

21世纪高职高专创新精品规划教材



通信电子线路

主 编 韩 伟



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

21 世纪高职高专创新精品规划教材

通信电子线路

主 编 韩 伟

第一章 绪论	1
第一节 通信系统的组成	1
第二节 通信系统的性能指标	2
第三节 通信系统的分类	3
第四节 通信技术的发展趋势	4
本章小结	5
习题一	5
习题二	6
习题三	7
习题四	8
习题五	9
习题六	10
习题七	11
习题八	12
习题九	13
习题十	14
习题十一	15
习题十二	16
习题十三	17
习题十四	18
习题十五	19
习题十六	20
习题十七	21
习题十八	22
习题十九	23
习题二十	24
习题二十一	25
习题二十二	26
习题二十三	27
习题二十四	28
习题二十五	29
习题二十六	30
习题二十七	31
习题二十八	32
习题二十九	33
习题三十	34
习题三十一	35
习题三十二	36
习题三十三	37
习题三十四	38
习题三十五	39
习题三十六	40
习题三十七	41
习题三十八	42
习题三十九	43
习题四十	44
习题四十一	45
习题四十二	46
习题四十三	47
习题四十四	48
习题四十五	49
习题四十六	50
习题四十七	51
习题四十八	52
习题四十九	53
习题五十	54
习题五十一	55
习题五十二	56
习题五十三	57
习题五十四	58
习题五十五	59
习题五十六	60
习题五十七	61
习题五十八	62
习题五十九	63
习题六十	64
习题六十一	65
习题六十二	66
习题六十三	67
习题六十四	68
习题六十五	69
习题六十六	70
习题六十七	71
习题六十八	72
习题六十九	73
习题七十	74
习题七十一	75
习题七十二	76
习题七十三	77
习题七十四	78
习题七十五	79
习题七十六	80
习题七十七	81
习题七十八	82
习题七十九	83
习题八十	84
习题八十一	85
习题八十二	86
习题八十三	87
习题八十四	88
习题八十五	89
习题八十六	90
习题八十七	91
习题八十八	92
习题八十九	93
习题九十	94
习题九十一	95
习题九十二	96
习题九十三	97
习题九十四	98
习题九十五	99
习题九十六	100
习题九十七	101
习题九十八	102
习题九十九	103
习题一百	104



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

“通信电子线路”是电子信息专业与通信技术专业的一门重要专业课,全书系统介绍了无线通信系统主要单元电路的组成与工作原理、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、振幅调制与解调、角度调制与解调、数字调制与解调、自动控制电路、无线收发系统实训项目等。本书强调基本概念和基本方法的理解,内容简单易懂,且注重实际应用,各章末附有相应的仿真训练项目。

本书可作为高职高专院校电子信息技术、通信技术、应用电子技术、仪器仪表技术、计算机网络设备及相关专业的教学用书或参考书,也可供相关专业工程技术人员自学参考。

图书在版编目(CIP)数据

通信电子线路 / 韩伟主编. -- 北京: 中国水利水电出版社, 2016.5
21世纪高职高专创新精品规划教材
ISBN 978-7-5170-4258-7

I. ①通… II. ①韩… III. ①通信系统—电子电路—
高等职业教育—教材 IV. ①TN91

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第078968号

策划编辑: 杨庆川

责任编辑: 张玉玲

封面设计: 李 佳

书 名	21 世纪高职高专创新精品规划教材 通信电子线路
作 者	主 编 韩 伟
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路 1 号 D 座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: mchannel@263.net (万水) sales@waterpub.com.cn
经 售	电话: (010) 68367658 (发行部)、82562819 (万水) 北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京万水电子信息有限公司
印 刷	三河市铭浩彩色印装有限公司
规 格	184mm×260mm 16 开本 18 印张 442 千字
版 次	2016 年 5 月第 1 版 2016 年 5 月第 1 次印刷
印 数	0001—3000 册
定 价	35.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

“通信电子线路”是电子信息专业与通信技术专业的一门重要专业课，具有很强的通用性和实践性。本书将高频理论与通信技术实际相结合，从无线通信系统的基本概念和原理入手，由浅入深地介绍高频通信电子线路各功能单元电路的结构组成和工作原理，以通信系统中各组成部分的电路为载体，引入实践操作过程的系统化开发，并通过实例对通信电子线路的整机电路进行全面分析，定位准确、内容先进、取舍合理、文字精炼，各章节内容既各自独立又相互联系、前后呼应，使学生通过本书的学习掌握无线通信电子线路的理论知识，提高专业实践的综合应用能力。本书各章重点突出，由概念到理论再到实践深入浅出，结合实例进行电路分析，使学生在理论知识指导下理解实际电路，比纯理论学习效果更好。

本书在编写过程中，遵循以应用为目的，以必需、够用为度的原则，减少复杂的理论分析和理论推导，避免繁琐的数学计算，内容全面、结构合理、突出实用性、强调实践性，旨在培养学生分析和解决实际问题的能力。

本书第2章至第6章由韩伟编写，第7章由北京电子科技职业学院的孙世菊编写，第8章由天津市职业大学的李新编写，各章末的仿真实训项目由北京电子科技职业学院的陈禹编写，第1章和第9章由中铁十六局集团城市建设发展有限公司的刘强编写，全书由韩伟统稿。

