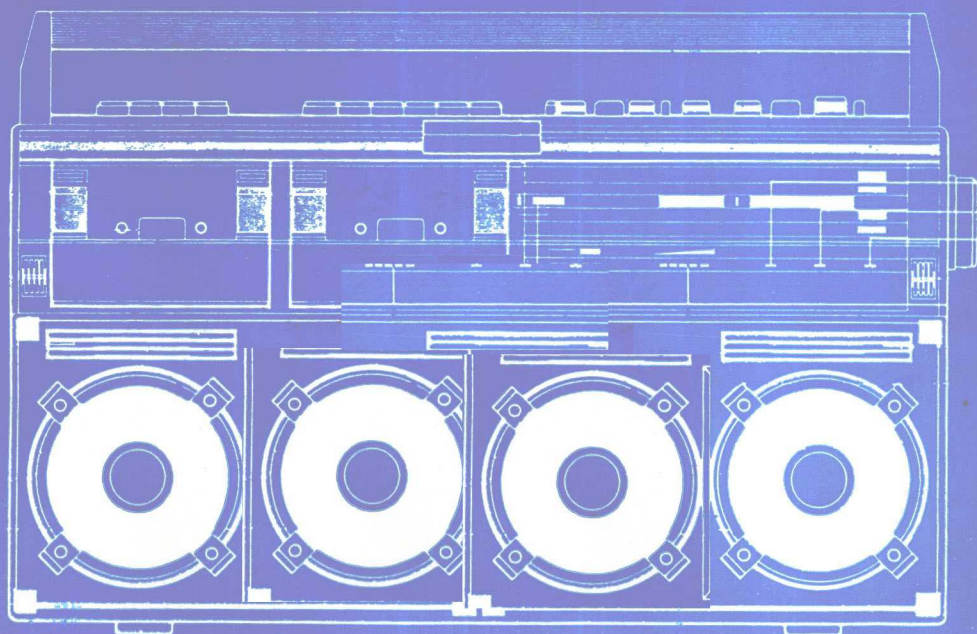


高等师范电子系列教材
陕西师范大学出版社

收录机原理

鬲淑芳 王绍忠 主编
黄庆元 主审



中国图书馆分类号

TP377.91/TP377.92

UDC 621.372.6

收录机原理

曹树德 主编 王德明 主审

机械工业出版社



高等师范电子系列教材

收录机原理

主 编：高淑芳 王绍忠
副主编：李心广 王佰铭 黄开国
编 委：李宗领 李 凡 王时建
 貂大荣 贺有金 卢源陵
 刘蓬勃 丘双安
主 审：黄庆元

陕西师范大学出版社

图书代号: JC039300

高等师范电子系列教材

收录机原理

高淑芳 王绍忠 主编

*

陕西师范大学出版社出版发行

(西安市陕西师大 120 信箱)

(邮政编码 710062)

陕西省新华书店经销 西安电子科技大学印刷厂印刷

*

开本 787×1092 1/16 印张 18.75 插页 4 字数 456 千

1992 年 12 月第 1 版 1997 年 1 月第 2 次印刷

印数: 10001—15000

ISBN 7-5613-0698-9

G·500 定价: 20.00 元

前 言

高等师范电子系列教材是由中国电子学会高等师范教学研究会,中国物理学会教育学院分会等组织广大高等师范院校富有教学经验和教材编写经验的教师,根据现代高等师范人才培养特点、电子科学技术的飞速发展和高等师范电子类教材的现状协同编写的。该系列教材包括《模拟电子技术基础》、《数字电子技术基础》、《黑白电视接收机原理与维修》、《彩色电视接收机原理与维修》、《微机原理及应用》、《收录机与立体声系统》、《共用天线系统与卫星接收》、《录像机原理与维修》、《家用电器原理及维修》、《电工学及其应用》等10种。与此同时,还筹划编写一套与系列教材配套的实验指导书和学习指导书。为保证系列教材的质量,成立了由中国电子学会高等师范教学研究会,中国物理学会教育学院分会和高等教育出版社组成的“高师电子系列教材编审委员会”,负责系列教材从编写大纲到内容的全部审订工作。该系列教材的全部编写大纲已分别于1991年4月在陕西咸阳和1993年6月在四川成都召开的有40余所高师院校参加的审订会上审订,各种教材将陆续由高等教育出版社、陕西师范大学出版社出版发行。

为了使大家对磁带收录机的电路结构、工作原理、使用维护等方面有一个较为透彻、全面的认识,我们组织有实践经验的教师及工程技术人员,编写了这本书。该书以人们日常使用的盒式收录两用机为例,较为系统地介绍了盒式收录机的基本原理。全书共十一章,第一章到第三章简明扼要地介绍了无线电广播基础知识和盒式收录机的收音部分。为了使大家对独立的超外差收音机有一个较为完整的认识,我们是以超外差调幅、调频收音机及调频立体声接收机为例来介绍收音部分的;第四章到第八章,我们用了较大的篇幅介绍了盒式收录机的录放部分。这部分是全书的核心内容,主要包括磁记录原理、磁头、磁带、录放电路、附属电路及机械系统;在前面学习的基础上,第九章以国产3PL3和SL-05型盒式收录机为例进行了整机电路解说,以期对收录机电路有一个系统的、整体化的认识;第十、十一两章对盒式收录机的技术指标调测、常见故障的维修常识及基本技能作了较为通俗、实用及经验性地介绍,以期在学习原理的基础上,学习和掌握一定的调测及日常维修技能。

