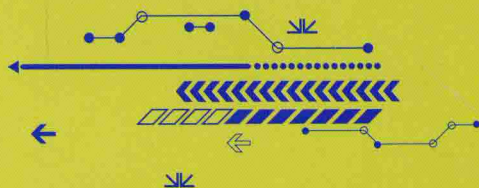


Xiandai Shiting Jishu

现代视听技术

主编◎王 蓉



 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

现代视听技术

主 编 王 蓉

副主编 李伟民 姬留杰

 北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书系统地介绍了调频立体声广播、视听技术基础、摄录像机、CD、VCD、DVD 机的基础知识、单元电路的工作原理以及典型故障的现象和维修方法。学生通过学习掌握其工作原理,用于解决实际问题。全书共 7 章。第 1~3 章介绍“听”,第 4~6 章介绍“视”,第 7 章介绍“视听”结合的卡拉 OK 包厢影音系统。主要内容包括:调频立体声广播的基本原理及单元电路分析;视听技术基础电路的原理;摄录像机的磁记录和重放原理;CD、VCD、DVD 机的基本原理及组成、单元电路分析、典型故障的现象和维修方法;卡拉 OK 及包厢影音系统的工作原理。

本书可作为高等院校电子类、信息类学生视听技术理论教学的教材、也可作为电子爱好者的自学读物。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

现代视听技术 / 王蓉主编. —北京:北京理工大学出版社, 2015. 4
ISBN 978 - 7 - 5640 - 9274 - 0

I. ①现… II. ①王… III. ①视听设备 IV. ①TN912

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 110614 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 三河市天利华印刷装订有限公司

开 本 / 787 毫米 × 960 毫米 1/16

印 张 / 14.25

字 数 / 288 千字

版 次 / 2015 年 4 月第 1 版 2015 年 4 月第 1 次印刷

责任校对 / 陈玉梅

定 价 / 45.00 元

责任印制 / 王美丽

图书出现印装质量问题,本社负责调换

前 言

本教材立足于“必需”“够用”的原则，突出实用性和新颖性。

1. 实用性

教材中选择的实例与实际产品相结合，做到理论联系实际，学以致用。使学生学习了本课程后，对课程涉及的产品、知识目标、能力目标有明确的认识和较全面的掌握。

2. 新颖性

本教材突出知识的逻辑性和新颖性。教材内容的组织和编排，既符合知识逻辑顺序，又考虑了专业群的要求，符合学生思维发展的规律。采用最新资料和技术进行编排。

本书由王蓉任主编，李伟民、姬留杰任副主编，杨亚琴老师参编。

由于编者水平有限，存在错误与不妥之处，恳请同行专家及读者批评指正。

编 者

目 录

第1章 调频立体声广播	(1)
1.1 声学原理概述	(1)
1.2 调频立体声电路	(6)
1.3 调频立体声解码电路	(13)
第2章 视听技术基础	(22)
2.1 常用电声器件简介	(22)
2.2 音调控制电路	(33)
2.3 等响度控制电路	(37)
2.4 调音台	(39)
2.5 功率放大器	(40)
2.6 杜比 AC-3 技术	(43)
2.7 扩声系统	(46)
第3章 CD 唱机	(49)
3.1 数字音响技术基础	(49)
3.2 CD 唱机的结构与电路组成	(50)
3.3 CD 唱机激光头组件	(57)
3.4 伺服系统	(59)
3.5 DSP 数字信号处理电路	(68)
第4章 摄录像机	(71)
4.1 摄像机原理与组成	(72)
4.2 磁性录放原理	(85)
4.3 录像机原理	(92)
4.4 DV 摄录机的格式、电路结构与工作原理	(100)



第5章 VCD影碟机	(110)
5.1 VCD影碟机的概述	(111)
5.2 MPEG-1编码原理	(111)
5.3 MPEG-1解码原理	(120)
5.4 VCD光盘的结构与数据格式	(123)
5.5 错误的产生与纠错技术	(124)
5.6 EFM调制与激光刻录原理	(127)
5.7 机芯结构与芯片组	(130)
5.8 激光头及数码伺服电路工作原理	(139)
5.9 数字信号处理与控制电路工作原理	(145)
5.10 常用MPEG-1解码芯片简介	(150)
5.11 VCD常见故障分析	(155)
第6章 DVD影碟机	(163)
6.1 DVD影碟机基础知识	(164)
6.2 DVD影碟机机芯结构与芯片组	(175)
6.3 DVD影碟机的基本工作原理	(181)
6.4 伺服电路工作原理	(182)
6.5 常用MPEG-2解码芯片简介	(194)
6.6 整机电路分析	(200)
第7章 KTV包厢影音系统	(211)
7.1 卡拉OK系统的组成	(211)
7.2 数字混响电路分析	(214)
7.3 杜比降噪原理	(216)
7.4 KTV包厢影音系统	(218)
参考文献	(222)