在本书编写过程中，作者得到了很多同志的关心和帮助，在此一并表示感谢。

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
2016年3月

目 录

前言	
第1章 绪论	1
1.1 无线通信系统的概念	2
1.1.1 通信系统基本模型	2
1.1.2 信道的传输系统	3
1.2 发送设备与接收设备构成	6
1.2.1 发送设备的基本原理	6
1.2.2 发送设备的主要技术指标	7
1.2.3 接收设备的基本原理	8
1.2.4 接收设备的主要技术指标	9
1.3 电磁波频段划分	10
1.3.1 无线电波的概念	10
1.3.2 无线电波的特性	11
1.3.3 无线电波频段划分	11
1.4 电磁波的传播特性	12
1.4.1 无线电波的传播方式	12
1.4.2 无线电波的传播特点	13
1.5 通信系统的类型	15
1.5.1 通信系统的分类	15
1.5.2 通信系统的典型应用	18
1.6 通信系统指标	19
思考题与习题	20
第2章 高频小信号放大器	21
2.1 分散选频	22
2.1.1 LC 谐振的概念	22
2.1.2 串联谐振选频电路	23
2.1.3 并联谐振选频电路	26
2.1.4 耦合谐振电路	29
2.2 集中选频	30
2.2.1 高频电子元件	30
2.2.2 石英晶体滤波器	33
2.2.3 陶瓷滤波器	37
2.2.4 声表面波滤波器	38
2.2.5 螺旋滤波器	39
2.3 高频小信号放大器	41
2.3.1 高频小信号放大器的主要技术指标	41
2.3.2 高频小信号放大器的分类	43
2.3.3 单级单调谐放大器	43
2.3.4 单级双调谐放大器	45
2.3.5 多级调谐放大器	46
2.3.6 集中选频放大器	49
2.3.7 场效应管射频放大器	50
2.4 高频调谐放大器的稳定性	51
2.4.1 中和法	52
2.4.2 失配法	52
2.5 电子噪声及抑制方法	53
思考题与习题	53
任务一 RLC 串联谐振电路仿真分析	54
任务二 RLC 并联谐振电路仿真分析	58
任务三 高频小信号单调谐放大器仿真分析	61
第3章 高频功率放大器	66
3.1 高频功率放大器的工作原理	67
3.1.1 高频功放知识	67
3.1.2 晶体管放大器的工作状态	68
3.1.3 高频谐振功放的工作原理	69
3.1.4 高频谐振功放的分析方法	70
3.2 高频功率放大器的动态特性	73
3.2.1 负载特性	74
3.2.2 集电极调制特性	76
3.2.3 基极调制特性	76
3.2.4 振幅特性	77
3.3 丙类谐振高频功放的功率和效率	78
3.3.1 高频功放的功率	78
3.3.2 高频功放的效率	78
3.4 高频谐振功率放大器	79
3.4.1 直流馈电电路	79
3.4.2 偏置电路	80

3.4.3 输入输出匹配网络	81	思考题与习题	121
3.4.4 实用电路举例	82	任务一 电感三点式振荡器仿真分析	121
3.5 高频宽带功率放大器	83	任务二 电容三点式振荡器仿真分析	125
3.5.1 高频变压器	83	任务三 并联改进型电容三点式振荡器 仿真分析	128
3.5.2 传输线变压器	84	任务四 石英晶体振荡器仿真分析	131
3.6 功率合成器	85	第5章 振幅调制与解调	136
3.6.1 功率合成	86	5.1 调幅原理	137
3.6.2 功率分配	86	5.1.1 调幅波的波形	137
3.7 倍频器	87	5.1.2 调幅波的表达式	137
3.7.1 采用倍频电路的目的	87	5.1.3 调幅波的频谱与带宽	139
3.7.2 丙类倍频器电路及其工作原理	87	5.1.4 调幅波的能量关系	139
3.7.3 集成功率放大电路实例分析	88	5.2 几种调幅方式	140
思考题与习题	90	5.2.1 AM 普通调幅	140
任务一 高频功率放大器仿真分析	90	5.2.2 DSB 双边带调幅	140
任务二 晶体管丙类倍频器仿真分析	95	5.2.3 SSB 单边带调幅	142
第4章 正弦波振荡器	99	5.2.4 VSB 残留边带调幅	143
4.1 反馈型正弦波振荡器的基本原理	100	5.3 振幅调制电路	144
4.1.1 反馈振荡器原理	100	5.3.1 低电平调幅电路	145
4.1.2 自激振荡的起振条件	101	5.3.2 高电平调幅电路	148
4.1.3 自激振荡的平衡条件	102	5.4 检波电路	151
4.1.4 振荡器的频率稳定性	102	5.4.1 非同步检波基础	152
4.2 RC 正弦波振荡器	105	5.4.2 非同步小信号平方律检波	153
4.3 LC 正弦波振荡器	106	5.4.3 非同步大信号峰值包络检波	154
4.3.1 变压器反馈式 LC 振荡器	106	5.4.4 同步检波基础	157
4.3.2 电感三点式 LC 振荡器	107	5.4.5 同步乘积型检波电路	157
4.3.3 电容三点式 LC 振荡器	108	5.4.6 同步叠加型检波电路	159
4.3.4 串联改进型电容三点式 LC 振荡器	109	5.5 混频	159
4.3.5 并联改进型电容三点式 LC 振荡器	110	5.5.1 混频原理	159
4.4 单片集成 LC 振荡器	111	5.5.2 混频电路	162
4.4.1 差分对管振荡器	111	5.5.3 混频干扰和非线性失真	166
4.4.2 集成运放振荡器	114	思考题与习题	168
4.5 石英晶体振荡器	114	任务一 AM 调幅及解调电路仿真分析	169
4.5.1 石英晶体特性	115	任务二 DSB 双边带调幅及解调电路仿真 分析	174
4.5.2 并联型晶体振荡器	116	任务三 SSB 单边带调幅及解调电路仿真 分析	177
4.5.3 串联型晶体振荡器	117	第6章 角度调制与解调	181
4.5.4 泛音晶振电路	118	6.1 调频原理	182
4.6 压控振荡器	118		
4.6.1 变容二极管压控振荡器	119		
4.6.2 晶体压控振荡器	120		

