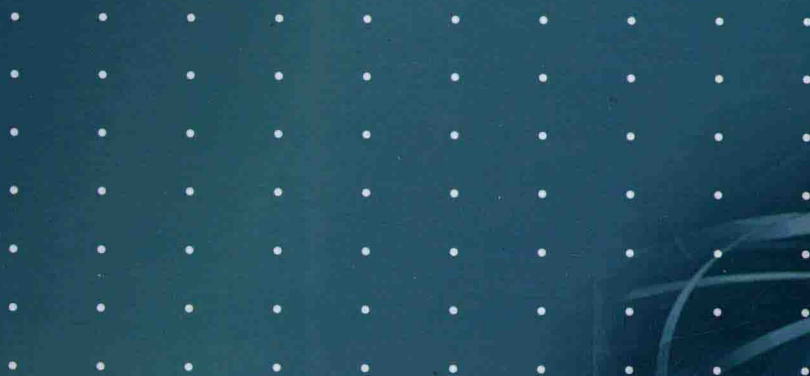


教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会推荐教材

高频电子线路 第三版 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

教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会推荐教材

高频电子线路 第三版 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·北京

内容简介

本书系教育部高等学校电子电气基础课教学指导分委员会推荐教材《高频电子线路》(第三版)的配套学习参考书,是在普通高等教育“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》的基础上编写的,内容包括绪论、高频电路基础、高频放大器、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、反馈控制电路和高频电路系统设计等,并给出了五套模拟试题及答案。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。

本书可作为通信工程、电子信息工程专业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参考书。

图书在版编目(CIP)数据

高频电子线路(第三版)辅导书/曾兴雯等编.--

北京:高等教育出版社,2017.5

ISBN 978-7-04-047602-6

I. ①高… II. ①曾… III. ①高频-电子电路-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(2017)第 073916 号

策划编辑 吴陈滨
插图绘制 杜晓丹

责任编辑 王楠
责任校对 刘娟娟

封面设计 赵阳
责任印制 耿轩

版式设计 童丹

出版发行 高等教育出版社
社址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100120
印刷 北京市密东印刷有限公司
开本 787mm×1092mm 1/16
印张 15.5
字数 380千字
购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598

网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.hepmall.com.cn>
<http://www.hepmall.com>
<http://www.hepmall.cn>

版 次 2017年5月第1版
印 次 2017年5月第1次印刷
定 价 28.50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 47602-00

前 言

本书系教育部高等学校电子电气基础课教学指导分委员会推荐教材《高频电子线路》(第三版)的配套学习参考书,是在普通高等教育“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》的基础上编写的。在内容上与《高频电子线路》(第三版)教材的内容相对应,包括绪论、高频电路基础、高频放大器、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、反馈控制电路和高频电路系统设计等,并给出了五套模拟试题及答案。本书在指导思想、编写原则和形式上仍与《高频电子线路(第二版)辅导书》相同,各章仍包括本章主要内容、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。通过自测题和模拟试题可以检验学习的效果和对内容的理解与掌握程度。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(第二版)辅导书》相比,本书主要在以下几方面做了改动:

1. 针对教材中的内容变动,本书也做了相应改动,尤其是第九章变化较大。
2. 根据《高频电子线路》(第三版)教材的内容精选了自测题。
3. 增加部分模拟试题及其参考答案。

参加本书编写的有曾兴雯、刘乃安、陈健、宫锦文和付卫红。曾兴雯和刘乃安对全书进行了统稿。

本书在编写过程中,得到了西安电子科技大学通信工程学院有关同事和本课程组教师的支持和帮助,在此表示深深的谢意。感谢高等教育出版社对本书出版的支持和帮助。在这里还要感谢我们的家人对本书编写的支持。