第1章 调频立体声广播

本章主要介绍声音的基本概念、种类、传播特性及声音三要素，调频立体声电路。重点介绍调频立体声电路及其解码电路。

能力目标

- 矩阵式与开关式解码电路工作原理。

岗位目标

- 具备调频立体声广播解码电路的调试的技能。

本章重点

- 声音的基本概念。
- 声音的三要素。
- 人耳的听觉效应。
- 调频立体声电路的工作原理。

本章难点

- 调频立体声接收机各功能电路的作用。
- 调频立体声矩阵式解码电路的工作原理。

1.1 声学原理概述

声音是世界上非常重要的物理现象，它和人们的日常生活、学习、工作有着极其密切的关系。

1.1.1 声音

声音是一种波动现象，是由机械振动产生的。产生声波的物体称为声源，声波所到达的范围称为声场，声场中能够传递上述振动的媒质称为声场媒介。

1. 声音的基本概念

(1) 声压与声压级

声音在传播过程中，会对周围的空气产生压力，这一压力是在原来大气静压的基础上新



增加的,称为声压,用 p 表示。它代表垂直于声传播方向上、单位面积上所受到的声音压力的大小,单位为帕(Pa),有时也用微巴(μbar)表示, $1\text{ Pa} = 10\ \mu\text{bar}$ 。

人耳所听到的最低声压是 $0.0002\ \mu\text{bar}$ ($2 \times 10^{-5}\text{ Pa}$),这个极限称为可闻阈或听阈。当声压增大到 $200 \sim 2\,000\ \mu\text{bar}$ ($20 \sim 200\text{ Pa}$)时,人耳会产生难受的感觉,有痛感,这个范围称为痛阈。人耳所听到的声压范围很大,用它来衡量声音的强弱很不方便,因此引入声压级的概念。实验证明:人耳对声音强弱的感觉是与声压的对数成正比的,这就是著名的韦伯定律。

声压级是声压相对参考声压的分贝数,单位为分贝(dB)。参考声压通常取 $2 \times 10^{-4}\ \mu\text{bar}$ ($20\ \mu\text{Pa}$)。人耳的听阈声压级为 0 dB ,痛阈声压级为 $120 \sim 140\text{ dB}$,面对面说话的声压级为 $60 \sim 70\text{ dB}$,一般乐队的声压级为 $40 \sim 60\text{ dB}$ 。

(2) 声强与声强级

单位时间内声波通过垂直于声波方向单位面积的声能量称为声强,用 I 表示,单位为瓦/米² (W/m^2)。声强与声压的平方成正比。人耳从听阈到痛阈的声强范围是 $10^{-12} \sim 10^2\text{ W}/\text{m}^2$ 。

声强级是声强相对于参考声强的分贝数。参考声强通常取 $10^{-12}\text{ W}/\text{m}^2$ 。

(3) 声功率与声功率级

声源在单位时间内辐射的总能量称为声功率,用 W 表示,单位为瓦(W)。声功率与声压一样,其范围很宽,两者的区别在于:声功率是能量关系,声压是压力关系。

声功率级是声功率相对于参考声功率的分贝数。参考声功率通常取 $1 \times 10^{-12}\text{ W}$ 。

2. 声音的种类

(1) 纯音

纯音是一种单一频率的正弦波,在频谱上是一条线。

(2) 复合音

包括两个以上纯音的声音称为复合音。在复合音中最低频率的声音称为基频或基波。

(3) 基音

对于周期性的声音,该频率的纯音是它的基音。对于非周期的复合音,其中频率最低、幅值最大的声音是基音。

(4) 倍音(谐音)

