

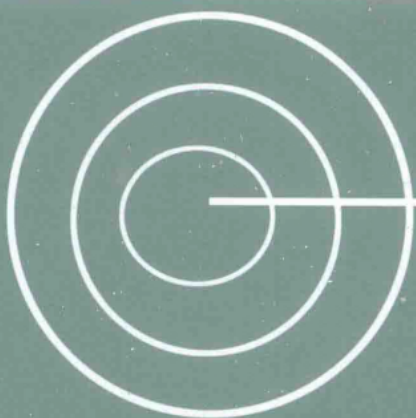


普通高等教育“十二五”规划教材

PUTONG GAODENG JIAOYU "12.5" GUIHUA JIAOCAI

高频电子线路

GAO PIN DIAN ZI XIAN LU



主编◎张玲丽



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press



普通高等教育“十二五”规划教材

高频电子线路

主 编 张玲丽
编 委 虞 沧 李 雪
黎爱琼 张玲丽
主 审 宋烈武

北 京
冶金工业出版社
2013

内 容 简 介

本书共8章,第1章高频电子线路基础;第2章高频小信号放大器;第3章高频功率放大器与功率合成技术;第4章正弦波振荡器;第5章频谱搬移电路;第6章角度调制与解调电路;第7章数字调制与解调电路;第8章反馈控制电路与频率合成器。

本书可作为高等教育以及高职高专、远程教育电子信息类、通信类及相近专业教材,同时适合计算机相关专业进修提高的人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

高频电子线路/张玲丽主编. —北京:冶金工业出版社,2013.7

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5024-6353-3

I. ①高… II. ①张… 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(2013)第 139199 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号,邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 yjcbbs@cnmip.com.cn

ISBN 978-7-5024-6353-3

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;北京明兴印务有限公司印刷

2013 年 7 月第 1 版,2013 年 7 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 16 印张; 412 千字; 271 页

32.00 元

冶金工业出版社投稿电话:(010)64027932 投稿邮箱:tougao@cnmip.com.cn

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街 46 号(100010) 电话:(010)65289081(兼传真)

(本书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

前 言

“高频电子线路”是电子信息类专业重要的技术基础课,是一门理论性、工程性与实践性很强的课程。本书是为高等职业院校电子信息类及其他相近专业的学生编写的,教材紧密结合高等职业院校学生的知识基础,以理解概念、实现功能为基本要求,剔除复杂的理论分析,加强实用性知识的讲解,将理论与实践紧密结合,突出了学生动手能力及实践能力的培养。本书以无线电发射与接收机的工作原理为主线,精讲无线电发射机及接收机中的单元电路,以讲透原理为宗旨,章节的安排注重由浅入深。本书特色如下:

(1)为学生学习专业课程提供必要的基础支撑,使学生具备运用专业基础理论与方法,分析和解决实际问题的能力。将对学生兴趣的引导放在首位,用通俗易懂的语言让学生掌握课程内容体系。

(2)各章内容既有各自的独立性,又有相互联系的系统性和完整性,同时,考虑到现代通信技术、测量技术和集成电路技术的发展和广泛应用,本书对电路的介绍尽可能地接近实际应用中的情况,增加了集成电路的应用实例,但在基本的电路分析方面仍以分立电路为主。

(3)注意本课程与前后课程的衔接,对前面课程介绍的不够而本课程又用得较多的内容适当予以重复,对后续课程用得较多的内容予以强调。

(4)注重教材的实用性,尽可能从工程实际的角度分析问题。选取了大量的实用电路并对其进行了分析,突出介绍了与学生应用能力有关的应用实例,以此增强学习分析问题和解决问题的能力。

本书由武汉职业技术学院的张玲丽担任主编,宋烈武负责主审。全书由张玲丽统稿。第1、6、7、8章由张玲丽编写,第2、3章由虞沧编写,第4章由李雪编写,第5章由黎爱琼编写,在此表示感谢。在本书的编写过程中从书后所列的参考文献中吸取了宝贵的意见,本书编者谨向参考文献的作者表示感谢。

由于编者水平有限,书中难免有疏漏之处,敬请读者批评指正。

编者

2013年4月

目 录

第 1 章 高频电子线路基础	(1)
1.1 无线电通信的基本特性	(1)
1.2 元件的高频特性与传输线	(11)
1.3 选频回路	(13)
1.4 滤波器	(27)
思考与练习题	(37)
第 2 章 高频小信号放大器	(39)
2.1 概述	(39)
2.2 晶体管调谐放大器	(41)
2.3 场效应管调谐放大器	(52)
2.4 高频集成放大器	(56)
2.5 谐振放大器的稳定性	(62)
2.6 放大器的噪声	(65)
思考与练习题	(71)
第 3 章 高频功率放大器与功率合成技术	(73)
3.1 概述	(73)
3.2 谐振功率放大器	(75)
3.3 谐振功率放大器电路组成	(86)
3.4 丁类(D类)功率放大器	(93)
3.5 宽带高频功率放大电路	(97)
3.6 功率合成器	(99)
3.7 射频模块放大器和集成功率放大器简介	(105)
思考与练习题	(109)
第 4 章 正弦波振荡器	(111)
4.1 反馈型振荡器的基本原理与分析方法	(111)
4.2 LC 正弦波振荡器	(115)
4.3 振荡器的稳定性	(127)



