



普通高等教育“十一五”国家级规划教材配套参考书

高频电子线路 第二版

辅导书

曾兴雯 刘乃安 陈 健 宫锦文 付卫红 编

 高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

高频电子线路 第二版

Gaopin Dianzi Xianlu Dierban

辅 导 书

Fudaoshu

曾兴雯 刘乃安 陈健 宫锦文 付卫红 编



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容简介

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材《高频电子线路》(第二版)的配套学习参考书,内容包括绪论、高频电路基础、高频谐振放大器、正弦波振荡器、频谱的线性搬移电路、振幅调制、解调与混频、角度调制与解调、反馈控制电路、高频电路新技术和系统分析与设计等,并给出了几套模拟考试题。各章均包括本章主要内容、重点与难点、典型例题分析和自测题。

本书不仅可以作为通信工程、电子信息工程及其他相关专业本科生的学习辅导书,也可作为有关工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

高频电子线路(第二版)辅导书/曾兴雯等编. —北京:高等教育出版社,2011.6

ISBN 978-7-04-031912-5

I. ①高… II. ①曾… III. ①高频-电子线路-高等学校-教学参考资料 IV. ①TN710.2

中国版本图书馆 CIP数据核字(2011)第 083978号

策划编辑 吴陈滨 责任编辑 吴陈滨 封面设计 于文燕 版式设计 余 杨
插图绘制 尹 莉 责任校对 殷 然 责任印制 张泽业

出版发行	高等教育出版社	咨询电话	400-810-0598
社 址	北京市西城区德外大街4号	网 址	http://www.hep.edu.cn
邮政编码	100120		http://www.hep.com.cn
印 刷	三河市春园印刷有限公司	网上订购	http://www.landaco.com
开 本	787×960 1/16		http://www.landaco.com.cn
印 张	19.25	版 次	2011年6月第1版
字 数	360 000	印 次	2011年6月第1次印刷
购书热线	010-58581118	定 价	28.30元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换

版权所有 侵权必究

物料号 31912-00

前 言

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材《高频电子线路》(第二版)的配套学习参考书,也是在普通高等教育“十五”国家级规划教材配套参考书《高频电子线路辅导书》的基础上编写的。在内容上与《高频电子线路》(第二版)教材的内容相对应,包括绪论、高频电路基础、高频谐振放大器、正弦波振荡器、频谱的线性搬移电路、振幅调制、解调与混频、角度调制与解调、反馈控制电路、高频电路新技术和系统分析与设计等,并给出了几套模拟考试题。在指导思想、编写原则和形式上与《高频电子线路辅导书》相同,各章仍包括本章的主要内容、重点与难点、典型例题分析和自测题。通过这些内容的学习,读者可以获得该章内容主要知识点的主线,弄清本章的关键问题、重点和难点。通过典型例题的分析,读者可以对一些关键问题有一个清楚的认识,掌握分析问题和解决问题的思路和方法,并对课程内容进一步融会贯通。通过自测题和模拟考试题可以检验学习的效果和对内容的理解程度。我们希望并相信,本书将会给学习“高频电子线路”课程的读者起到较好的指导和帮助作用。

与《高频电子线路辅导书》相比,本书主要在以下几方面做了改动:

1. 针对教材第一章绪论中的较大变化,辅导书从主要内容、重点与难点等方面做了较大程度的改变。
2. 针对第二章至第八章中相对于第一版教材的变化内容,从主要内容、重点与难点、典型例题分析和自测题等多方面进行了修改。
3. 将教材选讲或自学的第九章和第十章的内容合并,称为第九章“高频电路新技术和系统分析与设计”。由于本章内容主要属于了解性质,因此只有“主要内容”、“重点与难点”两节。
4. 增加了部分典型例题和模拟考试题。

参加本书编写的有曾兴雯、刘乃安、陈健、宫锦文和付卫红。刘乃安编写了第一、二、七、九章,陈健编写了第三、四章,曾兴雯编写了第五、六章,宫锦文编写了第八章,付卫红编写了自测题和模拟考试题,曾兴雯和刘乃安对全书进行了统稿。