在周期性的复合音中除基音以外,与基音的频率成整数倍的声音称为谐音或倍频(音),也称为谐泛音。谐音的频率成分很多,其幅值一般都比基音小。

(5) 单音

由基音和其谐音组成的声音叫做单音。

(6) 噪声

使人烦躁或不受人欢迎的声音称为噪声。



(7) 白噪声

包含所有频率成分、幅度恒定、任意相位的声音称为白噪声。

(8) 黑噪声

对信号进行处理时以某些声音为对象，该声音以外的声音称为黑噪声。

(9) 粉红噪声

每个八度带有相同能量的随机噪声称为粉红噪声。

3. 声音的传播特性

(1) 衰减特性

引起声音衰减的原因主要有两个：一是当声音向四周空间传播时，能量向四周均匀扩散；二是声音在空气中传播时，由于空气媒质的黏滞性，使得一部分声能变成热能损耗了。

实验证明声音的衰减规律符合球面扩散的反平方律，其次是能量消耗与声波频率的平方成正比。

(2) 反射、透射与绕射

声波在传播过程中碰到障碍物（坚硬的物体），一部分声波的传播方向发生改变，这是反射现象，另一部分声波将透过物体继续前进，这是透射现象。

当声波遇到墙面或其他物体时，部分声波能够绕过障碍物的边缘前进，这种现象叫做绕射或衍射。对于同样大小的狭缝或障碍物，波长越长，即声源的频率越低，衍射的现象就越明显。相反，频率越高，越不容易产生衍射，因此传播时也具有较强的方向性。当声源处于人的背后时，对于声源发出的低频声音而言，可通过绕射进入人耳，而高频声音的强度却减弱。也就是说，当声源处于人背后时，对低频感觉要灵敏于高频成分。

(3) 声波的吸收

当声波穿过墙壁传播时，由于空气微粒遇到摩擦，墙壁所吸收的声能转化为热能。正常情况下，这种热量很小。地毯、布帘、玻璃纤维等纤维状的材料有较强的吸声能力。

被吸收的声能和入射声能的比值称为反射面的吸声系数。

(4) 声波的干涉

声波的干涉是指一些频率相同的声波叠加后发生的现象。干涉的结果是使空间声场中有一个固定的分布，形成驻波。若它们的相位相同，两个声波互相叠加后会加强；若相位相反，则叠加后会减弱；若它们之间存在着一定的相位差，则叠加后有增强也有减弱。

4. 声音的三要素

响度、音调和音色称为声音的三要素。

(1) 响度

响度表示声音的大小，在很多情况下，响度也称为音量或声音强弱。响度主要决定于声压或声强，而且和声音的频率、波形也有关系。人耳对不同频率声音的响度感觉不同，在1~4 kHz之间听起来最响；而在此频率范围外，响度随频率的降低或升高而减弱；当低于



20 Hz 或高于 20 kHz 时便听不到了。

用响度级表示不同的响度。人们将 1 000 Hz 时人能听到的最小声压级 20 μPa 定义为响度的基准单位,称零方 (phon),响度级的单位为方。

响度与声压并不是一一对应的,将待测的各种频率的声音与 1 000 Hz 声音的不同响度的参考声相比,调整待测声的声压级,使两者听起来等响,并将测出的声压级数值描绘在声压级(声强级)——频率坐标上,便得到以响度级(方数)为参数的等响度曲线,如图 1-1 所示。

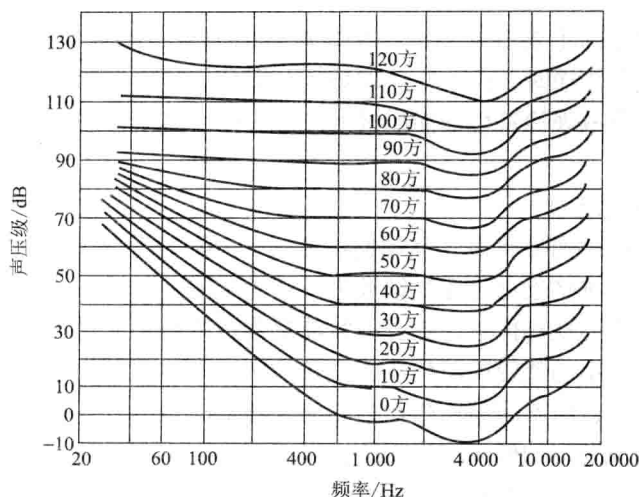


图 1-1 等响度曲线

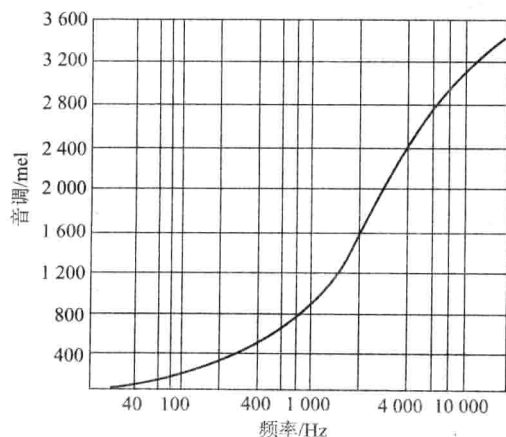


图 1-2 音调与频率之间的关系

从图 1-1 可以看出,随着响度的增加,频率对响度的影响越来越小。当响度达到 100 phon 时,各频率的声压级几乎相同。

(2) 音调

音调表示声音调子的高低,单位为美 (mel)。将频率为 1 000 Hz、响度为 40 phon 的纯音的音调规定为 1 000 mel。在许多场合,人们就直接用频率表示音调。音调的高低主要由频率的高低决定,频率越高,音调越高,如图 1-2 所示。

