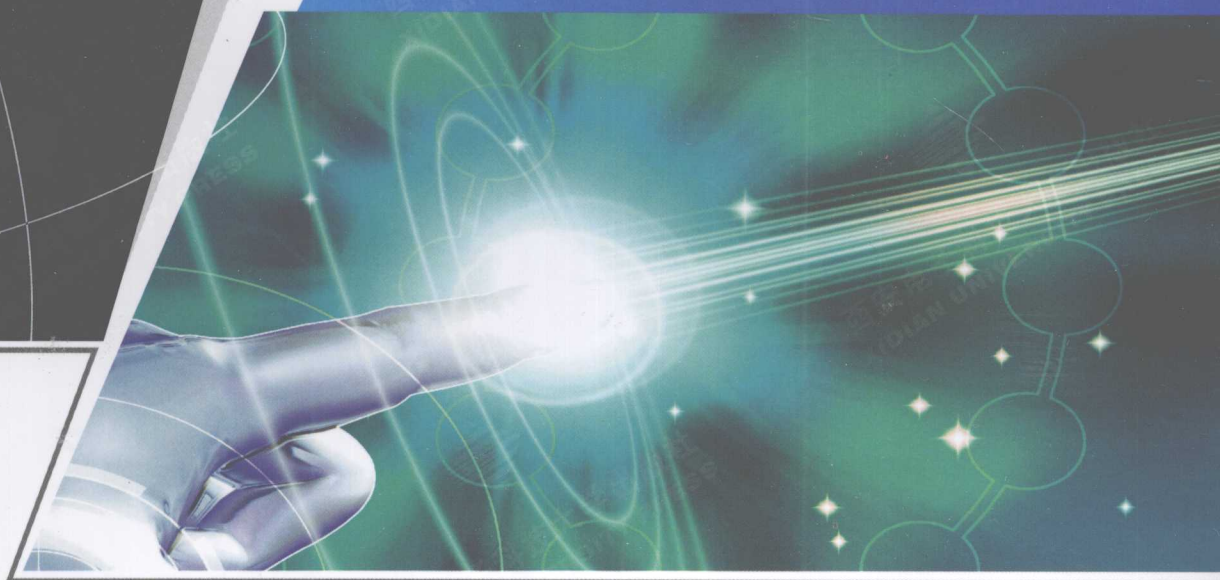


 高职高专电子信息类“十一五”规划教材

高频电子技术与应用

主编 高金玉

主审 雷少刚



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>



XDUP 254400

封面设计:  佳易传播



高职高专电子信息类“十一五”规划教材

计算机应用基础

电路分析基础

信号与系统

● 高频电子技术与应用

自动控制原理与应用

C语言程序设计

单片机技术及应用

编程控制器的应用 (西门子)

可编程控制器应用技术

移动通信技术

电子技能与实训

电力电子技术实验与实训

电工基础—电工原理与技能训练

计算机网络工程

计算机网络工程及实训

单片机技术及应用实例分析

线性电路与系统

传感器及应用

现代通信设备检测与维护

电气控制技术与应用

电工技术

单片机原理及接口技术

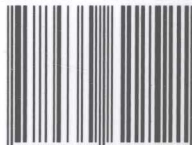
电工电子技术

模拟电子技术

数字电子技术

电子线路 CAD 技术

ISBN 978-7-5606-2252-1



9 787560 622521 >

定价: 18.00元

高职高专电子信息类“十一五”规划教材

高频电子技术与应用

主 编 高金玉

参 编 马宁丽 王然升

主 审 雷少刚

西安电子科技大学出版社

2009

内 容 简 介

本书共分8章和两个附录,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,非线性器件与频率变换,调幅、检波与混频电路——频谱的线性搬移电路,角度调制与解调——频谱的非线性变换电路,反馈控制系统,高频常用仿真软件介绍(附录1)和集成电路收音机的装配与调试(附录2)。