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。编者邮箱:xwzeng@xidian.edu.cn。

编 者

2016年9月 于西安电子科技大学

目 录

第一章 绪论	1	第六章 振幅调制、解调与混频	98
第一节 主要内容	1	第一节 主要内容	98
第二节 重点与难点	7	第二节 重点与难点	112
第三节 典型例题分析	8	第三节 典型例题分析	115
第四节 自测题	9	第四节 自测题	137
第二章 高频电路基础	10	第七章 角度调制与解调	145
第一节 主要内容	10	第一节 主要内容	145
第二节 重点与难点	19	第二节 重点与难点	154
第三节 典型例题分析	21	第三节 典型例题分析	157
第四节 自测题	27	第四节 自测题	168
第三章 高频放大器	30	第八章 反馈控制电路	173
第一节 主要内容	30	第一节 主要内容	173
第二节 重点与难点	42	第二节 重点与难点	187
第三节 典型例题分析	43	第三节 典型例题分析	189
第四节 自测题	51	第四节 自测题	202
第四章 正弦波振荡器	54	第九章 高频电路系统设计	204
第一节 主要内容	54	第一节 主要内容	204
第二节 重点与难点	63	第二节 重点与难点	207
第三节 典型例题分析	65	附件一 模拟考试题一	208
第四节 自测题	73	附件二 模拟考试题二	210
第五章 频谱的线性搬移电路	79	附件三 模拟考试题三	213
第一节 主要内容	79	附件四 模拟考试题四	215
第二节 重点与难点	87		
第三节 典型例题分析	89		
第四节 自测题	95		

附件五 模拟考试题五	219	附件九 模拟考试题四答案	231
附件六 模拟考试题一答案	222	附件十 模拟考试题五答案	237
附件七 模拟考试题二答案	225	附件十一 部分自测题参考答案	241
附件八 模拟考试题三答案	228		
100	第一册	1	第一册
111	第二册	1	第二册
114	第三册	2	第三册
121	第四册	4	第四册
123	第五册	10	第二册
142	第一册	10	第一册
124	第二册	11	第二册
127	第三册	15	第三册
128	第四册	22	第四册
171	第八册	27	第三册
174	第一册	30	第一册
181	第二册	34	第二册
189	第三册	34	第三册
202	第四册	42	第四册
202	第五册	42	第五册
204	第一册	44	第一册
205	第二册	42	第二册
208	第一册	43	第三册
210	第二册	43	第四册
211	第三册	47	第一册
212	第四册	47	第二册
212	第五册	48	第三册
212	第六册	49	第四册

