



全国高等职业教育规划教材

高频电子线路

金发庆 主编

- 用熟知通信系统引导章节内容,
- 对基本功能电路讲解通俗易懂,
- 以新颖器件实例帮助理解掌握,
- 配精细实训课题培养装调技能。

电子教案下载网址 www.cmpedu.com



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

全国高等职业教育规划教材

高频电子线路

金发庆 主 编



机械工业出版社

本书主要介绍了高频电子线路的基本原理、电路组成、分析方法和实际应用,主要内容包括绪论、高频小信号放大器、高频功率放大器、正弦波振荡器、幅度调制与解调、角度调制与解调和反馈控制电路等。内容选取侧重基本概念、基本方法、基本电路和应用拓展,以应用实例引导读者的学习兴趣,讲解简单易懂,便于读者消化掌握。每章配有本章重点、实训内容和习题,以帮助读者复习、巩固知识,培养电路识读、装配、调试的技能。

本书可作为高职高专通信工程、移动通信、电子信息技术、应用电子技术、仪器仪表技术和计算机网络设备等专业的教学用书,也可作为相关专业工程技术人员自学和参考用书。

本书配套授课电子教案,需要的教师可登录 www.cmpedu.com 免费注册、审核通过后下载,或联系编辑索取(QQ: 1239258369, 电话: 010-88379739)。

图书在版编目(CIP)数据

高频电子线路/金发庆主编. —北京:机械工业出版社, 2013. 10

全国高等职业教育规划教材

ISBN 978-7-111-43962-2

I. ①高… II. ①金… III. ①高频—电子电路—高等职业教育—教材 IV. ①TN710.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 212036 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:王颖 版式设计:常天培

责任校对:杜雨霏 责任印制:杨曦

北京中兴印刷有限公司印刷

2014 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·9.25 印张·228 千字

0 001—3 000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-43962-2

定价:23.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010) 68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010) 88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

前 言

信息技术是对文、图、声、像等各种信息进行获取、传递、存储、加工与标准化的技术总称。其中，信息传递是把信息从一个地方送到另一个地方，以实现不同地域之间人们的信息共享。信息传递分单向传递、双向传递与广播传递 3 种类型。信息传递需要通道，即信道，还需要发送信息的设备和接收信息的设备，而组成发送和接收设备的电子电路，就是高频电子线路。

高频电子线路是电子信息技术专业的一门重要的专业基础课。它是一门理论和实践性都很强的课程。本着适应性、实用性、通俗性的原则，本书忽略了繁琐的理论推导，浅显详尽地介绍功能电路的结构组成、工作原理、性能指标和应用实例，使学生感到通俗易懂，有所兴趣，学有所用。根据现代电子技术的发展趋势，本书在内容上尽量以集成电路构成的电路为主进行介绍。各章节内容既有各自的独立性，又有相互的联系性，学习和讲解均可以有所侧重，并对各章配有本章重点和习题，以帮助读者复习和巩固所学知识。

为了增强读者对各功能电路组成、性能和应用的掌握，在各章后面提供了实训内容。通过有关实用电路的识读、装配和调试，会增加读者的学习兴趣，培养高频电子线路装配和调试技能。在讲授和学习本书时，可根据实际情况和具体条件，选择完成一部分实训课题或全部实训课题，也可以将部分实训课题放在课余时间进行。本课程教学约 76 课时，其中有实验课，可按实验教材进行实验，但也可以把部分或全部实训课题作为实验内容来进行。