本书选材合理,文字叙述清楚,可作为高职高专、成人教育电子类相关专业的“高频电子技术”课程理论与实践教学的教材。

图书在版编目(CIP)数据

高频电子技术与应用/高金玉主编. —西安:西安电子科技大学出版社,2009.8

高职高专电子信息类“十一五”规划教材

ISBN 978-7-5606-2252-1

I. 高… II. 高… III. 高频—电子电路—高等学校—教材 IV. TN710.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 113147 号

策 划 寇向宏

责任编辑 寇向宏

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西光大印务有限责任公司

版 次 2009年8月第1版 2009年8月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印 张 12.875

字 数 298千字

印 数 1~4000册

定 价 18.00元

ISBN 978-7-5606-2252-1/TN·0510

XDUP 2544001-1

*** 如有印装问题可调换 ***

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

西安电子科技大学出版社
高职高专电子信息类“十一五”规划教材
编审专家委员会名单

主任：杨 勇

副主任：张小虹

成 员：（按姓氏笔画排列）

马 琳

王 平

王宏军

丛迎九

卢庆林

李常峰

李德家

李文森

刘 勇

张玉莲

张 伟

郭亚红

战德刚

段智毅

祝瑞花

栾春光

曾照香

彭丽英

雷少刚

黎 伟

项目策划：毛红兵

策 划：曹 昞 寇向宏

电子教案：马武装

前 言

“高频电子技术”是应用电子技术、电子信息工程等专业的一门基础课，理论性较强。

该课程传统的思路大都是以理论讲授、推导、给出结论为主，学生真正拥有自主思维的内容几乎没有。本书内容既包括高频电子技术的基础理论，又涵盖高频电子技术应用和仿真设计及分析方法，并注意突出电子 EDA 的设计理念。在附录 1 中，介绍了 EWB 5.12 和 Multisim 10.0 高频仿真软件的使用；在附录 2 中，根据实际组装、调试集成电路收音机的经验，增加编写收音机的调试、装配方法和步骤等，增强学生理解整机概念，提高学生的实际操作能力，突出课程的实用性、技术性等特点。

本书内容叙述深入浅出，编排简洁明快，形式新颖，目标明确，有利于促进学生的求知欲和学习主动性。高频电子技术应用的核心理论是频率变换技术，通常学生难于掌握。本书第 5 章集中编写非线性器件的频率特性，以此突出该核心。此外，每章增加对应的电子线路仿真设计与应用，且对 PLL 进行详细原理分析，并讨论工程中的应用，这也是该教材区别其他教材的特色之一。

为适应高职高专的教学要求，本教材精选高频电子技术内容、习题，同时结合仿真实验的直观效果，强化学生的逻辑思维，增强学生对高频理论学习的能力，实现理论与实践完美的结合。利用高频仿真实验，解决接近实际的问题，实时观测波形，提高学生学习高频的兴趣。同时也便于教师采用现代化教学手段(大屏幕教学)，使繁杂的理论教学形象化，提高课堂教学效果，为后续专业课学习夯实基础。

本书可作为高职高专院校应用电子技术、电子信息工程等专业的教材，也可供其他专业学生和有关专业技术人员参考使用，或作为自学用书。

本书由山东信息职业技术学院高金玉老师主编，西安航空职业技术学院的马宁丽老师和山东信息职业技术学院的王然升老师参编。其中第 2 章~第 4 章由马宁丽老师编写，第 7 章和第 8 章由王然升老师编写，其余章节由高金玉老师编写，并负责全书统稿。本书由西安航空技术高等专科学校的雷少刚老师主审。在此，对各位老师的辛勤参与以及有关院校和西安电子科技大学出版社的大力支持，一并致以诚挚的感谢。