6.1.1 瞬时频率和瞬时相位	182	8.2.1 锁相环的基本原理	237
6.1.2 调角信号的表达式和波形	182	8.2.2 锁相环路的主要特点	238
6.1.3 调频波的频谱与带宽	185	8.2.3 锁相环路的组成部分	239
6.2 调频电路	186	8.2.4 集成锁相环电路	241
6.2.1 调频方法	186	8.2.5 锁相环路的应用	243
6.2.2 调频电路的性能指标	187	8.3 频率合成电路	247
6.2.3 变容二极管调频电路	188	8.3.1 频率合成器的主要技术指标	247
6.2.4 电抗管调频电路	190	8.3.2 频率直接合成器	247
6.2.5 晶体振荡器调频电路	191	8.3.3 频率间接合成法(锁相环路法)	248
6.2.6 间接调频	192	8.3.4 直接数字频率合成器	251
6.3 鉴频电路	195	8.3.5 集成频率合成器	253
6.3.1 鉴频方法	195	思考题与习题	255
6.3.2 振幅鉴频器	197	第9章 无线收发系统实训项目	256
6.3.3 相位鉴频器	199	9.1 微型无线防盗报警器	256
6.3.4 脉冲计数式鉴频器	203	9.1.1 RCM1A/RCM1B的外形尺寸和性能参数	257
思考题与习题	204	9.1.2 HY-1型音乐集成电路	258
任务一 调频电路仿真分析——变容二极管调频与锁相环调频	205	9.1.3 微型无线防盗报警器电路分析	258
任务二 鉴频电路仿真分析——斜率鉴频器与锁相环鉴频	210	9.1.4 无线报警器电路的制作与调试	259
第7章 数字调制与解调	215	9.2 微型无线遥控开关	260
7.1 二进制振幅键控	216	9.2.1 TWH630/TWH631的外形尺寸和主要技术参数	261
7.1.1 2ASK调制原理	216	9.2.2 音频解码集成电路LM567	261
7.1.2 2ASK解调原理	218	9.2.3 微型无线遥控开关电路分析	262
7.2 二进制频率键控	219	9.2.4 遥控开关电路制作与调试	262
7.2.1 2FSK调制原理	219	9.3 无线遥控模型汽车	264
7.2.2 2FSK解调原理	221	9.3.1 TX2/RX2的主要技术参数	264
7.3 二进制相移键控	223	9.3.2 无线遥控模型汽车电路分析	266
7.3.1 2PSK调制原理	223	9.3.3 无线遥控模型汽车电路的制作与调试	267
7.3.2 2PSK解调原理	225	9.4 无线门铃	269
7.4 二进制差分相移键控	226	9.4.1 PT2262/PT2272的主要技术参数	269
7.4.1 2DPSK调制原理	226	9.4.2 无线门铃电路分析	272
7.4.2 2DPSK解调原理	228	9.4.3 无线门铃电路的制作与调试	273
思考题与习题	229	9.5 无线信号发射器	275
第8章 自动控制电路	230	9.5.1 BH1417的主要技术参数	275
8.1 自动控制电路	230	9.5.2 无线信号发射器电路分析	276
8.1.1 自动增益控制电路	231	9.5.3 无线信号发射器的制作与调试	278
8.1.2 自动频率控制电路	235	参考文献	280
8.2 锁相环路	237		

第1章

绪论

本书主要讨论应用于各种电子系统和电子设备的高频电子线路。

通信系统尤其是无线通信系统已广泛应用于国民经济、国防建设和人们日常生活的各个领域。通信系统是用以完成信息传输过程的技术系统的总称。通信的任务就是传递各种信息,包括语音、图像、数据等。通信中传递的消息的类型很多,传递消息的方法也很多。现代通信大多以电或光信号的形式出现,因此通常被称为电信系统。

现代通信系统分为有线通信系统和无线通信系统,有线通信系统利用导引媒体中的传输机理来实现通信,有线通信实现了地理距离的通信;无线通信系统主要借助电磁波在自由空间的传播实现通信,无线通信实现了地球距离甚至是星球距离的通信。无线通信延伸了人类的通信距离,回顾百年来现代通信的发展历史,从有线通信到无线通信,反映了人类通信需求从受束缚向自由方向前进的必然趋势。由于人们对通信的容量要求越来越高,对通信的业务要求越来越多样化,因此通信系统正迅速向着宽带化、无线化方向发展。

无线通信系统的一个重要特点就是利用高频无线电信号来传递消息。传输电信号的媒质可以有是有线的,也可以是无线的,而以无线的形式最能体现高频电路的应用。高频电路是在高频段范围内实现特定电功能的电路,高频电子线路是无线通信系统的基础,是无线通信设备的重要组成部分。尽管各种无线通信系统在所传递消息的形式、工作方式、设备体制组成等方面有很大差异,但设备中产生、接收和检测高频信号的基本电路都是相同的。本书将主要结合无线通信来讨论高频电路的线路组成、工作原理和分析、设计、仿真方法。这不仅有利于明确学习基本电路的目的和加强对有关设备及系统的概念,而且对于其他通信系统也有典型意义。随着科学技术的发展,以及人类对通信领域越来越深刻的研究,高频电子线路知识已成为无线通信领域中的重要组成部分。

本书主要内容:

- 高频电子线路的典型应用是无线通信系统。
- 无线通信系统由发射设备、接收设备和传输媒介三部分组成。
- 无线电信号的发射与接收的关键是调制与解调。
- 高放、混频、本振、调制、解调等相关知识是本书要解决的问题。
- 了解无线信号所具有的基本特点是必备的基本知识。

