



中国高等学校电子教育学会黑龙江省分会“十三五”规划教材

高频电子线路

GAOPIN DIANZI XIANLU

王福刚 徐晓雨 张晓林 主 编

HEUP 哈尔滨工程大学出版社



中国高等学校电子教育学会黑龙江省分会“十三五”规划教材

高频电子线路

GAOPIN DIANZI XIANLU

王福刚 徐晓雨 张晓林 主 编

王芳竹 胡文明 张 兵 焦安群 副主编

HEUP 哈尔滨工程大学出版社

内 容 简 介

本书是针对高等学校电子信息工程与通信工程专业编写的专业基础课教材。本书共由 11 章组成,包括绪论、选频网络、高频小信号放大器、高频功率放大器、正弦波振荡器、振幅调制电路、调幅信号的解调、角度调制电路、调角信号的解调、反馈控制电路、非线性电路分析的基础理论等。在本书的编写过程中,注重对重要概念的理解,遵循通俗易懂的原则。

本书可作为高的院校电子信息工程专业、通信工程专业、电气工程及其自动化专业的高频电子线路和非线性电路课程的教材,也可以供通信行业相关技术人员作为参考。

图书在版编目(CIP)数据

高频电子线路/王福刚,徐晓雨,张晓林主编.
—哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,2016. 8
ISBN 978-7-5661-1267-5

I. ①高… II. ①王… ②徐… ③张… III. ①高频—
电子线路 IV. ①TN710.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 170246 号

选题策划 吴振雷

责任编辑 张忠远 周一瞳

封面设计 恒润设计

出版发行 哈尔滨工程大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区东大直街 124 号
邮政编码 150001
发行电话 0451-82519328
传 真 0451-82519699
经 销 新华书店
印 刷 黑龙江龙江传媒有限责任公司
开 本 787mm×1 092mm 1/16
印 张 13.25
字 数 356 千字
版 次 2016 年 8 月第 1 版
印 次 2016 年 8 月第 1 次印刷
定 价 32.00 元

<http://www.hrbeupress.com>

E-mail:heupress@hrbeu.edu.cn

中国高等学校电子教育学会黑龙江省分会 “十三五”规划教材编委会

主 任:

吕菁华 (中国高等学校电子教育学会副理事长、中国高等学校电子教育学会黑龙江省分会理事长、哈尔滨师范大学教授)
张 玲 (哈尔滨工程大学出版社社长、总编辑)

副主任:

牟洪臣 (中国高等学校电子教育学会黑龙江省分会副理事长兼秘书长)
于长兴 (绥化学院电气工程学院院长)
张艳鹏 (中国高等学校电子教育学会黑龙江省分会副理事长、绥化学院电气工程学院副院长)
徐 权 (大庆师范学院机电工程学院院长、教授)
邱 敏 (黑河学院理学院院长、教授)
张梅恒 (中国高等学校电子教育学会黑龙江省分会副理事长、牡丹江师范学院教授)
王少华 (中国高等学校电子教育学会黑龙江省分会副理事长,齐齐哈尔大学理学院副院长)
牟海维 (中国高等学校电子教育学会黑龙江省分会副理事长,东北石油大学电子科学学院院长、教授)
李林君 (中国高等学校电子教育学会黑龙江省分会副理事长、黑龙江工程学院教授)
于险波 (哈尔滨工程大学出版社副社长)

委员(按姓氏笔画排序):

于长兴	于险波	王少华	王玉玲	王雪飞	王福刚	付兴烨
卢振生	白 玉	白 龙	刘 铭	吕菁华	吕鹏举	孙春风
成宝芝	曲明哲	牟洪臣	牟海维	齐凤河	张 玲	张世明
张晓林	张艳鹏	张梅恒	张博洋	李怀亮	李林君	杨 倩
杨景昱	邱 敏	陈春雨	林 芳	唐红霞	徐 权	徐晓雨

前 言

本书是针对高等学校电子信息工程与通信工程专业编写的专业基础课教材。作者考虑到电子科技的飞速发展,结合新器件、新技术对内容进行了更新,在编写的过程中注重对重要概念的理解,全书遵循通俗易懂的原则。

本书主要介绍的是信息传输和处理的基本电路、基本原理和基本分析方法,重点阐述了高频发射机和高频接收机的组成、工作原理和电路设计,介绍和分析了振荡回路、高频小信号放大器、高频功率放大器、正弦波振荡器以及调制、解调、干扰和噪音等。本书共由11章组成,包括绪论、选频网络、高频小信号放大器、高频功率放大器、正弦波振荡器、振幅调制电路、调幅信号的解调电路、角度调制电路、调角信号的解调电路、反馈控制电路、非线性电路的分析理论等。