本书可作为师范院校理科、理工科院校电子类专业、职业技术学校等学生的学习使用教材,也可作为电大、夜大、函大等成人教育学生的学习教材及无线电技术人员的培训教材,对于无线电爱好者,也不失为一种好的自学读物。

本书在编写的过程中,得到了广大师范院校教师们的热情支持和帮助,钱如竹、徐克服、马学坤、王珏、博战捷、杜凯、杨伦铭、廖运策、叶凡、刘宝棠、汪逸新、负文武、朱长征、逯祥、周全寿、裘年宝、邱海珠、朱维怡等参加了本书稿的评审工作,大家提出了许多建设性地宝贵意见和建议最后由黄庆元教授主审了全部书稿,在此一并表示感谢。

由于编者水平所限、错漏之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

编 者

一九九六年十二月于西安

目 录

绪论	(1)
第一章 无线电广播基础	(3)
§ 1.1 无线电广播的基本过程	(3)
1.1.1 无线电广播的发送过程	(3)
1.1.2 无线电广播的传输过程	(4)
1.1.3 无线电广播的接收过程	(4)
§ 1.2 调幅与检波	(5)
1.2.1 调幅	(5)
1.2.2 检波	(9)
§ 1.3 调频与鉴频	(12)
1.3.1 调频	(12)
1.3.2 鉴频	(15)
§ 1.4 变频	(18)
思考题与习题	(19)
第二章 超外差调幅、调频收音机	(21)
§ 2.1 调幅、调频收音机电路结构	(21)
2.1.1 调幅收音机的电路结构	(21)
2.1.2 调频收音机的电路结构	(21)
§ 2.2 高频电路	(22)
2.2.1 调幅机的高频电路	(22)
2.2.2 调频机的高频电路	(27)
§ 2.3 中频电路	(30)
2.3.1 调幅机的中频电路	(30)
2.3.2 调频机的中频电路	(35)
§ 2.4 低频电路	(37)
§ 2.5 整机电路	(40)
思考题与习题	(43)
第三章 调频立体声接收	(44)
§ 3.1 立体声及其特点	(44)
§ 3.2 调频立体声广播	(44)
3.2.1 立体声广播制式	(44)
3.2.2 导频制立体声广播	(45)
§ 3.3 导频制立体声接收	(46)
3.3.1 导频制立体声接收系统的组成	(46)

3.3.2 立体声解码电路	(47)
3.3.3 集成立体声解码电路	(53)
思考题与习题	(57)
第四章 磁带录放音原理	(58)
§ 4.1 铁磁性材料及其特性	(58)
4.1.1 铁磁性材料的特性	(59)
4.1.2 铁磁性材料的分类	(60)
§ 4.2 磁性录放原理	(61)
4.2.1 磁带录音原理	(61)
4.2.2 磁带放音原理	(66)
4.2.3 磁带抹音原理	(67)
§ 4.3 录放音过程中的损失	(69)
* § 4.4 全通道频率特性补偿原理	(74)
思考题与习题	(78)
第五章 磁头和磁带	(79)
§ 5.1 磁头	(79)
5.1.1 磁头的基本结构	(79)
5.1.2 常用磁头的性能分析	(83)
5.1.3 盒式机磁头的主要技术参数	(87)
5.1.4 磁头的维护和更换	(88)
§ 5.2 录音磁带	(90)
5.2.1 磁带的构造	(90)
5.2.2 磁带的性能	(90)
5.2.3 磁带的种类	(93)
5.2.4 磁带的规格和磁迹方式	(94)
5.2.5 盒式磁带的选用和保养	(98)
思考题与习题	(199)
第六章 盒式磁带录音机的传动机构	(100)
§ 6.1 概述	(100)
6.1.1 传动机构的作用	(100)
6.1.2 传动机构的运动参数及技术指标	(101)
6.1.3 传动机构的分类	(102)
§ 6.2 基本功能机构	(104)
6.2.1 主导机构	(104)
6.2.2 供、收带机构	(107)
6.2.3 制动机构	(110)
6.2.4 操作机构	(110)
§ 6.3 辅助功能机构	(111)
6.3.1 录、放自停机构	(111)

