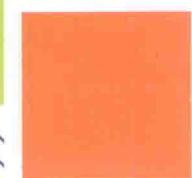


21世纪高等院校信息与通信工程规划教材
21st Century University Planned Textbooks of Information and Communication Engineering

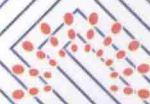
高频电子线路

廖惜春 主编

High-Frequency
Electronic Circuits



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS



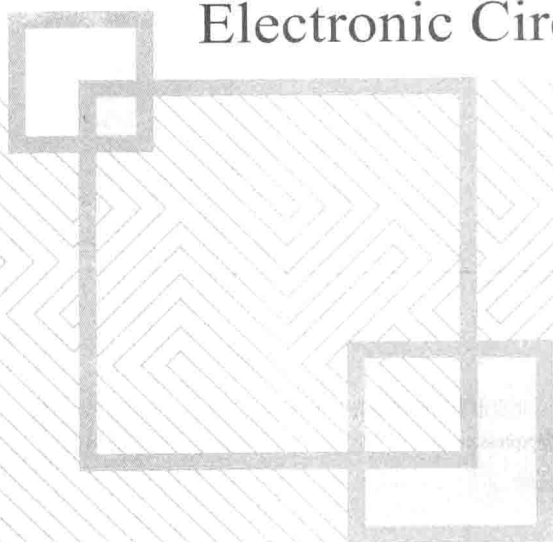
高校系列

纪高等院校信息与通信工程规划教材
y University Planned Textbooks of Information and Communication Engineering

高频电子线路

廖惜春 主编

High-Frequency
Electronic Circuits



人民邮电出版社
北京



图书在版编目 (C I P) 数据

高频电子线路 / 廖惜春主编. — 北京 : 人民邮电出版社, 2014. 3
21世纪高等院校信息与通信工程规划教材
ISBN 978-7-115-34420-5

I. ①高… II. ①廖… III. ①高频—电子电路—高等学校—教材 IV. ①TN710.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第009373号

内 容 提 要

“高频电子线路”是一门工程性和实践性很强的专业基础课。主要介绍模拟通信系统的基本功能电路、工作原理、分析方法及实现方法。本书以“理解概念, 掌握方法, 明确思路, 实现功能”为主线, 以工程应用为目标, 遵循“打好基础、加强实践, 提升学生的工程实践能力和创新能力”的原则, 将单元电路、功能电路、整机电路与实际应用相结合, 介绍了一些应用实例, 以此抛砖引玉, 引导创新。

本书的内容编排由浅入深, 每一章均列出了基本要求、基本知识和重点难点。根据多年来的教学实际以及读者的反馈意见, 各主要章节配有一定数量的例题、应用实例电路及习题, 更方便读者自学。

全书共 7 章, 内容包括: 绪论、通信系统的整体概念、选频电路与滤波器、小信号调谐放大器、高频谐振功率放大器、正弦波振荡器、频谱线性搬移技术与电路、频谱非线性搬移技术与电路、反馈控制电路与锁相环路等。

本书可作为电子信息工程与通信工程专业、电子信息类相关专业的本科教材, 亦可供工程技术人员参考。

-
- ◆ 主 编 廖惜春
责任编辑 李海涛
责任印制 彭志环 焦志炜
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路 11 号
邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京昌平百善印刷厂印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 19 2014 年 3 月第 1 版
字数: 474 千字 2014 年 3 月北京第 1 次印刷
-

定价: 45.00 元

读者服务热线: (010)81055256 印装质量热线: (010)81055316
反盗版热线: (010)81055315

“高频电子线路”是一门工程性和实践性很强的专业基础课，主要介绍模拟通信系统的基本功能电路、工作原理、分析方法及实现方法。高频电路虽然经历了电子管、晶体管、场效应管、集成电路及大规模集成系统等不同的实现过程，并且仍在日新月异地变化，尤其是新器件、新应用层出不穷，但是各功能电路输入信号与输出信号之间的频谱变换关系没有变，基本原理和分析方法没有变。本课程的主要内容包括：选频与阻抗变换、高频信号放大、调制与解调（频谱搬移技术），以及射频通信系统中的噪声与干扰、正弦波振荡器、信号的反馈控制与锁相环路等电路的分析与设计。