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。

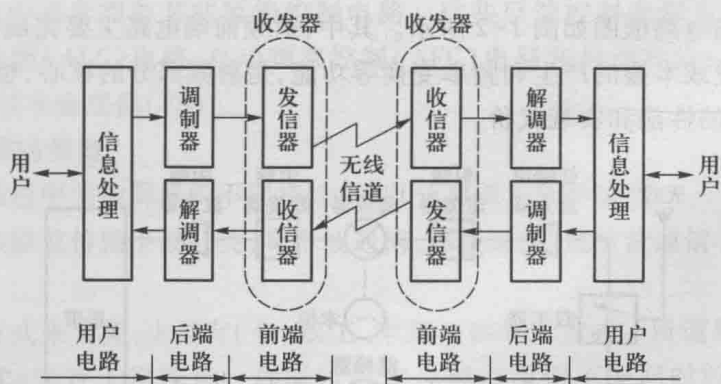


图 1-1 典型双向无线通信组成示意图

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。

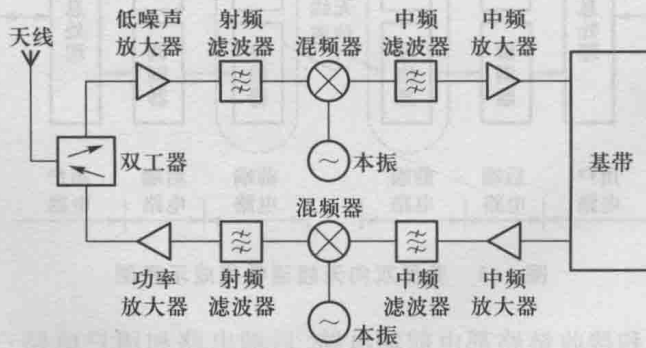


图 1-2 典型的射频前端电路框图

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。

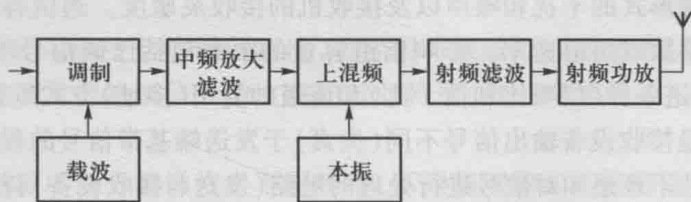


图 1-3 发射机典型的两次变换结构框图

接收机的任务是有选择地放大空中微弱的电磁信号,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式接收机组成框图。

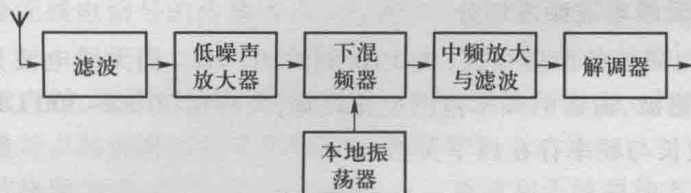


图 1-4 一次变频结构的超外差式接收机组成框图

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	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	超高频(SHF)	直线传播;中继和卫星通信、雷达
	毫米波(ESW)	1~10 mm	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、高频电子线路发展趋势

1. 高频集成电路发展趋势

无线通信技术正朝着宽带化、网络化、软件化乃至智能化方向发展,实现无线传输的高频电路也正朝着高频化、集成化和软件化的方向发展,而高频化、宽带化、软件化也都体现在集成化中。

集成电路发展的核心是集成度的提高,而集成度的提高又依赖于工艺技术的提高和新的制造方法,主要概括为如下几方面:

- (1) 更高集成度(更细精度或更高精度);
- (2) 更大规模和单片化;
- (3) 更高频率;
- (4) 数字化与智能化;
- (5) 低功耗和小封装。

2. 高频电路 EDA

随着计算机技术的飞速发展,电子系统的设计与仿真软件逐渐成为电路设计中非常重要的工具。电子系统的设计软件也从最初的计算机辅助设计(CAD)软件发展成电子系统设计自动化软件。

EDA(electronics design automation)即电子设计自动化技术,是指以计算机为基本工作平台,融合了应用电子技术、微电子技术、计算机技术、计算数学和拓扑逻辑学以及智能化技术等最新成果而开发出来的电子设计软件工具,主要进行三方面的设计工作:

- (1) IC 设计;
- (2) 电子电路设计;
- (3) 印刷电路板(PCB)设计。

四、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 50Ω 。因此,在进行射频电路与系统的分析和设计时,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使用多个参数,如直流跨导、时变跨导和平均跨导,而且大部分参数与控制变量有关。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,以便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(radio frequency, RF),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, $\lambda \geq 1 \text{ m}$)的信号通常用集总(中)参数的方法和“路”的概念来分析与实现,而对于米波以下($\lambda < 1 \text{ m}$)的信号一般应用分布参数的方法和“场”的概念来分析与实现。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?

题意分析:对于这一问题需要从两方面考虑:一是在无线通信中如果不采用高频载波调制传输会出现什么问题?二是高频载波有何特点?结合此两方面,就可以较为容易地得出答案。

解:在无线通信中采用高频载波调制传输的主要原因有两个:

(1) 由于要传输的信息基本上都属于低频范围,如果将此低频信号直接发射出去,需要的发射和接收天线尺寸太大,辐射效率太低,不易实现。我们知道,天线实现有效辐射的条件是天线的尺寸 l 与信号的波长 λ 可以比拟。即使天线的尺寸为波长的十分之一,即 $l = \lambda/10$,对于频率为 1 kHz 的信号,需要的天线长度为 30 km,这样长的天线几乎是无法实现的。若将信号调制到 10 MHz 的载波频率上,需要的天线长度仅为 3 m,这样的天线尺寸小,实现起来也比较容易。

(2) 如果要传输多个信息而不进行调制,那么它们在空中就会混在一起,相互干扰,接收端就无法将这些信息选择区分开来。若将不同的信息调制到不同但能区分开的高频载波上,就可以实现多路复用,提高频带的利用率。实际上,采用特殊的措施,如正交频分复用(OFDM)等技术,还可以进一步提高频带利用率。

此外,更高的频段,可用的频带更宽,可以传输更多的信息或容纳更多的用户,频带利用率也更高。

例 1-2 在无线通信电路中,“调制”和“混频”都可以实现将一个信号从低频变到高频,这两个概念有什么区别?