6.3.2 暂停机构	(112)
6.3.3 防误抹机构	(113)
6.3.4 计数机构	(113)
§ 6.4 特殊功能机构	(114)
6.4.1 全自停机构	(114)
6.4.2 自动反转机构	(116)
6.4.3 自动选曲机构	(118)
§ 6.5 电动机和稳速装置	(120)
6.5.1 电动机	(120)
6.5.2 稳速装置	(122)
思考题与习题	(125)
第七章 盒式收录机的录放电路	(126)
§ 7.1 录放电路的基本组成和特点	(126)
7.1.1 录放电路的组成框图	(126)
7.1.2 录放电路的特点及要求	(127)
§ 7.2 录放输入和输入放大电路、线路放大电路	(130)
7.2.1 录放输入和输入放大电路	(130)
7.2.2 线路放大电路	(132)
§ 7.3 录放音频率补偿电路	(134)
7.3.1 录放电路中常用补偿网络的频率特性	(134)
7.3.2 高低频补偿电路的基本类型	(135)
7.3.3 频率补偿电路应用举例	(139)
§ 7.4 功率放大电路	(142)
7.4.1 变压器耦合推挽功率放大电路	(142)
7.4.2 OTL 互补推挽功率放大电路	(143)
7.4.3 阻流圈式并联推挽功率放大电路	(144)
§ 7.5 自动电平控制 (ALC) 电路	(146)
7.5.1 ALC 电路的工作特性	(146)
7.5.2 ALC 电路	(147)
§ 7.6 超音频振荡电路	(149)
7.6.1 对超音频振荡电路的基本要求	(149)
7.6.2 超音频振荡电路	(150)
§ 7.7 集成电路在录放电路中的应用	(152)
7.7.1 集成前置放大器的应用	(153)
7.7.2 集成功率放大器应用	(157)
思考题与习题	(160)
第八章 盒式磁带录音机的附属电路和特殊电路	(161)
§ 8.1 音调控制和等响度控制电路	(161)
8.1.1 音调控制电路	(161)

8.1.2 等响度控制电路	(165)
§ 8.2 电平指示电路	(167)
8.2.1 音量表指示电路	(167)
8.2.2 发光二极管电平指示电路	(169)
§ 8.3 自动选曲和电脑选曲电路	(172)
8.3.1 自动选曲电路	(172)
8.3.2 电脑选曲电路	(174)
§ 8.4 全自动停机控制电路	(176)
§ 8.5 杜比降噪电路	(177)
8.5.1 杜比降噪电路工作原理	(177)
8.5.2 B 型杜比降噪电路举例	(180)
§ 8.6 立体声通道平衡控制电路和声像展宽电路	(183)
8.6.1 立体声通道平衡控制电路	(183)
8.6.2 立体声声像展宽电路	(184)
思考题与习题	(186)
第九章 盒式磁带收录机整机电路解说	(187)
§ 9.1 春雷 3PL3 型收录机电路解说	(187)
9.1.1 收音部分	(187)
9.1.2 录放部分	(189)
9.1.3 电源部分	(190)
§ 9.2 熊猫 SL-05 型收录机电路解说	(191)
9.2.1 收音部分	(191)
9.2.2 录放部分	(194)
9.2.3 电源部分	(196)
思考题与习题	(197)
第十章 盒式磁带收录机的测试与调整	(198)
§ 10.1 录放部分的测试与调整	(198)
10.1.1 测试设备及其性能要求	(198)
10.1.2 磁带收录机主要性能指标及测试	(201)
10.1.3 录放部分的测试与调整	(205)
§ 10.2 收音部分的主要性能指标及调试	(209)
10.2.1 收音部分的主要性能指标	(209)
10.2.2 收音部分的调试	(211)
思考题与习题	(216)
第十一章 磁带收录机的维修基础	(217)
§ 11.1 常用元器件的认识和检测	(217)
11.1.1 电阻器	(217)
11.1.2 电容器	(227)
11.1.3 电感器件	(234)

11.1.4 话筒和扬声器·····	(239)
11.1.5 转换开关·····	(245)
§ 11.2 检查收录机故障的常用方法·····	(246)
11.2.1 直观检查法·····	(247)
11.2.2 信号注入法·····	(247)
11.2.3 信号寻迹法·····	(249)
11.2.4 电压检测法·····	(250)
11.2.5 电流检测法和电阻检测法·····	(251)
11.2.6 短路法·····	(251)
11.2.7 替代法·····	(252)
§ 11.3 盒式磁带收录机常见故障检修·····	(252)
11.3.1 电源部分的故障及检修·····	(252)
11.3.2 录放音电路的常见故障及检修·····	(253)
11.3.3 收音部分的常见故障及检修·····	(256)
11.3.4 传动机构常见故障及检修·····	(261)
思考题与习题·····	(266)
参考文献·····	(267)
附录一 国内外部分厂家单声道录放磁头性能一览表·····	(268)
附录二 国内外部分厂家立体声录放磁头性能一览表·····	(269)
附录三 国内外部分盒式录音机抹音磁头性能一览表·····	(270)
附录四 常见国内外盒式录音机磁带主要电声性能·····	(271)
附录五 磁带录音机分类及基本参数·····	(275)
附录六 晶体管调幅广播收音机分类与基本参数·····	(278)
附录七 调频广播接收机分类与基本参数·····	(285)
附录八 部分国内外收录机变压器的绕制数据·····	(290)
附图 I 3PL3电原理图	
附图 II SL-05电原理图	

