

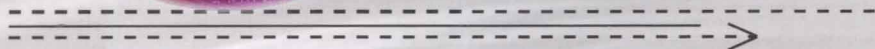
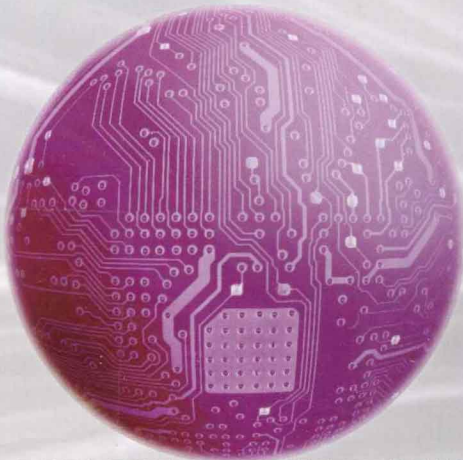


普通高等教育电子信息类专业“十二五”规划系列教材

高频电子线路



主编 ◎ 栾华东 李道清



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

普通高等教育电子信息类专业“十二五”规划系列教材

高频电子线路

主 编	栾华东	李道清	
副主编	叶玉杰	陈振云	羊梅君
参 编	谢永红	赵文昌	陈 亮

华中科技大学出版社

中国·武汉

内 容 简 介

本书是普通高等教育电子信息类专业“十二五”规划系列教材之一,主要讨论用于各种电子信息系统和通信系统中的高频电子线路。其主要内容包括:绪论,高频电路基础,高频谐振放大器,正弦波振荡器,振幅调制、解调及混频,频率调制及解调,反馈控制电路,高频电子线路的应用等。每章有例题和实用电路的分析,每章后还有配套的思考题和习题。

本书可以作为高等院校通信工程、电子信息工程等专业的教材和参考书,也可作为相应专业的工程技术人员参考书。

图书在版编目(CIP)数据

高频电子线路/栾华东 李道清 主编. —武汉:华中科技大学出版社,2013.8
ISBN 978-7-5609-8989-1

I. 高… II. ①栾… ②李… III. 高频-电子电路-高等学校-教材 IV. TN710.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 102664 号

高频电子线路

栾华东 李道清 主编

策划编辑:谢燕群 范莹

责任编辑:余涛

封面设计:李嫒

责任校对:马燕红

责任监印:周治超

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)81321915

录排:武汉市洪山区佳年华文印部

印刷:武汉科源印刷设计有限公司

开本:787mm×1092mm 1/16

印张:13.25

字数:338千字

版次:2013年8月第1版第1次印刷

定价:27.80元



本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

前言

Preface



“高频电子线路”是高等院校电子信息工程和通信工程专业重要的专业核心基础课程,是学习后续相关专业课程以及今后从事实际工作所必需的技术基础。

随着电子技术的高速发展和 21 世纪对高素质应用型人才的培养需求,高等教育和课程建设必须与之相适应。本教材正是在这样的前提下,根据教学改革与教学实践的需要而编写的。编者在总结多年教学实践经验和参阅大量教材资料的基础上,从整体结构和具体内容上进行了相应的调整和提炼,尽量满足教学实践的要求,力争做到深入浅出,易于学习和掌握。强调培养学生的专业素质,培养学生的工程实践能力,培养学生的创新意识。突出“定性分析、近似计算、实验调试”的工程应用模式,以分立元件电路的原理分析为基础,以现代集成电路的应用为前瞻,尽量减少过深的定量计算,较多地联系生活实际和工程实际应用,提高学生的学习兴趣和学习效率,达到举一反三的目的。

本教材的主要内容包括:绪论,高频电路基础,高频谐振放大器,正弦波振荡器,振幅调制、解调及混频,频率调制及解调,反馈控制电路,高频电子线路的应用等。尤其是第八章,针对当前学生学习高频电子线路课程的问题,进行了有针对性的综合培训,增加了读图训练等综合实际应用内容,为学生后续的专业课程的学习和胜任今后的实际工作打下了较好基础。

本书由武昌工学院栾华东、李道清担任主编,完成全书的结构设计、修改和定稿工作。江汉大学文理学院叶玉杰、华中科技大学文华学院陈振云、华南理工大学广州学院羊梅君、华南理工大学广州学院谢永红、云南大理学院赵文昌、武昌工学院陈亮参与了本书的编写工作。本书的出版得到华中科技大学出版社的大力帮助,编写中参阅了有关作者的教材和文献资料,在此一并致以诚挚的感谢!