本书可作为高等院校电子信息工程专业、通信工程专业、电气工程及其自动化专业的高频电子线路和非线性电路课程的教材,也可以供通信行业相关技术人员作为参考。

本书编写分工如下:第3章、第4章、第5章由牡丹江师范学院物理与电子工程学院王福刚编写;第6章、第7章、第11章由牡丹江师范学院物理与电子工程学院徐晓雨编写;第9章及第10章由黑河学院理学院张晓林编写;第2章由国网黑龙江省电力有限公司检修公司王芳竹和中国移动通信集团设计院有限公司黑龙江分公司焦安群共同编写;第1章由国网黑龙江省电力有限公司检修公司胡文明编写;第8章由国网黑龙江省电力有限公司检修公司张兵编写。

作为一本专业教材,可能会存在知识上的片面甚至谬误。面对信息时代的来临以及电子信息学科的迅猛发展,还将会出现体系、内容上的不足和滞后。要成为一本好的教材,还要经过艰苦的努力以求不断完善。我们衷心地欢迎与期待使用本教材的老师、同学以及读者提出批评与建议。

本教材为服务地方项目“基于云技术和物联网的农业环境监控系统”,项目编号为FD201601。

本书在编写过程中,参阅了大量国内外有关通信和电子电路相关的著作和作品,未及一一注明,请有关作者见谅。

编 者
2016年5月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 高频电子线路概述	1
1.2 无线电信号的传输原理	3
1.3 数字通信系统	8
1.4 现代通信系统和软件无线电	10
本章小结	11
第 2 章 选频网络	13
2.1 串联谐振回路	13
2.2 并联谐振回路	18
2.3 串并联阻抗等效互换与抽头变换	21
2.4 滤波器的其他形式	24
本章小结	28
第 3 章 高频小信号放大器	30
3.1 概述	30
3.2 晶体管高频小信号谐振放大器	33
3.3 单调谐回路谐振放大器	35
3.4 多级单调谐回路谐振放大器	39
3.5 放大器的稳定性	40
3.6 常用调谐放大器的电路	43
本章小结	45
第 4 章 高频功率放大器	47
4.1 概述	47
4.2 高频功率放大器的工作原理	50
4.3 高频功率放大器的折线法	53
4.4 高频功率放大器的计算	61
4.5 晶体管高频功率放大器的高频效应	63
4.6 高频功率放大器的电路组成	64
4.7 谐振功率放大器的应用举例	69
4.8 晶体管倍频器	70
本章小结	71

第5章 正弦波振荡器	73
5.1 概述	73
5.2 反馈型振荡器的工作原理	74
5.3 反馈型 LC 振荡器	78
5.4 振荡器的频率稳定原理	82
5.5 石英晶体振荡器	84
5.6 其他形式的振荡器	89
本章小结	92
第6章 振幅调制电路	93
6.1 概述	93
6.2 频谱搬移电路的特性	93
6.3 振幅调制原理	94
6.4 低电平调幅电路	99
6.5 高电平调幅电路	105
本章小结	109
第7章 调幅信号的解调	110
7.1 概述	110
7.2 二极管大信号包络检波器	112
7.3 二极管小信号检波器	117
7.4 同步检波器	118
7.5 混频器原理与电路	120
本章小结	135
第8章 角度调制电路	136
8.1 概述	136
8.2 调角波的性质	136
8.3 调频方法及电路	142
本章小结	150
第9章 调角信号的解调	151
9.1 鉴频方法概述和鉴频器的主要技术指标	151
9.2 相位鉴频器	153
9.3 比例鉴频器	156
9.4 调制的抗干扰(噪声)性能	157
本章小结	159
第10章 反馈控制电路	160
10.1 反馈控制系统的概念	160
10.2 反馈控制系统的基本分析	161

10.3 自动增益控制(AGC)电路	165
10.4 自动频率控制(AFC)电路	171
10.5 自动相位控制(APC)电路(锁相环路 PLL)	176
本章小结	183
第 11 章 非线性电路分析的基础理论	184
11.1 非线性电路的基本概念与非线性元件	184
11.2 非线性电路的分析方法	187
11.3 非线性电路的应用	191
11.4 模拟相乘器及其频率变换作用	192
11.5 二极管平衡相乘器	198
本章小结	200
参考文献	201

第1章 绪 论

【本章要点】

- ①无线通信的产生与发展;
- ②无线通信系统的基本组成;
- ③发送设备和接收设备的工作原理及其功能;
- ④数字通信系统的特点;
- ⑤现代通信系统的发展趋势。

1.1 高频电子线路概述

1.1.1 无线电通信发展历史

随着生产力的提高,物资资源不断丰富,人与人之间交流变得愈加频繁,信息的传递更显得至关重要。信息的力量改变着人们的生活,我们已经进入了信息时代,然而对信息的迫切需求从古至今都未曾间断。从中国古代用于战争的烽火和旗语,还有可以用来远距离传输的信鸽,这些原始手段可以说是通信的最初模式。然而,烽火、旗语、信鸽虽然能传递简单的信息,但安全性较差,更不适合远距离传输。于是,科学家们通过不断的探索和努力,把原始通信手段发展为有线通信。