本书有以下几个特点。

一是以“理解概念，掌握方法，明确思路，实现功能”为主。根据初学者对高频电路的理解和适应情况，按无线电超外差接收机的电路组成中各单元电路原理及知识点的先后顺序，从高频电路的选频回路、阻抗变换、滤波器，到信号放大、调制、解调、反馈控制电路、无线电通信的应用新技术，以及系统的增益、带宽、噪声、稳定性、调制与解调、非线性器件的频谱变换等，重点介绍其机理和功能，强调概念和分析方法。

二是面向工程应用，遵循“打好基础，加强实践，提升学生的工程实践能力和创新能力”的原则。结合无线电通信技术及其应用的发展现状，将单元电路、功能电路、整机电路与实际应用相结合，介绍应用电路示例，以此抛砖引玉，引导创新。

三是由浅入深，方便自学。根据多年来的教学实际以及读者的反馈意见，各主要章节配有一定数量的例题、应用实例电路及习题，使本书更方便读者自学。

在授课过程中，建议选用2~3套整机电路（如收音机电路等），结合本课程的教学内容，介绍各单元电路的功能和分析方法，使学生建立完整的“系统”的概念，并锻炼学生的读图能力，从而进一步理解高频集成电路的应用。

为了培养初学者对高频电路的兴趣，结合作者的经验以及市场的现实情况，考虑到初学者在自行设计制作高频发射/接收电路时，普遍存在结构和工艺设计制作受限等问题，难以达到预期的效果，因此，建议初学者采用已产品化的射频模块，构建相应的高频通信电路或系统。

本书由廖惜春主编，陈鹏、杨芷华、黄东以及王健参加编写，并由廖惜春负责全书的统稿和定稿。本书编写过程中得到了五邑大学各级领导的大力支持，还得到了广东省科技

计划项目（2009B010800012）的支持。在本书写作过程中，五邑大学信息工程学院张昕教授、周开利教授、钟东洲副教授、王玉青、张京玲、王天雷等老师提供了许多宝贵的意见和建议，在此一并表示衷心感谢！

限于作者的水平，书中的错误与不妥之处在所难免，敬请读者指正。

作 者

2013年11月 于五邑大学

本书常用符号

- A 运算放大器或放大器增益
- A_u 放大器电压增益
- A_p 放大器功率增益
- A_{pm} 额定功率增益
- $A(\omega)$ 幅频特性
- BW 已调波信号的有效频谱带宽
- $BW_{0.7}$ 选频回路通频带
- C 电容器或电容量
- C_j 变容二极管等效电容
- C_M 耦合电容
- e 感应电动势
- \dot{E} 感应电动势相量
- f 频率
- F 调制信号频率
- Δf_n 热噪声等效带宽
- g 电导
- g_{ic} 、 g_{oc} BJT 共射极输入、输出电导
- g_c 跨导、变频跨导
- g_m BJT、FET 跨导
- G 等效回路中的总电导
- i 交流电流
- i_b 交流直流共存的基极电流
- i_B 交流基极电流
- i_c 交流直流共存的集电极电流

\bar{i}_n^2	噪声电流均方值
I	直流电流
\dot{I}	正弦电流向量
I_{C0}	集电极脉冲电流中的平均值（直流分量）
I_m	交流电流的幅值
I_{clm}	集电极脉冲电流中的基波分量幅值
$J_n(m)$	贝塞尔函数
K	回路耦合系数
$K_{0.1}$	矩形系数
K_a	调幅调制灵敏度或比例常数
K_d	检波效率
K_f	调频波调制灵敏度
K_m	乘积系数
K_p	调相波调制灵敏度
L	电感器或电感量
M	互感系数
m_a	调幅指数
m_f	调频指数
m_p	调相指数
n_1, n_2	回路接入系数
N_f	噪声系数
P_c	BJT 集电极功率损耗
P_E	电源提供的功率
P_{ni}, P_{no}	输入、输出噪声功率
P_o	交流输出功率
P_{si}, P_{so}	输入、输出信号功率
Q_L	谐振回路有载品质因数
Q_0	串联谐振回路空载品质因数
Q_p	并联谐振回路空载品质因数
r	交流电阻
R	直流电阻
R_d	二极管导通电阻
R_o	出电阻或串联回路谐振电阻
R_p	并联回路谐振电阻
S_d	鉴频跨导