题意分析: 需要从这两个概念的本质作用和电路特性方面加以考虑。

解: 调制的本质是用调制信号(输入的低频信号)控制高频载波的一个或几个参数(幅度、频率、相位),使高频载波或输出已调信号的参数按照调制信号的规律变化。相当于把调制信号装到高频载波上。调制电路的实质是频谱的非线性变换或非线性电路。

混频的本质是频率的加减法运算,是把输入的信号(可以是高频或低频,未调信号或已调信号)的频谱搬移到一个本地振荡信号频率上。混频的输出称为中频(实际上仍是高频)信号。混频电路属于准线性电路,可以按照线性电路来考虑和分析设计。

需要注意的是,在某些情况下,实现调制和混频功能的关键都是一个乘法器,但它们在本质上是有所区别的。

第四节 自测题

- 1-1 画出无线通信收发信机的原理框图,并说出各部分的功能。
- 1-2 无线通信为什么要用高频信号?
- 1-3 无线通信为什么要进行调制? 如何进行调制?
- 1-4 无线电信号的频段或波段是如何划分的? 各个频段的传播特性和应用情况如何?

第二章

高频电路基础

第一节 主要内容

高频电路的基础主要是指高频电路中所用的基本元件、器件、组件或基本电路、基本现象、基本概念等。本章的主要内容是高频电路中的元器件、基本电路和电子噪声,有关非线性问题和系统问题分别在非线性电路的有关章节和整机电路中讨论。

一、高频电路中的元器件

高频电路中使用的元器件与在低频电路中使用的元器件基本相同,但要注意它们的高频特性。

1. 高频电路中的元件

高频电路中的元件主要是电阻器、电容器和电感器,它们都属于无源的线性元件。

- 电阻 电阻的高频特性主要是指电抗特性(分布电容和引线电感),它与制作电阻的材料、电阻的封装形式和尺寸的大小有密切关系。

- 电容 在高频电路中常常使用片状电容和表面贴装电容。电容的高频特性主要是损耗(常用损耗角 δ 或品质因数 Q_c 来表示)和自身谐振频率 SRF (self resonant frequency)两个参数。

- 电感 电感(线圈)在高频电路中主要用作谐振元件、滤波元件和阻隔元件(称为射频扼流圈RFC),它一般由导线绕制而成,有多种结构。其高频特性也主要是损耗(常用品质因数 Q 来表示)和自身谐振频率 SRF 两个参数。

由电感线圈配合磁芯可构成高频变压器和传输线变压器。

2. 高频电路中的器件

高频电路中的器件主要是二极管、晶体管和集成电路,完成信号的放大、混频、非线性变换等功能。

- 二极管 二极管在高频中主要用于检波、调制、解调及混频等非线性变换电路中,一般工作在低电平。主要有点触式二极管和表面势垒二极管(又称肖特基二极管)两类。两者都是利用多数载流子导电机理,它们的极间电容小、工作频率高。常用的点触式二极管(如2AP系列)工作频率可到100~200 MHz,而表面势垒二极管工作频率可高至微波范围。

变容二极管的主要特点是其结电容随所加的反偏电压而变化,表现在三方面:结电容较大、结电容变化范围较宽、工作于反偏状态,其他特性仍表现为二极管特性。变容二极管多用于调谐、振荡、混频与倍频等电路中。

PIN二极管是在PN结中间增加了一层本征(I)半导体,因此具有较强的正向电荷储存能力。其主要特性是高频等效电阻受正向直流电流的控制,一般用于开关、限幅、衰减和移相电路中。