本章主要内容:

- 无线通信系统的基本工作原理(通信系统模型)。
- 发射设备的基本原理和组成(调制)。

- 接收设备的基本原理和组成（解调）。
- 无线电波的基本特点。

1.1 无线通信系统的概念

三个里程碑：

- 1907 年 Lee de forest 发明电子三极管。
- 1948 年 W.Shockley 发明晶体三极管。
- 20 世纪 60 年代集成电路、数字电路出现。

摩尔斯码：又称摩尔斯电码，是一种时通时断的信号代码，通过不同的排列顺序来表达不同的英文字母、数字和标点符号，最早应用于等幅电报，它由美国人艾尔菲德·维尔于 1835 年发明。无线电通信发展过程如图 1-1 所示。

无线电通信发展简史

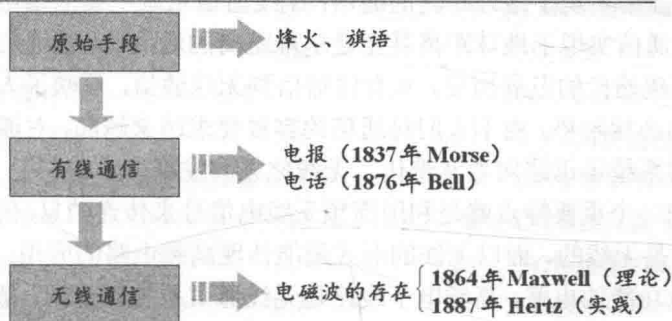


图 1-1 无线电通信发展过程

1.1.1 通信系统基本模型

通信系统模型如图 1-2 所示。

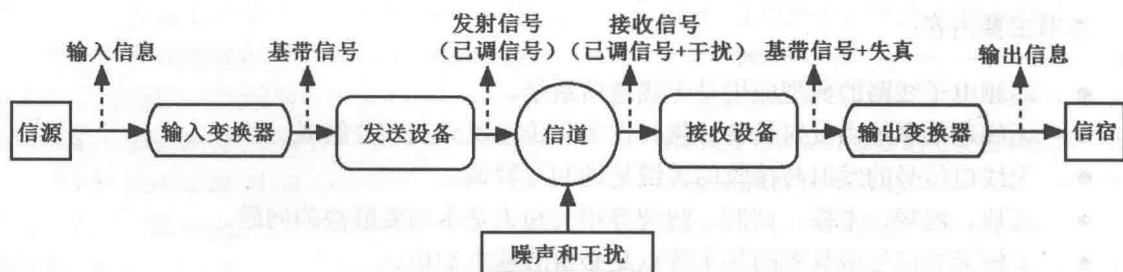


图 1-2 通信系统模型

无线通信系统一般由信源、输入变换器、发送设备、信道（传输媒介）、接收设备、输出变换器信宿组成。

(1) 信源：提供需要传送的信息。

在实际的通信电子电路中传输的是各种电信号，为此就需要将各种形式的信息转变成电信号。

常见的信号源有：话筒、摄像机、各种传感器件。

(2) 输入变换器：待传送的信息（图像、声音等）与电信号之间的互相转换。

(3) 发送设备：将基带信号变换成适合信道传输的高频信号，并由天线发射出去。

对基带信号进行变换的原因：由于要传输的信息种类多样，其对应的基带信号特性各异，这些基带信号往往并不适合信道的直接传输。

(4) 信道：信息的传送通道（自由空间）。

信号从发射到接收之间要经过传输信道，传输信道又称传输媒质。不同的传输信道有不同的传输特性，如电缆、光缆、无线电波等。

根据传输媒质的不同，通信系统可以分为以下两大类：

- 有线通信：双绞线、同轴电缆、光纤。
- 无线通信：电磁波自由空间传输。

(5) 接收设备：接收传送过来的高频信号并进行处理，从而转换成发送端的原始基带信号。

对接收设备的要求：由于信号在传输和恢复的过程中存在着干扰和失真，接收设备要尽量减少这种失真。

(6) 输出变换器：传送的电信号与还原的信息（图像、声音等）之间的互相转换。

(7) 信宿：信息的最终接受者。

将接收设备输出的电信号变换成原来形式信号的装置，如还原声音的喇叭、恢复图像的显像管等。

1.1.2 信道的传输系统

传输系统（Transmission Systems）是数据通信系统的一部分，它负责将通信系统中的源端和目的端连接起来，可能是直接连接也可能是通过一个或者多个网络系统进行连接。传输系统作为信道可连接两个终端设备构成电信系统，作为链路则可连接网络节点的交换系统构成电信网。传输系统在传输信号的过程中不可避免地要引入一些导致信号质量恶化的因素，如衰减、噪声、失真、串音、干扰、衰落等。为了不断提高传输质量、扩大容量并取得技术经济方面的优化效果，传输技术必须不断地发展与提高。传输系统的发展水平主要以传输媒质的开发和调制技术的进步为标志，以传输质量、系统容量、经济性、适应性、可靠性、可维护性等方面为衡量标准。提高工作频率来扩展绝对带宽和以压缩已调信号占用带宽来提高频谱利用率是有效扩大传输系统容量的重要手段。

传输系统按其传输媒质可分为有线传输系统和无线传输系统两类，按其传输信号性质可分为模拟信号传输系统和数字信号传输系统两类。

1. 有线传输系统

有线传输系统是以线型金属导体及其周围或包围的空间为媒质，或以线型光介质为媒体的传输系统，传输质量比较稳定，金属缆线因受外电磁场辐射交连或集肤效应制约，工作频率和可用频带受到限制，适用于模拟载波系统，可借助缩小中继距离来提高系统容量。光纤以光