$S(t)$	开关函数
$S(f)$	功率谱密度
S_f	调频灵敏度
u	交流电压
u_{AM}	调幅波电压
u_{FM}	调频波电压
u_b	基极交流输入电压
u_{BE}	交流直流共存电压
u_i	输入信号电压
u_o	交流输出电压
u_s	信号源电压
u_c	载波电压
u_L	本机振荡电压
u_Ω	调制信号电压
$\overline{u_n^2}$	噪声电压均方值
U	直流电压或正弦电压有效值
\dot{U}	正弦电压向量
U_{CC}	BJT 集电极直流电源电压
U_m	正弦电压幅值
ω_0	串联谐振回路谐振角频率
ω_p	并联谐振回路谐振角频率
\dot{X}_i	反馈系统输入电量
\dot{X}_{id}	反馈系统净输入电量
\dot{X}_d	反馈系统差值电量
\dot{X}_f	反馈系统反馈电量
\dot{X}_o	反馈系统输出电量
X_c	电容器容抗
X_L	电感器感抗
Y	电抗或 Y 参数
Z	阻抗
ω	交流电量角频率
$\Delta\omega_m$	调角波最大频偏
ω_c	载波角频率或调角波载波中心频率
ω_L	本机振荡电量角频率

- Ω 调制信号角频率
- $\theta(t)$ 调角波瞬时相角
- φ 相位角
- ξ 谐振回路广义失谐
- δ 谐振曲线中心凹陷量
- η 回路耦合系数、耦合效率
- η_c 电源转换效率
- η_k 调谐回路的耦合效率
- θ_c 电流流通角

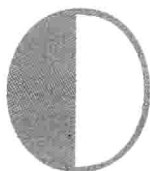
目 录

第0章 绪论	1	2.3.2 场效应管调谐放大器	61
0.1 概述	1	2.3.3 调谐放大器的稳定性	63
0.2 通信系统的基本组成	3	2.4 高频集成电路	68
0.2.1 通信系统的一般模型	3	2.4.1 高频集成电路的特点	68
0.2.2 移动通信系统中的收、发信机的组成	5	2.4.2 高频集成电路的应用示例	70
0.2.3 本课程的特点	8	2.5 放大器的噪声	76
思考题与习题	9	2.5.1 内部噪声的特点和来源	76
第1章 选频电路与滤波器	10	2.5.2 噪声系数	79
1.1 选频网络	10	思考题与习题	82
1.1.1 LC 串联谐振回路	10	第3章 高频谐振功率放大器	85
1.1.2 LC 并联谐振回路	14	3.1 概述	85
1.1.3 阻抗变换与接入系数	19	3.1.1 影响放大器输出功率的主要因素	85
1.1.4 耦合电路	23	3.1.2 提高放大器输出功率的方法	86
1.2 常用滤波器	27	3.1.3 工作状态的选择	86
1.2.1 石英晶体滤波器	27	3.2 丙类谐振功率放大器	87
1.2.2 陶瓷滤波器	30	3.2.1 电路的组成及特点	87
1.2.3 声表面波滤波器 (SAWF)	33	3.2.2 工作原理及性能分析	87
1.2.4 薄膜体声 (FBAR) 滤波器	36	3.2.3 谐振功率放大器的3种状态及基本特性	94
1.3 射频电路中的集成电感	37	3.2.4 谐振功率放大器的直流馈电电路	99
思考题与习题	40	3.2.5 匹配网络	101
第2章 小信号调谐放大器	43	3.2.6 高频集成功率放大器	107
2.1 概述	43	3.3 丁类谐振功率放大器	112
2.1.1 小信号调谐放大器的分析方法	43	3.4 宽频带功率放大器	114
2.1.2 小信号调谐放大器的主要技术参数	43	3.4.1 传输线变压器	114
2.2 有源器件的高频小信号等效电路	45	3.4.2 功率合成与分配	119
2.2.1 BJT、FET 器件的混合 π 型等效电路及其参数	45	思考题与习题	122
2.2.2 混合 π 型参数与 Y 参数的关系	47	第4章 正弦波振荡器	126
2.3 小信号调谐放大器	51	4.1 反馈型振荡器的基本原理与分析方法	126
2.3.1 晶体管调谐放大器	51	4.1.1 从放大器到振荡器	126
		4.1.2 振荡的建立与稳定	127
		4.1.3 振幅平衡条件和相位平衡	