4.4 石英晶体振荡器	(132)
思考与练习题	(135)
第5章 频谱搬移电路	(139)
5.1 概述	(139)
5.2 模拟乘法器	(140)
5.3 普通调幅波的产生和解调电路	(142)
5.4 抑制载波调幅波的产生和解调电路	(150)
5.5 混频电路	(153)
5.6 倍频器	(154)
思考与练习题	(155)
第6章 角度调制与解调电路	(161)
6.1 调角波的基本性质	(161)
6.2 调频电路	(167)
6.3 扩大线性频偏的方法	(183)
6.4 调频波的解调	(184)
6.5 限幅器	(202)
思考与练习题	(205)
第7章 数字调制与解调电路	(207)
7.1 数字基带传输系统	(207)
7.2 数字信号的载波传输	(208)
7.3 二进制振幅键控(2ASK)调制与解调	(210)
7.4 二进制频移键控(2FSK)调制与解调	(214)
7.5 二进制相位键控(PSK)调制与解调	(219)
7.6 多进制数字调制系统	(225)
思考与练习题	(238)
第8章 反馈控制电路与频率合成器	(240)
8.1 自动增益控制电路	(241)
8.2 自动频率控制电路	(245)
8.3 锁相环路	(246)
8.4 频率合成技术	(257)
思考与练习题	(264)
参考文献	(266)

第1章 高频电子线路基础

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需要将语言、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信息,一般含义是从发送者到接收者之间的信息传递,这种利用电信号实现信息传递过程的系统称为通信系统。高频电子线路是无线电设备、通信系统中的重要组成部分。通信过程中所要传递的原始信息,如语言、文字、图像、数据等,通常通过换能器(如麦克风等)转换成为电信号(电流或电压)以便传递,这些反映原始信息的电信号称为基带信号。根据电信号传递的媒介不同,通信可分为有线通信和无线通信两大类。其中利用电缆传递信息的系统称为有线通信系统;利用电磁波传递信息的系统称为无线通信系统;利用光导纤维传递信息的系统称为光纤通信系统。

1.1 无线电通信的基本特性

1.1.1 通信系统的一般组成

本课程以通信(communication)系统为主要对象,研究构成发送设备、接收设备的各单元电路、典型线路的工作原理。

广义上说,一切将信息从发送者传送到接收者的过程,均为通信的过程。实现这种信息传递的过程的系统即为通信系统,通信系统组成框图如图1-1所示。

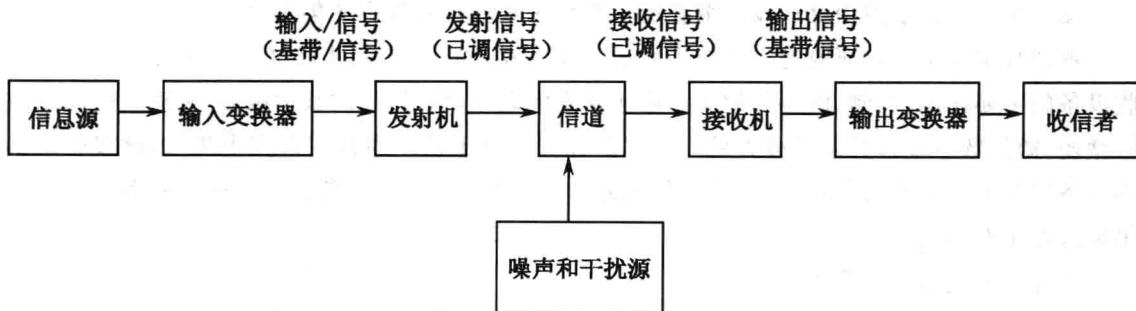


图 1-1 通信系统组成框图



1.1.1.1 信源、信宿

信源是信息的产生者,而信宿是信息的接收者,它们可以是人,也可以是机器终端。在通信系统中,信源和信宿通常是相互的,而信息的形式可以是音乐、语言、文字、图像等。

1.1.1.2 输入变换器

输入变换器的主要任务是将信源提供的原始信息变换为电信号。当输入信息本身就是电信号时,输入变换器则可省略。该信号一般由零频附近的直流分量和低频信号组成,称为基带信号(baseband)或携有信息的电信号,它可以是模拟信号,也可以是数字信号,如传声器(俗称话筒)、拾音器、电键、摄像机等。这里强调一下信号、信息,信号是信息的表现形式,是运载与传递信息的载体与工具,而信息是信号的具体内容,它蕴藏在信号之中。