绪 论

磁带录音机是利用磁性记录原理,记录和重放声音信息的一种电子设备。磁带录音机从发明到现在已有近百年的历史,其产品已更换了好几代,从最早的简易型发展成为集系列化、多功能化、自动化、微型化、集成化、电脑化等于一身的现代化电子产品,并成为人们工作、学习及娱乐等不可缺少的工具。

磁带录音机产品种类繁多,分法亦有多种。如按其功能分,通常有单放式、收录两用式、多功能组合式、专用式等;按其结构形状分,通常有落地式、立柜式、台式、便携式、袖珍式及车用式等;按其磁头的数目分,有双磁头式、三磁头式等;按其使用的电源分,有直流式、交流式及交直流两用式;按使用的磁带及卷绕磁带的方式分,又有盘式、卡式和盒式之分,这种分法是目前较为多用的一种,其具体情况是:

1. 盘式

盘式录音机是指用金属或塑料带盘卷供磁带的录音机,它使用的磁带宽度为6.25毫米,走带速度有38.1cm/s、19.05cm/s和9.53cm/s等几种。这种录音机具有很高的电声性能指标,广泛用于广播、唱片录音等专业领域。其缺点是机械传动体积大、笨重、带速高,操作、携带及磁带的装卸都不方便。

2. 卡式

卡式录音机的磁带卷绕在一个带卡的盘芯上,磁带的带头与带尾相接,能循环走带放音。它使用的磁带宽度也为6.25毫米,走带速度为9.53cm/s。这种机型主要用在需要反复放音的场所,如汽车上、展览馆等。

3. 盒式

盒式录音机是指使用规定的盒装磁带的录音机。它的磁带装在一个特制的小盒子里,盒内有两个并列的盘芯,磁带卷绕在盘芯上。按带盒的大小,又分为普通盒式、微型盒式和大盒式3种。普通盒式机的带盒尺寸为 $100.4 \times 63.8 \times 8.6\text{mm}^3$,带宽为3.81mm,走带速度为4.76cm/s;微型盒式机的带盒尺寸为 $50.2 \times 33.5 \times 8.15\text{mm}^3$,带宽为3.81mm,走带速度为2.38cm/s;大盒式机的带盒尺寸为 $150 \times 106 \times 13\text{mm}^3$,带宽为6.25mm,走带速度为9.53cm/s。目前,在我国广泛使用普通盒式录音机,微型和大型盒式机比较少见。盒式录音机的分类方法还很多,这里不再一一列举。这种录音机具有体积小、重量轻、使用方便、价格便宜、性能又在不断地得到改善,因而广泛地使用于个人、家庭及非专业场合。本教材中,我们主要介绍盒式磁带录音机的结构及其工作原理。

盒式磁带录音机中最典型和最常用的是收录两用型,称为盒式磁带收录机。普通两磁头盒式磁带收录机的基本结构框图如图0.0.0所示。可以看出,它主要是由收音部分和录音部分组合而成的。

收音部分除音频放大(即功放)和扬声器部分与录音部分的放音及录音监听系统公用外,其实质上就是超外差收音机的电路程式。关于超外差收音机的基础知识及电路结构、工作原理等,我们在本教材的前三章进行专门介绍,以期对超外差收音机有一个较完整的认识。