条件	128	5.4.3 检波器参数选择	191
4.1.4 振荡器的分析方法	128	5.4.4 实际二极管检波电路	193
4.2 LC 正弦波振荡器	130	5.4.5 平均值包络检波	194
4.2.1 LC 三点式振荡器相位平衡 条件的判断准则	130	5.5 混频与倍频	195
4.2.2 基本 LC 三点式振荡器电路	131	5.5.1 混频器	195
4.2.3 改进型电容三点式振荡器	135	5.5.2 倍频	211
4.2.4 集成 LC 正弦波振荡器	136	思考题与习题	215
4.2.5 压控振荡器 (VCO)	138	第 6 章 频谱非线性搬移技术与电路	220
4.3 振荡器的稳定性	141	6.1 调频波的性质	220
4.3.1 振荡器平衡状态的稳定 条件	141	6.1.1 瞬时频率与瞬时相位	220
4.3.2 频率稳定度及稳定频率的 措施	143	6.1.2 调频波的数学表达式及 波形	221
4.4 石英晶体振荡器	146	6.1.3 调相波的数学表达式及 波形	221
4.4.1 并联型晶体振荡电路	146	6.1.4 调角波的频谱及带宽	223
4.4.2 串联型晶体振荡电路	148	6.2 实现调频的原理与方法	226
思考题与习题	149	6.2.1 直接调频	226
第 5 章 频谱线性搬移技术与电路	154	6.2.2 间接调频	233
5.1 非线性电路的分析方法	154	6.3 调角波的解调	236
5.1.1 幂级数分析法	155	6.3.1 斜率鉴频	237
5.1.2 折线分析法	158	6.3.2 相位鉴频	240
5.1.3 开关函数分析法	160	6.3.3 比例鉴频	242
5.1.4 时变参量分析法	161	6.3.4 乘法器相位鉴频	245
5.2 频谱搬移原理	161	6.3.5 差分峰值鉴频	248
5.2.1 频谱搬移的基本原理	161	6.3.6 脉冲计数式鉴频	250
5.2.2 模拟乘法器的特性及工作 原理	162	6.4 限幅电路	252
5.3 振幅调制	167	6.4.1 二极管限幅电路	252
5.3.1 调幅波的波形、频谱及数学 表达式	167	6.4.2 三极管限幅器	252
5.3.2 调幅波的功率关系	169	6.4.3 差分对限幅器	253
5.3.3 双边带 (DSB) 调幅和单边带 (SSB) 调幅	171	6.5 预加重、去加重电路	253
5.3.4 调幅电路	174	思考题与习题	255
5.4 调幅波解调电路	183	第 7 章 反馈控制电路与锁相环路	258
5.4.1 模拟乘法器检波	184	7.1 反馈控制电路	258
5.4.2 二极管大信号包络检波	186	7.1.1 自动增益控制 (AGC) 电路	259
		7.1.2 自动频率微调 (AFT) 电路	263
		7.2 自动相位控制 (APC) 电路	266

7.2.1 集成锁相环的基本部件及 相位模型	266
7.2.2 锁相环的自动调节过程	270
7.3 集成锁相环的应用	272
7.3.1 通用集成锁相环组成锁相 解调电路	272
7.3.2 锁相在倍频、分频、混频和 接收机中的应用	275
7.3.3 集成锁相频率合成技术	276
思考题与习题	281

附录 A 几款无线电收发芯片	282
附录 B 常用高频发射三极管	283
附录 C 常用变容二极管型号	284
附录 D CXA1691AM 组成的收音机 电路	285
附录 E 部分习题参考答案 (供参考) ...	287
参考文献	290