由于编者的能力和水平所限,书中难免有疏漏、欠妥和错误之处,恳请各界读者多加指正,以便今后不断改进。

编者

2013 年 6 月于武昌工学院

目录 Content



第1章 绪论	(1)
1.1 通信系统概述	(1)
1.1.1 通信系统的组成	(1)
1.1.2 通信系统的分类与特点	(3)
1.1.3 通信系统中信号的特性	(3)
1.2 无线电波段的划分	(5)
1.2.1 一般波段的划分	(6)
1.2.2 常见实用波段的划分	(6)
1.2.3 无线电波的传播特性	(7)
1.3 本课程的特点及学习方法	(7)
1.3.1 高频电子线路的内容	(7)
1.3.2 高频电子线路的学习方法	(7)
思考题与习题	(8)
第2章 高频电路基础	(9)
2.1 高频电路中的元器件	(9)
2.1.1 高频电路中的元件	(9)
2.1.2 高频电路中的有源器件	(10)
2.2 高频电路中的基本电路	(12)
2.2.1 高频谐振回路	(12)
2.2.2 高频变压器和传输线变压器	(20)
2.2.3 高频集中滤波器	(23)
2.2.4 高频衰减器和高频匹配器	(27)
思考题与习题	(29)
第3章 高频谐振放大器	(30)
3.1 高频小信号谐振放大器	(30)
3.1.1 高频小信号谐振放大器的工作原理	(30)
3.1.2 高频小信号谐振放大器的性能	(31)
3.1.3 双调谐回路放大器及多级放大器	(33)
3.1.4 高频小信号谐振放大器的稳定性	(34)
3.1.5 集中选频小信号放大器	(36)
3.2 高频谐振功率放大器	(39)
3.2.1 高频谐振功率放大器的工作原理	(40)
3.2.2 谐振功率放大器的工作状态及外部特性	(43)

3.2.3 高频功率放大器的电路组成	(46)
3.2.4 高频功率放大器的特殊电路	(48)
思考题与习题	(52)
第4章 正弦波振荡器	(54)
4.1 反馈式振荡器的工作原理	(54)
4.1.1 从谐振放大器到自激振荡器	(54)
4.1.2 反馈式振荡器的组成	(55)
4.1.3 振荡器的振荡条件	(55)
4.2 LC 正弦波振荡器	(57)
4.2.1 互感耦合振荡器	(57)
4.2.2 LC 三端式振荡器	(58)
4.2.3 石英晶体振荡器	(63)
4.3 振荡器的频率稳定度	(65)
4.3.1 频率稳定度的定义	(65)
4.3.2 振荡器频率不稳定的原因	(66)
4.3.3 频稳的措施	(67)
4.4 LC 振荡器的设计	(68)
思考题与习题	(69)
第5章 振幅调制、解调及混频	(71)
5.1 概述	(71)
5.1.1 调制的定义与分类	(71)
5.1.2 振幅调制的分类	(71)
5.2 振幅调制的性质	(72)
5.2.1 振幅调制信号的分析及特性	(72)
5.2.2 调幅电路组成模型	(76)
5.2.3 振幅调制的电路	(77)
5.3 调幅信号的解调	(91)
5.3.1 调幅信号解调的概念与方法	(91)
5.3.2 二极管包络检波器	(93)
5.3.3 同步检波电路	(99)
5.4 混频器	(102)
5.4.1 混频器的原理及方法	(103)
5.4.2 混频电路	(104)
5.5 混频器的干扰	(107)
5.5.1 信号与本振的组合频率干扰	(108)
5.5.2 寄生通道干扰	(109)
5.5.3 交调干扰	(109)
5.5.4 互调干扰	(110)
5.5.5 包络失真和阻塞失真	(110)
5.6 调制、解调及混频电路的实用电路	(110)