本书第 1、2、3、6、7 章由金发庆编写，第 4、5 章由尉理哲编写，全书由金发庆统稿。

在本书编写过程中，得到许多同志热情关心和帮助，并提出了许多宝贵意见，在此一并表示衷心感谢。

由于编者水平有限，书中难免有不足之处，恳请广大读者批评指正。

编 者

目 录

出版说明

前言

第1章 绪论 1

1.1 从电视节目传输系统谈起 1

1.1.1 模拟通信系统 2

1.1.2 数字通信系统 2

1.2 无线电广播系统 3

1.2.1 无线电广播发射系统 3

1.2.2 无线电广播接收设备 5

1.3 无线电波的传播特性 6

1.3.1 无线电波的传播方式 6

1.3.2 无线电波的频段划分 7

1.4 实训 8

1.4.1 实训1 MP3无线调频转发器 的制作 8

1.4.2 实训2 调频无线传声器电 路的装配与调试 9

1.5 习题 10

第2章 高频小信号放大器 11

2.1 从卫星广播电视信号的 传送谈起 11

2.1.1 高频小信号放大器的类型 11

2.1.2 调谐放大器的性能指标 12

2.2 高频小信号调谐放大器 14

2.2.1 LC并联谐振回路 14

2.2.2 晶体管Y参数等效电路 16

2.2.3 调谐放大器Y参数等效电路 18

2.3 谐振放大器的电路性能 18

2.3.1 单管单调谐放大器 18

2.3.2 多级单调谐放大器 21

2.3.3 谐振放大器的稳定性 23

2.4 集中选频放大器 24

2.5 宽频带放大器 25

2.5.1 晶体管混合 π 型高频等效电路 25

2.5.2 晶体管的高频参数 26

2.5.3 单级宽频带放大器 28

2.5.4 展宽放大器频带的方法 28

2.6 集成高频放大电路的应 用实例 30

2.7 实训 30

2.7.1 实训1 调幅信号接收电路的 装配调试 30

2.7.2 实训2 调频信号接收电路的 装配调试 32

2.8 习题 33

第3章 高频功率放大器 35

3.1 从蜂窝移动通信的越 区切换谈起 35

3.2 高频谐振功率放大器的 工作原理 35

3.2.1 基本原理电路 35

3.2.2 电压电流波形 36

3.2.3 输出功率与效率 38

3.3 高频谐振功率放大器的 性能分析 40

3.3.1 高频谐振功率放大器的 动态线 40

3.3.2 高频谐振功率放大器的 负载特性 41

3.3.3 高频谐振功率放大器的 放大特性 42

3.3.4 高频谐振功率放大器的 调制特性 43

3.4 高频谐振功率放大器的 实际电路 44

3.4.1 直流馈电电路 44

3.4.2 匹配网络 45

3.5 倍频器 48

3.6 宽带高频功率放大器 49

3.6.1 传输线变压器 49

3.6.2 功率合成器 51

3.7 集成高频功率放大器 53

3.8 实训.....	54	5.2.1 调幅波的数学表示式和波形	78
3.8.1 实训1 60MHz 高频谐振 功率放大器电路的 装配与调试	54	5.2.2 调幅波的频谱和带宽	79
3.8.2 实训2 立体声调频发射电路的 装配与调试	55	5.2.3 调幅波的功率关系	80
3.9 习题.....	55	5.2.4 双边带调幅和单边带调幅	80
第4章 正弦波振荡器	57	5.3 调幅电路	82
4.1 从非接触 IC 卡数据读写谈起	57	5.3.1 普通调幅电路	82
4.2 反馈振荡原理	57	5.3.2 双边带调幅电路和单边 带调幅电路	83
4.2.1 反馈型振荡器和负阻型振荡器	58	5.3.3 残留边带调幅	84
4.2.2 反馈振荡的3个条件	58	5.4 调幅信号的解调	85
4.3 三点式 LC 振荡器	60	5.4.1 包络检波	85
4.3.1 电容三点式振荡器	61	5.4.2 同步检波	86
4.3.2 电感三点式振荡器	61	5.5 混频	88
4.3.3 三点式振荡电路的组成法则	62	5.5.1 混频器原理	88
4.3.4 两种三点式振荡电路的比较	62	5.5.2 混频电路	89
4.3.5 改进型电容三点式振荡器	63	5.5.3 混频干扰	90
4.4 振荡器的频率稳定度	65	5.6 实训	92
4.4.1 频率稳定度的定义	65	5.6.1 实训1 无线电测向机的 装配与调试	92
4.4.2 影响频率稳定度的因素及 提高措施	65	5.6.2 实训2 电子设计自动化 (EDA) 软件的应用	94
4.5 石英晶体振荡器	66	5.7 习题	95
4.5.1 石英晶体的特性	66	第6章 角度调制与解调电路	97
4.5.2 石英晶体的等效电路	67	6.1 从导频制立体声调频 广播谈起	97
4.5.3 并联型晶体振荡器	67	6.2 角度调制与解调原理	98
4.5.4 串联型晶体振荡器	69	6.2.1 调角信号的时域特性	98
4.6 集成电路振荡器	70	6.2.2 调角信号的频谱	101
4.7 RC 正弦波振荡器	70	6.2.3 调角信号的带宽	103
4.7.1 文氏电桥振荡器	70	6.3 调频电路	104
4.7.2 RC 相移网络振荡器	71	6.3.1 调频电路的主要性能指标	104
4.8 实训.....	72	6.3.2 直接调频电路	105
4.8.1 实训1 秒信号发生器的 装配与调试	72	6.3.3 间接调频电路	107
4.8.2 实训2 手持式对讲机的 装配与调试	73	6.4 鉴频电路	109
4.9 习题.....	74	6.4.1 鉴频电路的性能指标	110
第5章 幅度调制与解调	77	6.4.2 斜率鉴频电路	110
5.1 从 WiFi——无线网络信号 传输谈起	77	6.4.3 相位鉴频电路	112
5.2 调幅波的性质	78	6.4.4 限幅电路	114
		6.5 数字信号的调制与解调	115
		6.5.1 数字信号调制	115
		6.5.2 数字信号解调	116
		6.6 实训	117

6.6.1 实训1 单片集成调频发射机 的装配与调试	117	7.4 锁相环路	127
6.6.2 实训2 单片集成调频接收机 的装配与调试	118	7.4.1 工作原理	127
6.7 习题	119	7.4.2 锁相环路的两种调节过程	129
第7章 反馈控制电路	121	7.4.3 锁相环路的应用	130
7.1 从全球定位系统信号 跟踪接收谈起	121	7.4.4 锁相环路频率合成器	131
7.2 自动增益控制电路	122	7.4.5 集成锁相环路	133
7.2.1 工作原理	122	7.5 实训	135
7.2.2 电路类型	123	7.5.1 实训1 红外发射和接收 电路的装配与调试	135
7.3 自动频率控制电路	125	7.5.2 实训2 无线电遥控玩具 车的装配与调试	136
7.3.1 工作原理	125	7.6 习题	138
7.3.2 应用电路	126	参考文献	140