随着无线电通信技术迅速发展,各种无线电通信设备广泛应用于人们生产、生活等各个领域。高频电子线路是无线电通信系统以及其他无线电设备中的重要组成部分。本章主要介绍无线电通信系统的基本组成,调制与解调基本概念,无线电收音机、发信机的组成原理等内容。

0.1 概述

自 19 世纪末至今,在自然科学领域有着许多重大发现和发明,无线电是这些发明中极其重要的一种。它从诞生到现在的近百年中,对人类的生活和生产起着非常重要的作用。

人们在生活和生产等活动中,将语言、文字、图像及数据等含有信息的信息,从一个地方传送到另一个地方,称之为通信。通信的主要任务就是传输消息。通信系统是能完成信息传输过程的技术系统的总称。通信系统通常是由具有特定功能、相互作用和相互依赖的若干单元组成的、完成统一目标的有机整体。通信过程中所要传送的原始消息,如语言、文字、图像、数据等,通过换能器(如麦克风等)转换成为电信号(电流或电压)以便传送,这些反映原始消息的电信号称为**基带信号**。

采用电信号或光信号传输信息的系统,称为**电信系统**。主要借助电磁波在自由空间传播信息的系统称为**无线电通信系统**;利用导引媒体(电线、电缆等)传输信息的电信系统,称为**有线通信系统**;当电磁波的波长达到光波范围时,利用光信号传输信息的电信系统称为**光通信系统**;采用其他电磁波范围的通信系统则统称为**电磁通信系统**。由于光的导引媒体通常采用特制的光导纤维,因此有线光通信系统又称**光纤通信系统**。有线通信系统按照导引媒体(导线)的具体结构不同,可分为**电缆通信系统**和**明线通信系统**;无线电通信系统按其电磁波的波长分为**微波通信系统**与**短波通信系统**。本书主要介绍模拟无线电通信系统的基本功能电路、工作原理、分析方法及实现方法。

最早的无线通信出现在工业化时期,人们使用狼烟、火炬、烽火、旗语等,在视距内传输信息。为了能传输更复杂的信息,人们开始研究更复杂的通信系统。直到 1883 年,一些原始的通信才被 Samuel Morse 发明的电报网代替,相继又被电话网取代。在 1895 年,意大利的马可尼(Guglielmo Marconi)首次成功进行了 2.5 千米距离的无线电报传送实验;1899 年,无线电报跨越英吉利海峡的试验成功;1901 年,跨越大西洋的 3200 千米距离的无线电通信试验成功,现代意义下的无线电通信从此诞生。

1919年,第一个定时播发语言和音乐的无线电广播电台在英国建成。1920年,在美国的匹兹堡城又建成一座无线电广播电台。1938年,美国研制成第一部能指挥火炮射击的火炮控制雷达(Radio Detection and Ranging)。1940年,在多腔磁控管发明的基础上,研制成了微波雷达。1944年,能够自动跟踪飞机的雷达研制成功。1958年,美国成功发射了第一颗用于通信的低轨试验卫星。1964年,借助定点同步通信卫星首次实现了美、欧、非三大洲的通信和电视转播。1965年,第一颗商用定点同步卫星投入运行。1969年,大西洋、太平洋和印度洋上空均已有定点同步通信卫星,卫星地球站已遍布世界各国。此后,人们试图将雷达引入卫星,实现以卫星为基地对地球表面及近地空间目标的定位和导航。1973年,美国提出了由24颗卫星组成的实用系统新方案,即GPS计划(Navigation Satellite Timing and Ranging / Global Positioning System, NAVSTAR/GPS)。其含义是利用导航卫星进行测时和测距。1990年,最终的GPS方案是由21颗工作卫星和3颗在轨备用卫星组成的。

随着无线电通信技术迅速发展,各种无线电通信设备广泛应用于人们生产、生活等各个领域。高频电子线路是无线电通信系统以及其他无线电设备中的重要组成部分。

通信系统中的所谓“高频”是一个相对概念。表0-1-1列出了无线电频(波)段的相对划分、主要传播方式及用途等。表中的“高频”狭义理解是指短波波带,其频率范围为3~300 MHz;而广义的“高频”指的是射频,其频率范围很宽。广义上认为,只要电路的物理尺寸比所处理的信号的波长小得多,只要该电路可以用集总参数分析实现,就可认为属于“高频”范畴,其频率上限可达到微波段(如3GHz),此时“高频”信号仍可以用电路理论进行分析、计算和信号处理并实现。但在处理频率更高的微波信号时,难以满足电路的物理尺寸比信号的波长小得多的条件,这时信号的处理需要用电磁场理论进行分析、计算和信号处理并实现。