有线通信时代的来临归功于美国画家莫尔斯。1791年4月27日,萨缪尔·莫尔斯诞生于美国马萨诸塞州查理镇,父亲是知名的地理学家。莫尔斯毕业于耶鲁大学美术系时只有19岁。1832年秋天,已任美国国立图画院院长的莫尔斯从欧洲考察和旅游回国时,在一艘从法国勒阿弗尔港驶往美国纽约的“萨利”号邮客轮上认识了一位美国医师、化学家、电学博士查理·托马斯·杰克逊。当时,杰克逊参加了在巴黎召开的电学讨论会后回国,谈到了新发现的电磁感应,引起了莫尔斯极大兴趣。杰克逊把绕在蹄形铁芯上的铜线圈通上电,只见桌上的铁片、铁钉都被那铁芯吸上了。不一会,断了电,那些铁钉、铁片很快就掉了下来。我们知道导体在磁场中做相对运动会产生电流,同样,通电的线圈会产生磁力,这种现象就叫电磁感应。莫尔斯回到自己的房间,久久不能平静,感到电磁感应把他引进到一个广阔的天地。他利用在船上休闲的时间兴致勃勃地阅读了杰克逊借给他的有关论文和电学的书籍,画家的丰富想象力使他萌发了一个遐想:铜线通电后产生磁力,断电后失去磁力,要是利用电流的断续作出不同的动作,录成不同的符号,通过电流传到远方,不是就可以创造出一种天方夜谭式的通信工具了吗?他越想越入迷,觉得这个极妙的理想正是人类梦寐以求的愿望,一定要实现它。他毅然下决心完成“用电通信”的发明。他苦干了四个春秋,终于制造出了首台电报样机。1837年9月4日,莫尔斯发明的电报机信号只能传送500 m,但他毫不气馁,继续研究。他通过老师的发明得到灵感,终于创造出了一种起接力

作用的继电器,解决了远距离信号减弱的问题。莫尔斯请来朋友维耳当助手,费尽心血,创作出用点(·)和画(-)符号的不同排列表示英文字母、数字和标点,成为电信史上最早的编码,后被称为“莫尔斯符号”。他与维耳还研制成电报音响器,可以在收电报的同时,通过电码声音直接译出电文,大大缩短了收报译文的时间。1872年4月2日莫尔斯逝世后,纽约市人民特地在中央公园为他建造了一座雕像,永远纪念他为人类做出的巨大贡献!

然而,莫尔斯电报开辟了通信的新纪元,却不能传输模拟信号和数字信号,传输速度较慢,传输信息量较小。由于对大量信息传输有着迫切需求,英国科学家贝尔发明了电话。贝尔于1847年生于英国,年轻时跟父亲从事聋哑人的教学工作,曾想制造一种让聋哑人用眼睛看到声音的机器。1873年,成为美国波士顿大学教授的贝尔开始研究在同一线路上传送许多电报的装置——多工电报,并萌发了利用电流把人的说话声传向远方的念头,使远隔千山万水的人交谈起来能如同面对面交谈一样。于是,贝尔开始了电话的研究。1875年,贝尔和他的助手华生分别在两个房间里试验多工电报机,一个偶然发生的事故启发了贝尔。华生房间里的电报机上有一个弹簧粘到磁铁上了,华生拉开弹簧时,弹簧发生了振动。与此同时,贝尔惊奇地发现自己房间里电报机上的弹簧也颤动起来,还发出了声音,是电流把振动从一个房间传到另一个房间。贝尔的思路顿时大开,他由此想到:如果人对着一块铁片说话,声音将引起铁片振动;若在铁片后面放上一块电磁铁的话,铁片的振动势必在电磁铁线圈中产生时大时小的电流。这个波动电流沿电线传向远处,远处的类似装置上不会发生同样的振动,发出同样的声音吗?这样,声音就沿电线传到远方去了。这就是梦寐以求的电话。贝尔和华生按新的设想制成了电话机。在一次实验中,一滴硫酸溅到贝尔的腿上,疼得他直叫喊:“华生先生,我需要你,请到我这里来!”这句话由电话机经电线传到华生的耳朵里,电话成功了!1876年3月7日,贝尔成为电话发明的专利人。