从图 1-2 可以看出,音调和频率并不呈线性关系,而是呈对数关系。当两个声音频率



相差一倍时,两音调相差一个倍频程(1 oct),音乐上叫作纯八度。人耳所能感知的频率范围一般为 20 Hz ~ 20 kHz,相当于 10 个八度音。

人耳能分辨出的最小频率差,也就是能分辨出的最小音调差与频率的高低有关系,频率差要大于 $3/1\,000$ 人耳才能分辨出,也就是说,如果有一频率为 1 000 Hz 的纯音,当它的频率升高到 1 003 Hz 时,人耳才能辨别出它们之间的音调差别,而频率在 1 002 Hz 时则毫无感觉。同理如果频率是 3 000 Hz,则其频率变化达到 9 Hz 时,人耳才能察觉出音调的差别。

人耳对音调的感觉,不仅和频率有关,而且还和声音的强度有关。保持频率不变,改变声压级,听觉上会感觉到音调发生了变化。对于低频,提高声压让人觉得音调变低了,对于 1 000 Hz 以上的中高频,提高声压则会感觉音调提高了。

(3) 音色

在两个声音的响度和音调相等的情况下,其声音听起来有不同的感觉,这种声音上的差异称为音色。音色与声音的频谱、波形和声压等参数有关。

与响度、音调不同,音色没有一个度量其大小、数值的单位,它只能用诸如“圆润”、“干涩”之类的主观感觉词来表达。

1.1.2 人耳的听觉效应

听觉是人对声音的主观反映。人类的听觉系统并不是完全线性的,声音信号在听觉系统中会被非线性加工,形成听觉效应。

1. 掩蔽效应

当两个或两个以上的声音同时存在时,其中的一个声音在听觉上会掩盖另一个或其他的声音,即强的声音掩盖了弱的声音,这种现象称为掩蔽效应。一个纯音引起的掩蔽基本上由它的强度和频率决定,低频声能有效地掩蔽高频声,但高频声对低频声的掩蔽作用不大。

一般来讲,要保证一个有用的声音不被无用声(噪声)盖过,有用声的声压级要比噪声高 15 ~ 20 dB。因此有些电子线路中的降噪电路,采用提升有用电信号的电平来达到降噪的目的。掩蔽效应在数字声频的数据压缩格式中有着重要应用。

2. 延时效应

如果两个不同声源发出的相同频率和强度的声音,其中一个延迟到达,当延迟时间小于 50 ms 时,人耳一般难以区分这两个声音,而当延迟时间大于 50 ms 时,人耳立刻能明确地区分出这两种声音。人耳这种对声音的分辨能力的特性称为延时效应,又称为哈斯效应、优先效应。

哈斯效应经常应用于会场、厅堂的扬声器布置方面。为了确保听者对语音、音乐的清晰感受,必须使不同扬声器传入人耳的时间差小于 50 ms,常把延迟时间控制在 30 ms 以内。

3. 多普勒效应

当声源或听者发生相对运动时,听者感受到的声波频率和声源频率产生差异,当声源朝



向听者运动时,听者感到频率变高;当声源背向听者运动时,听者感到频率变低,这种现象称为多普勒效应。它常用于在演播室人为地制造出频率变化,使影视节目中的运动物具有真实感。

1.2 调频立体声电路

立体声技术出现后,首先在唱片、磁带录音及其放音系统中得到应用。随着立体声技术的发展,它逐渐被推广到无线电广播。立体声广播应在一个信道中传送两个或两个以上的声音信号。

1.2.1 调频立体声广播制式

调频立体声广播首先将两个声频(左、右声道)信号进行编码,得到一组低频复合立体声信号,然后再对高频载波进行调频发射。

调频立体声广播根据对立体声处理方法的不同,分为和差制(频率分割制)、时间分割制、方向信号制三种。现普遍采用的是和差制。

和差制是将左(L)、右(R)声道信号进行编码,形成和信号 $M = L + R$ 与差信号 $L - R$,再对 $L - R$ 进行调制(该载波频率称为副载波频率,为超音频信号),成为 S 信号($L - R$ 的已调波)。用频谱搬移的方法实现了频率分割。M 与 S 信号混合后再调频于高频载波上发射出去,形成调频立体声广播。

和差制对和差信号进行频率分割时,根据副载波调制方式的不同又分为:导频制、极化调幅制、二次调频制,其中应用最广泛的是导频制。导频制是副载波对 $L - R$ 信号进行平衡调幅,再对 M、S 混合信号进行调频发射,又称 AM - FM 制;极化调幅制是副载波对 $L - R$ 信号进行普通调幅,再对 M、S 混合信号进行调频发射,也称 AM - FM 制;二次调频制是副载波对 $L - R$ 信号调频,再对 M、S 混合信号进行调频发射,又称 FM - FM 双调频制。