在编写过程中得到了西安电子科技大学通信工程学院同仁和本课程组教师的帮助和支持,在此表示感谢。感谢高等教育出版社对本书出版的支持和帮助。

由于作者水平有限,本书中难免有不妥和错误之处,恳请读者批评指正。

编者

2011年1月于西安电子科技大学

目 录

第一章 绪论	1
第一节 主要内容	1
第二节 重点与难点	8
第三节 典型例题分析	9
第四节 自测题	10
第二章 高频电路基础	12
第一节 主要内容	12
第二节 重点与难点	23
第三节 典型例题分析	25
第四节 自测题	33
第三章 高频谐振放大器	35
第一节 主要内容	35
第二节 重点与难点	49
第三节 典型例题分析	51
第四节 自测题	61
第四章 正弦波振荡器	66
第一节 主要内容	66
第二节 重点与难点	77
第三节 典型例题分析	79
第四节 自测题	89
第五章 频谱的线性搬移电路	96
第一节 主要内容	96

第二节	重点与难点	106
第三节	典型例题分析	109
第四节	自测题	116
第六章	振幅调制、解调与混频	119
第一节	主要内容	119
第二节	重点与难点	136
第三节	典型例题分析	139
第四节	自测题	165
第七章	角度调制与解调	177
第一节	主要内容	177
第二节	重点与难点	187
第三节	典型例题分析	191
第四节	自测题	204
第八章	反馈控制电路	210
第一节	主要内容	210
第二节	重点与难点	227
第三节	典型例题分析	230
第四节	自测题	244
第九章	高频电路新技术和系统分析与设计	247
第一节	主要内容	247
第二节	重点与难点	254
附件一	模拟考试题一	256
附件二	模拟考试题二	259
附件三	模拟考试题三	263
附件四	模拟考试题四	266
附件五	模拟考试题一答案	271

附件六	模拟考试题二答案	274
附件七	模拟考试题三答案	277
附件八	模拟考试题四答案	280
附件九	部分自测题参考答案	288

第一章

绪 论

第一节 主要内容

“高频电子线路”是无线通信系统的重要基础之一,本章介绍与高频电路有关的无线通信设备与系统、无线电信号与调制,以及高频电子线路的特点。

一、无线通信系统概述

1. 无线通信系统组成

(1) 电信与无线通信

通信的目的与任务是传递消息。消息的类型很多,传输消息的方法也很多,现代通信大多以电(或光)信号的形式出现,因此,通常称作电信。传输电信号的媒质(或介质)可以是有线的,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。

(2) 无线通信系统的组成

无线通信,或称无线电通信的类型也很多,可以根据传输方法、频率范围、用途等来分类。不同的无线通信系统,其设备组成和复杂度虽然有较大差异,但其电路的基本组成相差不大,主要由发送链路和接收链路两大部分电路组成,如图1-1所示。