电话虽然能传递语音信号,但是传输媒介是导线,受到导线的限制,不能做到随时随地通信。能不能不用导线在空间中传递信号呢?一个个伟大的科学家前赴后继给予了肯定的回答。1864年,英国物理学家麦克斯韦发表了《电磁场的动力理论》这一著名论文,在理论上证明了电磁波的存在,为后来的无线电发明和发展奠定了坚实的理论基础。1887年,德国物理学家赫兹以卓越的实验技巧证实了电磁波是客观存在。依照麦克斯韦理论,电扰动能够辐射电磁波。赫兹根据电容器经由电火花隙会产生振荡的原理设计了一套电磁波发生器。赫兹将一感应线圈的两端分别接于产生器的两根铜棒上,当感应线圈的电流突然中断时,其感应高电压使电火花隙之间产生火花。瞬间,电荷便经由电火花隙在锌板间振荡,频率高达数百万周。由麦克斯韦理论可以得出,此火花应产生电磁波,于是赫兹设计了一简单的检波器探测此电磁波。他将一小段导线弯成圆形,线的两端点间留有小电火花隙。因电磁波应在此小线圈上产生感应电压而使电火花隙产生火花,所以他坐在一暗室内,检波器距振荡器10 m远,结果他发现检波器的电火花隙间确有小火花产生。赫兹在暗室远端的墙壁上覆有可反射电波的锌板,入射波与反射波重叠应产生驻波,他也以检波器在距振荡器不同距离处侦测加以证实。赫兹先求出振荡器的频率,又以检波器测得驻波的波长,二者乘积即电磁波的传播速度。正如麦克斯韦预测的一样,电磁波传播的速度等于光速。赫兹的实验成功了,而麦克斯韦理论也因此获得了无上的光彩。赫兹在实验时曾指出,电磁波可以被反射、折射和如可见光、热波一样被偏振。由振荡器发出的电磁波是平面偏振波,其电场平行于振荡器的导线,而磁场垂直于电场,且两者均垂直传播方向。1889年,在一次著名的演说中,赫兹明确地指出光是一种电磁现象。第一次以电磁波传递讯息的是

1896年意大利的马可尼。1901年,马可尼又成功地将讯号送到大西洋彼岸的美国。从此,无线通信进入了实用阶段。此时,无线通信设备是:发送设备是用火花发射机、电弧发生器等,接收设备是用粉末(金属屑)检波器。直到1904年弗莱明发明电子二极管之后,才开始了无线电子学时代。

1.1.2 电子技术发展的三个里程碑

1909年,弗雷斯特发明了电子三极管,这是电子技术发展史上的第一个重要里程碑;1949年,肖克莱发明了晶体三极管,成为电子技术发展史上的第二个里程碑;20世纪60年代,开始出现将“管”“路”结合起来的集成电路,中、大规模乃至超大规模集成电路的出现对人类进入信息社会起了不可估量的作用,成为电子技术发展史上的第三个里程碑。这就是电子技术发展史上的三个重要里程碑。

不论是原始通信手段还是有线通信以及无线通信,传递信息才是首要的任务。高频电子线路所要研究的就是信息传输和处理的基本电路、基本原理和基本分析方法。

1.2 无线电信号的传输原理

1.2.1 传输信号的基本方法

信息传输对人类生活的重要性是不言而喻的,最基本的信息传输手段当然是语言与文字。语言与文字的产生和发展对人类社会的发展起了很大的作用,没有语言,人类就无法进行思维。文字不仅能够传输信息,而且能够储存信息。随着人类社会生产力的发展,在远距离迅速而准确地传送信息的要求也日益迫切。我国古代利用烽火传送边疆警报,这可以说是最古老的光通信。之后,又出现了“旗语”,就是用编码的方法来传输信息。此外,诸如信鸽、驿站快马接力等,也都是人们曾采用过的传输信息的方法。

进入19世纪以后,人们发现电能够以光速沿导线传播,这为远距离快速通信提供了物质条件。前面提到,莫尔斯发明电报时创造了莫尔斯电码,这可以说是“数字通信”的雏形。有线电报是人类利用电能传送信号的最初形式,曾经是极重要的通信手段,当然,原理与构造方面已大为改进。但近年由于其他通信手段的飞速进步,电报的作用已日趋式微,面临被淘汰的命运。出现了有线电报之后,人们自然会想到,能否利用电能传送声音信号呢?要做到这一点,首先就要使声能转化为电能的形式,然后才便于传送出去。将声能转变为电能的换能器叫作“传声器”或“话筒”,通常也叫“麦克风”。有线电报与有线电话发明之后不久,又发明了无线电。在赫兹以前,人们认为电能只能够沿导线传输。经过前述麦克斯韦的理论推导和赫兹的实验证明,才知道电能也可以在空间以电磁波的形式传输。于是,人们自然想到如何实现不用导线传输信号的问题,从而导致无线电的发明。一个导体如果载有高频电流,就有电磁能向空间辐射。电磁能是以波的形式向外传播的,称为电磁波。高频率的电流称为载波电流,简称载波,这种频率称为载波频率或射频。载有载波电流,使电磁能以电磁波形式向空间发射的导体称为发射天线。如果我们设法用电报或电话信号控制载波电流,则电磁能中就含有所要发送的电报或电话信息,这就是无线电信号的发送过程。在接收端,首先由接收天线将收到的电磁波还原为与发送端相似的高频电流,然后经过检波,取出原来的电报或电话信号,这就完成了无线电通信。

1.2.2 通信系统简介

信息的获取、传输、变换、存储、识别、处理和显示都要依赖电子学与信息系统实现。传输信息的系统统称为通信系统。一个完整的通信系统应由输入变换器、发送设备、传输信道、接收设备和输出变换器五个基本部分组成。