- 晶体管 高频电路中的晶体管主要是双极晶体管和场效应管(FET)。双极晶体管分为

高频小功率管和高频大功率管两类。场效应管也分为小信号场效应管和功率场效应管两类,小信号场效应管可以是单栅或双栅。

高频小信号(功率)晶体管或 FET 主要用在小信号的放大、振荡、调制和解调及混频电路中,主要要求是高增益和低噪声。功率管主要用于功放电路,除了要求增益外,还要求有大的输出功率。

高频晶体管有多种等效电路和多个参数,如混 π 等效电路与参数、Y 参数等效电路与参数、S 等效电路与参数,分别在不同场合下使用。它们之间可以相互转换。

• 集成电路(IC) 用于高频电路的集成电路分为通用型 IC 和专用 IC(ASIC),通用型 IC 主要是宽带集成放大器和模拟乘法器,ASIC 主要是集成的锁相环(PLL)、FM 信号解调器、单片接收机等。另外还有一些功放的组件或模块。

二、高频电路中的基本电路

高频电路中的无源组件主要有高频振荡回路、高频变压器、谐振器与滤波器等,它们完成信号的传输、频率选择及阻抗变换等功能。

1. 振荡(谐振)回路

振荡回路是高频电路中应用最广的无源网络,也是构成高频放大器和振荡器的主要部件,在电路中完成阻抗变换、信号选择等任务,并可作为负载。

(1) 简单振荡回路

只有一个回路的振荡电路称为简单振荡回路或单谐振回路,有串联谐振回路和并联谐振回路两类。串联谐振回路适用于电源内阻较低(如恒压源)的情况或低阻抗的电路(如微波电路)。当频率不是非常高时,并联谐振回路应用最广。串联谐振回路和并联谐振回路的电路和特性如图 2-1 所示,表 2-1 列出了这两种谐振回路的特性。

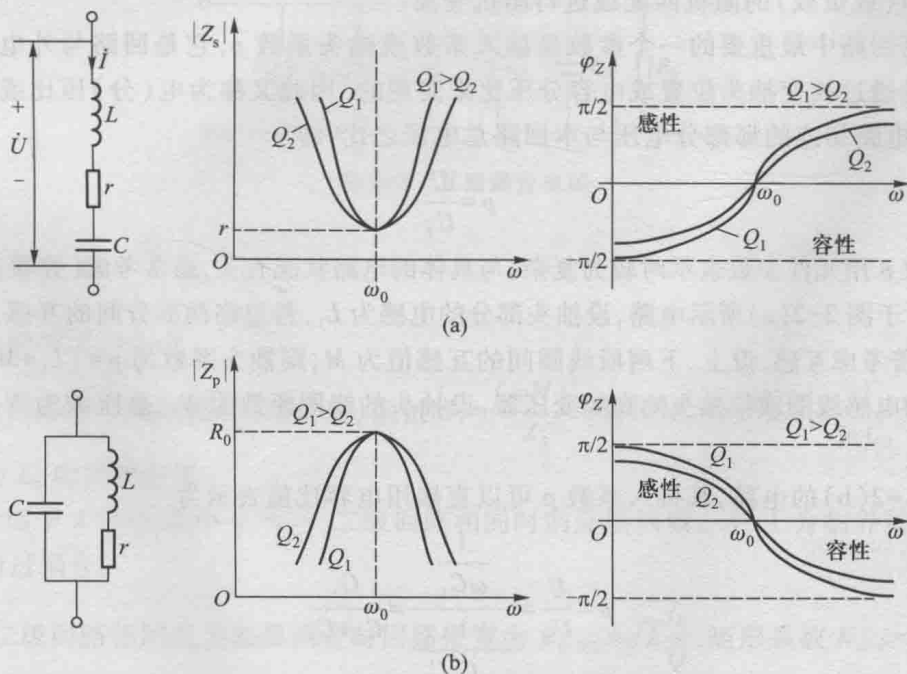


图 2-1 谐振回路及其特性