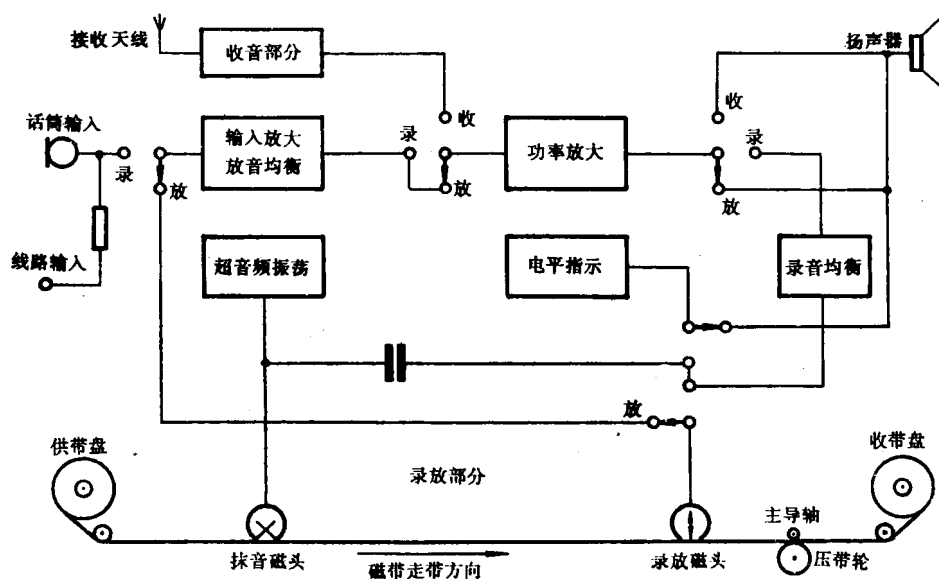


图 0.0.0 双磁头盒式收录机基本组成框图

录音部分主要由电路和机械系统两大部分组成。电路部分主要包括录音和放音放大电路（图中双磁头机二者是公用的，如是三磁头机，则是各自独立的），超音频偏磁振荡电路及其它附属电路（如电平指示、录放音均衡等）。机械系统（也称机芯）主要包括电机、磁头、磁带传动机构及功能转换系统等；另外还有话筒、扬声器及电源。当录音时，功能转换开关置录音位置，把话筒（将声音信号转换成音频电信号）或线路输入（来自电唱机、收音机、另一台收录机或电视机等）的音频信号加以放大，录音磁头（双磁头机兼作放音磁头，三磁头机则录、放磁头各自独立）把放大的音频信号转换为相应变化的磁通，并以剩磁的形式记录在磁带上。磁带在录音前，先经过抹音磁头抹去以前记录在磁带上的信号。超音频振荡器是用于为录音时提供偏磁电流和为抹音时提供抹音电流的。放音时，功能转换开关置放音位置，放音磁头（这里指录放磁头）把记录在磁带上的剩磁信号转换成微弱的音频电信号，经音频放大电路放大后，推动扬声器，重放出原来记录的声音。磁带传动系统则用于录放音时，使磁带以一定的速度运动，从机械方面保证录放音正常工作。

关于录音部分的结构及工作原理，我们主要以普通盒式双磁头录放机为主，在第三章以后的章节中予以重点介绍。

第一章 无线电广播基础

收录机是无线电广播接收设备之一，为了对收录机中的收音系统有一个较完整的认识，我们在本章首先介绍有关无线电广播的一些基础知识，在此基础上，用第二、第三两章篇幅介绍调幅、调频收音机及调频立体声收音机。

§ 1.1 无线电广播的基本过程

无线电广播通常是指利用无线电波将声音信息由发送端传输到接收端的全过程，它包括声音信息的“发送→传输→接收”三个基本过程。无线电广播系统的始端设备是发射机，传输工具是无线电波，终端设备是接收机，收录机也是其中的一种。整个系统的基本结构框图如图 1.1.1 所示。

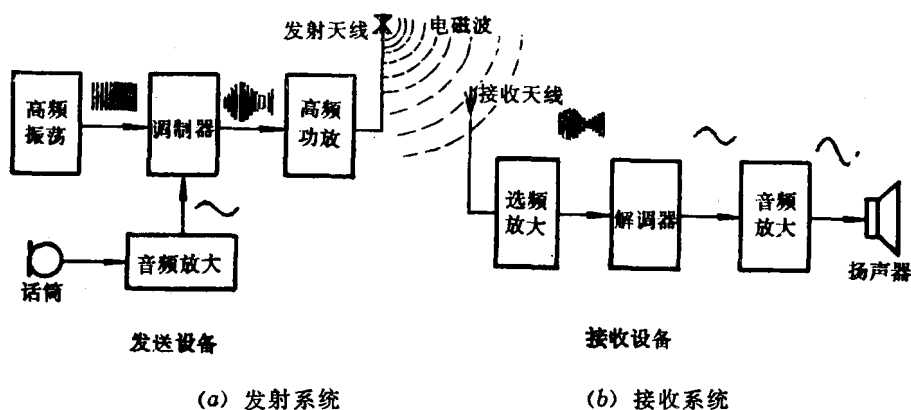


图 1.1.1 无线电广播系统(调幅)

1.1.1 无线电广播的发送过程

图(a)为无线电广播发送系统的基本结构框图。由图可见，发送系统主要由声电转换器（话筒或微音器）、音频放大器、高频振荡器、调制器及高频功率放大器和发射天线等组成。其工作过程是：要发送的声音信号经声电转换器转换成音频电信号并经音频放大后送入调制器，高频振荡器产生的高频等幅波也送入调制器，二信号在调制器中进行频率变换，将音频信号（称调制信号）“装载”（即调制）在高频振荡信号（称载波信号）上，然后送入高频功率放大器进行功率放大之后，由发射天线将这种“装载”着音频信息的高频信号（称高频已调信号）转换成高频无线电波，并向空中辐射出去。

代表声音的音频信号为什么要“装载”到高频载波上才由天线发射出去呢？我们知道，声音信息不可能直接进行远距离传送，即使转换成音频电信号，也不可能以无线电波的形式从发射天线有效地辐射出去。因为理论和实践证明，只有无线电波的波长与发射天线的几何尺寸可以相比拟时，才能通过天线有效地辐射出去。而音频信号的频率范围在 20~20000

Hz，其波长 $(\lambda=\frac{C}{f})$ 在 $15\times10^3\sim15\times10^8\text{m}$ 之间，要制造出如此尺寸的天线显然是不现实的。再说，即使可以制造出这样长的天线来发射音频电磁波，而各个广播电台的频段均在同一音频范围，在接收端也无法选择出欲收听的电台节目。所以才采用“调制”的方法，将音频信号“装载”到高频载波上，以高频无线电波的形式发射出去，这样做不但解决了天线几何尺寸问题，而且各广播电台可采用不同的高频载波，也就解决了接收端选择不同电台节目的问题。由上也可看出，无线电声音广播发射过程中关键是采用了“调制”技术。