图 1.1 是通信系统的组成方框图。其中,输入变换器的功能是将输入信息转化为电信号。当输入信息为非电量(例如声音、文字、图像等)时,输入变换器是必需的。当输入信息本身就是电信号(例如计算机输出的二进制信号、传感器输出的电流或电压信号等)时,在能满足发送设备要求的条件下,可不用输入变换器,而直接将电信号送给发送设备。输入变换器输出的电信号应反映原输入的全部信息,通常称此信号为基带信号。传输信道是信号传输的通道,它可以是平行线、同轴电缆或光缆,也可以是传输无线电波的自由空间或传送声波的水等。输出变换器的功能是将接收设备输出的电信号变换成原来的信息,如声音、文字、图像等。



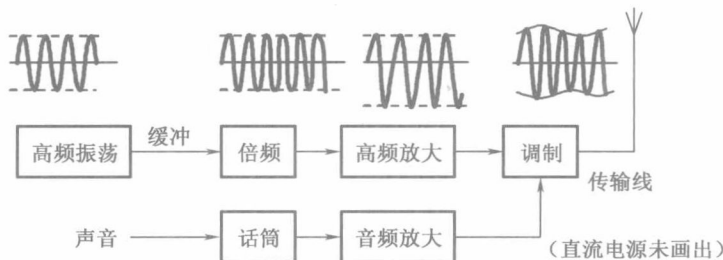
图 1.1 通信系统的组成方框图

输入变换器通常也叫信号源,信号源是指需要传送的原始信息,如语言、音乐、图像、文字等,一般是非电物理量。原始信息经输入变换器转换成电信号后送入发送设备,在实际的通信电子线路中传输的是各种电信号。因此,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、摄像机以及各种传感器件等。发送设备的作用是将基带信号变换成适合信道传输特性的信号。对基带信号进行变换的原因是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。接收设备的作用是接收传送过来的信号,并进行处理,以恢复发送端的基带信号。接收设备的要求是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。输出变换器收信装置是指把接收设备输出的电信号变换成原来形式的信号的装置,例如还原声音的喇叭、恢复图像的显像管等。

1.2.3 无线信号的产生与发射

无线电发送是以自由空间为传输信道,把需要传送的信息(声音、文字或图像等)转化成无线电波传送到远方的接收点。为什么要用无线电波发送方式把信息(例如声音)传出去呢?信息传输通常应满足两个基本要求:一是希望传送距离远;二是要能实现多路传输,且各路信号传输时应互不干扰。依靠声音在空气中直接进行远距离传送显然是不行的,其原因是声波在空气中传播的速度很慢(约 340 m/s),而且衰减很快,不能实现远距离传送,而且,人耳能听到的声音的频率约在 $20\text{ Hz} \sim 20\text{ kHz}$ 的范围内,若将声音直接传送,多路声音就会混在一起,接收时就难以分辨,不能实现选择功能。为了把声音传送到远方,常用的方法是将声音变成电信号,再通过发送设备送出去。电信号是与声音同频率的交变电磁振荡信号,可以利用天线向空中辐射出去。电磁波在空气中的传播速度很快(约为 $3 \times 10^8\text{ m/s}$)。在天线高度足够的条件下是能够实现远距离传送的。但是,无线电波通过天线

辐射,天线的长度必须和电磁振荡的波长相近,才能有效地把电磁振荡波辐射出去。对于频率为 $20\text{ Hz} \sim 20\text{ kHz}$ 的声频来说,其波长是 $15 \times 10^6 \sim 15 \times 10^3\text{ m}$ 。这样大尺寸天线的制造是很困难的,即便可以做得出来,由于各个电台所发出的信号频率范围相同,接收者也无法选择所需的接收信号。解决的办法是将发射的电磁波的频率提高,使传送的音频信号“加载”到高频振荡之中。这样,天线的尺寸可以减小。不同的电台可以采用不同的高频振荡频率,接收时很容易分辨。通常,只需传送的信息“加载”到高频振荡中的过程称为调制,能实现这样功能变换的电路称为调制器。调制可以分为三类,即调幅、调频和调相。图 1.2 是调幅广播发射机的方框图,它由三部分组成。