限于作者水平，且时间较紧，书中难免有不妥之处，敬请各位读者批评指正，便于进一步修订与完善。

作 者

2009 年 5 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 通信系统的组成及原理	1
1.2 无线电发送设备的组成及其基本原理	2
1.3 无线电接收设备的组成及其基本原理	4
1.4 无线电波波段的划分和无线电波的传播	4
1.4.1 无线电波波段的划分	4
1.4.2 无线电波的传播	9
小结	9
习题	10
第 2 章 高频小信号放大器	11
2.1 小信号谐振放大器的分类和性能指标	11
2.1.1 谐振放大器的分类	11
2.1.2 小信号谐振放大器的性能指标	12
2.2 LC 并联谐振回路	13
2.3 高频小信号放大器	18
2.3.1 单调谐放大器	18
2.3.2 双调谐放大器	20
2.3.3 调谐放大器的稳定性	22
2.4 集成选频放大器	23
2.4.1 集成选频放大器的组成	23
2.4.2 集中选频滤波器	23
2.4.3 集成选频放大器电路实例	25
2.5 仿真设计与应用	27
小结	30
习题	31
第 3 章 高频功率放大器	33
3.1 概述	33
3.1.1 高频功率放大器的分类	33
3.1.2 谐振功率放大器的特点	33
3.2 谐振功率放大器	34
3.2.1 谐振功率放大器的基本工作原理	34
3.2.2 谐振功率放大器的性能分析	37
3.2.3 谐振功率放大器电路	41
3.3 高频功率放大器仿真应用设计	44

小结	48
习题	48
第4章 正弦波振荡器	50
4.1 概述	50
4.1.1 振荡器的概念和用途	50
4.1.2 振荡器的分类与要求	50
4.1.3 正弦波振荡器的组成框图及发生振荡的条件	51
4.2 LC 正弦波振荡器	53
4.2.1 互感反馈式振荡器	53
4.2.2 电容三点式振荡器——考毕兹振荡器	55
4.2.3 电感三点式振荡器	56
4.2.4 三点式振荡器的一般形式	57
4.2.5 串联改进型电容三点式电路——克拉泼电路	58
4.2.6 并联改进型电容三点式电路——西勒电路	58
4.3 RC 正弦波振荡器	59
4.3.1 RC 串并网络的选频特性	59
4.3.2 RC 桥式振荡器	60
4.4 石英晶体振荡器	62
4.4.1 石英晶体谐振器	62
4.4.2 石英晶体振荡电路	63
4.5 振荡器的频率稳定与幅度稳定	65
4.6 振荡器仿真设计	66
4.6.1 电容三点式振荡器仿真实验	66
4.6.2 文氏桥式振荡器仿真设计	67
小结	69
习题	70
第5章 非线性器件与频率变换	74
5.1 非线性器件	74
5.1.1 非线性器件的特性	74
5.1.2 模拟乘法器(Analog Multiplier)	75
5.2 频率变换	76
5.3 仿真设计与应用	77
小结	79
习题	79
第6章 调幅、检波与混频电路——频谱的线性搬移电路	82
6.1 调幅原理	82
6.1.1 普通调幅波原理	82
6.1.2 调幅其他形式	85
6.2 调幅电路	86
6.2.1 高电平调幅电路	86
6.2.2 低电平调幅电路	88
6.3 检波器	89

6.3.1 检波原理	89
6.3.2 检波电路	90
6.4 混频器	94
6.4.1 混频原理	94
6.4.2 混频电路	96
6.4.3 混频失真	97
6.5 分立元件调幅收音机电路分析	99
6.6 仿真设计与应用	101
6.6.1 调幅波形的研究	101
6.6.2 调幅电路仿真设计	103
6.6.3 检波电路仿真设计	106
6.6.4 混频电路仿真设计	110
小结	112
习题	113
第7章 角度调制与解调——频谱的非线性变换电路	117
7.1 FM、PM 基本原理	117
7.1.1 FM、PM 概述	117
7.1.2 调频原理	118
7.1.3 调相原理	118
7.1.4 角度调制的频带宽度	119
7.2 调频电路	119
7.2.1 直接调频电路	119
7.2.2 间接调频电路	120
7.3 鉴频电路	122
7.3.1 鉴频概述	122
7.3.2 相位鉴频器	123
7.3.3 比例鉴频器	125
7.3.4 正交鉴频器	126
7.4 集成调频收音机的电路分析	127
7.4.1 调频广播的特点及调频收音机的构成	127
7.4.2 调幅/调频单片收音机集成电路 CXA1019M	128
7.4.3 采用 CXA1019M 收音机电路分析	129
7.5 调频立体声广播与立体声收音机	131
7.5.1 调频立体声广播	131
7.5.2 调频立体声收音机	132
7.6 仿真设计与应用	134
7.6.1 调频波波形及频谱研究	134
7.6.2 单失谐回路斜率鉴频电路	137
7.6.3 模拟乘法器构成的鉴频电路	139
小结	141
习题	142
第8章 反馈控制系统	145
8.1 概述	145