第 1 章 绪 论

本章重点

- 通信系统的概念。
- 无线电广播发送设备和接收设备的电路组成。
- 信号传输采用调制方式的原因和 3 种调制方式的区别。
- 不同频段无线电波的传播方式和用途。

1.1 从电视节目传输系统谈起

通信是将发信者的信息从一个地点传输给另一个地点的用户。例如，科技人员用遥控设备将数据传送到宇宙飞船，控制宇宙飞船的飞行姿态；路人用手机给家里人打电话，告知家里人自己的位置和事情；广播电台将新闻和音乐传送到千家万户，供人们收听。类似的例子很多，通常称提供信息的发信者为信息源，使用信息的用户为信息宿。那么，通信如何完成？信息如何从信息源传输到信息宿？需要用到哪些设备？要经过哪些流程？图 1-1 所示为电视节目传送设备和信号传输流程。电视节目的传送是节目源与观众的通信。任何通信都需要相应配套的信息传输设备和传输路程。

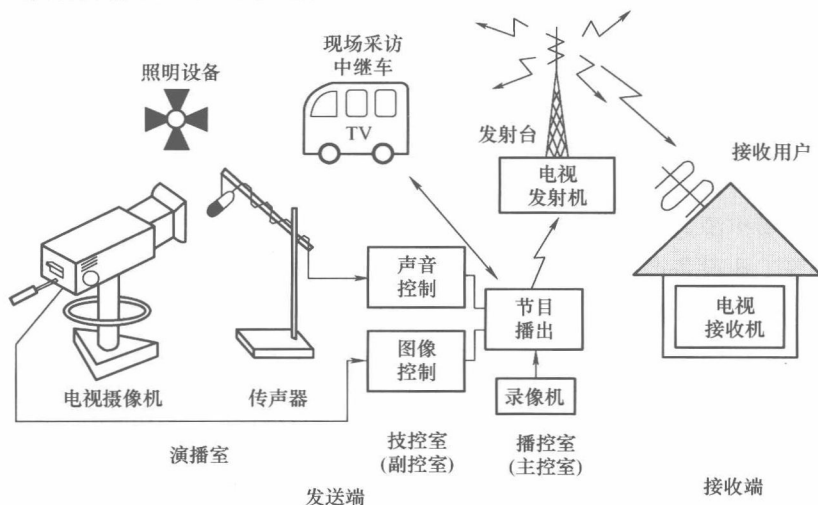


图 1-1 电视节目传送设备和信号传输流程图

图 1-1 中，演播室、电视采访车将在现场采集到的节目内容和录像机中保存的节目内容，通过电视发射机处理成电视发射信号，由天线转换为无线电波发射到空中。无线电波经空中传输到用户所在地，用户电视天线由空中接收到无线电波并转换为电信号，经电视接收机处理后，在屏幕上和扬声器中播放出节目内容供观众观赏。电视节目的传送需要传输信息的设备，包括信号处理、发送和接收设备，还需要通过空中这个信号传输的物理通道——信道。

传输信息的设备和信道的总和称为通信系统。传输的信息是模拟信号称为模拟通信系统，传输的信息是数字信号称为数字通信系统。

1.1.1 模拟通信系统

模拟通信系统的组成包括输入信息变换器、发送设备、信道、接收设备和输出信息变换器等，其框图如图 1-2 所示。

发信者要传送的原始信息包括语言、文字、音乐、图像和数据等，一般是声音、震动、光线等非电物理量。非电物理量经输入信息变换器转换为电信号，称为基带信号。例如，传声器将声音转换为音频电信号，摄像机将人物和场景的光线转换成了视频电信号。这些电信号量值的大小是连续的，是随时间连续变化的，称为模拟信号。

将基带信号送入发送设备，处理成适合信道传输的信号形式，并使其具有足够的功率，再送入信道传输。

信道即传输信息的物理通道，也称为传输媒介。常见的信道有电磁信道和光信道两类，电磁信道又分为无线信道和有线信道。

无线信道是指无明显边界的电波传播空间，例如，地球表面与电离层之间的自由空间、电离层外宇宙空间、水、地层等。水和地层对电磁波传播的衰减很大。

有线信道是指边界明显、空间范围相对较窄的信号传输通路，例如，架空明线、同轴电缆、视频电缆、波导管等。

光信道指光缆，也叫做光纤，用于光纤通信。当采用光缆作为信道时，送入光缆前需用电/光转换设备将电信号转换为光信号。

接收设备接收信道中传输的信号，将其处理成原基带信号的形式，经输出信息变换器转换为语言、文字、音乐、图像和数据等送用户使用。接收设备在接收信道中传输的信号的同时，也会接收到噪声源通过信道传输来的噪声干扰信号。噪声源包括闪电、宇宙射线、大气热辐射和电机等工业设备产生的电火花，而其他通信设备发送的信号对本通信系统来说，也是噪声，这些为外部噪声。另外，通信系统本身设备的有源器件和电阻的电子热运动会产生热噪声，这些为内部噪声。

模拟信号直观、形象。模拟通信系统结构简单，但抗干扰能力差。一个好的模拟通信系统要尽量少接收外部噪声源产生的噪声干扰信号，还要尽量减小设备本身的有源器件和电阻产生的热噪声。