5.6.1 集成模拟乘法器实用电路介绍	(110)
5.6.2 各种滤波器的应用	(111)
思考题与习题	(113)
第 6 章 频率调制及解调	(118)
6.1 角度调制概述	(118)
6.1.1 角度调制的定义	(118)
6.1.2 调相波的性质	(118)
6.1.3 调频波的性质	(119)
6.1.4 单音调频和调相波的性质	(120)
6.2 调频频谱的性质	(121)
6.2.1 贝塞尔函数曲线	(121)
6.2.2 调频波的带宽	(122)
6.2.3 调频波和调幅波的比较	(124)
6.3 调频的方法及电路	(124)
6.3.1 调频的方法	(124)
6.3.2 直接调频电路	(125)
6.3.3 实用调频电路	(128)
6.4 调频信号的解调	(131)
6.4.1 鉴频的基本概念	(131)
6.4.2 调频波解调的基本方法	(132)
6.5 相位鉴频器	(133)
6.5.1 频相变换网络	(133)
6.5.2 鉴相器	(136)
6.5.3 互感耦合回路相位鉴频器	(139)
6.5.4 比例鉴频器	(141)
6.5.5 集成相位鉴频器	(143)
6.6 振幅鉴频器	(146)
6.6.1 失谐回路振幅鉴频器	(146)
6.6.2 差分峰值振幅鉴频器	(148)
6.7 正交鉴频器	(149)
6.7.1 基本原理	(149)
6.7.2 集成正交鉴频器	(150)
思考题与习题	(152)
第 7 章 反馈控制电路	(155)
7.1 概述	(155)
7.2 自动增益控制电路	(156)
7.2.1 AGC 电路的工作原理	(156)
7.2.2 自动增益控制电路	(157)
7.2.3 AGC 电路的性能指标	(158)
7.3 自动频率控制电路	(159)

7.3.1 AFC 电路的工作原理	(159)
7.3.2 应用	(159)
7.3.3 AFC 电路的性能指标	(160)
7.4 锁相环	(160)
7.4.1 锁相环的工作原理	(161)
7.4.2 锁相环的基本环路方程	(162)
7.4.3 锁相环的性能分析及其性能指标	(166)
7.4.4 锁相环路的应用	(173)
7.5 频率合成器	(175)
7.5.1 频率合成器及其技术指标	(175)
7.5.2 锁相频率合成器	(181)
7.5.3 集成锁相环频率合成器的应用	(184)
思考题与习题	(189)
第 8 章 高频电子线路的应用	(191)
8.1 电子线路的读图(识图)训练	(191)
8.1.1 电路原理图	(191)
8.1.2 电路安装图(印制电路板图)	(192)
8.1.3 逻辑电路图	(192)
8.2 实际高频电子线路的应用实例	(192)
8.3 高频整机电路的分析	(197)
8.3.1 输入电路部分	(197)
8.3.2 高频谐振放大器部分	(199)
8.3.3 本机振荡部分	(199)
8.3.4 混频器电路部分	(199)
附录 余弦脉冲分解系数表	(201)
参考文献	(204)

第 1 章 绪论



1.1 通信系统概述

1.1.1 通信系统的组成

1. 通信系统的一般组成

通信的任务就是传递各种信息(包括语音、图像和数据等),传输信息的系统称为通信系统。高频电子线路广泛应用于国民经济、国防建设和人们的日常生活之中,通信系统中的各种设备主要由各种高频电子线路组成。

任何一个通信系统,都是完成从信息源到信息宿传递信息的系统。通信系统是指实现这一通信过程的全部技术设备和通信器件的总和。通信系统种类繁多,其组成的设备和实现的业务功能可能各不相同,但其组成结构基本相同,如图 1-1 所示。



图 1-1 通信系统组成方框图

信息源是指要传送的原始信息,如文字、数据、语音、音乐、图像等,一般是非电量。非电量信号可经输入变送器变换为电信号(例如,被传输的声音信息就需先经声-电换能器——话筒,变换为相应的电信号)。如果输入信息本身就是电信号(如计算机输出的二进制信号),则可以直接送到发送设备。

发送设备是将电信号变换为适应于信道传输特性的信号的一种装置。

信道即传输信息的通道或传输信号的通道。概括起来,信道有两种,即有线信道和无线信道。有线信道包括架空明线、电缆、光缆等,无线信道可以是传输无线电波的自由空间,如地球表面的大气层、水、地层及宇宙空间等。