波载荷信号，频率高、可用频带宽。有线传输介质主要有：双绞线（如图 1-3 所示）、同轴电缆（如图 1-4 所示）、光纤（如图 1-5 所示）。

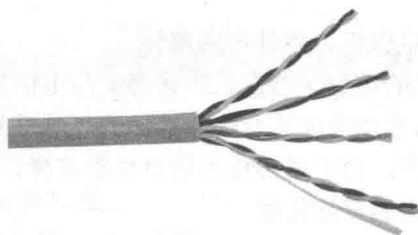


图 1-3 双绞线

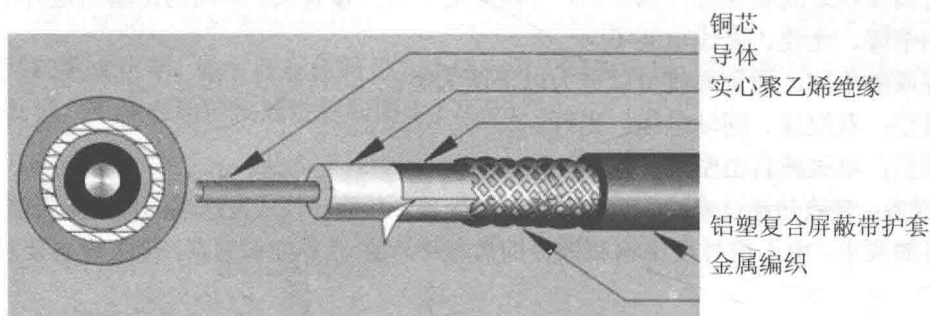


图 1-4 同轴电缆

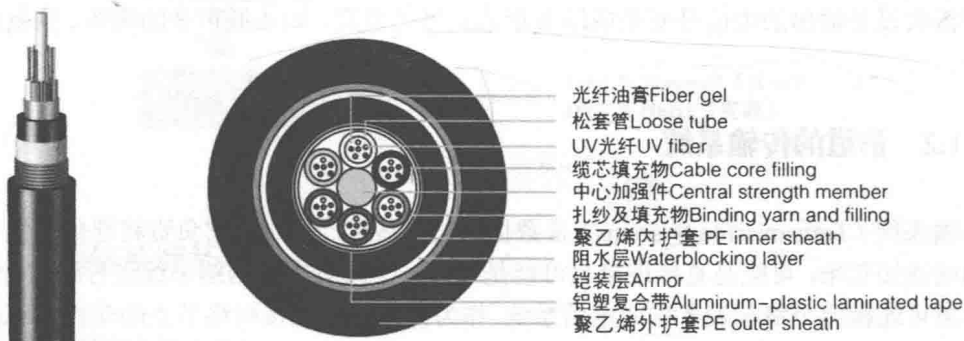


图 1-5 光纤

（1）双绞线特性。

物理特性：由两根互相绝缘的铜导线（线芯一般为 1mm）并排放在一起，然后用规定的方法以螺旋状的形式绞合起来就构成了双绞线。不同标准的双绞线绞合密度不一样，越采用新标准的双绞线绞合密度越高。

传输特性：双绞线既可以用于传输模拟信号，也可以用于传输数字信号。例如早期的电话系统和目前的电话系统中的用户环路部分都是采用双绞线进行声音的模拟信号传输，而电话系统中的 T1 线路是采用双绞线传输数字信号，总的数据传输速率可达 1.544Mb/s。

连通性：常用于点到点连接，也可用于多点连接。

地理范围：双绞线可以很容易地在 15 公里或更大范围内提供数据传输。例如在 100kb/s 速率下传输距离可达 1km。但是在 10Mb/s 或 100Mb/s 速率下的 10BASE-T 和 100BASE-T 局

域网中, 传输距离不能超过 100m。

抗干扰性: 在低频传输时抗干扰性高于同轴电缆, 而在 10kHz~100kHz 时则低于同轴电缆。

价格: 在双绞线、同轴电缆和光纤三种有线介质中, 双绞线的价格最便宜。

(2) 同轴电缆特性。

物理特性: 同轴电缆也像双绞线一样由一对导体组成, 但它们是按“同轴”形式构成线对。最里层是内芯, 一般是铜制的, 向外依次为绝缘层、屏蔽层, 最外层是起保护作用的塑料外套, 内芯和屏蔽层构成一对导体。同轴电缆分为基带同轴电缆和宽带同轴电缆两类。

- 基带同轴电缆: 阻抗为 50Ω , 采用基带传输, 即采用数字信号进行传输, 用于构建 LAN。常用的基带同轴电缆又分为粗缆 (RG-8 或 RG-11) 和细缆 (RG-58) 两种, 都用于直接传输数字信号。
- 宽带同轴电缆: 阻抗为 75Ω (RG-59), 采用宽带传输, 即采用模拟信号进行传输, 用于构建有线电视网。

传输特性: 基带同轴电缆用于传输数字信号, 采用曼彻斯特编码, 速率最高可达 10Mb/s; 宽带同轴电缆既可以传输模拟信号, 又可以传输数字信号。

连通性: 可用于点到点连接和多点连接。

地理范围: 典型基带同轴电缆的最大距离限制在几 km 内, 宽带同轴电缆可达十几 km。但是在 10BASE5 粗缆以太网中, 传输距离最大为 500m; 在 10BASE2 细缆以太网中, 传输距离最大为 185m。