8.2 自动增益控制(AGC)电路	145
8.2.1 AGC 电路的作用与组成	146
8.2.2 AGC 电压的产生	146
8.2.3 实现 AGC 的方法	148
8.3 自动频率控制(AFC)电路	149
8.3.1 AFC 电路的组成	149
8.3.2 AFC 电路的应用	150
8.4 锁相环路(PLL)	151
8.4.1 PLL 电路的组成	151
8.4.2 PLL 电路的类型	153
8.4.3 PLL 电路的应用	155
8.5 利用 PLL 完成无线数字广播	158
小结	161
习题	161
附录 1 高频常用仿真软件介绍	163
附 1.1 EWB 5.12 仿真软件介绍	163
F1.1.1 EWB 5.12 的基本界面及菜单	163
F1.1.2 EWB 5.12 电路实现	168
附 1.2 Multisim 10.0 仿真软件介绍	173
F1.2.1 Multisim 10.0 的基本窗口界面	173
F1.2.2 Multisim 10.0 仿真电路实现	177
附录 2 集成电路收音机的装配与调试	186
附 2.1 烽火 FH—90D 四波段收音机的装配	186
F2.1.1 装配前的准备工作	186
F2.1.2 装配	188
F2.1.3 装配时注意事项	190
附 2.2 烽火 FH—90D 四波段收音机的调试	190
F2.2.1 调试说明	191
F2.2.2 调试工艺	192
附 2.3 指标测试	193
参考文献	196

第1章 绪 论

本章要点

- 通信系统的组成及原理
- 无线电发送、接收设备的组成及其基本原理
- 无线电波波段的划分

本章难点

- 无线电发送设备的构成及原理分析
- 无线电接收设备的构成及原理分析

1.1 通信系统的组成及原理

无线电的发明起源于电磁学的发展。19世纪60年代,麦克斯韦总结库仑、安培、法拉第等人的研究工作之后,提出了电磁波的概念。1887年,赫兹成功地在导线中激起高频电流,在导线周围测出电磁场,验证了电磁场的存在。1896年3月,苏联物理学家波波夫在莫斯科首次进行世界上第一次无线电电报的发射和接收试验。1901年,意大利科学家马可尼首次完成了横渡大西洋的无线电通信。此后无线电电子技术获得迅速发展,其应用领域也不断扩大,但是到现在信息传输和处理仍是其主要的应用领域。

用电信号(或光信号)传输信息的系统称为通信系统。其基本组成如图1-1所示,它由信号源、发送设备、传输信道、接收设备和终端装置组成。

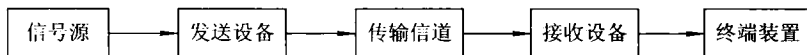


图 1-1 通信系统的组成

信号源就是信息的来源,它有不同的形式,如语言、音乐、文字、图像、电码等。

发送设备将要传输的信号转换为对应的电信号(称为基带信号),再进行处理并以足够的功率送入传输信道,以实现信号的有效传输。

传输信道是信号传输的通道,又称传输媒介,常有无无线信道和有线信道。无线信道常用自由空间,有线信道常用电缆、光导纤维等。

接收设备把传输信道传过来的已调信号取出并进行处理,还原出基带信号。

终端装置把基带信号转换为原来的信号。

总之,经过一个完整的通信系统,最终完成信号的传输。

通信系统有多种,常分为有线通信系统和无线通信系统;模拟通信系统和数字通信系统。无线电广播系统是无线通信系统的典型应用之一,我们以无线电调幅广播为例,简要说明发送设备、接收设备的组成与基本原理。