1.1.2 数字通信系统

随着计算机技术、集成电路技术和编码技术的迅速发展，通信进入了数字化时代，如微波数字多路通信、数字移动通信、数字电视、数字广播、计算机通信和多媒体通信等，它们传输的是数字化的信息，称为数字通信系统。数字通信系统组成框图如图 1-3 所示。

发信者传输的语言、文字、音乐、图像和数据等各种信息，被送入输入信息变换器转换为模拟电信号，模拟电信号被送入信源编码器，通过采样、量化和编码，转换为用一连串高低电

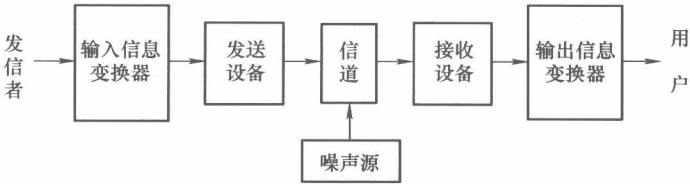


图 1-2 模拟通信系统的组成框图

平表示的信号，高、低电平分别表示数字“1”和“0”。它们在时间上和量值上都是不连续的，是离散信号，称为数字信号或数字基带信号。再通过信道编码器把该数字基带信号转换为便于同步、传输、再生和纠错的数字信号码型，当然，还是以高、低电平表示“1”和“0”等数字。

此后，与模拟通信系统一样，经信道编码的数字信号被送入发送设备中，处理成适合信道传输的信号形式，并使其具有足够的功率，再送入信道传输。

接收设备接收到由信道传输来的信号，处理恢复为原信道编码的数字信号，由信道解码器解码得到原数字基带信号，再经信源解码器解码恢复为模拟基带信号，由输出信息变换器转换为语言、文字、音乐、图像和数据等原始信号的形式，供用户使用。

如果用户可以直接使用数字信号（如以电子计算机作为终端设备），就可不设置信源解码器和输出信息变换器，而将信道解码器输出的数字基带信号直接输入终端设备中使用。

数字信号在传输过程中，可以通过再生中继技术减小衰减失真和消除部分噪声干扰，可以通过编码校验技术检查和纠正传输中产生的错误，可以通过时分、频分和码分技术增加信道的传输容量，同时数字信号还便于与计算机接口，使通信系统更加通用和灵活，因此，数字通信已成为现代通信技术的发展方向。

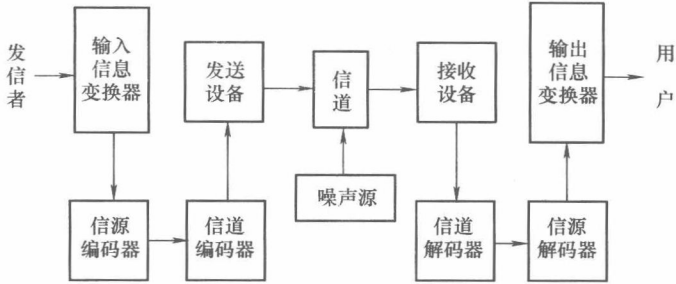


图 1-3 数字通信系统的组成框图

1.2 无线电广播系统

模拟通信系统和数字通信系统的区别仅仅在于基带信号的类型，承担信号传输环节的发送设备和接收设备是相同的。高频电子线路课程介绍的是发送设备和接收设备的工作原理和电路组成，是模拟通信系统和数字通信系统都不可缺少的知识内容。

无线电广播系统是典型的通信系统，由广播发射系统、自由空间信道和千家万户的接收机组成。从无线电广播系统可以了解通信系统的基本结构，而其他各通信系统只是在该基本结构上进行了各自需要的增强、引申或简化。

1.2.1 无线电广播发射系统

无线电广播发射系统的组成框图如图 1-4 所示，包含基带信号产生电路、载波产生电路、调制电路、高频功率放大电路和天线几个部分。

1. 基带信号产生电路

基带信号产生电路由传声器和低频放大器组成。传声器将人、乐器或其他设备发出的声音信息转换成音频电信号，称为基带信号或低频信号。传声器输出的音频电信号

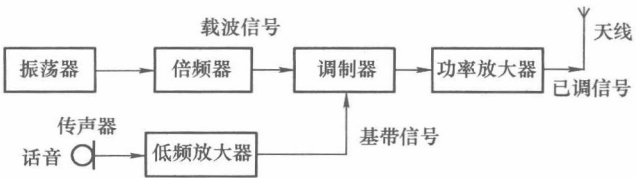


图 1-4 无线电广播发射系统的组成框图

比较微弱（通常为 mV 级），不能满足调制电路对电平的要求，需经低频放大器放大。若将传声器输出到低频放大器的音频电信号，改为图像和音频复合电信号，则为电视信号发射设备的组成，当然，其中低频放大器应改为视频放大器。

2. 载波产生电路

载波为高频等幅振荡波，在通信系统中起了基带信号运输工具的作用。载波产生电路由振荡器和倍频器组成，振荡器一般均采用晶体振荡器。由于高稳定度的石英晶体振荡器的振荡频率为 2~10MHz，而一些广播、通信系统的载波为几十 MHz、几百 MHz，甚至几 GHz，所以需经倍频器倍频到所需要的频率。若倍频后的信号电平不够高，则还需放大到所需电平。