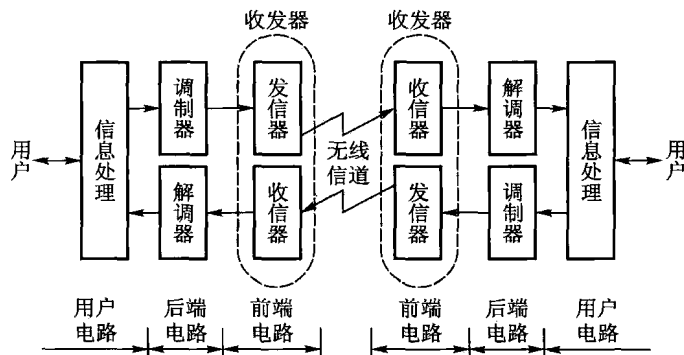


图 1-1 典型双向无线通信组成示意图

图 1-1 中发送链路和接收链路都由前端电路、后端电路和用户电路三部分组成。用户电路属于信源和信宿设备,用来产生或接收信息,如语音通信的话筒将声音变换为电信号,扬声器将接收到的电信号变换为声音。发送端用户电路的这种变换是将信源产生的原始信息变换成电信号,而这一信号的频谱通常靠近零频附近,属于低频信号,称为基带(baseband)信号。基带信号可以是模拟的、脉冲式的或数字式的信号,但只是对原始信息的直接映射,没有附加任何信息。基带信号对于传输系统的设计者来说通常都具有不可预知的特性。为了压缩信息带宽,可以对此基带信号进行信源编码。不同的通信业务,有不同的用户电路。用户电路及其相关低频电路不是本书讨论的内容。

后端电路对信号的处理通常是调制(modulation)和解调(demodulation)。发送链路中的调制,是将基带信号变换成适合在信道中传输的信号形式。调制后的信号称为已调信号(modulated signal),相应地,没有进行调制之前的基带信号也可称为调制信号(modulating signal)。已调信号通常为射频或高频的带通信号,但也可以在基带上实现数字调制或星座映射。调制时还需要一个高频振荡信号,称为载波(carrier),它可由高频振荡器(oscillator)或频率合成器(frequency synthesizer)产生。实现调制的电路称为调制器(modulator)。在接收链路中,将接收到的已调信号变换(恢复)为基带信号的过程称为解调(demodulation),把实现解调的部件称为解调器(demodulator)。解调时一般也需要一个本地的高频振荡信号,称为恢复载波(或插入载波)。有时将收发设备中的调制器和解调器合称为调制解调器(modem)。

前端电路主要包括发射机(发信机)、接收机(收信机)、天线和馈线(有时将直接调制的调制器也归于前端电路),以及一些辅助或支持电路等。由于前端电路一般工作于射频(高频),因此,前端电路通常称为射频前端或射频收发器(收发信机)。发信器将调制后的信号变换到频率较高的载波上,使所传送信号的时域和频域的特性更好地满足信道的要求,与信道特性相匹配。收信器将动态范围很宽的射频信号由高频变换到适宜处理的较低频率。收信器接收到的是高频、小信号、大动态范围和低信噪比的信号,因此,收信器通常采用高精度的滤波器、低噪声放大器和混频器等模拟电路。天线用来实现射频信号的有效辐射与接收。在前端电路中进行复杂的频率变换的目的,除了方便实现干扰抑制、电平变换之外,最主要的就是在天线尺寸合理的条件下得到足够高的辐射和接收效率。

(3) 射频前端结构

典型的射频前端电路框图如图 1-2 所示。其中,射频前端电路主要完成调制与解调、功率放大、低噪声放大、载波或本振的产生和频率变换等功能,是射频部分的核心,也是系统设计中的重要内容,决定着系统的性能和实现代价。

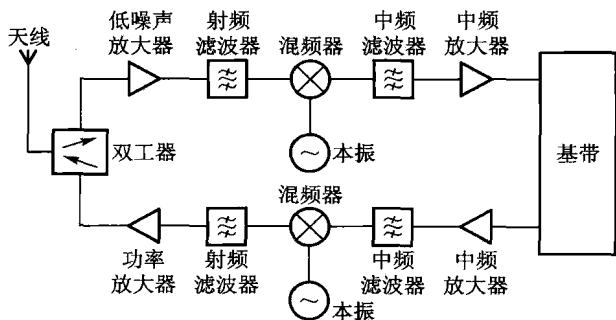


图 1-2 典型的射频前端电路框图

发射机主要完成调制、上变频、功率放大和滤波等功能。根据调制和上变频是否合二为一,发射机结构分为直接变换结构和两次变换结构两种方式,在每种方式中也都可以采用单通道调制和双通道正交调制方式。直接变换结构就是调制和上变频在一个电路里完成(通常在射频上),实现比较简单,但发射后的强信号会泄漏或反射回来影响本地振荡或载波的稳定。两次变换结构将调制和上变频(或倍频)分开进行,可避免这一缺点。图 1-3 为发射机典型的两次变换结构框图。