1.2 无线电发送设备的组成及其基本原理

无线电调幅广播发射机的构成框图如图 1-2 所示,主要由载波信号产生电路、调制信号产生电路、振幅调制电路及发射天线等组成。

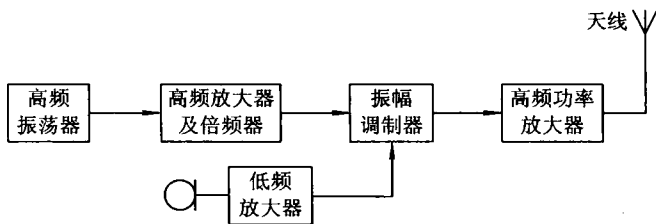


图 1-2 调幅广播发射机的构成框图

1) 载波信号产生电路

载波信号产生电路主要由高频振荡器(又称主振器)、高频放大器及倍频器组成,其基本功能是产生高频大功率的正弦波信号。

通常,主振器是由石英晶体振荡器构成,优点是能产生波形好、频率极其稳定的正弦波信号;缺点是振荡频率不高,利用高频放大器及倍频器,进行倍频及放大,得到频率较高的正弦波(即载波)。在一些特殊电子系统,载波也采用其他一些波形,如三角波、方波等。

2) 调制信号产生电路

调制信号产生电路由话筒和低频放大器组成。话筒的功能是将声音转换成微弱的音频电信号,再经低频放大器,产生振幅调制电路要求的调制信号。

3) 振幅调制电路

振幅调制电路的基本功能是将调制信号对高频载波进行振幅调制,输出大功率的调幅波信号。

(1) 振幅调制基本原理。振幅调制通常称为调幅,其原理图如图 1-3 所示。

设输入调幅电路载波信号数学表达式为

$$u_c(t) = U_{cm} \cos \omega_c t$$

其中, U_{cm} 为载波振幅; ω_c 为载波角频率。

通常,调制信号是一个复杂的信号,但为分析问题

题方便,常用单一频率余弦信号为例,进行讨论。调制信号的数学表达式为 $u_\Omega(t) = U_{\Omega m} \cos \Omega t$ 。

根据调幅定义, $u_\Omega(t)$ 对 $u_c(t)$ 进行调幅后,输出调幅波的一般表达式为

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

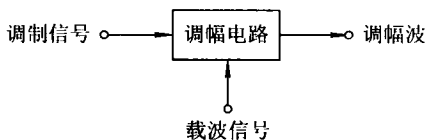


图 1-3 调幅原理图

其中, K_a 为与调幅电路有关的系数; $m_a = K_a \frac{U_{\Omega m}}{U_{cm}}$ 为调幅系数, 通常小于 1; $U_{cm}(1 + m_a \cos \Omega t)$ 为调幅波的瞬时振幅。

可见 $u_{AM}(t)$ 的瞬时振幅随 $u_{\Omega}(t)$ 的大小而变化。

利用三角函数变换, 将(1-1)式展开, 得

$$u_{AM}(t) = U_{cm} \cos \omega_c t + \frac{1}{2} m_a U_{cm} \cos(\omega_c + \Omega)t + \frac{1}{2} m_a U_{cm} \cos(\omega_c - \Omega)t \quad (1-2)$$

可见, 单一频率调幅波由三个频率成分的信号叠加而成, 即载频、上边频、下边频三个频率分量, 其频谱如图 1-4 所示。

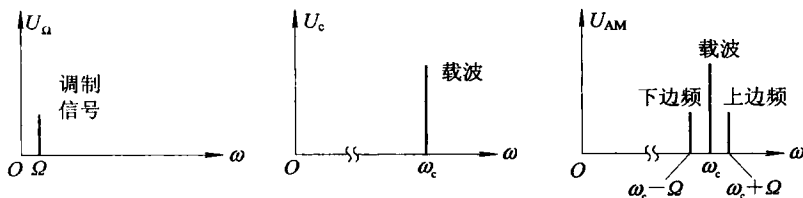


图 1-4 调制信号、载波及调幅波的频谱

由图 1-4 可见, 调幅过程的实质就是将调制信号 $u_{\Omega}(t)$ 的频谱搬移到载频两侧的过程。复杂调制信号的调幅过程也是如此。

(2) 采用调制发射的原因。在无线电通信系统中, 电信号是通过无线以电磁波的形式向空间辐射传输的。目前, 几乎所有的无线电发射机都采用调制发射方式, 即把调制信号(代表要传输的信息)调制在高频载波上, 然后由天线辐射出去。那么, 为什么要采用调制发射呢?