1.1.1.3 输出变换器

输出变换器的作用是将接收设备输出的电信号变换成原始信息提供给信宿。

1.1.1.4 发送设备

发送设备的主要作用是调制和放大。调制是将基带信号变换成适合在信道中传输的频带信号(passband signal),具体方法是用基带信号去控制信息载体(载波)的某一参数,使该参数随着基带信号的变化而变化,可见,调制可将基带信号携带在载波的某一参数上。放大是指对信号的电压或功率进行放大、滤波等处理。

1.1.1.5 接收设备

接收设备的任务是将通过通信信道传送到接收端的信号进行处理,恢复出与发送端相一致的基带信号,这种将接收信号恢复成基带信号的处理过程称为解调。解调是调制的逆过程。

1.1.1.6 信道

信道是连接收发两端的信号通道,也称传输媒介。信道可分为两大类:有线信道和无线信道。不同的信号适合在不同的信道中传输。

1.1.1.7 噪声和干扰

噪声和干扰是信道中噪声及分散在通信系统中其他各处噪声的集中表示。

本课程主要学习和研究通信系统中发送设备和接收设备。刚才已经介绍了发送设备和接收设备的主要作用:调制、解调和放大。由于信道的衰减,信号通过“长途跋涉”到达接收端后非常微弱(微伏数量级),必须经放大后才能解调,同时,由于信道中存在许多干扰,因此接收设备除具备很强的放大能力外,还必须具有很强的抑制干扰的能力,只有这样才能从众多干扰的包围中选择出有用信号。

为什么要调制?主要原因如下:

(1)缩短天线尺寸。自然界直接存在的信号大多是基带信号(未经调制的信号),频率很低,如人耳能听到的声音的频率范围大约在 $300 \sim 3400\text{Hz}$ 间,通常把这一频率范围称为音频范围。



声波在空气中传播很慢,约为 340m/s,且衰减很快,不能传播很远。交变的电磁场可以利用天线向天空辐射,但要做到有效的辐射,天线的尺寸应和电磁波的波长相配,依据 $c = \lambda f$,音频的波长在 105~106 m 之间,要制造尺寸相当的天线显然是不可能的。因此不能直接将音频信号辐射到空中。

将音频信号“装载”到更高的频率上,然后由天线辐射出去,是一个可以实现的设想。因为高频的波长在 10~100m 间,天线尺寸可以做得比较小。

(2)实现多路复用。现实生活中,为了提高公路的利用率,采用多车道,车流在各自车道上平行运行,互不影响。同样的道理,为了提高信道的利用率,可通过调制将多路信号分别携带在不同的载波上(相当于将多辆汽车放在同一条公路的不同车道上),然后在同一个信道中传输,这样,一条信道可同时传输多路信号,提高了信道利用率。

(3)随着信息化程度的不断提高,频带资源越来越紧张,高频无线电电磁波可以提供更大的通信容量。

(4)通过调制可有效地克服信道缺陷,提高信号的抗干扰能力。

1.1.2 通信系统的分类

通信的目的是传递消息,按照不同的分法,通信可分成许多类别,下面介绍几种较常用的分类方法。

1.1.2.1 按传输介质分

按消息由一地向另一地传递时传输介质的不同,通信可分为两大类:一类称为有线通信,另一类称为无线通信。有线通信是指传输介质为架空明线、电缆、光缆、波导等形式的通信,其特点是介质能看得见、摸得着。无线通信是指传输消息的介质为看不见、摸不着的介质(如电磁波)的一种通信形式。通常,有线通信可进一步再分类,如明线通信、电缆通信、光缆通信等。无线通信常见的形式有微波通信、短波通信、移动通信、卫星通信、散射通信和激光通信等,其形式较多。

1.1.2.2 按信道中所传信号的特征分

在无线通信中的信号(也是本课程需要处理的信号)主要有三种:信息信号、高频载波及已调信号。

信息信号就是表示信息的电信号,通常把各种信息信号归结为两类:一类是连续信息,即信息状态是连续变化的,这就是通常所说的模拟信号,如语音信号、图像信号等;一类是离散信号,即信息的状态是可数的或离散型的,这就是通常所说的数字信号,如电报信号、数据信号等。

信号的表示方法通常有三种:电压或电流的时间函数表示法、波形表示法以及频谱表示法。对前两种方法大家比较熟悉。对于较简单的信号如正弦波、方波、三角波等,可用前两种方法很方便地表示出来。但对于较复杂的信号,如语音信号、图像信号,由于其复杂性、随机性,很难用



表达式或波形来表示,此时可用频谱法来表示。一个确定的信号可以看成是由许多不同频率的单一正弦信号组成的;周期性的信号利用傅里叶级数可以分解成许多离散的频率分量,各频率分量成谐波关系;非周期性的信号利用傅里叶变换可以分解成连续谱,信号为连续谱的积分。通过对信号的频谱进行分析可以知道信号的特性,如信号的频率分布、带宽等。例如,对于语音信号,由于其具有随机性,较难用表达式或波形来表示,但通过对其频谱分析可知,语音信号的频率范围是 0.1kHz。