我国采用导频制——AM - FM 制。

1.2.2 AM - FM 导频制立体声广播

在 AM - FM 制式中,导频制是将差信号 $L - R$ 对副载波(38 kHz)进行平衡调幅,即 $S = (L - R)$ 双边带传输。因此,为了在接收端恢复副载波,以便从副信道信号中解调出差信号,就必须与立体声信号一起发送一个 19 kHz 的导频信号,所以这种 AM - FM 制又称为导频制。

1. AM - FM 导频制发射机

导频制立体声发射机的组成如图 1 - 3 所示。

左(L)、右(R)两路拾音器拾取的音频信号经过预加重网络(为改善高频段信噪比

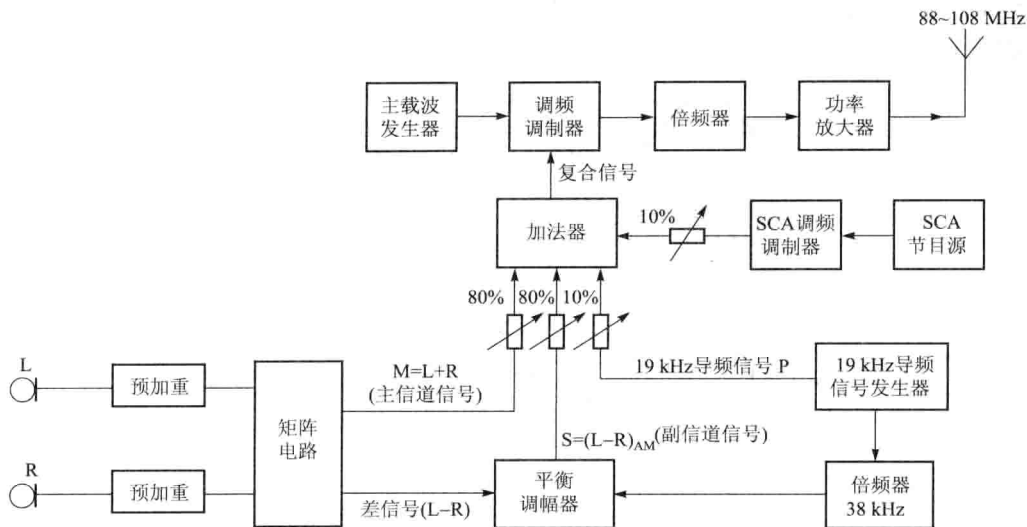


图 1-3 导频制立体声发射机的组成

而设,加重转折点的时间常数为 $50\ \mu\text{s}$)后,送到矩阵电路。矩阵电路是一个由网络组成的加法器和减法器,在其输出端分别得到左、右两路的和信号($L+R$)与差信号($L-R$)。

和信号就成为主信道信号(频带 $20\ \text{Hz} \sim 15\ \text{kHz}$),直接输入加法器。差信号则送到平衡调幅器对 $38\ \text{kHz}$ 的副载波进行平衡调幅,由平衡调幅器输出的双边带调幅波作为副信道信号,也送往加法器。为了能正确地解调出立体声信号,必须在接收机中产生一个与发射机严格同频、同相的 $38\ \text{kHz}$ 副载波进行同步检波。因此,在发射机中还必须送出一个 $1/2$ 副载波频率(即 $19\ \text{kHz}$)的导频信号,以供接收机恢复副载波使用。

此外,还有用来播送背景音乐或其他信号的辅助通信(SCA)、它们对 $67\ \text{kHz}$ 进行调频(频带 $59 \sim 75\ \text{kHz}$)。故送到调频调制器的调制信号是由主信道信号、副信道信号、导频信号和辅助通信(SCA)信号混合组成的立体声复合信号,将它们对主载波进行调频和倍频放大后,成为 $88 \sim 108\ \text{MHz}$ 范围内的超高频调频信号,由天线发送出去。

FM 立体声广播的最大频偏为 $\pm 75\ \text{kHz}$,调制度为 100% ,主、副信道信号各占 80% (频偏 $60\ \text{kHz}$),导频和辅助通信各占 10% ($7.5\ \text{kHz}$)。如果不播送辅助通信业务,主副信道信号各占 90% ,频偏约 $67.5\ \text{kHz}$ 。

2. 立体声复合信号的形成及其特性

立体声复合信号是由主、副信道信号合成的(为简化波形,不考虑导频信号和辅助信道信号),产生这种复合信号,在广播系统中主要是依靠矩阵电路和抑制副载波的平衡调幅器来完成的。为了在接收系统中用同步解调器将 L 、 R 信号分离出来,必须对立体声复合信号的形成及其特性有所了解。