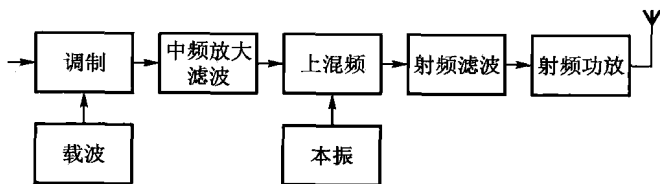


图 1-3 发射机典型的两次变换结构框图

接收机的任务是有选择地放大空中微弱电磁信号,将非所需信号和噪声排除在外,并经解调恢复出有用信息,而且要尽可能地提高输出基带信号的信噪比,以保证信息的质量。接收机结构主要有超外差式(Super Heterodyne)、镜频抑制式、直接变换式(Direct Conversion)或零中频式(Zero IF)和数字中频式(Digital IF)以及软件无线电(Software Radio)结构等几种,长期以来,超外差式接收机都是接收系统的主流方式。图 1-4 是一种一次变频结构的超外差接收机组成框图。

在无线通信系统中通常需要某些反馈控制电路。这些反馈控制电路主要是自动增益控制(AGC)或自动电平控制(ALC)电路、自动频率控制(AFC)电路和

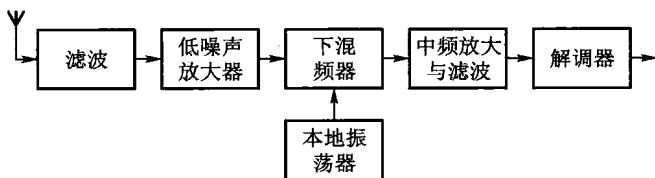


图 1-4 一次变频结构的超外差式接收机组成框图

自动相位控制 (APC) 电路 (也称锁相环 PLL) 以及频率合成器 (FS)。

2. 无线通信系统的类型

按照无线通信系统中关键部分的不同特性,可以分为以下几种类型:

(1) 按照工作频段或传输手段分类,有中波通信、短波通信、超短波通信、微波通信和卫星通信等。

(2) 按照通信方式来分类,主要有(全)双工、半双工和单工方式。所谓单工通信,指的是只能发或只能收的方式;半双工通信是一种既可以发也可以收但不能同时收发的通信方式;而(全)双工通信是一种可以同时收发的通信方式。

(3) 按照调制方式的不同来划分,有调幅、调频、调相以及混合调制等。

(4) 按照传送消息的类型分类,有模拟通信和数字通信,也可以分为话音通信、图像通信、数据通信和多媒体通信等。

3. 无线通信系统的要求和技术指标

无线通信系统的基本特性主要是有效性和可靠性两方面,有效性就是指空间、时间、频率的利用率,主要用传输距离和通信容量(信道容量)指标来衡量;而可靠性主要用失真度、误码率、抗干扰能力等指标衡量。

传输距离是指信号从发送端到达接收端并能被可靠接收的最大距离,它与采用的通信体制和是否中继有关。在无中继的情况下,传输距离取决于发送端的信号功率、信号通过信道的损耗、信号通过信道混入的各种形式的干扰和噪声以及接收机的接收灵敏度。通信容量是指一个信道能够同时传送独立信号的路数或信道速率。影响信道容量的因素包括已调信号所占有的频带宽度、系统采用的调制方式、信道条件(信噪比和信干比)和信道的复用(多址)方式以及网络结构等。

信号失真度指的是接收设备输出信号不同(失真)于发送端基带信号的程度。产生信号失真的原因主要包括信道特性不理想和对信号进行处理的电路(发送与接收设备)特性不理想。信号通过信道时,总要混入各种形式的干扰和噪声,使接收机输出信号的质量下降。通信系统抵抗这种干扰的能力称为通信系统的抗干扰能力。提高通信系统抗干扰能力的技术主要包括技术体制中采用的抗干扰措施、系统设计中提高抗干扰能力和选用高质量的调制和解调电路等