信号按照信道中传输的是模拟信号还是数字信号,可以把通信系统分为模拟通信系统与数字通信系统。

1.1.2.3 按工作频段分

按通信设备的工作频率不同,通信系统可分为长波通信、中波通信、短波通信、微波通信等。

1.1.2.4 按调制方式分

前面已经指出,根据是否采用调制,可将通信系统分为基带传输和频带(调制)传输。基带传输是将没有经过调制的信号直接传送,如音频市内电话;频带传输是对各种信号调制后再送到信道中传输的总称。

1.1.2.5 按业务的不同分

按通信业务分,通信系统可分为话务通信和非话务通信。电话业务在电信领域中一直占主导地位,它属于人与人之间的通信。近年来,非话务通信发展迅速,它主要包括数据传输、计算机通信、电子信箱、电报、传真、可视图文及会议电视、图像通信等;另外,从广义的角度来看,广播、电视、雷达、导航、遥控、遥测等也应列入通信的范畴,因为它们都满足通信的定义。由于广播、电视、雷达、导航等的不断发展,目前它们已从通信中派生出来,形成了独立的学科。

1.1.2.6 按通信者是否运动分

通信还可按收发信者是否运动分为移动通信和固定通信。移动通信是指通信双方至少有一方在运动中进行信息交换。另外,通信还有其他一些分类方法,如按多址方式可分为频分多址通信、时分多址通信、码分多址通信等;按用户类型可分为公用通信和专用通信以及按通信对象的位置分为地面通信、低空通信、深空通信、水下通信等。

1.1.3 无线电波的传播

任何载有信息的无线电波均占有一定的信号频带,载波频率越高,可以利用的总频带(即波段)就越宽,因而在同一波段可以实现许多不同对象间信息的传输,并且频带较宽的信息信号只能在很高的频率上才能传输,如电视图像信号的频带宽度约为 6MHz,它只适宜在几十兆赫以上的频率上传输。这说明了无线电波的不同频段,其用途是不同的。

另外,不同的高频波段通常有最适宜的传播方式,而且和光波一样,无线电波也具有直射、

反射、折射等现象。图 1-2 所示为无线电波在空间的传播方式。

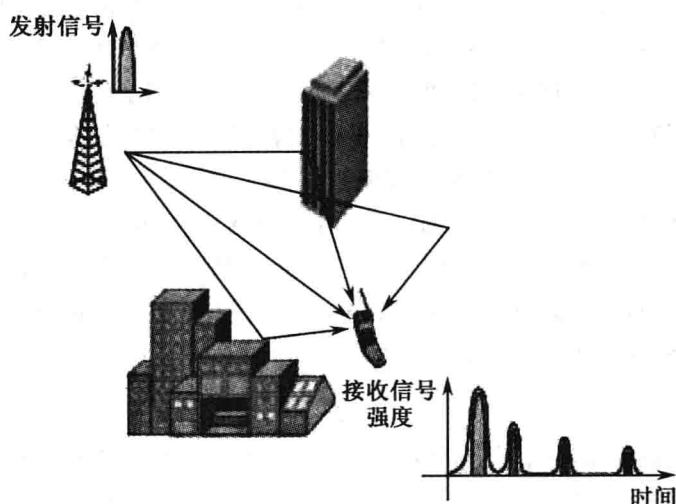


图 1-2 无线电波在空间的传播方式

无线电波的传播方式主要有地波传播、电离层反射传播(天波)、视线传播(空间波)、对流层散射传播等。图 1-3 所示为几种传播途径的示意图。

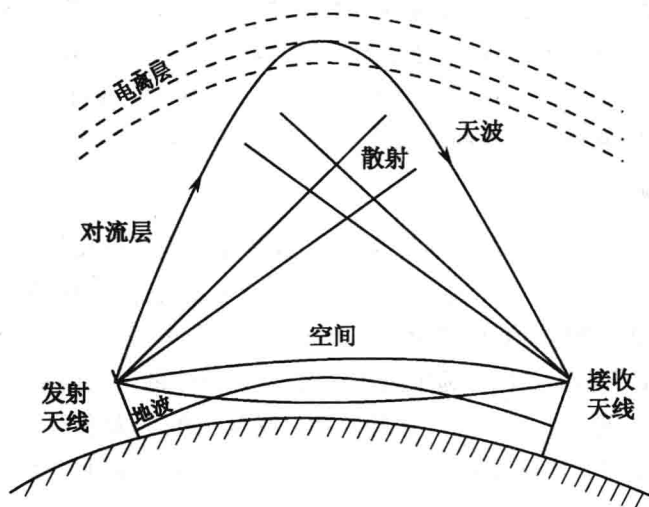


图 1-3 电波的传播途径

1.1.3.1 地波

沿地球表面附近的空传播的无线电波称为地波。适用于波长 $\lambda=200\text{m}$ 以上的中、长波。地面上有高低不平的山坡和房屋等障碍物,根据波的衍射特性,当波长大于或相当于障碍物的尺寸时,波才能明显地绕到障碍物的后面。地面上的障碍物一般不太大,长波可以很好地绕过它们。中波和中短波也能较好地绕过,短波和微波由于波长过短,绕过障碍物的本