表 0-1-1

无线电波的波段划分

波段名称	波长范围	频率范围	主要传播方式和用途
长波(LW)	1000~10000 m	30~300 kHz 低频(LF)	地波,较远距离通信
中波(MW)	100~1000 m	300~3000 kHz 中频(MF)	地波、天波,广播、通信、导航
短波(SW)	10~100 m	3~30 MHz 高频段(HF)	天波、地波,广播、通信
超短波(VSW)	1~10 m	30~300 MHz 甚高频段(VHF)	视距传播、对流层散射,通信、电视、雷达
分米波(USW)	10~100 cm	300~3000 MHz 特高频段(UHF)	视距传播、对流层散射,卫星通信、雷达、电视
厘米波(SSW)	1~10 cm	3~30 GHz 超高频段(SHF)	视距传播,中继、卫星通信、雷达
毫米波(SESW)	0.1~1 cm	30~300 GHz 极高频段(EHF)	视距传播,射电天文,卫星通信、雷达

通信过程中,基带信号通常不直接采用无线电波传送,其原因有两个:首先,它们的频率较低、波长较长,不能通过天线有效地发送信息;其次,各信号的频谱分布几乎在同一频率范围,如果直接把反映原始信息的电信号通过天线,以辐射电磁波的方式传送或通过电缆、光缆传送,则信道就无法保证同时传送两路以上的信息而又互不干扰,同时也不便于接收端正确分离两路以上的信息。因此,必须把要传送的电信号设法分开,重要的方法之一是将欲

传送的基带信号加载（调制）到某一特定频率的高频电振荡（称为**载波**）信号上，载有基带信息的高频振荡信号称为已调信号，也称为频带信号。它可通过电缆或光缆把信息传送到接收端，也可通过天线辐射出高频电磁波，将信息传送到接收机。

人们知道，任何载有消息的无线电波都占据一定的频带。频率越高，可利用的总频带（或称波段）就越宽，因此利用高频已调波可在同一波段同时传送多个不同的信息。另外，某些频带很宽的原始信息（如雷达信号、电视图像、多路语音）只能在高频率上传输，如，电视图像信号的频带宽度约为 6MHz，它适宜在几十兆赫以上的频率上传输。

不同波段的无线电波应选择不同的传播方式。传播方式的不同，决定了传播的距离和传播特性（如信号的稳定性、衰耗等）的差异。通常无线电波的传播方式主要有：视距传播、地波传播、电离层传播（天线传播）、对流层散射传播及卫星传播等，图 0-1-1 为其示意图。

表 0-1-1 列出了无线电波的波段划分，主要传播方式和用途。表中关于传播方式和用途的划分都是相对而言的。通常将高于 1000MHz 的厘米波、毫米波等波段统称为微波。本书所讨论的是狭义的高频范围，但它所涉及的一些高频电路的基本原理在微波范围内也适用。

显然，对各种无线电通信系统，尽管它们在传递信息形式、工作方式及设备体制等方面有所不同，但设备中所包含的对高频信号的产生、接收及检测处理的基本电路大都相类似，这些电路统称为**高频电子线路**。可见，高频电子线路是随着无线电通信手段的出现而出现的，且随着通信容量的不断增大，使用的频率不断提高，高频电子线路也随之发展。高频电子线路的各种功能电路的组成及性能则随微电子技术的发展而发展。它经历了电子管电路、晶体管电路和集成电路三个重要阶段。目前高频电路和模拟电路、数字电路一样，电路的集成度越来越高。各种高频集成电路新器件不断问世，应用越来越广泛，计算机技术也在高频电子线路中得到了应用。高速 DSP（数字信号处理器）结合 MCU（微处理器），把传统的模拟高频电信号的处理变成数字信号进行处理，使得现代无线电信号的处理速度更快，通信质量更高。