噪声源是指信道中的噪声及分散在通信系统中其他各处噪声的集中表示。

接收设备的功能与发送设备的相反,它是将经信道传输后接收到的信号恢复成与发送设备输入的信号相一致的一种装置。

收信装置是将电信号还原成原来信息的一种装置。例如,电信号通过扬声器(喇叭)或耳机还原成原来的声音信号(语音或音乐)。

被传输的其他信息(如文字、音乐、图像、数据等),也是先设法变换为相应的电信号,然后由上述通信系统来实现各种不同信息的传输的。

根据信息传输的方式,通信可以分为两大类:无线通信和有线通信。如果电信号是依靠电磁波传送的,则称为无线通信;如果电信号是依靠导线(架空明线、电缆、光缆等)传送的,则称为有线通信。

2. 调幅发射系统的组成

图 1-2 所示的为无线电广播调幅发射系统方框图。

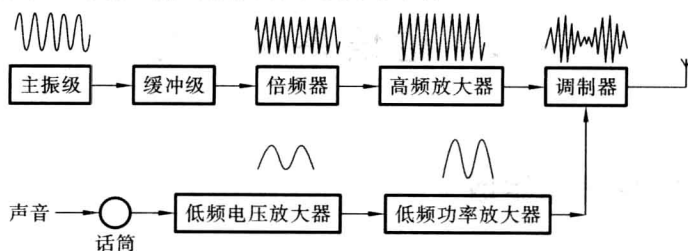


图 1-2 无线电广播调幅发射系统方框图

其各部分的作用如下。

主振级:由具有高频率稳定度的振荡器产生高频载波信号。

缓冲级:通常由射级跟随器来实现,其作用是减弱后级电路对主振荡器的影响。

倍频器:其作用是提高载波频率,降低主振荡器频率,提高其频率稳定性。

高频放大器:也称为推动放大,其作用是将高频载波信号进行功率放大,以推动后级受调功率放大器。

调制器:通常由受调功率放大器组成,其作用是使高频载波的振幅随调制信号的变化而变化,产生调幅波,通过天线辐射到自由空间。

低频部分有信源设备(话筒、录音机等设备)、低频电压放大器、低频功率放大器,使低频调制信号逐级放大而获得所需功率,然后对高频载波进行调幅。

3. 超外差调幅接收系统的组成

图 1-3 所示的为超外差调幅接收系统方框图。

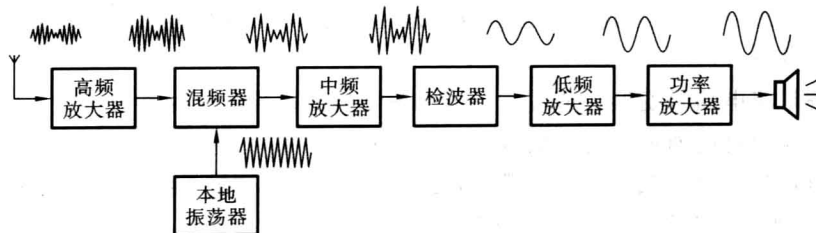


图 1-3 超外差调幅接收系统方框图

高频放大器:通常由高频小信号谐振放大器组成,其作用是将天线接收到的微小信号进行选频放大。

混频器:其作用是将高频已调信号的载波频率变换为较低的固定中频,同时保持其调制规律不变。

本地振荡器:产生高频等幅波,用于同已调波的载波频率进行差频而得到固定的中频。

中频放大器:通常由高频小信号谐振放大器组成,只是其负载谐振回路的谐振频率固定不变,作用是将中频已调信号进行放大。

检波器:通常由大信号包络检波器组成,其作用是从中频已调波中恢复出调制信号。

1.1.2 通信系统的分类与特点

通信系统的类型,可以根据不同的方法来划分。按照通信系统中关键部分的特性,通信系统可分为以下一些类型。

(1) 按照工作频率或传输手段,通信系统可分为中波通信系统、短波通信系统、超短波通信系统、微波通信系统和卫星通信系统等。所谓工作频率,主要指发射与接收的射频(RF)频率。射频实际上就是“高频”的广义语,它是指适合无线电发射和传播的频率。无线通信的一个发展方向就是开辟更高的频段。

(2) 按照通信方式,通信系统可分为(全)双工通信系统、半双工通信系统和单工通信系统等三类。所谓单工通信系统,指的是只能发或只能收的系统;半双工通信系统是一种既可以发也可以收,但不能同时收发的通信系统;而双工通信系统是一种可以同时收发的通信系统。