1.1.2 无线电广播的传输过程

无线电广播信息的传输主要是以无线电波的形式进行远距离、大面积传播的。无线电波是波长较长的电磁波。它在电磁波谱中占有较宽的频谱范围，可用波长和频率来表示，在空气中的传播速度为光速 C 。通讯用无线电波波段的划分如表 1.1.1 所示。

表 1.1.1 无线电波频段划分表

按波长划分的名称	波长范围	频率范围	按频率划分的名称	电波传播方式		主要应用
				近距离	远距离	
超长波	100~10km	3~30KHz	超低频VLF	地面波	电离层波	长距离通讯
长波	10~1km	30~300KHz	低频LF	地面波	电离层波	长距离通讯、导航
中波	1km~100m	300~3000KHz	中频MF	地面波	电离层波	广播、导航、海军通讯
短波	100~10m	3~30MHz	高频HF	电离层波	电离层波	中、长距离通讯广播
超短波	10~1m	30~300MHz	甚高频VHF	直接波 地面反射波	对流层散射 电离层散射	短距离通讯、电视雷达、宇宙研究
微波：分米波	1~0.1m	300~3000MHz	特高频UHF	直接波 地面反射波	对流层散射	超高频：通讯、雷达、电视、气象卫星、宇宙研究
厘米波	10~1cm	3~30GHz	超高频SHF	直接波	对流层散射	雷达、导航、中继通讯
毫米波	10~1mm	30~300GHz	极高频EHF	直接波		卫星通讯、电视通讯、宇宙研究

无线电波的频率不同，传播规律不同，用途也不同。从发射天线辐射出来的无线电波，传播到接收地点，通常以 3 种不同的途径传播。其中波长在 20m 以上的中、长波，主要沿着地球表面以绕射的方式传播；短波因地面对其衰减较强，传播距离很短，所以主要依靠在天空中电离层与地面之间的一次或多次反射传播的；超短波则由于电离层对其反射小，又不易绕射通过障碍物，故一般只能在直视距离内以空间波的形式传播。不同波段无线电波的用途见上表。

1.1.3 无线电广播的接收过程

图 1.1.1(b)是无线电广播接收系统的基本原理结构框图，它主要由接收天线、选频及放大电路、解调电路、音频放大电路和扬声器等组成。其接收基本过程是，接收天线接收到各电台的高频无线电波(已调波)，并将其转换成高频感应电势，送入选频电路。选频电路(也叫输入电路)从各不同载波的电台信号中，选择出欲收听的某电台信号,放大后送入解调器。解调器将调制在(即装载)高频载波中的原音频信号取出来，经音频放大之后，推动扬声器还原出原来的声音来。可以看出，在接收系统中主要采用了与发射系统中“调制”技术相反的“解调”技术。无线电广播的发射与接收过程，实质上主要是“调制”与“解调”的过程。

实际中的接收系统，为了提高其性能指标，几乎毫无例外地采用了超外差接收方式，也就是利用“变频”技术，将各电台不同的高频载波均变成固定的中频载波，然后再放大、解调的方式。所以无线电广播的发射与接收，除了调制与解调外，另外还有一个“变频”问题。

下面，我们简要介绍无线电广播过程中经常采用的调制、解调和变频的基本原理。

§ 1.2 调幅与检波

由前已知，把音频信号“装载”到高频载波中去的过程叫调制。其实质是用音频信号去控制高频载波的某个参量(振幅、频率及相位)，使之按照音频信号的变化规律而变化的过程。根据被控制的高频载波的参量不同，调制又分为调幅、调频和调相3种方式，无线电广播主要采用调幅和调频。

1.2.1 调幅

调幅是指用音频信号去控制高频载波的振幅，使之按音频信号的变化规律而变化(其它参量不变)的过程。调幅又有普通调幅、残留边带调幅、平衡调幅和单边带调幅之分。

一、普通调幅

1. 调幅原理

图1.2.1为简单的二极管调幅原理电路，它主要由二极管 D 和 LC 选频回路组成。由于调幅的过程实质上是一频谱变换过程，只有将调制信号与载波信号同时加于非线性器件，经过非线性变换作用产生的频新率成分，再利用选频网络选出所需频率成分才能实现调幅。