1. 低频部分

低频部分由声电变换器(话筒)和低频放大器组成,实现声电变换,并对音频电信号进行放大,使其满足调制器的要求。

2. 高频部分

高频部分由主振器、缓冲器、高频电压放大、振幅调制器和高频功率放大器组成,实现载波的产生、放大和振幅调制。

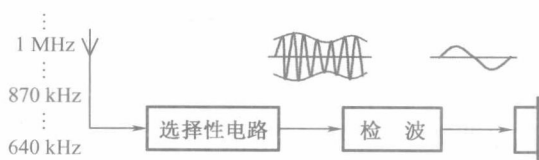
3. 传输线和天线部分

传输线和天线部分完成将已调波通过天线以电磁波形式辐射出去的过程。

将音频信号“装载”到高频振荡中的方法主要有三种,即调频、调幅和调相。电视中的图像是调幅,伴音是调频;广播电台常用的方法是调频。

1.2.4 无线电信号的接收

无线电接收过程正好和发送过程相反,它的基本任务是将通过天空传来的电磁波接收下来,并从中取出需要接收的信息信号。图 1.3 是一个简单的接收机方框图,它由接收天线、选频电路、检波器和输出变换器(耳机)四部分组成。接收天线接收从空中来的电磁波。在同一时间,接收天线不仅接收到所需接收的无线电信号,而且也接收到若干个不同载频的无线电信号与一些干扰信号。为了选出所需的无线电信号,在接收机的接收天线之后要有一个选频电路,其作用是将所要接收的无线电信号取出来,并把不需要的信号滤掉,以免产



生干扰。

利用一个并联 LC 回路的谐振特性就能够实现选频。通过选频电路选频将选出所需要的高频调幅波如 $U(t) = U_{cm}(1 + m_a \cos \Omega t) \cos \omega t$ 传送给检波器。检波器的任务是从已调波信号中取出原调制信号,即音频 Ω 的成分。音频信号传送给耳机将电信号转换成声音,这样就完成了全部接收过程。这种最简单的接收机叫作直接检波式接收机,其特点是线路简单。因为从天线得到的高频无线电信号非常微弱,一般只有几十微伏至几毫伏,直接送给检波器检波,检波器的电压传输系数很小,检波后输出的音频信号更弱,只能采用耳机完成电声变换。为了提高检波器的电压传输系数,通常希望送给检波器的高频信号电压达到 1 V 左右,这就需要在选频电路与检波器之间增加高频放大器,将通过选频电路的高频信号进行放大。增加高频放大器后,送给检波器的高频信号幅度增大,检波器的电压传输系数增大。但是检波器输出的音频信号通常只有几百毫伏,要推动功率大一点的扬声器是不行的。因此,在检波器之后要进行音频电压放大和功率放大,然后推动扬声器。这种带有高频放大器的接收机叫作直接放大式接收机。

直接放大式接收机的特点是灵敏度较高,输出功率也较大,特别适用于固定频率的接收。但是,在用于多个电台接收时,其调谐比较复杂。而且,高频小信号放大器的整个接收频带内,频率高端的放大倍数比低端的放大倍数要低。因此,对不同的电台其接收效果也就不同。为了克服这样的缺点,现在的接收机几乎都采用超外差式线路。如图 1.4 所示是超外差式接收机系统方框图。

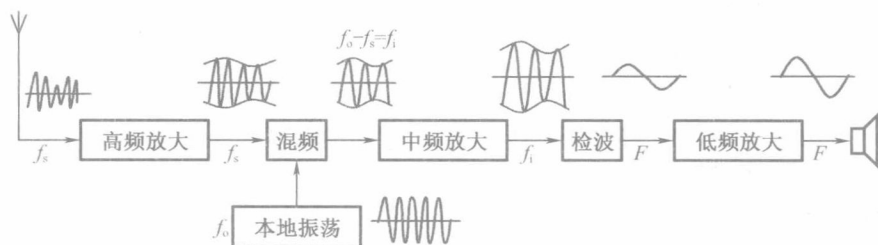


图 1.4 超外差式接收机系统方框图

超外差接收机的主要特点是把被接收的已调波信号的载波角频率先变为频率较低的(或较高的),且是固定不变的中间频率(称为中频),而其振幅的变化规律保持不变,即仍由基带频率决定,然后利用中频放大器加以放大送至检波器进行检波,解调出与调制信号线性关系的输出电压,随后通过低频电压放大、功率放大,由扬声器还原为原来的声音。因为中频放大器的中心频率是固定不变的,而且接收机的主要放大倍数由中频放大器承担,所以,整机增益在接收频率范围内,高端和低端的差别就会很小。对于调谐来说,仅对混频器的选频输入回路和本机振荡器进行同步调谐是容易实现的。将高频信号的载波频率降低为中频的任务是由变频器来实现的。超外差接收机由于有固定频率的中频放大器,不仅可以实现较高的放大倍数,而且选择性也很容易得到满足。可以同时兼顾高灵敏度与高选择性,这是非常重要的。上面介绍了无线电广播发送与接收的基本原理与工作过程。虽然介绍的是传送语言的特殊例子,但对传输其他形式的信号来说,其基本工作原理是相同的。发送设备和接收设备中的高频小信号放大器、高频功率放大器、正弦波振荡器、振幅调制电路、检波器、角度调制电路、调角信号的解调电路和变频电路等是高频电子线路课程所要讲

授的内容,而这些内容又是组成发送设备和接收设备不可缺少的重要组成部分。

1.2.5 传输信道

信号从发送到接收之间要经过传输媒质。根据传输媒质的不同,可以分为有线通信与无线通信两大类。有线通信所用的传输媒质有双线对电缆、同轴电缆、光纤(光缆)等。无线通信的传输媒质是自由空间。