(3) 按照调制方式,通信系统可分为调幅通信系统、调频通信系统、调相通信系统以及混合调制通信系统等几类。

(4) 按照传送的消息类型,通信系统可分为模拟通信系统和数字通信系统等两类,也可以分为语音通信系统、图像通信系统、数据通信系统和多媒体通信系统等几类。

各种不同类型的通信系统,其系统组成和设备的复杂程度有很大不同。但是组成设备的基本电路及其原理都是相同的,遵从同样的规律。本书将以模拟通信系统为重点来研究这些基本电路,认识其规律。这些电路和规律完全可以推广应用到其他类型的通信系统。

1.1.3 通信系统中信号的特性

通信系统要处理的信号主要有三种:消息(基带)信号、高频载波信号和已调波信号。所谓消息信号,就是没有进行调制之前的原始电信号,也称为调制信号;高频载波信号就是用来运载消息信号,适合信道传输的高频等幅波信号,一般为单一频率的正弦波信号或脉冲信号;已调波信号就是调制信号对载波信号进行调制(控制)以后的信号。调制信号通常是低频信号,载波信号和已调波信号通常属高频信号,其信号波形如图 1-4 所示。

表示(描述)一个信号的方法主要有三种形式,分别为数学表达式、信号波形图和信号频谱图。各种信号的数学表达式为

调制信号: $U_{\Omega}(t) = U_{\Omega} \cos(\Omega t)$

载波信号: $U_c(t) = U_c \cos(\omega_c t)$

已调信号: $U_{AM}(t) = U_c [1 + m_a \cos(\Omega t)] \cos(\omega_c t)$

信号还可以用频谱图来表示,如图 1-5 所示。

无线电信号有多种特性,主要有时间特性、频谱特性、传播特性和调制特性。

1. 时间特性

无线电信号的时间特性就是信号随时间变化而变化的特性,信号的时间特性要求传输和

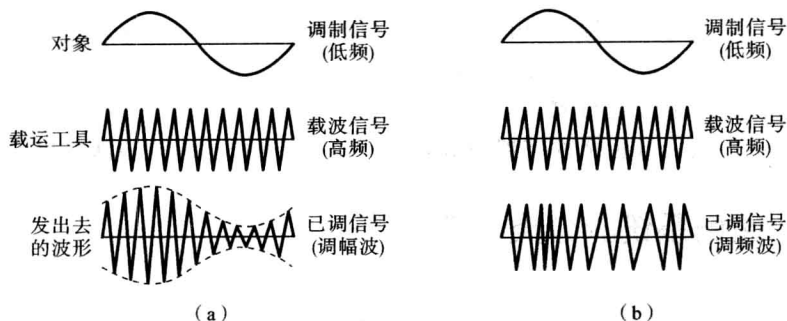


图 1-4 调制的波形

(a) 调幅; (b) 调频

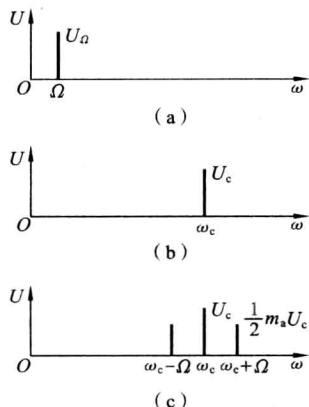


图 1-5 频谱图

(a) 调制信号; (b) 载波信号;
(c) 已调波信号

处理该信号电路的时间特性(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、不同幅度的正弦波之和。频谱特性包含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。

任何信号都会占一定的带宽。从频谱特性上看,带宽就是信号能量主要部分(一般为 90% 以上)所占据的频率范围或频带宽度。不同的信号,其带宽不同。例如,人的语音的频率范围为 300~3400 Hz 的分量中。射频频率越高,可利用的频带宽度就越宽,不仅可以容纳许多互不干扰的信道,从而实现频分复用或频分多址功能,而且也可以传播某些宽频带的信息信号(如图像信号),这是无线通信采用高频的原因之一。

3. 传播特性

无线通信的传输媒质(或传输信道)主要是自由空间。由于地球表面及空间层的环境条件不同,因此发射的无线电波因其频率或波长不同,传播特性也不同。传播特性是指无线电信号的传播方式、传播距离、传播特点等性质。无线电信号的传播特性主要是根据其所处的频段或波段来区分的。