3. 调制电路

调制电路将基带信号调制到载波上再进行传输。目前，几乎所有的无线电发射设备均采用调制发射方式。其原因是多方面的，最基本的原因是实现天线对无线电波的有效辐射和自由空间传输信道的“多路复用”。

1) 根据天线理论，将无线电信号通过天线有效地转换为电磁波辐射出去，必须具备的条件是天线的尺寸与无线电信号波长可以比拟，也就是说，它们要在同一个数量级上。

信号波长 λ 与频率 f 的关系为

$$\lambda = c/f \quad (1-1)$$

式中， c 为电磁波的传播速度，与光速相同，为 $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ 。

人耳能听到的声音信号的频率范围为 20Hz~20kHz，在将人、乐器或其他设备发出的声音信息转换成音频电信号后，调幅广播发射系统通过带通滤波器，选取 300Hz~6.5 kHz 频率范围的音频电信号进行传送。如果要想将该音频信号直接送到天线上进行有效辐射传输，那么天线的尺寸就需要很长。以 1kHz 的音频信号为例，由式 (1-1) 计算可得波长为 $300 \times 10^3 \text{ m}$ ，天线长度至少需要 1/10 波长，为 $30 \times 10^3 \text{ m}$ ，也就是 30km，这在天线制作与架设方面是不可能实现的。

为此，利用高频振荡信号作为运输工具，将音频信号调制在高频振荡信号上，再将调制有音频信号的高频振荡信号送到天线上进行辐射。该高频振荡信号称为载频信号，也叫做射频信号。调幅广播的载频用 525~1 650kHz，短波载频用 1.8~26MHz，调频广播的载频用 88~108MHz。

例如，某中波广播电台选用 1 000kHz 为载频，由式 (1-1) 可计算得到波长为 300m，则天线长度为 30m 以上，就可以达到有效辐射。通常直立天线高度采用 1/4 波长，为 75m，这是比较容易实现的。如果在天线的顶端做一些金属材料的伞形分枝或圆盘，做成容性天线，就可以增加天线的有效长度，则天线的实际长度还可以比 75m 再短一些。

2) 自由空间信道要实现“多路复用”，要同时传输多个广播电台和其他类型的电台信号。假设有两个电台，一个电台要播送新闻，另一个电台要播送音乐。它们都是音频信号，频率范围都在 300Hz~6.5kHz，如果这两个电台的播音信号直接向空中辐射，接收机同时就接收到这两个电台的信号，频谱混叠，无法将它们分开来。如果更多的电台按这种方式辐射信号，接收机接收到的就只能是乱糟糟的一片交杂的噪声。

因此，要将各个电台播送的音频信号先调制在不同的载频上，再向空中辐射。而各接收

机调谐在各自要接收的电台载频上，选择收听，这样就不会与其他电台的信号相混杂了。

3) 调制方式有调幅、调频和调相 3 种。

调幅是将音频电信号调制到高频振荡信号的幅度上，使高频振荡信号的幅度随音频信号的变化而变化。

调频是将音频电信号调制到高频振荡信号的频率上，使高频振荡信号的频率随音频信号的变化而变化。

调相是将音频电信号调制到高频振荡信号的相位上，使高频振荡信号的相位随音频信号的变化而变化。

无线电广播只采用调幅和调频两种方式。

4. 高频功率放大电路

为了增大广播信号的覆盖面，让更多、更远处的接收机都能接收到信号，要将高频已调制振荡信号再经高频功率放大器放大到足够大的功率。按作用距离划分，可以放大到几瓦、几十瓦、几百瓦乃至几千瓦。

5. 天线

将高频功率放大器放大后的高频已调制振荡信号，由传输线馈送到天线上，由天线转换为电磁波向空中辐射。

1.2.2 无线电广播接收设备

无线电广播接收设备即接收机，由天线、高频放大器、本机振荡器、混频器、中频放大器、解调器、低频放大器和扬声器组成，其组成框图如图 1-5 所示。

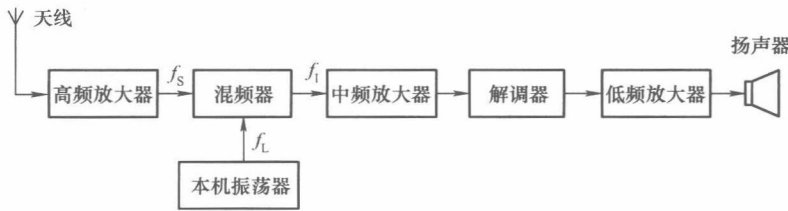


图 1-5 无线电广播接收设备的组成框图

1. 天线

天线从空中传输过来的电磁波中感应产生高频已调制振荡信号。空中各种各样的电磁波很多，其中波长与天线的尺寸相比拟的电磁波在天线中感应产生的信号才能达到可应用的电平量级。

天线具有可逆性，接收天线的式样与发射天线一样，考虑到造价和接收机接收功率很小等因素，一般接收机的天线结构比较简单。在中波和短波频段，还可以使用铁氧体材料做的磁性天线。由于铁氧体磁性天线高频衰减大，所以不用于更高频段的接收机。