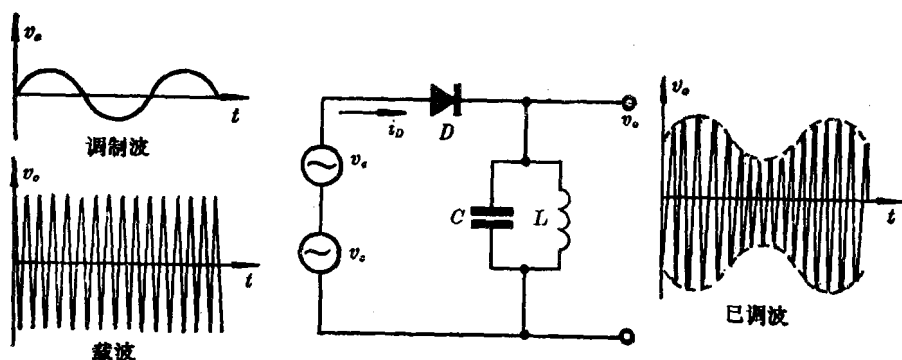


图 1.2.1 调幅原理电路

设送入电路的高频等幅载波信号为：

$$v_c(t) = V_{cm} \cos \omega_c t \quad (1-2-1)$$

调制信号(音频信号)为分析方便，亦设为单一频率的正弦信号：

$$v_a(t) = V_{am} \cos \Omega t \quad (1-2-2)$$

非线性器件二极管 D 的伏安特性可近似表示为：

$$i_D = a_0 + a_1 v + a_2 v^2 \quad (1-2-3)$$

式中 v 为加在 D 两端的电压，由图中可知， $v = v_a(t) + v_c(t)$ ，因此，上式变为：

$$i_D = a_0 + a_1 (V_{cm} \cos \omega_c t + V_{am} \cos \Omega t) + a_2 (V_{cm} \cos \omega_c t + V_{am} \cos \Omega t)^2$$

利用三角公式变换并整理后得:

$$i_D = \left(a_0 + \frac{a_2}{2} V_{cm}^2 + \frac{a_2}{2} V_{am}^2 \right) + a_1 (V_{cm} \cos \omega_c t + V_{am} \cos \Omega t) + \frac{a_2}{2} (V_{cm}^2 \cos 2\omega_c t + V_{am}^2 \cos 2\Omega t) + a_2 V_{cm} V_{am} [\cos(\omega_c - \Omega)t + \cos(\omega_c + \Omega)t] \quad (1-2-4)$$

式中第一项为直流分量; 第二项为原输入两信号(即基波)频率成分; 第三项是两信号的二次谐波分量; 最后一项为两信号的组合频率分量, 即和频和差频分量。所有新增加的频率分量都是由于二极管的非线性特性所引起的。

图中 LC 并联谐振回路谐振在 ω_c 上, 由于 $\omega_c \gg \Omega$, 只要回路的 Q 值足够高, 则 LC 回路仅对 ω_c 及其附近的 $\omega_c \pm \Omega$ 频率分量产生较大的压降, 即可将这些频率成分选出。其压降为:

$$v_o = z_0 [a_1 V_{cm} \cos \omega_c t + a_2 V_{cm} V_{am} \cos(\omega_c - \Omega)t + a_2 V_{cm} V_{am} \cos(\omega_c + \Omega)t] \quad (1-2-5)$$

式中 z_0 为 LC 回路的谐振阻抗。利用三角公式上式可变为:

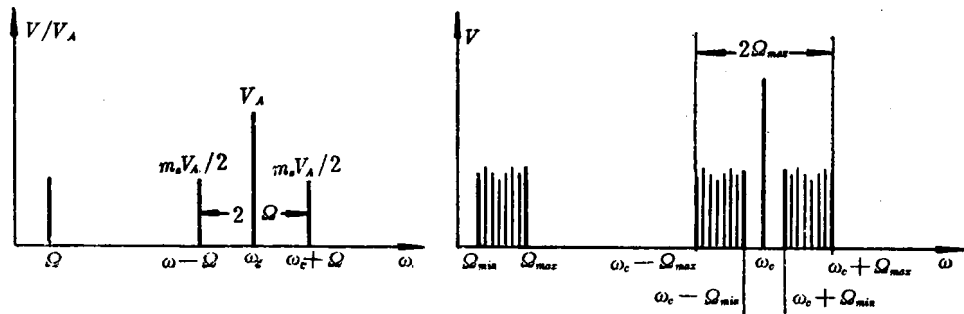
$$v_o = V_A (1 + m_a \cos \Omega t) \cos \omega_c t \quad (1-2-6)$$

式中 $V_A = a_1 z_0 V_{cm}$; $m_a = \frac{2a_2}{a_1} V_{am}$, 称为调幅度或调幅系数, 一般 $m_a < 1$ 。

上式即为普通已调幅波的表达式。由该式可以看出, 调幅波的瞬时振幅(即包络线) $V_A(1 + m_a \cos \Omega t)$ 随调制信号 $V_{am} \cos \Omega t$ 的变化规律而变化, 即振幅受调制信号的控制, 而载波的其他参量如频率和相位则维持不变。调制波、载波及已调幅波波形如图中所画。

2. 调幅波的频谱及功率

由式(1-2-5)可以看出, 单一频率正弦信号调制的调幅波, 可以看成是由载波 ω_c 、上边频 $(\omega_c + \Omega)$ 和下边频 $(\omega_c - \Omega)$ 三种不同频率的正弦波之叠加。其频谱可表示如图 1.2.2(a) 所示。