抗干扰性: 抗干扰性通常高于双绞线。

价格: 高于双绞线, 低于光纤。

(3) 光纤特性。

物理特性: 数据在玻璃纤维中通过光信号进行传输。光纤可分为单模光纤和多模光纤。

- 多模光纤: 允许许多条不同角度入射的光线在一条光纤中传输, 即有多条光路。在无中继条件下, 传播距离可达几 km, 采用 LED 作为光源。
- 单模光纤: 光纤直径与光波波长相等, 只允许一条光线在一条光纤中直线传输, 即只有一条光路。在无中继条件下, 传播距离可达几十 km, 采用激光作为光源。单模光纤容量大于多模光纤, 价格也高于多模光纤。

传输特性: 每一根光纤任何时候只能单向传输数字信号。因此, 要实现双向通信就必须成对使用。

连通性: 用于点到点连接。

地理范围: 在 6km~8km 的距离内不用中继器。

抗干扰性: 不受外界的电磁干扰或噪声影响。

价格: 在双绞线、同轴电缆和光纤三种有线介质中, 光纤的价格最高。

光纤与铜缆相比, 优点是高带宽、衰减小、不受电磁干扰、细且重量轻、安全性好; 缺点是单向传输且价格比较昂贵。

2. 无线传输系统

无线传输系统是以自由空间、电离层或对流层不均匀气团为媒质的传输系统, 传输质量不稳定, 易受干扰, 必须采取抗衰落措施, 并进行频率管理和系统间协调。该系统无需实体传输媒质, 成本低、建设快、调度灵活, 而且可进行定向或全向广播通信。卫星通信系统采用 C

频段载频时不受电离层影响,在非暴雨区可基本视为传输质量稳定的恒参信道。无线传输系统的发展过程系由小容量的短波、特高频接力通信,以至大容量的微波接力通信和卫星通信系统等。

1.2 发送设备与接收设备构成

无线通信系统的构成包括信源、输入变换器、发送设备、信道、接收设备、输出变换器、信宿。其中发送设备和接收设备为无线通信系统的主要设备。

1.2.1 发送设备的基本原理

发送设备的主要作用是将要传送的信息经过处理变换为可以无线发射的高频信号,从而实现无线传输,也就是“调制”。

发送设备包括三个组成部分:高频部分、低频部分和电源部分。

高频部分通常由主振、缓冲、倍频、高频放大、调制与高频功放组成。主振级的作用是产生频率稳定的载频信号,缓冲级是为减弱后级对主振级的影响而设置的。有时为了将主振级的频率提高到所需的数值,缓冲级后要加一级或若干级倍频器。倍频级后加若干级高频放大器,以逐步提高输出信号的功率。调制级将基带信号变换成适合信道传输的频带信号。最后经高频功率放大器进行放大,使输出信号的功率达到额定的发射功率,再经天线辐射出去。

低频部分包括换能器、低频放大及低频功放。换能器把非电量信息变换为基带低频电信号,通过低频放大级逐级放大,使低频功放输出能对高频载频信号进行调制所需的信号功率。

说明:信号的“加载”——调制。

调制:把待传送信号“装载”到高频振荡信号上的过程。

三种信号:调制信号、载波信号和已调信号。

调制的三种方式:调幅(AM)、调频(FM)和调相(PM)。

典型发送设备调幅式无线电广播发射机的组成框图如图 1-6 所示。

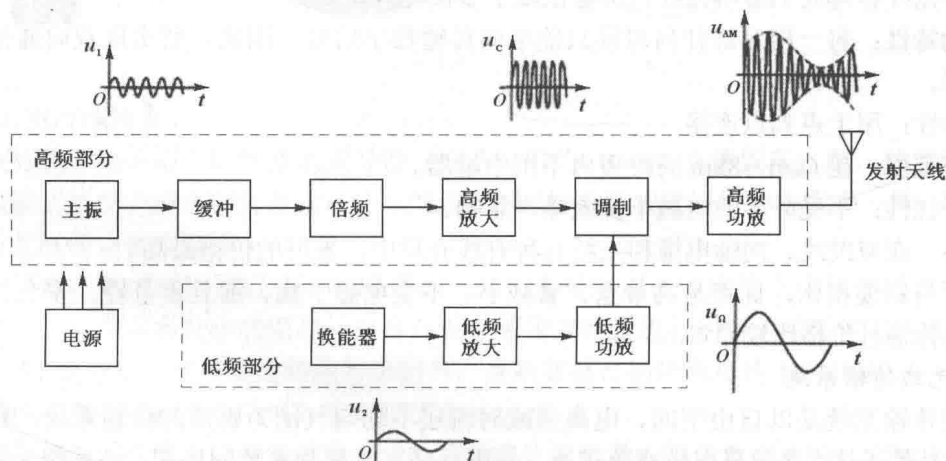


图 1-6 调幅式无线电广播发射机组成框图

1.2.2 发送设备的主要技术指标

(1) 频率范围。

发射机的工作频率即发射机的射频载波频率。具体数值由发射机的用途决定,一般是指一个能够正常工作的频率范围或频段,有以下两方面的要求:

- 要求在波段内的任何一个频率或指定频率上都能工作。
- 要求在整个波段内或所有指定频率上的电性能基本稳定。

(2) 频率的准确度及稳定性。

发射频率的准确度及稳定性基本上是由载波基准频率振荡器决定的。不同应用的无线收发系统有不同的要求。发射频率的准确度和稳定性可以用 Hz 或者频率的百分比来表示。

频率准确度是指实际工作频率对于标称工作频率的准确程度。频率准确度越高,通信链路的建立就越快。频率稳定度是指在各种外界因素的影响下发射机频率的稳定程度。频率稳定度高,一旦建立通信,接收机就不致因频率变化而需实时微调,故可实现不微调的通信,从而提高了通信的可靠性。调幅发射机的频率稳定度一般在 $10^{-4} \sim 10^{-5}$ 数量级,单边带发射机的频率稳定度一般在 $10^{-6} \sim 10^{-7}$ 数量级。