几方面。

二、无线电信号与调制

通信中用到的无线电信号主要分三种:消息信号(基带)、高频载波信号和已调信号。前者通常为低频信号,后两者通常属于高频信号。

1. 电磁波波谱与无线电波频段划分

自然界中存在的电磁波的波谱很宽,从 0 Hz 到约 10^{30} Hz。而无线电波只是一种频率比较低(或波长比较长)的电磁波,占据的频率范围也比较宽,大约在 30 Hz ~ 300 GHz 之间。

在自由空间中,波长与频率存在以下关系:

$$c = f\lambda \quad (1-1)$$

式中: c 为光速, f 和 λ 分别为无线电波的频率和波长。

注意:无线电波的频率是一种不可再生的重要资源。

对频率或波长进行分段,分别称为频段或波段。表 1-1 为无线电波的频(波)段的划分表。

表 1-1 无线电波的频(波)段划分表

波段名称	波长范围	频率范围	频段名称	主要传播方式和用途	
长波(LW)	$10^3 \sim 10^4$ m	30 ~ 300 kHz	低频(LF)	地波;远距离通信	
中波(MW)	$10^2 \sim 10^3$ m	300 kHz ~ 3 MHz	中频(MF)	地波、天波;广播、通信、导航	
短波(SW)	10 ~ 100 m	3 ~ 30 MHz	高频(HF)	天波、地波;广播、通信	
超短波(VSW)	1 ~ 10 m	30 ~ 300 MHz	甚高频(VHF)	直线传播、对流层散射;通信、电视广播、调频广播、雷达	
微波	分米波(USW)	10 ~ 100 cm	300 MHz ~ 3 GHz	特高频(UHF)	直线传播、散射传播;通信、中继与卫星通信、雷达、电视广播
	厘米波(SSW)	1 ~ 10 cm	3 ~ 30 GHz	超高频(SHF)	直线传播;中继和卫星通信、雷达
	毫米波(ESW)	1 ~ 10 mm	30 ~ 300 GHz	极高频(EHF)	直线传播;微波通信、雷达

注意:表 1-1 中关于频段、传播方式和用途的划分是相对而言的,相邻频段间无绝对的分界线。不同频段信号的产生、放大和接收的方法不同,传播的能力和方式也不同,因而它们的分析方法和应用范围也不同。

2. 无线电信号的特性

(1) 时间特性

时间特性指信号随时间变化快慢的特性,通常用时域波形或数学表达式(电压或电流)来表示。信号的时间特性要求传输该信号的电路的时间特性(如时间常数)与之相适应。

(2) 频谱特性

任何形式的信号都可以分解为许多不同频率、不同幅度的正弦信号之和。谐波次数越高,幅度越小,影响越小。频谱特性包括幅频特性和相频特性两部分,它们分别反映信号中各个频率分量的振幅和相位的分布情况。任何信号都会占据一定的带宽。带宽就是从频谱特性上看,信号能量主要部分(一般为 90% 以上)所占据的频带。不同的信号,其带宽不同。射频(“高频”的广义语,指适合无线电发射传播的频率)频率越高,可利用的频带宽度就越宽,从而可以容纳更多的信号。这是无线通信采用高频的原因之一。从频谱特性也可看出信号中各频率分量的功率分布。

(3) 传播特性

传播特性指的是无线电信号的传播方式、传播距离、传播特点等。不同频段的无线电信号,其传播特性不同。

传播方式主要有直射(视距)传播、绕射(地波)传播、折射和反射(天波)传播及散射传播等。决定传播方式和传播特点的关键因素是无线电信号的频率。

长波信号以地波绕射为主;中波和短波信号可以以地波和天波两种方式传播,不过,前者以地波传播为主,后者以天波(反射与折射)为主;超短波以上频段的信号大多以直射方式传播,也可以采用对流层散射的方式传播。