设 L、R 为两个不同频率的正弦信号，如图 1-4 (a)、(b) 所示。38 kHz 副载波信号波形如图 1-4 (g) 所示。

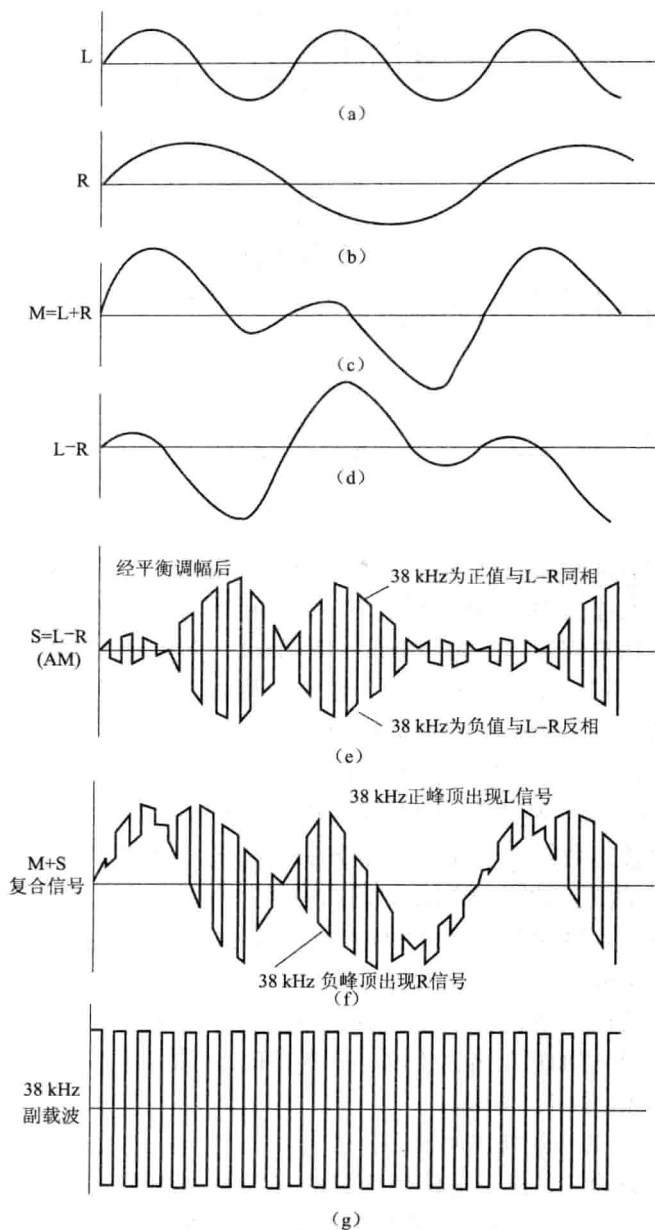


图 1-4 立体声复合信号的形成

(a) ~ (g) 不同频率的信号波形图



L、R 送入矩阵电路产生和 $(L+R)$ 、差 $(L-R)$ 信号如图 1-4 (c)、(d) 所示。和信号直接送加法器，差信号进行平衡调幅产生 $S=(L-R)_{AM}$ 信号，如图 1-4 (e) 所示。经加法器相加后，复合调制信号的波形如图 1-4 (f) 所示。

从图 1-4 (f) 可以看出，S 与 M 信号相加的立体声复合信号波形的特点是：38 kHz 副载波被平衡调幅时，每一个周期上下两峰分别被 2L 和 2R 信号所调幅，并且在两个调制信号包络线的相交处倒相 180° 。即 L 和 R 信号以时间分割的形式出现在副载波信号的正负峰顶。L 出现在 38 kHz 信号的正峰上；R 出现在 38 kHz 信号的负峰上。而包络里面波形的频率正是平衡调制器中所抑制掉的 38 kHz 副载波。

通过以上分析不难看出，如果把图 1-4 (f) 看作是主信号 $M=(L+R)$ 与经移频处理的副信号 $S=(L-R)_{AM}$ 的合成。在接收机中只要用调幅波复原电路和检波器取出 L-R 信号，便可将和 $(L+R)$ 、差 $(L-R)$ 信号重新送入矩阵电路，最后解调出 L、R 信号来；也可以把复合信号看成是 L、R 信号用 38 kHz 开关信号进行时间分割得到的波形，于是只要在接收机中，恢复出与发射机中同步的再生副载波开关信号，便能用开关式解码电路分离出 L、R 信号来。