(3) 载波的频率捷变。

载波的频率捷变是指载波频率快速改变的能力。对于多频道发射,这是一个重要的技术性能指标。通常利用频率合成器来设置和改变发射频率,在整个发射系统中还需要利用宽带技术以保证频率的改变和调谐之间的同步。

(4) 发射频谱纯度。

频谱纯度指信号源输出的实际频谱与理想频谱的逼近程度。发射机除了产生载波信号及所需要的边带信号外,同时还会产生一些寄生信号。寄生信号通常是载波频率的谐波成分。所有的放大器都可能产生谐波失真,如 C 类功率放大器就会产生大量的谐波成分。在发射输出中除指定的发射载波频率外,其他谐波频率成分都需要通过滤波消除,以避免干扰。

(5) 输出功率。

发射机的输出功率是指发射机传送到天线、馈线上的功率。发射机采用不同的调制方式,对应的发射输出功率的测量方法不同。如全载波 AM (调幅) 系统的发射功率是根据载波功率来确定的,调制后输出信号功率大于未调载波功率。而在抑制载波 AM 系统中,采用峰值包络功率 (PEP)。FM (调频) 系统是一个恒定功率系统,FM 发射通道的额定功率为输出信号的总功率。

对输出功率进行测试时,一定要注意发射通道的占空系数 (反映导通和关断时间之间的关系),如许多双向式语音通信系统的发射通道并不是在最大功率下连续工作的,但广播发射机是连续工作的,而且是在最大功率下一天 24 小时不停地运行。

(6) 功率与效率。

功率与效率是发射机的一个非常重要的性能指标。

无线电通信的有效距离及可靠性取决于发射机的发射功率大小。通常发射机输出功率有

三种表示方式,即峰包功率、平均功率、载波功率。峰包功率(PEP)是指正常工作时在调制包络最高点的一个射频周期内馈送到天线上的平均功率,平均功率是指在足够长的时间内馈送到天线上的平均功率,载波功率是指未调制载波射频一周内的平均功率。这几种功率适用于不同的工作种类和调制方式,例如调幅常用载波功率标定,单边带通常用峰包功率或平均功率标定,等幅报和移频报则用载波功率标定。对一部电台而言,其发射机输出功率的大小在很大程度上还受体积、重量等条件的限制。另外,在设计发射机输出功率大小时,必须考虑天线增益、接收机灵敏度等因素。天线增益越高,接收灵敏度越高,接收机保证有相同输出信噪比的情况下所需的发射功率越小。

发射机的总效率(功率效率)是指发射机传送到天线、馈线上的功率与整机输入功率的比值。在大功率发射机或小型移动式发射机中,提高发射机的效率可以减小电源消耗,减小体积,经济意义重大。整机效率主要由末级功放的效率决定,末级一般采用丙类或丁类放大器,用来提高整机效率。固定发射机的效率在5%~30%之间,移动发射机的效率在百分之几到百分之十几之间。

(7) 调制系统的保真度。

由发射机所引起的任何失真(如调制失真、谐波失真和交调失真等)都有可能始终对信号的还原造成不良影响,因为系统的接收机是不可能完全消除这些失真的。

1.2.3 接收设备的基本原理

无线通信的接收过程正好和发射过程相反。在接收端,接收天线将收到的电磁波转换为已调波电流,然后从这些已调波电流中选择出所需的信号进行放大和解调。为了提高灵敏度和选择性,无线通信系统的接收设备目前都采用超外差式接收机。

接收设备的主要作用是从高频信号中还原出要传送的信息,也就是“解调”。

超外差式接收机从天线接收到微弱的高频调幅信号,经输入回路选频后,通过高频放大器放大,送入混频器与本机振荡器所产生的等幅高频信号进行混频,在其输出端得到的波形包络形状与输入的高频信号的波形包络形状相同,但频率由原来的高频变化为中频调幅信号,经中频放大后送到检波器,检出原调制的低频信号,然后再经过低频放大,最后从扬声器还原成原来的声音信号。

混频器的作用是将接收到的不同频率的载波信号变换为固定频率的中频信号。混频器的原理是:用本地振荡器产生的正弦波振荡信号 $u_L(t)$ (其频率为 f_L) 与接收到的有用信号 $u_C(t)$ (其频率为 f_C) 在混频器中混频,得到中频信号 $u_I(t)$ (其频率为 f_I)。通常选取 $f_I = f_L - f_C$ 。这种作用就是所谓的外差作用,也就是超外差式接收机名称的由来。