领就很差了。

地球是个良导体,地球表面会因地波的传播引起感应电流,因而地波在传播过程中有能量损失。频率越高,损失的能量越多。所以无论从衍射的角度看还是从能量损失的角度看,长波、中波和中短波沿地球表面可以传播较远的距离,而短波和微波则不能。

地波的传播比较稳定,不受昼夜变化的影响,而且能够沿着弯曲的地球表面达到地平线以外的地方,所以长波、中波和中短波用来进行无线电广播。

由于地波在传播过程中要不断损失能量,而且频率越高(波长越短)损失越大,因此中波和中短波的传播距离不大,一般在几百千米范围内,收音机在这两个波段一般只能收听到本地或邻近省市的电台。长波沿地面传播的距离要远得多,但发射长波的设备庞大,造价高,所以长波很少用于无线电广播,多用于超远程无线电通信和导航等。

1.1.3.2 天波

依靠电离层的反射来传播的无线电波称为天波。什么是电离层呢?地球被厚厚的大气层包围着,在地面上空 50km 到几百千米的范围内,大气中一部分气体分子由于受到太阳光的照射而丢失电子,即发生电离,产生带正电的离子和自由电子,这层大气就称为电离层。

电离层对于不同波长的电磁波表现出不同的特性。实验证明,波长短于 10m 的微波能穿过电离层,波长超过 3000km 的长波,几乎会被电离层全部吸收。对于中波、中短波、短波,波长越短,电离层对它吸收得越少而反射得越多。因此,短波最适宜以天波的形式传播,它可以被电离层反射到几千千米以外。但是,电离层是不稳定的,白天受阳光照射时电离程度高,夜晚电离程度低。因此夜间它对中波和中短波的吸收减弱,这时中波和中短波也能以天波的形式传播。收音机在夜晚能够收听到许多远地的中波或中短波电台,就是这个缘故。

1.1.3.3 空间波

微波和超短波既不能以地波的形式传播,又不能依靠电离层的反射以天波的形式传播。它们跟可见光一样,是沿直线传播的。这种沿直线传播的电磁波称为空间波或视波。

地球表面是球形的,微波沿直线传播,为了增大传播距离,发射天线和接收天线都建得很高,但也只能达到几十千米。在进行远距离通信时,要设立中继站。由某地发射出去的微波,被中继站接收,进行放大,再传向下一站。这就像接力赛跑一样,一站传一站,把电信号传到远方。直线传播方式受大气的干扰小,能量损耗少,所以收到的信号较强而且比较稳定。电视、雷达采用的都是微波。

1.1.3.4 对流层散射传播

在离地球表面 20km 左右的地方,空气密度高,所有的大气现象(如风、雨、雷等)都是在这区域产生的,该区域称为对流层,利用对流层对电磁波的散射可以完成信号的传输。电流层散射传播时电磁波传输的距离大大超过视线传播,已成为超短波以至微波波段远距离传输的有力手段。

现在,可以用同步通信卫星传送微波。由于同步通信卫星静止在赤道上空 36000km 的高

空,用它来做中继站,可以使无线电信号跨越大陆和海洋。

表 1-1 列出了通信中使用的频段、常用传输媒质及主要用途。

工作频率和工作波长可互换,其关系为:

$$\lambda = c/f$$

式中, λ 为工作波长, m; f 为工作频率, Hz; $c = 3 \times 10^8$ m/s, 为电波在自由空间中的传播速度。

表 1-1 通信频段、常用传输介质及主要用途

频段名称	频率范围	波段名称	波 长	主要传播方式	用 途
甚低频 VLF	$3 \times 10^{-3} \sim 30$ kHz	超长波 VLW	108~104 m	地波	音频、电话、数据终端、长距离导航、时标
低频 LF	30~300 kHz	长波 LW	104~103 m	地波	导航、信标、电力线通信
中频 MF	0.3~3 MHz	中波 MW	103~102 m	地波、天波	调幅广播、移动陆地通信、业余无线电
高频 HF	3~30 MHz	短波 SW	102~10 m	地波、天波	移动无线电话、短波广播、定点军用通信、业余无线电
甚高频 VHF	30~300 MHz	超短波/米波 VSW	10~1 m	视线波、对流层散射	电视、调频广播、空中管制、车辆通信、导航、集群通信、无线寻呼
特高频 UHF	0.3~3 GHz	微波/分米波 USW	100~10 cm	视线波、对流层散射	电视、空间遥测、雷达导航、点对点通信、移动通信
超高频 SHF	3~30 GHz	微波/厘米波	10~1 cm	视线波	微波接力、卫星和空间通信、雷达
极高频 EHF	30~300 GHz	微波/毫米波	10~1 mm	视线波	雷达、微波接力、射电天文学
红外、可见光、紫外	10 ⁵ ~10 ⁷ GHz		$3 \times 10^4 \sim 3 \times 10^6$ cm	光纤/激光/空间传播	光通信