电磁波从发射天线辐射出去后,不仅电波的能量会扩散衰减,或者在大气层中产生折射或散射等现象,造成到达接收机时的强度大大衰减,而且在移动无线环境中还会由于多径的原因而产生快衰减,从而接收机只能收到无线电信号能量的极小一部分。根据无线电波在传播过程所发生的现象,电波的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)传播及散射传播等几类,如图 1-6 所示。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。

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

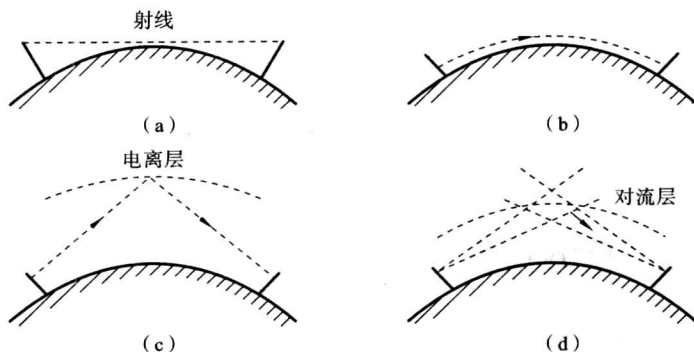


图 1-6 无线电波的主要传播方式

(a) 直射传播; (b) 地波传播; (c) 天波传播; (d) 散射传播

4. 调制特性

调制在无线通信中的作用至关重要。无线电一般都要采用高频(射频)方式传播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,从而以较小的信号功率传播较远的距离,接收天线才能有效地接收信号。若把低频的调制信号直接馈送至天线上,要想将它有效地转换成电磁波辐射,则所需天线的长度几乎无法实现。如果通过调制,把调制信号的频谱搬至高频载波频率,则收发天线的尺寸就可大为缩小。此外,调制还有一个重要作用就是可以实现信道的复用,提高信道利用率。

所谓调制,就是把信号变换成适合在信道(传输链路)中进行传输的一种技术。在无线通信中,基本的调制方法是使高频载波信号的一个或几个参数(如振幅、频率或相位)按照基带调制信号的变化规律而变化。

根据载波受调参数的不同,调制分为三种基本方式,即振幅调制(调幅)、频率调制(调频)和相位调制(调相),分别用 AM、FM 和 PM 表示。此外,还可以有组合调制方式。当调制信号为数字信号时,调制通常又称为键控。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,则这种调制称为脉冲调制。这里主要讨论模拟消息(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。

调制信号和调制方式不同,其调制特性也不同。调制的逆过程称为解调或检波,其作用是将已调信号中的原调制信号恢复出来。

1.2 无线电波段的划分

各种无线电系统中,信息是依靠高频无线电波来传递的。信号频率从几十千赫至几万兆赫的电磁波都属于无线电波。它的频率范围非常宽,而且不同的频率段其传播特性也不同。为了便于分析和应用,习惯上将无线电波的频率范围划分为若干个区域,即对频率或波长进行分段,称为频段或波段。

无线电波在真空传播的速度是 3×10^8 m/s。电波在一个振荡周期 T 内的传播距离称为

波长,用符号 λ 表示。波长 λ 、频率 f 和电磁波传播速度 c 的关系为

$$\lambda = cT = \frac{c}{f} \tag{1-1}$$

这是电磁波的一个基本关系式。知道了高频振荡的频率 f ,利用式(1-1)就可以计算出波长 λ 。如果 c 的单位是 m/s , f 的单位是 Hz ,则波长的单位是 m 。

1.2.1 一般波段的划分

表 1-1 所示的是无线电波的频(波)段划分情况。无线电波按波长可分为超长波、长波、中波、短波、超短波(米波)、分米波、厘米波、毫米波等,其中米波和分米波有时合称为超短波。如果按频率划分,无线电波则可分为甚低频波、低频波、中频波、高频波、甚高频波、特高频波、超高频波和极高频波等。

