omega t) \\ &= U_0 \sin(\omega_0 t + m_f \sin \Omega t) \end{aligned} \quad (1.5)$$

式中, u 为调频波的瞬时值; U_0 为调频波的振幅; $\Delta \omega$ 为调频波的最大角频率偏移; Ω 为音频调制信号角频率; m_f 为调频波的调频指数, 其值为

$$m_f = \frac{\Delta \omega}{\Omega} = \frac{\Delta f}{F} \quad (1.6)$$

式中, F 为调制信号的频率; Δf 为调频波的瞬时频率与原载波频率之差, 称为频偏。频偏和调频指数是调频波的两个重要参数。调频指数 m_f 反映了调制信号对载波频率的调制程度。由(1.6)式可见, 调频指数与频偏成正比, 与调制信号频率成反比。即音频信号幅度越大, 频偏越大, 调频指数就越大。但由于调频指数又和调制信号的频率成反比, 所以随着音频信号频率的增加, 调频指数却要减小。值得注意, 和调幅指数 m_a 不同, 调频指数 m_f 可以大于 1。

1.2.2 已调波的频谱与带宽

所谓频谱, 就是电信号的能量按频率分布的曲线。已调波的频谱, 就是组成已调波的各个正弦分量的幅度按频率分布的曲线。

1. 调幅波的频谱与带宽

将(1.1)式所示的调幅波用三角公式展开,可得

$$\begin{aligned} u &= U_0 \left(1 + \frac{U_a}{U_0} \cos \Omega t \right) \sin \omega_0 t \\ &= U_0 \sin \omega_0 t + \frac{1}{2} m_a U_0 \sin(\omega_0 + \Omega) t \\ &\quad + \frac{1}{2} m_a U_0 \sin(\omega_0 - \Omega) t \end{aligned} \quad (1.7)$$

上式表明,调幅波是由三种不同频率的信号成分组成的,即载频 $U_0 \sin \omega_0 t$, 上边频 $\frac{1}{2} m_a U_0 \sin(\omega_0 + \Omega) t$, 下边频 $\frac{1}{2} m_a U_0 \sin(\omega_0 - \Omega) t$ 。这就是说,在调幅过程中,虽然只有两个信号,即载波和调制信号,但经调制后却出现了三种频率成分,而且这三种成分都处在高频范围内。

图 1-4 是经单一频率正弦调制信号调制后的调幅波的频谱。其中,图(a)为单一频率正弦波频谱,图(b)是经单一频率正弦波调制后的信号的频谱。从图可见,经调制后的信号中已经不直接存在音频信号分量,音频信号是以已调波幅度变化的形式存在其中的。处在载频 ω_0 两边的上边频 $(\omega_0 + \Omega)$ 和下边频 $(\omega_0 - \Omega)$ 的幅度完全相同,都为 $\frac{1}{2} m_a U_0$ 。

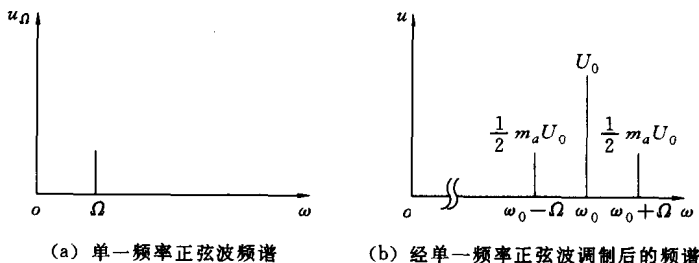


图 1-4 单一频率正弦波及其调幅波的频谱

如果调制信号是一组频率从 $\Omega_{\min}$ 到 $\Omega_{\max}$ 的复杂信号,如图 1-5(a)所示,则经调制后的信号频谱如图 1-5(b)所示。

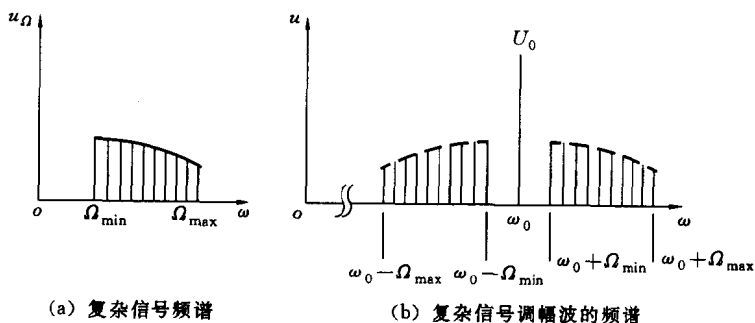


图 1-5 复杂信号及其调幅波的频谱

由图可见,这时载频两边不再是两个单一的边频,而是两个边带,每个边带占有从 $\Omega_{\min}$ 到 $\Omega_{\max}$ 的频率范围。上边带最高频率与下边带最低频率之差,为已调波的通频带宽度 B ,它恰好