1.1.4 无线通信系统

不同类型的无线电通信,其设备组成、复杂程度是很不相同的,现以一典型的调幅发射机和超外差式接收机框图为例说明无线电通信系统的一些概念,系统组成如图 1-4 所示。

在如图 1-4 所示的发射机中,话筒的作用是将语音信号转化成电信号;音频放大器的作用是对低频的电信号作一个过滤和放大;音频功率放大器是将上一级输出的信号继续放大到足够的功率;高频振荡器的作用是产生高频信号;倍频器的作用是将振荡器产生的信号频率 f_{osc} 提高 n 倍,以作为后面调制所需要的高频载波;中间放大级的作用是将载波放大到合适的程度;调制器的主要作用是用语音信号去控制载波信号的幅度的变化,形成已调信号,以便于发射。

图 1-5 所示的接收机为常用的超外差式接收机框图。

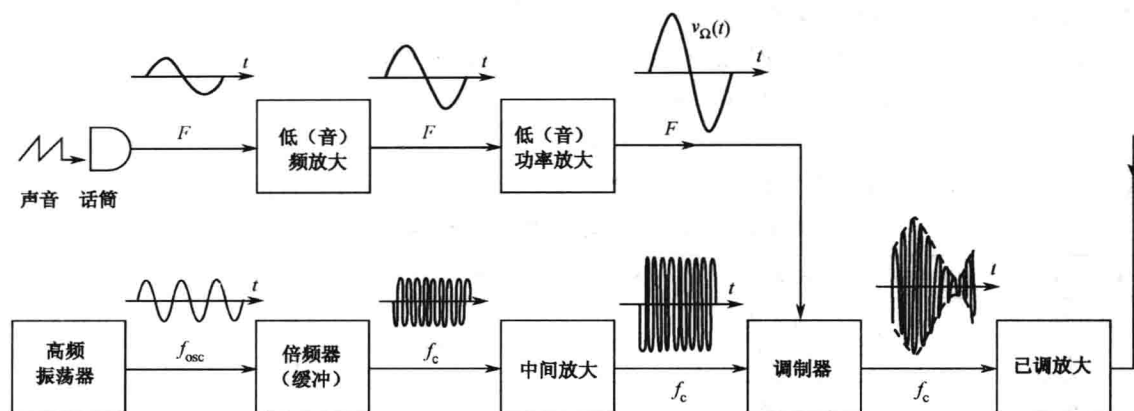


图 1-4 调幅发射机框图

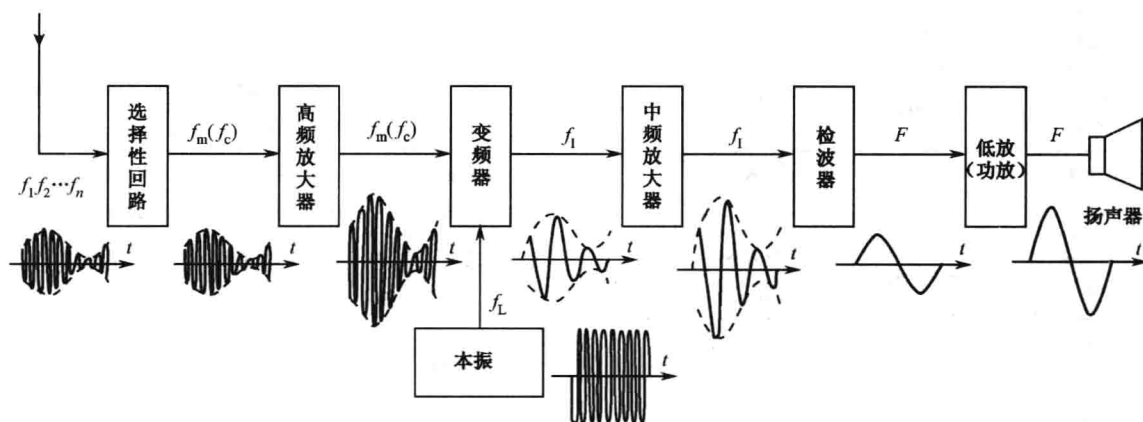


图 1-5 超外差式接收机框图

图 1-5 所示的选择性回路是要从天线接收的信号中选取所需要的有用信号,滤去无用频率分量;高频功率放大器的作用是对上一级选择出来的有用信号进一步选频和放大,其只对有用信号放大,对无用信号进行抑制;变频器的作用是对放大器输出的信号与本地振荡器输出的本振信号进行频率相减,得到频率相对较低的中频信号(如超外差收音机中频一般为 465kHz),便于后级电路进一步的放大;中频放大器是一中心频率固定的频带(带通)放大器,作用为放大信号并进一步滤除无用频率信号;检波器的作用是从已调信号中恢复出消息信号,这一过程也称解调;解调后的信号通过低频放大器送给用户。超外差式接收机中的放大和频率选择主要是由中心频率固定的中频放大器完成的,通过改变本地振荡器的中心频率就可以收到不同的电台。