需要强调说明,无线电传播一般都要采用高频(射频)的另一个原因就是高频适于天线辐射和无线传播。只有当天线的尺寸大到可以与信号波长相比拟时,天线的辐射效率才会较高,这也是为什么要把低频的调制(基带)信号调制到较高的载频上的原因之一。

(4) 调制特性

要通过载波传送消息,就必须使载波信号的某一个(或几个)参数(振幅、频率或相位)随消息信号改变,这一过程就称为调制。

三种基本调制方式是振幅调制(调幅)、频率调制(调频)、相位调制(调相),分别用 AM、FM、PM 表示。还可以有组合调制方式。当用数字消息信号进行调制时,通常称为键控,三种基本的键控方式为振幅键控(ASK)、频移键控

(FSK)和相移键控(PSK)。

一般情况下,高频载波为单一频率的正弦波,对应的调制为正弦调制。若载波为一脉冲信号,则称这种调制为脉冲调制。“高频电子线路”课程中主要讨论模拟消息(调制)信号和正弦载波的模拟调制。但这些原理甚至电路完全可以推广到数字调制中去。

调制也可以实现信道复用,提高信道利用率。不同的调制信号和不同的调制方式,调制特性不同。

三、本课程的特点

1. 高频

频率高的射频信号会产生许多低频信号所没有的效应,主要是分布参数、集肤效应和辐射效应。集总参数元件是指一个独立的局域性元件,能够在一定的频率范围内提供特定的电路性能。而随着频率提高到射频,任何元器件甚至导线都要考虑分布参数效应和由此产生的寄生参数,如导体间、导体或元件与地之间、元件之间的杂散电容,连接元件的导线的电感和元件自身的寄生电感等。由于分布参数元件的电磁场分布在附近空间,其特性会受到周围环境的影响,分析和设计都相当复杂。集肤效应是指当频率升高时,电流只集中在导体的表面,导致有效导电面积减小,交流电阻可能远大于直流电阻,从而使导体损耗增加,电路性能恶化。辐射是指信号泄漏到空间中,这就使得信号源或要传输的信号的能量不能全部输送到负载上,产生能量损失和电磁干扰。辐射还会引起一些耦合效应,使得高频电路的设计、制作、调试和测量等都非常困难。此外,射频电路的输入输出阻抗一般情况下都是相当低的,大部分射频电路与设备的典型阻抗是 $50\ \Omega$ 。因此,在射频电路与系统的分析与设计时,一定要重视阻抗匹配问题,并要考虑噪声和损耗问题。

2. 非线性

高频电子线路的核心内容和绝大部分电路都属于非线性电路,非线性电路在无线通信中主要用来完成频谱变换功能,如混频、倍频、调制与解调等。

所有包含非线性器件的电子线路都是非线性电路,但在不同的使用条件下,非线性器件所表现的非线性程度是不同的。比如对于高频小信号放大器,由于输入的信号足够小,而又要求不失真放大,因此,其中的非线性器件可以用线性等效电路表示,分析方法也可用线性电路的分析方法。

对非线性器件的描述通常用多个参数,如直流跨导、时变跨导和平均跨导,而且大部分与控制变量有关。器件的非线性会产生变频压缩、交调、互调等非线性失真,它们将影响收发信机的性能。在分析非线性器件对输入信号的响应时,不能采用线性电路中行之有效的叠加原理,而必须求解非线性方程(包括代数

方程和微分方程)。对非线性电路进行严格的数学分析不仅非常困难,而且没有十分的必要。在实际中,一般都采用计算机辅助设计(CAD)的方法进行辅助分析。在工程上也往往根据实际情况对器件的数学模型和电路的工作条件进行合理的近似,以使用简单的分析方法(如折线近似法、线性时变电路分析法、开关函数分析法等)获得具有实际意义的结果,而不必过分追求其严格性。这也是学习本课程的困难所在。

3. 基本概念、基本原理、基本分析方法、基本电路多

高频电子线路中涉及的概念很多,能够实现的功能和单元电路也很多,实现每一种功能的电路形式更是千差万别,分析的方法也不尽相同。因此,在学习时,要抓住各种电路之间的共性,洞悉各种功能之间的内在联系,掌握以上“四个基本”。