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)		$10^3 \sim 10^4 \text{ m}$	$30 \sim 300 \text{ kHz}$	低频(LF)	地波;远距离通信
中波(MW)		$10^2 \sim 10^3 \text{ m}$	$300 \text{ kHz} \sim 3 \text{ MHz}$	中频(MF)	地波、天波;广播、通信、导航
短波(SW)		$10 \sim 100 \text{ m}$	$3 \sim 30 \text{ MHz}$	高频(HF)	天波、地波;广播、通信
超短波(VSW)		$1 \sim 10 \text{ m}$	$30 \sim 300 \text{ MHz}$	甚高频(VHF)	直射传播、对流层散射传播;通信、电视广播、调频广播、雷达
微波	分米波(USW)	$10 \sim 100 \text{ cm}$	$300 \text{ MHz} \sim 3 \text{ GHz}$	特高频(UHF)	直射传播、散射传播;通信、中继与卫星通信、雷达、电视广播
	厘米波(SSW)	$1 \sim 10 \text{ cm}$	$3 \sim 30 \text{ GHz}$	超高频(SHF)	直射传播;中继和卫星通信、雷达
	毫米波(ESW)	$1 \sim 10 \text{ mm}$	$30 \sim 300 \text{ GHz}$	极高频(EHF)	直射传播;微波通信、雷达

1.2.2 常见实用波段的划分

目前国内无线电广播、电视常用的无线电波的波段是:中波广播的频率为 $535 \sim 1605 \text{ kHz}$,短波广播的频率为 $2 \sim 24 \text{ MHz}$,调频广播的频率为 $88 \sim 108 \text{ MHz}$ 。

电视广播实用的频段,包括甚高频段和高频段两个频率区间。甚高频段有 12 个频道,其频率范围:1~5 频道的为 $48.5 \sim 92 \text{ MHz}$,6~12 频道的为 $167 \sim 223 \text{ MHz}$ 。特高频段有 56 个频道,其频率范围是 $470 \sim 958 \text{ MHz}$ 。对讲机的频率范围是 $110 \sim 138 \text{ MHz}$,全球移动通信(GSM)系统的频率是 900 MHz 、 1800 MHz 、 1900 MHz 。

因为不同波段信号的产生、放大和接收的方法不同,传播的方式也不同,因而它们的应用范围也不同。

应该指出,各波段的划分是相对的,因为各波段之间并没有显著的分界线,但各个不同波段的特点仍然有明显的差别。例如,从使用的元器件以及电路结构与工作原理等方面来说,中波、短波和米波段的基本相同,但它们与微波段的有明显的区别。前者采用的元器件大都是通

常的电阻器、电容器和电感线圈等,主要采用二极管、三极管、场效应管和线性组件等;而后者采用的元器件则是同轴线、光纤和波导等,在元器件方面除采用晶体管、场效应管和线性组件外,还需要特殊元器件如速调管、行波管、磁控管及其他固体元器件。

从表 1-1 中可以看出,波段划分中有一个高频段,其频率范围为 $3\sim 30\text{ MHz}$,这是高频的狭义定义。本书涉及的波段是从中频(MF)到超高频(SHF)的频率范围。

同时应指出,无线电波段的使用是有严格规定和要求的,各种无线电通信系统的工作频率是由国家无线电管理委员会和省级无线电管理委员会管理和审批的,任何单位和个人不得随便使用,否则会给各种通信系统造成严重的干扰和混乱,给生产、生活造成损失。

1.2.3 无线电波的传播特性

无线电波的传播特性与前述的无线电信号的传播特性相同,长波信号以地波传播为主,也适用于水下传播;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(反射和折射)传播为主;超短波以上频段的信号大多以直射方式传播,也可以以对流层散射传播的方式传播。

1.3 本课程的特点及学习方法

1.3.1 高频电子线路的内容

本课程的内容概括起来主要包括以下三个方面。

- (1) 高频信号的放大:包括小信号谐振放大器和高频功率放大器(第 3 章)。
- (2) 高频信号的产生电路:包括正弦波振荡器(第 4 章)和频率合成器(第 7 章)。
- (3) 高频信号的变换电路:包括振幅调制器、解调和混频器(第 5 章),频率调制及解调器(第 6 章)。

1.3.2 高频电子线路的学习方法

高频电子线路主要产生、放大及变换高频信号,电路的工作频率非常高,其分析方法与低频电子线路的有所不同。同时,高频电子线路在实际生活和工作中也有大量的实际应用。因此,学习高频电子线路课程时应该注意以下几个特点。