采用调制发射方式的原因是多方面的, 但至少在以下两方面是最基本的。其一是与无线电波有效辐射的条件有关, 其二是为了满足“多路复用”的需要。

由电磁场理论知, 只有当天线的尺寸与被辐射信号的波长相比拟时(波长 λ 的 $1/10 \sim 1$), 信号才能被有效地辐射出去。对于频率 f 为 $20 \text{ Hz} \sim 20 \text{ kHz}$ 的音频信号, 由 $\lambda = C/f$ 知(C 为光速, $C = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$), 相应的波长 λ 为 $15000 \sim 15 \text{ km}$, 若采用 $\lambda/4$ 天线, 则天线长度至少应在 3.75 km 以上。显然, 这是不可能实现的。采用调制就可以把低频调制信号调制在高频载波上, 从而易于实现电信号的有效传输。

不同电台可以采用不同频带的高频电磁波, 以避免相互之间的干扰, 满足多路复用。例如, 有一组音乐信号和一组语言信号要同时播出, 若将这两组信号同时向空间辐射, 则这两组信号的频谱就会发生混叠现象。当接收机收到这类信号, 无法将其彼此分开, 在扬声器中同时发出音乐声与讲话声, 显然这不符合实际要求。若采用调制, 将音乐信号调在 f_{c1} 上, 语言信号调在 f_{c2} 上, 在接收机中, 通过选台, 分别接收、还原出原来的音乐或者语言信号。