4. 工程实践性与系统性

本课程的一个最大特点就是工程实践性。要牢固树立这个观念,高度重视实验环节,坚持理论联系实际,在实践中积累丰富的经验。同时,注意高频电路的特殊性,如耦合、屏蔽与滤波等。高频电子线路的内容包括单元电路和系统设计,在对单元电路进行分析、设计时要有系统观,要从整个系统的角度来考虑要求和指标。各单元电路之间的关联性可通过系统来实现。这也是在学习时要牢记的观念。

此外,要熟练掌握先进的高频电子线路工具,可以采用EDA软件进行设计、仿真分析和电路板制作,甚至可以做电磁兼容的分析和实际环境下的仿真。

第二节 重点与难点

一、本章的重点

本章的重点内容是无线通信系统的组成与工作原理、无线电波的频段划分与“高频”的含义和无线电波的传播特性。

1. 无线通信系统的组成与工作原理

典型的无线通信系统由发射机和接收机组成,其工作原理如图1-1所示。从中可以看出高频电子线路的主要研究内容。

2. 无线电波的频段划分

表1-1详细列出了无线电波的频段划分情况,包括频段名称、频率(波长)范围、主要传播方式和用途,需要重点掌握。

“高频”是一个相对的概念,表1-1中的“高频”指的是短波频段,其频率范围为3~30 MHz,这只是“高频”的狭义解释。而广义的“高频”指的是射频(RF,

Radio Frequency),其频率范围非常宽。只要电路尺寸比工作波长小得多,仍可用集中参数来分析实现,都可认为属于“高频”范围。就目前的技术水平来讲,“高频”的上限频率可达微波频段(如3 GHz)。

3. 无线电波的传播特性

决定传播方式和传播特点的关键因素是无线电信号的频率。传播方式主要有直射(视距)传播、绕射(地波)传播、折射和反射(天波)传播及散射传播等。每种传播方式适宜的频段、传播距离、传播衰减、稳定性等是不同的。

二、本章的难点

本章的难点不多,主要是不同的接收机结构及其特点、高频与射频的分析方法。

1. 对于传统的超外差结构,中频比信号载频低得多,因此在中频上实现对有用信号的选择要比在载频上选择对滤波器 Q 值的要求低得多,容易实现稳定的高增益放大,同时也便于解调或A/D变换。超外差结构的最大缺点就是组合干扰频率点多,特别是对于镜像频率干扰的抑制颇为麻烦,因此出现了多种镜频抑制接收方案。数字中频结构就是将混频后的中频信号正交数字化,然后进行数字解调。数字中频接收的最大优点就是可以共享RF/IF模块,由于解调和同步均采用数字化处理,灵活方便,也便于产品的集成和小型化。但是,在宽带通信中,需要选用高速的A/D变换器、宽带采样保持电路以及速度足够快的数字处理芯片。直接变换结构就是让本地振荡频率等于载频,使中频为零(因此也称为零中频结构),也就不存在镜像频率,从而也就避免了镜频干扰的抑制问题。另外,直接变换结构中射频部分只有高放和混频器,增益低,易满足线性动态范围的要求;由于下变频后为低频基带信号,只需用低通滤波器来选择信道即可,省去了价格昂贵的中频滤波器,也便于电路的集成。但是,直接变换结构也存在着本振泄漏、直流偏移、两支路平衡与匹配问题等缺点。

2. 不同频段的信号具有不同的分析与实现方法,对于米波以上(含米波, $\lambda \geq 1$ m)的信号通常用集总(中)参数的方法和“路”的概念来分析,而对于米波以下($\lambda < 1$ m)的信号一般应用分布参数的方法和“场”的概念来分析。对应地,上述“高频”信号可用电路来实现,称为“高频电路”,频率很高的微波信号要用“场”来研究与实现。

第三节 典型例题分析

例 1-1 在无线通信中为什么要采用高频载波调制传输?