①双线对电缆由若干对双线组成电缆,每对线是一个传输路径,为了减少串话,每对线应扭绞起来,这种传输媒质主要用于频率较低时的载波电话和低速数据通信。

②同轴电缆当频率较高时,由于趋肤效应,导线电阻增加,而且辐射损失上升,因此不宜采用双线对。采用同轴电缆可以解决上述两个问题,而且若干小电缆组成一个大电缆时,各小电缆之间不会产生串话,因为电缆外面的金属外套有屏蔽作用。因此,信号沿电缆传输的衰减大为减小。目前,同轴电缆已被光缆代替。

③光纤是非常细的玻璃丝(例如直径为 $100\text{ }\mu\text{m}$ 或更细),其衰耗已降低到 1 dB/km ,因此已进入实用阶段。若干光纤组成一个光缆,这种通信方式的主要优点是工作频率极高,信息容量极大。例如,若使用波长为 $0.3\text{ }\mu\text{m}$ 的光波时,其频率为 10^{15} Hz ,如果只用这个频率的百分之一作为工作频率,则带宽可达 $10\text{ }000\text{ GHz}$ 。

无线通信的传输媒质是自由空间,上节中举的例子都是无线通信。电磁波从发射天线辐射出去后,经过自由空间到达接收天线的传播途径可分为两大类:地波与天波。地波又可分两种:一种是地面波,电磁波沿地面传输;另一种是空间波,这时要求发射天线与接收天线离地面较高,接收点的电磁波由直射波与地面反射波合成。天波是经过离地面 $100\sim 500\text{ km}$ 的电离层反射后传送到接收点的电磁波。沿地面传播的无线电波叫作地面波。由于地球表面是有电阻的导体,当电磁波在它上面行进时,有一部分电磁能量被消耗,而且频率越高,地面波损耗越大。因此,地面波传播适于采用长波和超长波。由于地面的导电性能在短时间内没什么变化,因此地面波的传播特性稳定可靠。在无线电技术的发展初期,选用工作波长越来越长的主要原因即在于此。即使到了今天,长波和超长波的稳定传播特性仍然受到应有的重视。随着工作频率的逐渐升高,地面波的损耗逐渐增大,同时,电离层对电波反射的影响开始出现。那么,什么是电离层呢?我们知道,包围地球的大气层的空气密度是随离地面高度的增加而减小的。一般在离地面大约 20 km 以下,空气密度比较大,所有的大气现象——风、雨、雪等都是在这一区域内产生的。大气层的这一部分就叫作对流层。在离地面 50 km 以上,空气已经很稀薄,太阳辐射与宇宙射线辐射等作用已经很强烈,因而空气产生电离。这些被电离了的空气,它们的电离密度是成层分布的,所以叫作电离层。这些电离层距地面高度从低到高分别称为 D 层、E 层、F 层等。电磁波到达电离层后,一部分能量被电离层吸收,一部分能量被反射和折射回地面,形成天波。由于惯性关系,频率越高,电子和离子的振荡幅度就越小,因此它们吸收的能量也就越小。从这一点看,利用电离层通信,宜于采用较高的频率。但另一方面,随着频率的增高,电波穿入电离层也越深。当频率超过一定值(临界值)后,电磁波会穿透电离层,不再返回地面。因此,利用电离层通信,可供采用的频率也不能过高,一般只限于短波波段。频率继续升高,进入超短波段后,地面波衰减极大,天波又会穿透电离层,不能返回地面,这时只能采用空间波方式进行通信。显然,这种通信方式只能限于视线距离范围内,例如电视广播即属此类。近年来,人们发现超短波(以至微波)也能够传送到很远的距离,这是利用对流层(或电离层)

对电波的散射作用,使这些电波能够传播到大大超过视线距离的地区,这就是对流层(或电离层)散射通信。散射通信已成为在超短波以至微波波段远距离通信的有力手段。此外,利用人造卫星传送信号已是极主要的通信方式。20 世纪 60 年代以来,模拟通信已大量使用 2 ~ 10 GHz 频段,因此,数字微波系统的发展集中到更高的频率,11 GHz 与 19 GHz 频段已在启用。但在这样高的频率时,大气层中的氧气与水蒸气对信号的吸收成为严重问题,必须考虑。电磁波的传播情况很复杂,它不属于本课程的范围,以上只对它作了极为简略的介绍,以便能对它建立一个初步概念,作为学习高频电子线路的预备知识。