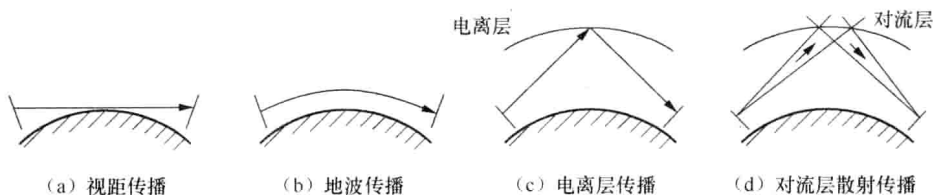


图 0-1-1 无线电波的几种主要传播方式

0.2 通信系统的基本组成

0.2.1 通信系统的一般模型

如前所述，通信的目的是传输信息。通信系统的作用就是将信息从信号源发送到一个或多个目的地。对于电信号通信系统而言，首先需要将消息转换成电信号，然后通过发送设备，将信号送入信道，在接收端，通过接收设备将接收到的信号进行相应处理后，送到信宿还原成原来的消息。这一过程可用图 0-2-1 (a) 所示的通信系统的一般模型来表示。

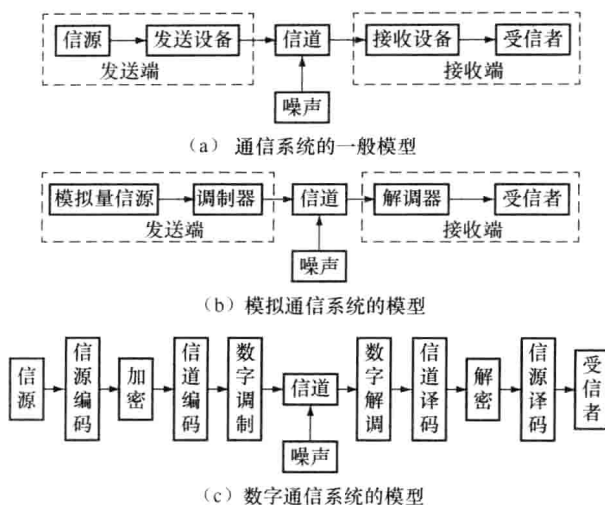


图 0-2-1 通信系统模型

图 0-2-1 (a) 所示的通信系统一般模型中的各部分的基本功能简述如下。

(1) 信源。信源又称为“信息源”，其作用是将各种消息转换成原始的电信号。根据信号的不同，信源又分为模拟信号源和数字信号源。模拟信号源输出连续的模拟信号，例如话筒（将声音转换成音频信号），数字信号源输出数字信号，例如计算机等各种数字终端等。

(2) 发送设备。发送设备的作用是产生适合在信道中传输的信号，使被发送信号的特性与信道特性匹配，并具有足够的功率和较强的抗干扰能力。

(3) 信道。信道是一种传输信息的物理媒介。在无线通信的信道中，信道可以是自由空间；在有线通信系统中，信道可以是光缆、电缆、双绞线等。信道既可以传输信息，也可能对信号产生干扰和噪声。噪声源通常是信道中的噪声和分散在发送、接收设备中的噪声的集中表示。

(4) 接收设备。接收设备的作用是将信号进行放大和反变换，并从中正确恢复原始信号，同时尽可能地减小信号在传输过程中干扰和噪声带来的影响。

(5) 受信者。受信者也称为“信宿”，是消息传送的目的地，其作用是将电信号还原成相应的消息，例如扬声器等。

按照信道中传输的是模拟信号还是数字信号，通信系统可分为模拟通信系统和数字通信系统。

模拟通信系统是利用模拟信号传递信息的通信系统，如图 0-2-1 (b) 所示。其中，发送设备包括信号的变换、滤波、放大（含小信号放大和功率放大）、调制等，在无线电通信系统中，还需要有天线设备。发射天线将高频电信号变换为电磁波向外辐射，接收天线将高频电磁波变换成电信号，馈送给后续电路进行处理。对于多路传输系统，还需要多路复用器。