3. AM-FM 导频制立体声接收机的组成

AM-FM 调频立体声接收机方框图如图 1-5 所示。

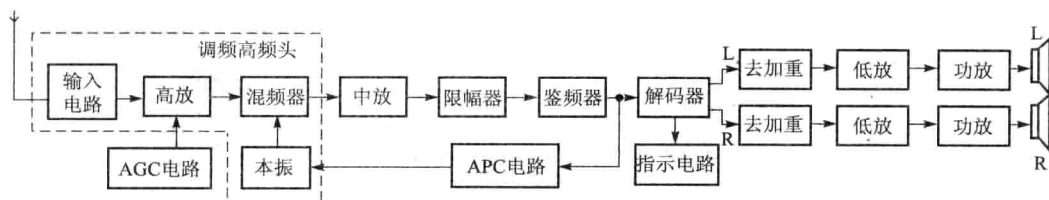


图 1-5 调频立体声接收机方框图

AM-FM 调频立体声接收机由接收天线、调频头、中放、限幅器、鉴频器及自动频率微调电路 (AFC)、解码电路及其附属的立体声指示和自动切换电路、双声道低放部分和两组扬声器组成。双声道调频立体声接收机，鉴频器输出的立体声复合信号要先送入解码器，分离出左右声道信号，然后各自经去加重电路，将发射端预先加重 (提升) 的高频信号进行等量的衰减处理，再经双声道低频放大电路放大后，推动左、右声道扬声器放音。

4. 接收机各功能电路的作用

(1) 调频高频头 (调频头)

调频高频头包括输入电路、高频放大器、混频器和本机振荡器等电路。它的作用是将天线接收到的调频广播信号加以选频、放大，再变换成一个 10.7 MHz 的调频中频信号输出。为了获得良好的整机性能，要求它不但有较高的增益和选择性，还要有很好的信噪比，一般采用整体独立金属盒屏蔽结构。