(a) 单频率调幅波频谱

(b) 多频率调幅波频谱

图 1.2.2 普通调幅波的频谱

实际的调制信号是比较复杂的多频率成分信号, 如广播电台调制信号的频带范围扩展到 4.5 kHz 左右, 各频率分量振幅亦随时间变化, 这些实际的调幅波频谱可表示如图(b)所示。由图中也可看出普通调幅波的频带宽度是最高调制信号频率的 2 倍, 即 $B = 2 \Omega_{max}$, 用频率表示为 $f_b \omega = 2F_{max}$ 。由于调幅广播的频道间隔世界上统一规定为 9 kHz, 因此, 调幅广播信号的带宽为 $2F_{max} = 9 \text{ kHz}$ 。

如果把发射天线作为调幅发射机的负载, 并设其等效电阻为 R 的话, 则调幅波中 3 个频

率成分在载波($\omega_c \gg \Omega$)的一周期内输送给负载的平均功率分别为:

$$\text{载波功率} \quad P_c = \frac{1}{2} \frac{V_A^2}{R} \quad (1-2-7)$$

$$\begin{aligned} \text{上下边频功率} \quad P_{\omega_c - \Omega} = P_{\omega_c + \Omega} &= \frac{1}{2} \left(\frac{m_a V_A}{2} \right)^2 \cdot \frac{1}{R} \\ &= \frac{1}{8} \frac{(m_a V_A)^2}{R} = \frac{m_a^2}{4} P_c \end{aligned} \quad (1-2-8)$$

调幅波的总功率为三部分功率之和, 即

$$P_A = P_c + P_{\omega_c - \Omega} + P_{\omega_c + \Omega} = P_c \left(1 + \frac{m_a^2}{2} \right) \quad (1-2-9)$$

上式中, 当 $m_a = 0$ 即未调幅时, $P_A = P_c$; 当 $m_a = 1$ 即最大调幅时, $P_A = 1.5P_c$ 。可见, 调幅波的功率随调幅系数 m_a 的增大而增大, 且增大的部分为上下边频中所包含的功率。上下边频的总功率为

$$P_{\omega_c - \Omega} + P_{\omega_c + \Omega} = \frac{m_a^2}{2} P_c \quad (1-2-10)$$

即使在最大调幅度 $m_a = 1$ 下, 上下边频总功率也仅占整个调幅波总功率的 1/3。实际中广播电台的平均调幅度约为 0.3 左右, 这样包含信息的有用边频功率仅占总功率的 5% 不到, 而其余 95% 的功率为不含信息的载波所占有。可见调幅发射机的功率利用率是极低的。尽管如此, 由于调幅波占有频带较窄, 发射、接收设备比较简单, 故在中、短波广播和通讯中仍广泛采用调幅制。

3. 调幅电路

实际的调幅电路中, 非线性器件多采用三极管。一般大功率的发射机中仍采用电子三极管, 小功率的发射机中采用晶体三极管或集成模拟乘法器。这里仅简要介绍后两种。

(1) 晶体三极管调幅

晶体三极管调幅根据调制信号加于不同电极, 又分为基极调幅、集电极调幅和发射极调幅 3 种形式。这里以基极调幅电路为例说明之, 其

电路如图 1.2.3 所示。图中 B_1 和 B_2 分别为高、低频变压器, B_1 次级绕组上得到的高频载波电压 v_c , 和 B_2 次级绕组上得到的调制信号电压 v_a , 分别通过耦合电容 C_1 和 C_2 (C_3) 都加到晶体管 T 的 $b \sim e$ 极间, 因而 $v_{be} = v_c + v_a$ 。晶体管 T 工作于非线性区, 其集电极电流近似为 $i_c \approx a_0 + a_1 v_{be} + a_2 v_{be}^2 + \dots$ 。由调幅原理知, 集电极电流中含有多种频率成分 ($\omega_c, \Omega, \omega_c \pm \Omega, 2\omega_c, 2\Omega, \dots$), 使集电极 $L_1 C_4$ 调谐回路谐振在 ω_c 上, 则可选出 ω_c 和 $\omega_c \pm \Omega$ 3 种频率成分, 于是便在耦合线圈 L_2 两端获得调幅波电压输出。

(2) 模拟乘法器普通调幅电路

用模拟乘法器的乘法特性 (输出电压与二输入信号电压的乘积成正比, 即 $v_o = K_m v_1 v_2$), 可以实

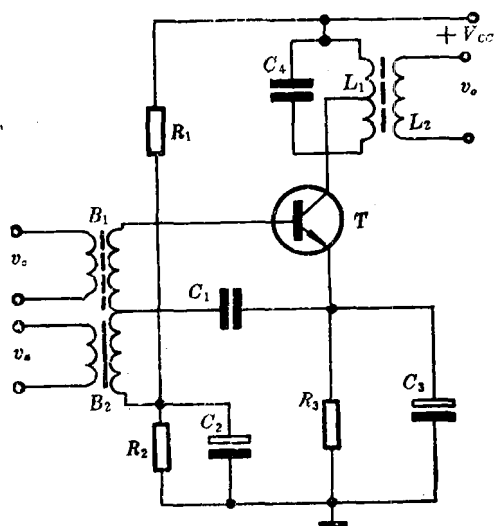


图 1.2.3 基极调幅电路