2. 高频小信号放大器

天线由电磁波感应产生的高频已调制振荡信号很微弱，一般为 mV 量级，甚至可能是 μV 量级，而且有多个电台的信号相混杂。高频小信号放大器的作用就是选取一个要接收的电台信号，并将信号放大。高频小信号放大器一般由 LC 选频回路和放大器组成。为了提高信噪比，应选用低噪声高频晶体管作为放大管。

高频小信号放大器放大后的高频已调制振荡信号，仍然比较微弱。考虑到晶体管放大器的高频增益难以提高，故各种用途接收机都采用超外差接收方式，将高频已调制振荡信号降低为中频已调制振荡信号再进行选频和放大。

3. 本机振荡器

本机振荡器用于产生高频等幅的振荡信号，其频率比要接收的电台的载波频率高一个中频频率。若接收机可调谐选择接收几个电台信号，则本振频率也要可调，并保持比要接收的电台载频高出一个中频频率。调幅接收机的中频频率为 465kHz，调频接收机的中频频率为 10.7MHz。电视接收机的中频频率为 38MHz。

4. 混频器

混频器是超外差式接收机的重要组成部分。由本机振荡器产生的高频等幅振荡信号与接收的高频已调制振荡信号相减就产生中频已调制振荡信号。

5. 中频放大器

中频放大器将中频已调制信号放大到所需要的量值，通常为 1~2V 电平，再送至解调器解调。由于混频器输出的中频已调制信号电平往往只有 mV 量级，所以中频放大器需几百倍乃至几千倍的增益。

由于同类型接收机中频放大器的中频频率为固定值，所以可以将它制成高性能的通用件，供制造接收机厂家选用。

6. 解调器

将中频放大器放大输出的中频已调制信号送至解调器解调，以恢复原音频电信号。对应于调幅、调频和调相 3 种不同的调制方式，解调器也有检波器、鉴频器和鉴相器 3 种。

7. 低频放大器

将解调器解调输出的音频电信号送至低频放大器放大，使之具有足够大的功率，以推动扬声器还原声音信息。若是电视接收机，则将图像和音频电信号分离，分别经视频放大器和低频放大器放大后，推动显示器和扬声器还原图像和声音信息。

1.3 无线电波的传播特性

无线电广播系统以自由空间为信道，无线电广播信号经由天线转换为电磁波向空中辐射。电磁波在传播的过程中能量会扩散，还会被地面、建筑物及高空的电离层吸收或反射，在大气层中会产生折射或散射，到达接收机被接收的电磁波只是其中很少一部分。不同频率的电磁波具有不同的传播方式、传播特性和传播距离。

1.3.1 无线电波的传播方式

无线电波的传播方式主要有直射（视距）传播、绕射（地波）传播、折射和反射（天波）传播及散射传播等，其示意图如图 1-6 所示。

图 1-6a 所示为直射传播，在地球表面按直线将无线电波从发射点传播到接收点。由于地球表面为一弯曲面，因而，直射传播的电磁波只能在视距范围内。将发射天线和接收天线架设得越高，传播的距离就越远。电磁波在空间传播时会被大气吸收，因而有能量衰减。

图 1-6b 所示为绕射传播，即绕地球弯曲表面传播，也叫做地波传播。地波传播不受电

高层变化的影响，传播比较稳定。由于地面并非理想导体，有电阻，电磁波在绕地球表面传播的过程中，会有部分电磁波向地面弯曲而被吸收，造成损耗。能量损耗的大小与电磁波频率等因素有关，频率很低的长波损耗最小，传播距离最远。

图 1-6c 所示为反射传播，也称为电离层传播（天波），它利用电离层反射将无线电波从发射点传播到接收点。

图 1-6d 所示为散射传播，大气对流层是折射指数随机不均匀体，它利用其对入射无线电波的再辐射，将无线电波从发射点传送到视线距离以外的接收点。

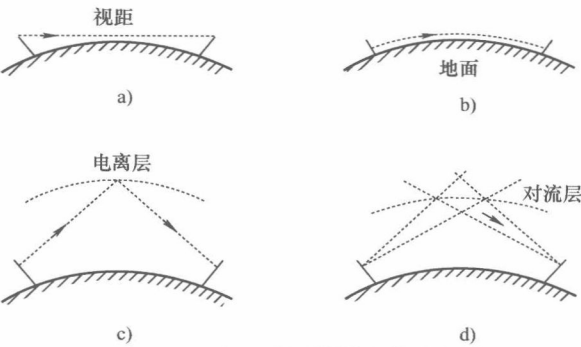


图 1-6 无线电波的传播方式示意图
 a) 直射传播 b) 绕射传播 c) 反射传播 d) 散射传播

1.3.2 无线电波的频段划分

从光学理论来说，光波和无线电波都是电磁波。电磁波的波谱很宽，包括无线电波、红外线、可见光、紫外线、X 射线、宇宙射线等，其示意图如图 1-7 所示。无线电波是频率为几十 kHz 到几 GHz 较低频率的电磁波。