由于模拟通信系统中传输的是模拟信号，因此，在发送端的信源需要将语音、音乐，图像等连续变化的消息变换成连续变化的原始电信号，在接收端再进行反变换，这种变换由相应的信源和信宿完成。模拟通信系统的终端器件常常是扬声器、显示器等。这些原始的电信号具有频率较低的频谱分量（如语音信号的频率范围为 $300\sim 3400\text{Hz}$ ，图像信号的频率范围为 $0\sim 6\text{MHz}$ ），称为基带信号。基带信号可以在某些信道中传输，但在以自由空间为信道的

无线电通信系统中,无法传输这些基带信号。因此,模拟通信系统中还需要进行第二种变换,即把基带信号变换成适合信道传输的信号,并在接收端进行反变换,这种变换或反变换通常是通过**调制器与解调器**来实现的。发送端将基带信号变换成其频带适合在信道中传播的信号,并送入信道。这种变换称为**调制**。

从原理上看,调制过程的实质是一个由调制信号去控制高频载波信号的某一参数,使该参数按照调制信号的规律变化的过程。而高频载波信号(电压或电流)的振幅、频率、相位3个参数可被调控,与之对应可实现3种基本模拟调制,分别是:调幅波(AM)、调频波(FM)和调相波(PM)。用来对载波进行调制的基带信号称为**调制信号**。经过调制后的信号称为**已调信号**。它的特征是携带了信息并适合在信道中传输。由于已调信号通常具有带通形式,因此也称为**通带信号**或**频带信号**。

数字通信系统是利用数字信号传递信息的通信系统,如图0-2-1(c)所示。数字通信系统在发送端必须通过A/D转换器将信息源连续变化模拟信号,变换成离散的数字基带信号,并对数字基带信号进行信源编码、加密、信道编码、数字调制等处理后送入信道。在接收端,需要经过数字解调、信道译码、解密、信源译码等处理,恢复原始数字基带信号,然后由D/A转换器,变换成连续的原始模拟信号。

现代数字通信系统中,普遍采用数字信号调制技术,通常又称“键控”,此时载波的振幅、频率、相位在有限的几个值之间变化。故数字信号的调制又分别称为**振幅键控(ASK)**、**频移键控(FSK)**和**相移键控(PSK)**。本书将在第5章介绍模拟振幅调制;在第6章中介绍模拟调频和调相。有关数字调制及解调技术的相关内容,请参考“通信原理”等相关书籍。

0.2.2 移动通信系统中的收、发信机的组成

图0-2-2所示为无线电通信发射机的组成框图。其中图0-2-2(a)是调幅发射机的组成框图。它包括3个组成部分:高频(振荡器、缓冲器、倍频器、高频功放、调制和解调)电路、低频电路和电源部分(未画出)。图0-2-2(b)是手持电话机的组成框图。

图中,振荡器的作用是产生频率稳定的高频载波信号,为了提高频率稳定度,通常采用石英晶体振荡器,并在其后加以缓冲级,以减小后级对它的影响。一般晶体振荡器的振荡频率不太高,达不到载波所要求的频率 f_c ,因而在缓冲级后需加若干级倍频器,将频率提高到所需频率 f_c 上。在图0-2-2(b)所示接收机中,由于对振荡信号的频率稳定度要求高,所以振荡信号常常由频率合成电路提供,同时电路中还采用了DSP(数字信号处理)电路、CPU(中央处理器)和A/D、D/A电路等,对音频信号进行处理。高频功率放大器的主要作用是把信号放大到足够的功率电平,由发射天线将高频已调信号辐射出去。

从换能器(如话筒)输出的低频调制信号经若干级放大器放大到足够的功率电平后,用以对高频载波信号进行调制。

发射机高频输出功率的大小随用途的不同而异,一般通信发射机从几百毫瓦以至数千瓦,广播及电视发射机则可高达几千瓦至几十千瓦。

无线电信号的接收过程正好和发送过程相反,由接收天线接收到的电磁波先转变为已调高频振荡电流(或电压),然后从已调高频振荡电流(电压)中检测出原调制信号,这一过程称为**解调**。图0-2-3所示为无线电通信接收机的组成方框图。其中,图0-2-3(a)是超外差调幅接收机的框图。图中高频放大器是由一级或多级小信号谐振放大器组成的,它的作用是