综合上述, 基于上述两点使目前所有的无线通信、无线广播和电视广播均毫无例外地采用调制发射方式。

(3) 调制类型。在高频电子线路中, 只讨论连续波的调制与解调。调制有三种类型: 调幅、调频和调相, 分别对应的解调方式为: 检波、鉴频和鉴相。

4) 高频功率放大器

由于调幅电路输出的功率不大, 因此需对其输出的调幅波信号进行功率放大, 采用高

频功率放大器,用以输出大功率的调幅波,来满足增大发射设备的覆盖面,即增加发射设备的作用距离。

1.3 无线电接收设备的组成及其基本原理

无线电调幅广播接收机的组成框图如图 1-5 所示。为提高接收机的性能,均采用超外差接收方式,即把不同接收频率的信号变为固定频率的中频信号。

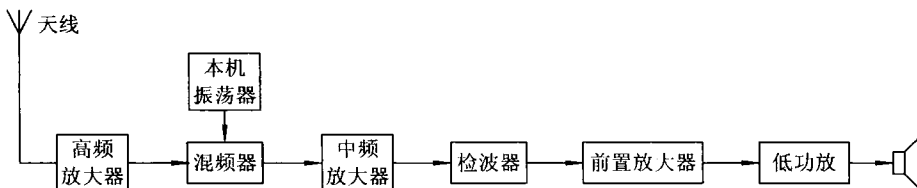


图 1-5 调幅广播接收机构成框图

(1) 高频放大器。在接收机中,天线能起到对空间电磁波汇聚作用,而高频放大器具有选频与放大功能。为提高接收机的灵敏度,常选用低噪声高放管。

(2) 本机振荡器。本机振荡器又称为本振,它的功能是为混频器提供高频正弦波信号。

(3) 混频器。混频器是超外差接收机的重要组成部分。其基本功能是将本振信号和高频调幅波信号进行频率变换,选择输出中频的调幅信号。

(4) 中频放大器。中频放大器的基本功能是将混频器输出的中频调幅波信号进行放大,为检波器提供要求输入幅度的信号。

(5) 检波器。检波器的主要功能是将中频放大器输出的中频调幅波信号转换成音频信号。

(6) 前置放大器。前置放大器主要完成音频信号的电压放大,满足低频功率放大器输入信号的要求,即起推动激励作用。

(7) 低功放。低频功率放大器完成音频信号的功率放大,推动扬声器工作,还原出音频信号。

1.4 无线电波波段的划分和无线电波的传播

1.4.1 无线电波波段的划分

由于频率不同,电子器件、电路特性和无线电波传播的特点差异会很大,有必要简单介绍一下无线电波波段的划分及其主要用途。

习惯上,人们把频率在 10 kHz 到 10^3 GHz 范围内的电磁波叫做无线电波。对频率范围如此宽的无线电波,为了分析和应用方便,人们按习惯把它划分为若干波段或频段,如表 1-1 所示。根据无线电不同的使用用途,又有更详细的划分,表 1-2 为我国陆地移动无线电业务频率划分,表 1-3 为业余无线电通信频率使用划分表,表 1-4 和表 1-5 为无绳电话使用频率划分表,表 1-6 为广播及电视频率划分表,表 1-7 为玩具无线电遥控及通信频率表,表 1-8 为发射特性国际代号说明。

表 1-1 无线电波的频段划分及主要用途

名称	甚低频	低频	中频	高频	甚高频	超高频	特高频	极高频
符号	VHF	LF	MF	HF	VHF	UHF	SHF	EHF
频率	3~30 kHz	30~300 kHz	0.3~3 MHz	3~30 MHz	30~300 MHz	0.3~3 GHz	3~30 GHz	30~300 GHz
波段	超长波	长波	中波	短波	米波	分米波	厘米波	毫米波
波长	$10^3 \sim 100$ km	10~1 km	1 km~100 m	100~10 m	10~1 m	1~0.1 m	10~1 cm	10~1 mm
传播特性	空间波为主	地波为主	地波与天波	天波与地波	空间波	空间波	空间波	空间波
主要用途	海岸潜艇通信; 远距离通信; 超远距离导航	越洋通信; 中距离通信; 地下岩层通信; 远距离导航	船用通信; 业余无线电通信; 移动通信; 中距离导航	远距离短波通信; 国际定点通信	电离层散射(30~60 MHz); 流星余迹通信; 人造电离层通信(30~144 MHz); 对空间飞行体通信; 移动通信	小容量微波中继通信; (352~420 MHz); 对流层散射通信(700~10 000 MHz); 中容量微波通信(1700~2400 MHz)	大容量微波中继通信(3600~4200 MHz); 大容量微波中继通信(5850~8500 MHz); 数字通信; 卫星通信; 国际海事卫星通信(1500~1600 MHz)	再入大气层时的通信; 波导通信

表 1-2 我国陆地移动无线电业务频率划分

29.7~48.5 MHz	156.8375~167 MHz	566~606 MHz
64.5~72.5 MHz(广播为主,与广播业务公用)	167~223 MHz(以广播业务为主,固定、移动业务为次)	798~960 MHz(与广播公用)
72.5~74.6 MHz	223~235 MHz	1427~1535 MHz
75.4~76 MHz	335.4~399.9 MHz	1668.4~2690 MHz
137~144 MHz	406.1~420 MHz	4400~5000 MHz
146~149.9 MHz	450.5~453.5 MHz	
150.05~156.7625 MHz	460.5~463.5 MHz	

表 1-3 业余无线电通信频率使用划分表

序号	频率/MHz	用途	序号	频率/MHz	用途
1	1.8~2.1	共用	15	1.24~1.30	次要
2	3.5~3.9	共用	16	2.30~2.45	次要
3	7.0~7.1	专用	17	3.30~3.50	次要
4	10.1~10.15	次要	18	5.65~6.35	次要
5	14~14.25	专用	19	10~10.5	次要
6	14.25~14.35	共用	20	24~24.25	次要
7	18.068~18.168	共用	21	47~47.25	共用
8	21~21.45	专用	22	75.5~76	共用
9	24.89~24.99	共用	23	76~81	次要
10	28~29.7	共用	24	142~144	共用
11	50~54	次要	25	144~149	次要
12	144~146	专用	26	241~248	次要
13	146~148	共用	27	248~250	共用
14	430~440	次要	28		

* 共用为业余业务作为主要业务和其他业务共用频段;专用为业余业务作为专用频段;次要为业余作为次要和其他业务共用频段。其中序号 2~9 或 12 可用于自然灾害通信;160~162 MHz 为气象频段。