表 1.1 列出的是无线电波波段划分表。

表 1.1 无线电波波段划分

带号	频带名称	频率范围	波段名称	波长范围
-1	至低频(TLF)	0.03 ~ 0.3 Hz	至长波或千兆米波	10 000 ~ 1 000 Mm
0	至低频(TLF)	0.3 ~ 3 Hz	至长波或百兆米波	1 000 ~ 100 Mm
1	极低频(ELF)	30 ~ 30 Hz	极长波	100 ~ 10 Mm
2	超低频(SLF)	30 ~ 300 Hz	超长波	10 ~ 1 Mm
3	特低频(ULF)	300 ~ 3 000 Hz	特长波	1 000 ~ 100 km
4	甚低频(VLF)	3 ~ 30 kHz	甚长波	100 ~ 10 km
5	低频(LF)	30 ~ 300 kHz	长波	10 ~ 1 km
6	中频(MF)	300 ~ 3 000 kHz	中波	1 000 ~ 100 m
7	高频(HF)	3 ~ 30 MHz	短波	100 ~ 10 m
8	甚高频(VHF)	30 ~ 300 MHz	米波	10 ~ 1 m
9	特高频(UHF)	300 ~ 3 000 MHz	分米波	10 ~ 1 dm
10	超高频(SHF)	3 ~ 30 GHz	厘米波	10 ~ 1 cm
11	极高频(EHF)	30 ~ 300 GHz	毫米波	10 ~ 1 mm
12	至高频(THF)	300 ~ 3 000 GHz	丝米波或亚毫米波	10 ~ 1 dmm

本书讲授的各功能电路大多属于非线性电子线路。非线性电子线路的分析方法与线性电子线路的分析方法是不相同的。因此,在学习本课程的各功能电路时,要根据不同电路的功能和特点掌握各个功能电路的实现方法和基本原理,要根据输入信号的大小和器件的工作状态的不同选用不同的近似分析法,系统地了解非线性电子线路的分析方法。高频电子线路的理论与实践必须紧密联系,要学会用理论指导实验和分析实验现象,从而得到合理的结论。

1.3 数字通信系统

传输数字信号的通信系统称为数字通信系统,系统方框图如图 1.5 所示。

模拟信号经信源编码和信道编码变成数字基带信号,发射机将基带信号调制到高频载波上经信道传输到接收端,接收机还原出数字基带信号,经信道解码和信源解码还原出模

拟基带信号。用数字基带信号对高频正弦载波进行的调制称为数字调制。根据基带信号控制载波的参数不同,数字调制通常分为振幅键控调制、频率键控和相位键控三种基本方式。

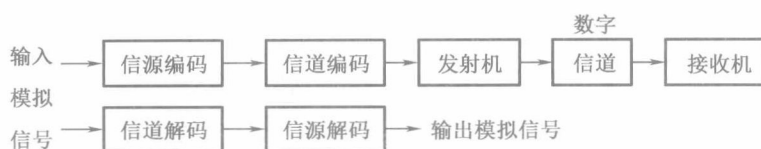


图 1.5 数字通信系统方框图

振幅键控 (Amplitude-shift Keying, ASK) 载波振幅受基带控制; 相位键控 (Phase-shift Keying, PSK) 载波相位受基带信号控制, 当基带信号 $p(t) = 1$ 时, 载波起始相位为 0 , 当 $p(t) = 0$ 时载波起始相位为 π ; 频率键控 (Frequency-shift Keying, FSK) 载波频率受基带信号控制, 当 $p(t) = 1$ 时载波频率为 f_1 , 当 $p(t) = 0$ 时载波频率为 f_2 , 如图 1.6 所示。

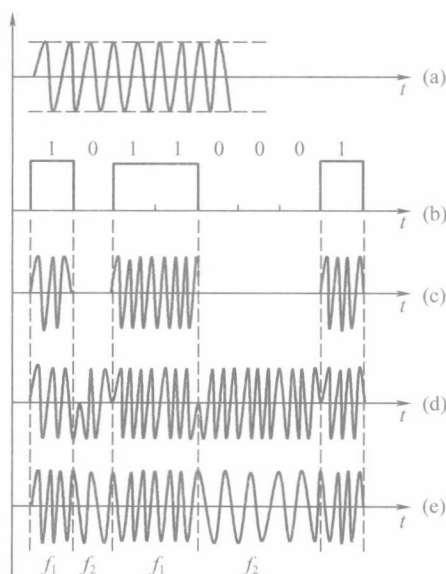


图 1.6 数字调制方式比较

(a) 载波; (b) 基带; (c) ASK; (d) PSK; (e) FSK

数字通信的主要优点:

- ①抗干扰能力强, 尤其是数字信号通过中继再生后可消除噪声积累;
- ②数字信号通过差错控制编码, 可提高通信的可靠性;
- ③由于数字通信传输一般采用二进制码, 所以可使用计算机对数字信号进行处理, 实现复杂的远距离大规模自动控制系统和自动数据处理系统, 实现以计算机为中心的通信网;
- ④在数字通信中, 各种消息 (模拟的和离散的) 都可变成统一的数字信号进行传输, 在系统对数字信号传输情况的监视信号、控制信号及业务信号都可采用数字信号, 数字传输和数字交换技术结合起来组成的 ISDN 对于来自不同信源的信号能自动地进行变换、综