根据无线电波的频率或波长进行的分段，分别称为频段或波段。通常可将其分为长波、中波、短波、超短波及微波等。不同频段的无线电波的传播方式和用途如表 1-1 所示。

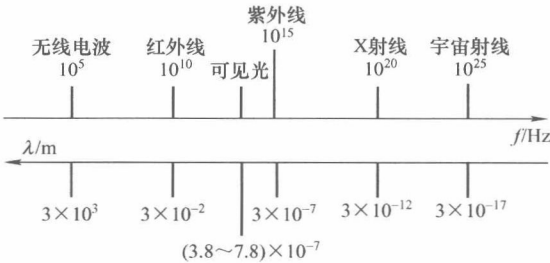


图 1-7 电磁波波谱示意图

表 1-1 不同频段的无线电波的传播方式和用途表

波段名称	波长范围	频段范围	频段名称	传播方式	用途
长波 (LW)	10 ³ ~10 ⁴ m	30~300kHz	低频 (LF)	地波	长距离通信
中波 (MW)	10 ² ~10 ³ m	300kHz~3MHz	中频 (MF)	地波、天波	广播、通信、导航
短波 (SW)	10~10 ² m	3~30 MHz	高频 (HF)	天波、地波	广播、通信
超短波 (VSW)	1~10m	30~300MHz	甚高频 (VHF)	直线传播、对流层散射	通信、调频广播、电视、雷达
分米波 (USW)	10~100cm	300MHz~3GHz	特高频 (UHF)	直线传播	中继与卫星通信、雷达、电视
厘米波 (SSW)	1~10cm	3~30GHz	超高频 (SHF)	直线传播	卫星通信、雷达
毫米波 (ESW)	1~10mm	30~300GHz	极高频 (EHF)	直线传播	微波通信、雷达

1. 长波

波长超过 1000m，即频率低于 300kHz 的无线电波称为长波。地面对长波的吸收较弱，长波靠地球表面绕射传播，传播的距离较远。

长波主要用于导航和播送标准时间信号，也可用于长距离传输的无线电广播，它可以传输到地球的另一边。

长波电台所需天线的尺寸很大，可用的频率范围较窄，故它的应用受到一定的限制，大多用于特需场合。

2. 中波

波长为 $10^2 \sim 10^3 \text{ m}$ ，即频率为 $300 \text{ kHz} \sim 3 \text{ MHz}$ 之间的无线电波称为中波，中波靠地球表面绕射和电离层反射两种方式传播。电离层对中波的吸收较强，尤其是白天更为严重，所以中波在白天主要是靠地球表面绕射传播。由于地面对中波的衰减比长波厉害，所以中波的地球表面绕射传播的距离不远，约 100 km 。

晚上，电离层对中波的吸收减弱，中波可借助电离层的折射和反射传播到较远的地方。一些白天收不到电台的地方，晚上能收到电台，就是这个道理。

中波主要用于中近距离的无线电广播。

3. 短波

波长为 $10 \sim 100 \text{ m}$ ，即频率为 $3 \sim 30 \text{ MHz}$ 的无线电波称为短波。地面对短波的衰减更为厉害，故短波的地球表面绕射传播的距离不超过几十千米。尽管电离层对短波的吸收很厉害，短波也只能靠电离层的折射和反射传播，特别是靠电离层与地表面之间的多次反射来实现超远距离传播。由于电离层不断地变化，所以超远距离广播的接收很不稳定。晚上，电离层的吸收和变化都减弱，超远距离广播的接收才比较清晰和稳定。

短波主要用于国际超远距离无线电广播，也较多用于小型中小功率移动报话通信机。

4. 超短波及微波

波长为 $1 \sim 10 \text{ m}$ ，即频率为 $30 \sim 300 \text{ MHz}$ 的无线电波称为超短波。波长为 1 m 以下，即频率为 300 MHz 以上的无线电波称为微波，微波又分为分米波、厘米波和毫米波。

电离层对超短波、微波的折射和反射甚微，超短波和微波沿地球表面绕射的能力也不强，故只能靠直线传播。受地球表面的弯曲限制，直射传播的最大距离为 50 km 。

超短波、微波主要用于微波中继通信、调频广播、电视、雷达、导航。电离层对微波的吸收很小，因此，微波可以直射穿过电离层到达外空，实现火箭轨道测量、火箭姿态控制、卫星通信、卫星电视和卫星广播。

1.4 实训

高频电子线路是在科学技术和生产实践中发展起来的，只有通过实践，才能深入了解和掌握。在学习本课程时，必须要高度重视实验和实训环节，坚持理论联系实际，在实践中积累丰富的经验。

1.4.1 实训1 MP3 无线调频转发器的制作

由 MPX2606 组成的 MP3 无线调频转发器电路如图 1-8 所示。图中电感 L_1 为内部压控振荡器的外接电感，调 L_1 可将振荡频率调到 100 MHz 左右。用电位器 RP_1 可调节压控振荡器的直流控制电压，可以将振荡频率调为 $88 \sim 108 \text{ MHz}$ 频段的某一频率，以此作为发射载波频率。

左、右声道信号由 $22\text{k}\Omega$ 电阻和 $10\text{k}\Omega$ 电位器衰减到电平为 60mV 以下, 以免电平过高引起失真, 由 3 脚送入 MPX2606, 以控制压控振荡器的振荡频率进行调频。调频信号从 6 脚输出到天线发射, 发射距离约为 50m 。天线用 650mm 拉杆天线, 在天线顶端有一个金属圆柱体, 为容性加载, 可增加天线的有效长度。