等于调制信号最高频率的两倍,即

$$B = 2\Omega_{\max} \quad (1.8)$$

在调幅广播中,为了避免相邻电台之间的互相干扰,两电台之间的频率间隔不得小于音频最高频率的两倍。语言和音域不宽的音乐节目,其频率通常约在 $50 \sim 4500\text{Hz}$ 。因此,国家广播标准规定,相邻两个广播电台载波之间的频率间隔为 9kHz 。

2. 调频波的频谱与带宽

设音频调制信号频率 $\Omega = 5000\text{Hz}$, 并保持不变, 逐渐增大音频信号幅度, 即加大频偏 $\Delta\omega$, 此时调频指数 $m_f = \frac{\Delta\omega}{\Omega}$ 也跟着增大。当 $\Delta\omega$ 从 2.5kHz 分别增大到 5kHz , 10kHz , 25kHz , 50kHz 时, 调频指数 m_f 也从 0.5 分别增大到 $1, 2, 5, 10$, 相应的经调制后的信号频谱如图 1-6(a)~(e) 所示。从图可看出, 不论 m_f 如何变化, 各边频的间隔都保持为音频信号频率不变。另外, 随着频偏 $\Delta\omega$ 的加大, 边频数量增多, 以载频 ω_0 为中心, 其幅度向两边逐渐减小。

如果保持音频调制信号的幅度不变, 即保持频偏不变, 逐渐增大音频信号的频率, 调频指数就跟着降低。如保持频偏为 18kHz 不变, 使音频频率从 2kHz 分别增至 3kHz , 6kHz , 9kHz , 12kHz , 则调频指数就从 9 分别降到 $6, 3, 2, 1.5$, 相应的经调制后的信号频谱如图 1-7(a)~(e) 所示。由图可见, 随着音频频率的增加, 各边频之间的间隔逐渐加大, 边频数量减小, 而其幅度则增加。

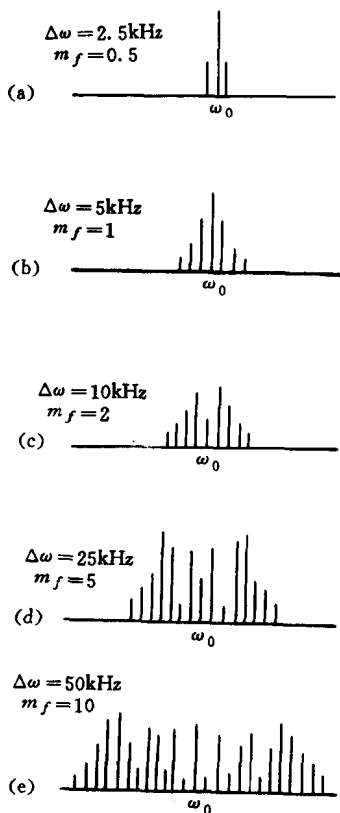


图 1-6 调制信号频率不变而幅度变化时的频谱

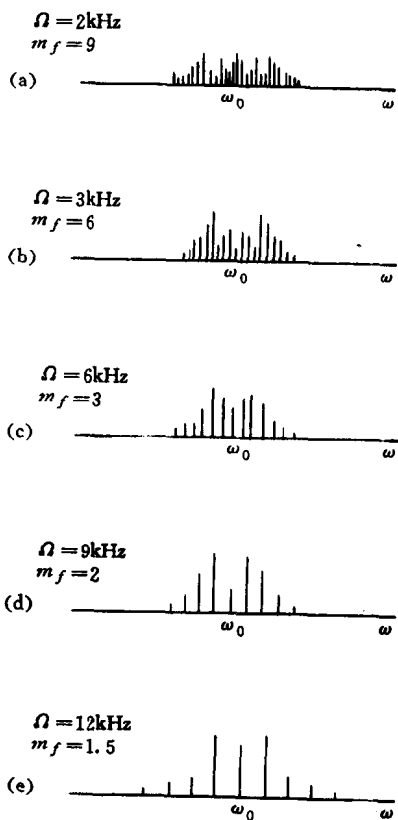


图 1-7 调制信号幅度不变而频率变化时的频谱