由上述可见,在发射机和接收机中,除了低频放大器和中频放大器而外,其他都是处理高频信号的电路。它包括高频信号的产生(振荡器)、放大(小信号放大器、功率放大器)、倍频、混频、调制和解调电路。这些单元电路都是由有源器件(分立元件或集成电路)和无源器件构成的,既

有线性电路,也有非线性电路。这些单元电路及有关的技术问题,就是本书讨论的对象,显然,它们的性能好坏直接影响整个通信系统的质量。

实际的通信设备通常比前面介绍的例子复杂得多,例如手提电话中的发送和接收电路,如图 1-6 和图 1-7 所示。在此发射电路中由于对振荡信号的频率稳定度要求高,故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 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,接收电路部分可能要经过多次混频。

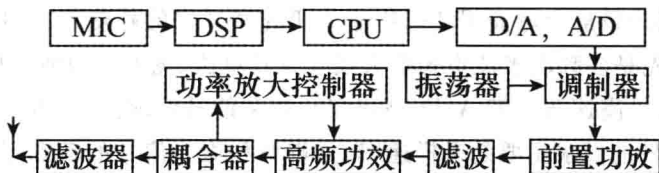


图 1-6 手持电话机发射部分组成框图

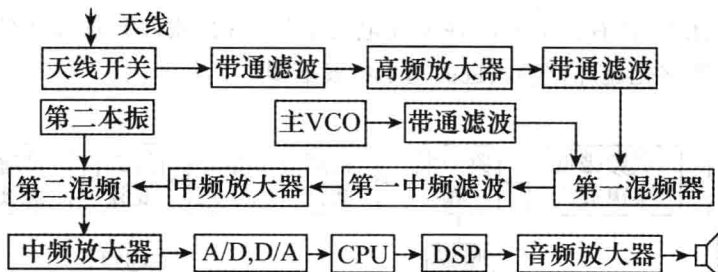


图 1-7 手持电话机接收部分组成框图

除了采用上述调幅方式外,还可采用调频等其他调制方式。但无论采用何种调制方式,发射机和接收机都必须包括上述各组成,其区别主要在于调制和解调器的方式不同。

1.1.5 软件无线电

随着微电子技术、数字信号处理技术和计算机技术的发展,无线电技术发生了根本性变化:从单工到双工通信,从模拟到数字通信,从固定到移动通信。而且通信体制和标准繁多,通信容量的迅速扩大与频率资源极度紧张之间的矛盾日趋激化,于是,第三代无线电通信正朝着数字化方向——软件无线电(software radio)发展,以解决上述矛盾。

软件无线电是在数字化技术的基础上发展起来的,由软件来确定和完成无线电通信机的功能。它将无线电通信从以硬件为主转变到以软件为主,使多频段、多模式、多信道、多协议、多速率和多功能通信成为可能,也使无线电通信摆脱硬件系统结构的束缚。这一技术最初是在军事通信中提出来的。为了使各兵种之间的通信具有协调、保密、机动、抗干扰和抗摧毁等功能,因而提出了采用软件实现通信的各种功能。它的主要思想是:以 DSP 和 CCPU 为核心,构造一个开放性、标准化、模块化的通用硬件平台,将信号的调制解调方式、频段和信道选择、数据格式、加密模式、通信协议、滤波等功能以及不同体制标准等,采用模块化的软件加载来实现,并使宽



带 A/D、D/A 尽可能靠近天线,利用 DSP 完成诸如放大、变频、解调和抗干扰等功能,使系统成为由软件定义的、模块化结构的、具有高灵敏度的、开放性的通信系统。

与目前的数字通信相比,软件无线电的主要特点是:通信的全过程充分数字化,完全可编程,程控多频多模转换和多种业务服务。其产品硬件更新可以像计算机升级换代一样简单;产品的软件开发和更新换代的成本低。由软件实现的系统各主要功能,更易于通过软件加载实现,也易于通过采用新的信号处理手段提高系统抗干扰性能和适应能力。

软件无线电已成为目前全球商用和民用通信研究和开发的新热点。但软件无线电也提出了新的技术问题,首先是多频段多波束智能天线阵及其算法、宽带射频前端技术,只能采用多频段组合式天线。其次是高速宽频带 A/D、高速实时数字信号处理技术、数字上、下变频技术,软件无线电对 ADC 器件的要求主要是采样速率、分辨率和输入信号的动态范围。第三项关键技术是 DSP 器件的处理速度问题,目前 TMS320C6000 系列产品的时钟速度可达到 1.1GHz,理想的软件无线电需要采用 DPS 完成 ADC 之后的数字信号处理过程,但上述 DSP 器件仍然不能胜任这一任务。此外,还有合适的软件无线电的系统结构、软件算法和通信协议等。图 1-8 所示为软件无线电数字化超外差接收机的基本组成框图。