说明:信号的“卸载”——解调。

解调:从高频已调波信号中“取出”调制信号的过程。

解调的三种方式:①对调幅波的解调——检波;②对调频波的解调——鉴频;③对调相波的解调——鉴相。

典型接收设备超外差调幅收音机的组成框图如图 1-7 所示。

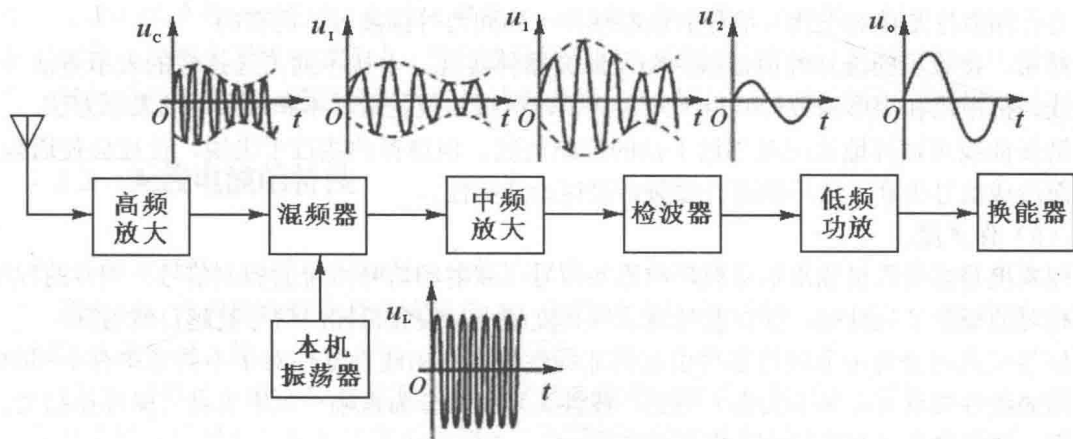


图 1-7 超外差调幅收音机组成框图

1.2.4 接收设备的主要技术指标

(1) 频率范围。

接收机通常是分波段工作的，即具有一定的工作频率（射频）范围。当频带较宽时，鉴于调谐元器件动态范围有限以及在宽带内调谐回路阻抗变化较大、调谐不便，且难以保证度盘准确度和频率稳定度，则往往需要划分为几个子波段。

关于接收机频率范围有以下两点要求：

- 接收机能调谐到给定频率范围内的任何一个频率点。
- 在调谐到的任何一个频率点上，接收机的主要技术指标均符合规定要求。

(2) 频率稳定度。

接收机的频率稳定度是指其本振频率的稳定程度。而度盘准确度是指接收机实际工作频率（射频）与度盘刻度相一致的程度，可理解为频率稳定度。

通常，调幅接收机的日稳定度要优于 10^{-4} ，单边带接收机的月稳定度应在 10^{-7} 数量级。

工作频率的稳定和度盘的准确度是实现不寻找、不微调通信的条件之一。为此，可采用高稳定度的频率合成器提供本振信号。

(3) 灵敏度。

灵敏度是指当接收机输出功率和输出信噪比一定时，接收机接收微弱信号的能力，即天线上所需的最小感应电动势（单位通常为 μV ）。灵敏度越高，接收微弱信号的能力就越强。不过，接收机工作种类或工作频率不同，灵敏度也不相同。

接收机应具有选择信号而抑制干扰的能力，因为提高接收机增益虽有利于提高灵敏度，但有用信号和各种噪声均可在接收机天线上生成感应电动势，加上接收机内部噪声，若将其一并放大输出，当接收信号很微弱时，噪声就有可能淹没有用的信号。

对超外差接收机而言，最常见的干扰既有位于信号频率附近的邻近干扰，又有位于中频附近的中频干扰，还有其频率比信号频率高（或低）两倍中频的镜像干扰等。

(4) 选择性。

选择性是指接收机从有用信号和与其相似的各种频率不同的干扰信号中鉴别出有用信号



的能力。相似性是针对干扰与信号的调制规律（如同为等幅波等）而言的。

通常，接收机的选择性由谐振回路及滤波器件实现。干扰不同，选择性的表示方法（谐振曲线、抗拒比和矩形系数等）也不同。其中，谐振曲线是最基本和最常用的表示方法。

谐振曲线可较好地说明对邻近干扰的抑制情况。但谐振曲线过于尖锐，往往会使通频带太窄而造成信号失真，故不能离开通频带来讨论选择性。

（5）保真度。

保真度是指接收机输出信号波形与原始信号（即射频信号携带的调制信号）相似的程度，与其相对的概念是失真度。保真度越高或失真度越小，接收机输出信号就越自然逼真。

信号失真可分为由非线性器件引起的非线性失真和由线性器件对于不同频率有不同响应而引起的线性失真（即频率失真）两类，线性失真又可分为振幅—频率失真（简称振幅失真）和相位—频率失真（简称相位失真）。

接收图像信号时还需要考虑相位失真。在语音传输时，一般只考虑振幅失真，要求非线性失真系数 $<10\%$ ，在 $300\sim 3000\text{Hz}$ 频率范围内的振幅频率特性不平均值 $<10\text{dB}$ 。

（6）工作稳定性。

接收机的工作稳定性包括两个方面：一是在任何情况下，接收机不应产生或接近寄生振荡；二是在工作过程中，接收机质量指标的变动不应超出许可范围。

通常，接收机对工作稳定性的要求较高，如某型单边带接收机要求在温度 $-10^{\circ}\text{C}\sim +50^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度为 $65\%\pm 15\%$ 甚至是 $95\%\pm 3\%$ 的环境下才能正常工作。

1.3 电磁波频段划分

1.3.1 无线电波的概念

无线电波是指在自由空间（包括空气和真空）传播的射频频段的电磁波。

无线电波是一种电磁波，其传播速度与光速相同，在真空中约为 300000km/s ，且有 $\lambda=c/f$ 。电磁波波谱如图 1-8 所示。

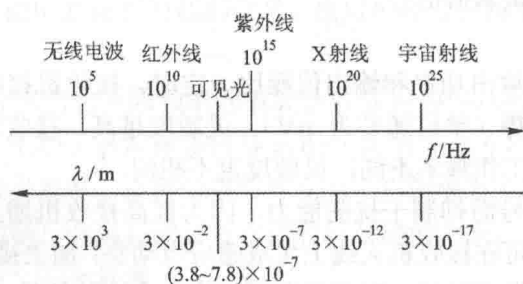


图 1-8 电磁波波谱

波长大于 1m 频率小于 300MHz 的电磁波是无线电波。无线电波是一种能量的传播形式，电场和磁场在空间中是相互垂直的，并都垂直于传播方向。

无线电技术是通过无线电波传播信号的技术。在天文学上，无线电波被称为射电波，简称