(1) 高频电子线路具有非线性特性。高频电子线路主要由线性电子元器件和非线性电子元器件组成。一般采用非线性电路的分析方法来分析,非线性的分析方法比较复杂。要想精确求解十分困难,也没有必要,工程上往往根据实际情况对元器件的数学模型和电路的元器件条件进行合理的近似。用简单的分析方法获得具有实际意义的结果,而不必过分追求其严格性。因此,在学习中要注意工程估算的特点,掌握定性分析与定量计算相结合的方法,做到“定性分析、近似计算、实验调试”。

(2) 高频电子线路的单元电路功能繁多。实现各种功能的单元电路种类多,掌握这些电

路的分析方法对识图能力的提高和电路的系统设计都非常重要。学习时要注意掌握单元电路工作原理、分析方法和它们的性能特点,便于实际工作中的应用。同时要注意,近年来集成电路(IC)和数字信号处理(DSP)芯片技术迅速发展,各种高频电路甚至系统都可以集成在一个芯片上,但所有这些集成电路都是以分立元器件的电路为基础,以高频集成电路的应用为重点来学习的。

(3) 高频电子线路课程是一门专业应用型课程。它是在科学技术和生产实践中发展起来的,因此,在学习时必须高度重视实践环节。一方面重视课内实验,加深对课程理论的理解;另一方面要注意与生产、工作实际相结合,以提高自己的工程应用能力。另外,掌握先进的电子设计自动化(EDA)技术进行设计、仿真分析和电路制作也非常重要。

思考题与习题

- 1-1 画出无线电广播调幅发射系统的组成方框图以及各方框图对应的波形,简述各方框图的作用。
- 1-2 画出无线电超外差调幅接收设备的组成方框图以及各方框图对应的波形,简述各方框图的作用。
- 1-3 无线通信为什么要进行调制?
- 1-4 调频广播、电视以及导航移动通信均属于哪一波段通信?

第 2 章 高频电路基础



各种无线电设备都包含有处理高频信号的功能电路,如高频放大器、振荡器、调制与解调器等。这些电路的工作原理和实际电路都有各自的特点,但它们有一些共同之处,这就是高频电路的基础。共同之处主要包括高频电路的基本元器件、基本电路以及高频电路系统中的基本问题、基本方法、基本指标等。各种高频电路基本上是由无源元件、有源器件和高频基本网络等组成的,这些元器件和基本电路绝大部分是相同的,与用于低频电路的基本元器件没有本质上的差异,主要需注意它们在高频应用中的特殊性以及少量高频电路所特有的器件。

2.1 高频电路中的元器件

2.1.1 高频电路中的元件

高频电路中使用的元件与低频电路中使用的元件基本相同,只是它们在高频使用时所呈现的频率特性发生了变化。高频电路中的元件主要有电阻、电容和电感。

1. 高频电阻

一个实际的电阻,在低频时主要表现为电阻特性,但在高频时不仅表现出电阻特性的一面,而且还表现出电抗特性的一面。电阻的电抗特性反映的就是其高频特性。

一个电阻 R 的高频等效电路如图 2-1 所示,其中, C_R 为分布电容, L_R 为引线电感, R 为电阻。分布电容和引线电感越小,表明电阻的高频特性越好。电阻的高频特性与制作材料、封装形式和尺寸大小有密切关系。一般来说,金属膜电阻的高频特性比碳膜电阻的要好,而碳膜电阻的高频特性比线绕电阻的要好;表面贴装(SMD)电阻的高频特性比引线电阻的要好;小尺寸电阻的高频特性比大尺寸电阻的要好。频率越高,电阻的高频特性表现越明显。在实际使用时,要尽量减小电阻高频特性的影响,使之表现为纯电阻。

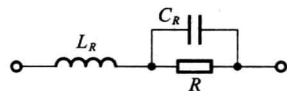


图 2-1 电阻的高频等效电路

2. 高频电容

高频电路中常常使用片状电容和表面贴装电容,引线电容的高频特性较差。高频电容的阻抗可表示成电导和电纳的并联组合,其等效电路如图 2-2(a)所示。其中,电阻 R_C 为极间绝缘电阻,它是由于两导体间的介质的非理想(非完全绝缘)所致,通常用损耗角 δ 或品质因数 Q_C 来表示;电感 L_C 为分布电感或极间电感,小容量电容的引线电感也是其重要组成部分。在高频电路中,电容的损耗可以忽略不计,但如果到了微波波段,电容中的损耗就必须加以考