1) 按图 1-8 所示备齐集成电路和元器件, 对电感线圈 L_1 可用 $\phi 0.5$ 漆包线在圆珠笔芯上绕 8 圈制成。

2) 在多功能板上装配无线调频转发器电路, 接上 $3\sim 5\text{V}$ 直流电源。

3) 用万用表测量电源电压和 MPX2606 各引脚的直流电压。

4) 用频率计测 6 脚的输出信号频率, 调节 L_1 圈数和圈间隔, 使输出信号频率为 100MHz 左右。

5) 将 MP3 左、右声道输出接到 L、R 输入端, 用频谱仪和示波器测量 MPX2606 各引脚的信号频谱和波形。

6) 用调频收音机收听转发的 MP3 音乐, 调 RP_1 使输出信号频率避开本地电台频率, 并改变距离进行试听。

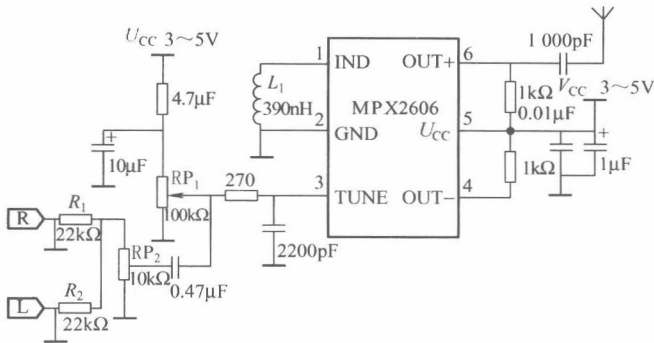


图 1-8 MP3 无线调频转发器电路图

1.4.2 实训 2 调频无线传声器电路的装配与调试

图 1-9 所示为调频无线传声器电路。它能拾取距离传声器在 5m 以内的轻微讲话声, 发射频率在 $88\sim 108\text{MHz}$ 范围内, 有效发射距离为 50m 左右, 可用调频收音机接收, 可用做电话教学无线传声器使用。

图中 VT_2 可选用 $\beta > 60$ 的超高频管, 如 9018、3DG56、3DG80 等, 它与电感 L_1 、电容 C_4 、 C_5 、 C_6 以及超高频管的输入、输出电容组成电容三点式超高频振荡器, 振荡频率范围为 $88\sim 108\text{MHz}$ 。

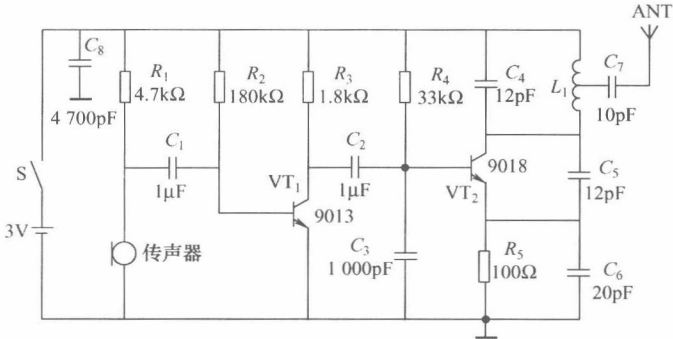


图 1-9 调频无线传声器电路图

传声器可选用小型驻极体型传声器 (也可用碳精传声器, 灵敏度高但频响范围窄) 拾取语音信号, 送入 VT_1 音频放大。 VT_1 可选用 $\beta > 100$ 的低频晶体管, 如 9013J、3DG201 等。

经 VT_1 放大后的音频信号送 VT_2 基极, 使 VT_2 的输入电容随音频信号变化, 从而达到调频的目的。中心频率为 $88\sim 108\text{MHz}$ 的调频信号, 由天线 (ANT) 发射输出。图中 C_1 、 C_2 为电解电容器, 其他为高频瓷介电容, 电阻均为 $1/8\text{W}$ 碳膜电阻, 电感 L_1 需自制, 用

0.4~0.6mm 直径漆包线在直径约为 4.5mm 的圆棒上绕 7~8 圈,然后抽去圆棒,成为一个空心线圈,圈间距调整为一根导线的直径大小。天线用 650~760mm 的拉杆天线,也可用多股软铜线作拖尾天线,但灵敏度会降低。

1) 在印制电路板或多功能电路板上装配该电路,检查各元器件的焊接是否可靠。

2) 测量整机电流,正常值应在 2.5mA 左右,将电感线圈 L_1 短路,若整机电流增加,在 3.5mA 左右,则表明振荡器已起振。

3) 由一同学对传声器讲话,另一同学打开调频收音机,并开大音量,转动调谐旋钮,选择频率点进行接收。

4) 若接收频率点有当地广播电台,则可微微拨动电感线圈 L_1 的圈间距,微调振荡频率将其避开。

5) 调整电阻 R_1 的阻值,使接收音量最大和最清晰。

6) 改变调频收音机的位置和距离进行接收试验,测量调频无线传声器的有效发射位置、角度和距离。

1.5 习题

1. 画出无线通信收/发信机的原理框图,并指出各部分的作用。
2. 无线通信为什么要用高频信号?“高频”信号指的是什么?
3. 为什么要对无线通信进行调制?如何进行调制?
4. 无线电信号的频段或波段是如何划分的?各个频段的传播特性和应用情况如何?