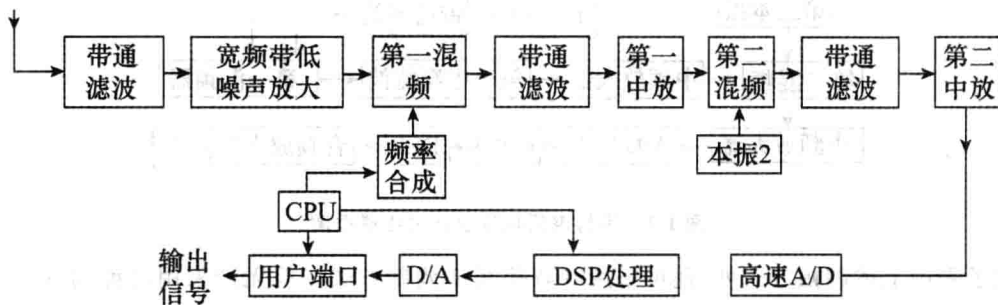


图 1-8 软件无线电数字化超外差接收机的基本组成框图

从图 1-8 可见,射频(RF)信号从天线接收,经过预选带通滤波器、宽频带低噪声放大器(LNA)、第一混频器、带通滤波器和第一中放后再二次混频,产生第二中频信号,通过带通滤波器和第二中放后的第二中频信号作为高速 A/D 的输入信号,此后,进行数字信号处理,最后输出所需的音频信号。软件无线电的独特优点是具有整体可编程性:射频频段可编程、信道访问模式可编程、信道编码可编程和调制方式可编程等,而且系统配置灵活,系统功能的增加或改变,只需要适当调整软件及接口功能等,而不需要重新设计系统,特别是硬件系统。由于器件的限制,高速 A/D 和 DSP 等目前只在中频段使用,随着技术的发展,将向射频段发展。

1.2 元件的高频特性与传输线

1.2.1 高频无源元件

1.2.1.1 高频电阻

一个实际的电阻器,在低频使用时主要表现为电阻特性,但在高频使用时不仅表现出电阻特性,而且还表现出电抗特性,电阻器的电抗特性反映的就是其高频特性。

电阻器的高频等效电路如图 1-9 所示,其中, C_R 为电阻器分布电容, L_R 为电阻器引线电感, R 为电阻。在低频时,由于信号频率比较低,分布电容和引线电感的作用都可忽略,电阻器为纯电阻 R ,但在高频时,由于分布电容和引线电感的影响增大,不能再忽略,所以,电阻器在高频时不仅呈现出电阻特性,而且呈现出电抗特性。分布电容和引线电感越小,电阻器越接近纯电阻特性,其高频特性越好。

电阻器高频特性的好坏与电阻体的材料、封装形式及尺寸大小有密切关系。一般来说,金属膜电阻比碳膜电阻的高频特性好,而碳膜电阻比线绕电阻的高频特性好;表面贴装(SMD)电阻比引线电阻的高频特性好,小尺寸的电阻比大尺寸的电阻高频特性好。频率越高,电阻器的电抗特性表现越明显。在实际应用中,应尽量减小电阻器电抗特性的影响。

1.2.1.2 高频电容

电容器的高频等效电路如图 1-10 所示。其中,电阻 R_C 表示极板间绝缘电阻,它是由于两极板间绝缘介质的非理想所致, L_C 为引线电感。在低频时,极板间绝缘电阻 R_C 可视为开路,电感 L_C 可视为短路,但高频时,它们的影响不能再忽略。由于在高频电路中常常使用片状电容和表面贴装技术,所以电感 L_C 可以忽略不计。

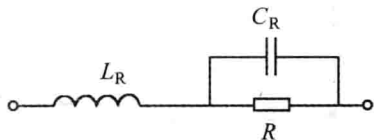


图 1-9 电阻器的高频等效电路

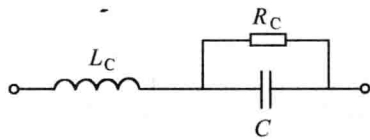


图 1-10 电容器的高频等效电路

1.2.1.3 高频电感

高频电感主要用作谐振元件、滤波元件和阻隔元件(称为高频扼流圈)。电感由导线绕制而成,又称电感线圈。电感是空心的或是有骨架的,也可以绕制成单层或多层。绕制高频电感的导线有一定的直流电阻,骨架也会引起额外的损耗,它们的影响用 R_L 表示。电感线圈的高频等效电路如图 1-11 所示。

由图 1-11 可见,电感器不仅具有电感特性,而且具有电阻特性,电阻 R_L 的阻值因趋肤效应随频率的升高而增大。趋肤效应是指随着频率的升高,流过导线的交流电流集中在导线表面的