图 1-6 所示为分立元件调频高频头电路原理图。

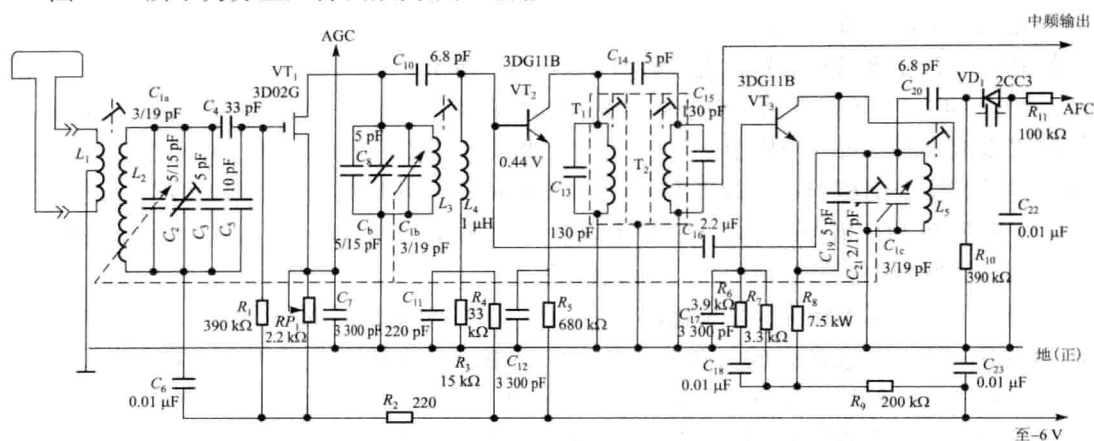


图 1-6 分立元件调频高频头电路原理图

图 1-7 所示为集成电路调频高频头电路图。

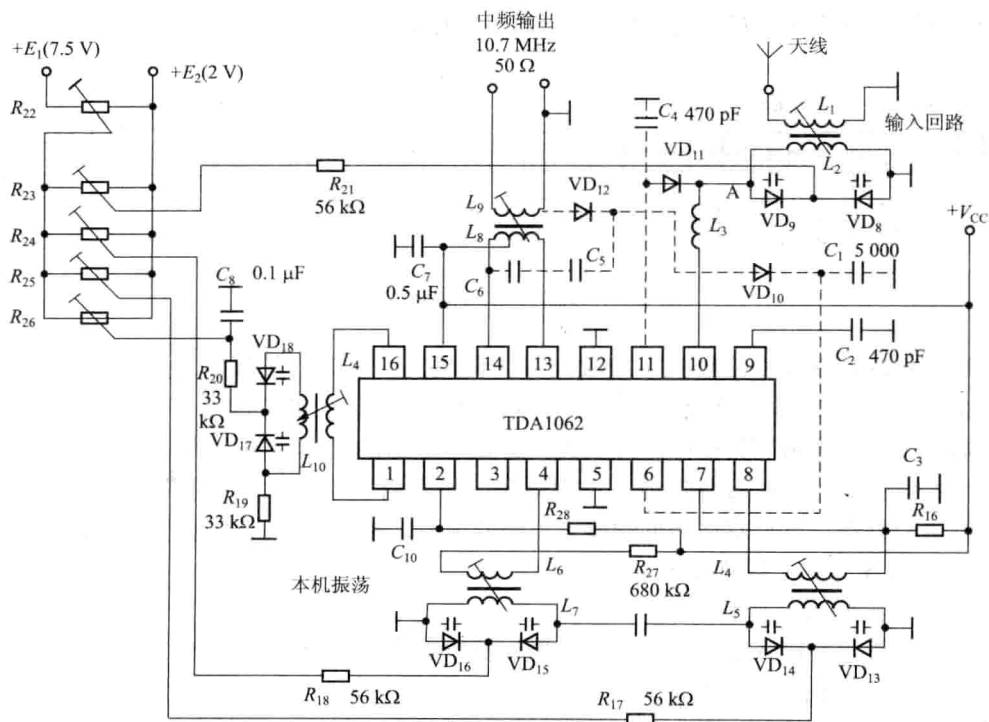


图 1-7 集成电路调频高频头电路图



(2) 中频放大器

中频放大电路的作用是将调频高频头输出的 10.7 MHz 调频中频信号进行选频放大, 然后送到鉴频器进行解调。中频放大电路是调频接收机十分重要的组成部分, 它不仅决定了整机的邻近频道选择性, 而且承担了整机的大部分增益。在调频高频头中, 由于工作频率很高, 且工作频率随着接收电台的不同而不同, 因而不容易得到高而稳定的增益和良好的邻近频道选择性。但在中频放大器中, 工作频率相对较低且固定, 容易得到高而稳定的增益和良好的邻近频道选择性。

单调谐中频放大器、双调谐中频放大器、陶瓷滤波器中频放大器应用较多。

图 1-8 所示为单调谐中频放大器。

图 1-9 所示为双调谐中频放大器。

图 1-10 所示为陶瓷滤波器中频放大器。

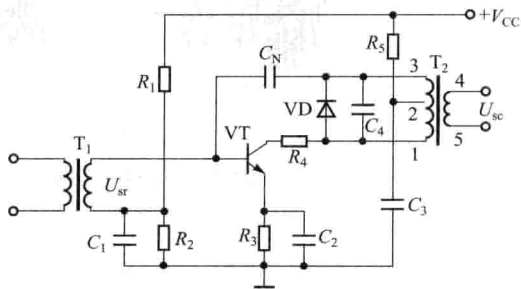


图 1-8 单调谐中频放大器

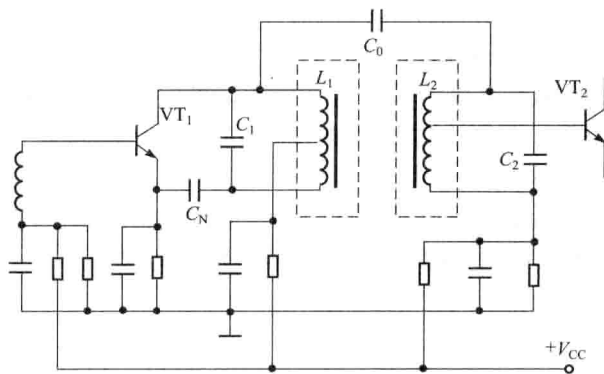


图 1-9 双调谐中频放大器

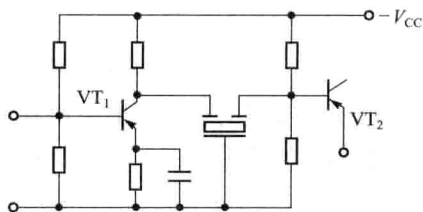


图 1-10 陶瓷滤波器中频放大器

(3) 限幅器

在调频系统中, 由于各种原因会使调频信号产生幅度的变化。例如, 机内噪声和内部干扰的影响, 会使信号幅度发生变化; 在发射机调频装置中, 振荡幅度会随频率的变化, 使调频的同时伴随着幅度调制, 即产生寄生调幅; 在接收机中, 由于调频高频头及中放电路幅频特性曲线的非矩形特性, 使不同频率的信号得到不同程度的放大, 调频信号也产生幅度变化; 还有传输过程中的各种外来干扰信号。为了抑制调频信号的寄生调幅, 通常采用限幅器将调频信号限幅后再送入解调器解调。限幅器的限幅作用如图 1-11 所示。

常用限幅器有三极管限幅电路、恒流源差分对限幅器。