

信息与电子学科百本精品教材工程

新编电气与电子信息类本科规划教材

高频电子电路

王卫东 傅佑麟 编著

<http://www.phei.com.cn>



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

新编电气与电子信息类本科规划教材

高频电子电路

王卫东 傅佑麟 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本教材是为适应 21 世纪高频电子电路基础课程教学改革的需要而编写的,内容包括:高频小信号谐振放大器,噪声与干扰,高频功率放大器,各类正弦波振荡器,频率变换电路基础及基本部件,振幅调制、解调及混频,角度调制与解调,反馈控制电路等。

本书以“讲透基本原理,打好电路基础,面向集成电路”为宗旨,强调物理概念的描述,避免复杂的数学推导。另外,为了帮助初学者更好地学习本书,每章后都有难度适当的习题,利于学生提高解题能力。本书配有 CAI 教学软件,同时对所述的基本电路利用 EWB 电路设计软件进行了电路仿真。

本书可作为高等学校工科学生的电子技术基础课教材,也可供广大电路工作者参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

高频电子电路/王卫东,傅佑麟编著. —北京:电子工业出版社,2004.8
新编电气与电子信息类本科规划教材
ISBN 7-121-00173-X

I. 高... II. ①王...②傅... III. 高频-电子电路-高等学校-教材 IV. TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 075754 号

责任编辑:韩同平

特约编辑:王昌铭

印 刷:北京牛山世兴印刷厂

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编:100036

经 销:各地新华书店

开 本:787×1092 1/16 印张:21.75 字数:556.8 千字

版 次:2004 年 8 月第 1 次印刷

印 数:5000 册 定价:26.80 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换;若书店售缺,请与本社发行部联系。联系电话:(010) 68279077。质量投诉请发邮件至 zltts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

前 言

本书是为高等学校电子类和其他相近专业编著的一本介绍常规模拟电子通信系统所涉及的各种高频电子电路的功能、工作原理、性能特点和分析方法的教材。本教材根据国家教委制定的电子、通信等类专业《电子电路（I）、（II）课程教学基本要求》，总结多年教学实践，吸取国内外同类教材之特长，并考虑到 21 世纪教育改革的需要，在原编教学讲义的基础上，加以修改编著而成。

传统的《高频电子电路》教材的内容比较陈旧，已基本不适应新的教学大纲和学生知识结构的变化。近年来，随着 21 世纪教学内容和课程体系改革的进展，已出版的《通信电子电路》等新教材过于强调专业知识而对基础知识把握得不够，而且与国外同类教材相比较，新的教材文字阐述不够详尽，多重于教而忽视读，增大了学生阅读和学习的难度。本教材借鉴国外教材的写法：始终以“讲透概念原理，打好电路基础”为宗旨，在章节次序的安排上尽量符合由浅入深、由个别到一般的认识规律。对所涉及的基本理论、基础知识和基本方法的阐述，力求做到增强可读性，以减少学生阅读和学习的困难。

编写本书时，考虑到它是专业基础课教材，在内容取舍方面有以下几点说明：

1. 本书着重于通信电路中常用的一些基本功能部件的原理、电路、计算及分析方法，为后续专业课的学习打下基础。因此，本课程在基本电路方面仍以分立元件电路为基础，对典型的、目前仍在使用的分立元件电路的分析，本书给予了足够的重视，在分析了各种基本功能电路之后，给出集成化的实际应用电路，力求反映当前高频电子电路的新发展。

2. 本书所涉及的电路，仅限于集总参数电路范围，至于分布参数电路、数字电路则分别划归“微波电子线路”、“脉冲与数字电路”、“通信原理”等课程介绍。

3. 鉴于当前学生中普遍存在着对电子电路工程分析难以理解的实际问题，教材中注意强调电路结构和单元电路模型化，注意区别并讲清不同工作条件时所采用的近似工程方法；电路的计算则用工程近似方法，在分析了各种基本功能电路后抓住主要矛盾进行工程估算，使之既不失设计计算的正确性和可靠性，又能使分析和设计计算简单化，突出高频电子电路的特点。

4. 文字阐述详尽，深入浅出，图文并茂，公式简明易记，力求避免复杂繁冗的数学推导，不仅易教更要易读，便于自学。每章后都有难度适当的习题，利于学生提高解题能力。

5. 在高频电子电路课程的教学中对教材所涉及的实用电路及部分习题进行了 EWB 的仿真，并制作了 CAI 课件。笔者认为，在高频电子电路课程的教学中适时引入 EWB 对电路进行仿真，可以大大提高学生理论与实践相结合的能力，解决传统教学中课堂与实验室、理论与实践严重脱节的问题。

全书共分为 7 章，参考学时数为 56~70 学时。第 1 章高频小信号谐振放大器，主要介绍高频电路中的元器件，简单的谐振回路，晶体管等效电路和参数，高频小信号谐振放大电路和宽带放大器及各种滤波器；同时还介绍了噪声的来源和特点，噪声系数的计算方法。第 2 章高频功率放大器，主要介绍谐振功率放大器的分析方法，电路组成，实用电路举例及集

成高频功率放大电路简介, 高效率的丙类、丁类(D类)功放, 宽带高频功率放大器与功率合成电路。第3章正弦波振荡器, 主要介绍反馈振荡器、互感耦合振荡器、LC振荡器、振荡器的频率稳定度分析和稳频措施、石英晶体振荡器、集成电路振荡器、压控振荡器、负阻振荡器及RC正弦波振荡器等。第4章频率变换电路基础及基本部件, 主要介绍非线性电路的工程分析方法, 模拟相乘器及基本单元电路, 单片集成模拟乘法器及其典型应用。第5章振幅调制、解调及混频, 主要介绍振幅调制原理及特性, 普通调幅波(AM)、抑制载波的双边带调幅波(DSB)、抑制载波的单边带调幅波的产生和解调, 混频器原理及电路, AM发射机与接收机。第6章角度调制与解调, 主要介绍调角信号的分析, 调频电路及调频波的解调原理及电路, 调频制的抗干扰性及特殊电路, 集成单片FM发射机与接收机。第7章反馈控制电路, 主要介绍自动增益控制(AGC)电路、自动频率控制(AFC)电路、自动相位控制(APC)电路的基本原理及应用。

教材的讲义已供作者所在学校三届本科学生试用。同行教师对教材提出了大量的修改意见, 这些意见对提高教材的质量帮助很大。

本书由王卫东主编并统稿, 具体负责绪论、第1、4、5、6、7章的编写, 第2、3章由傅佑麟编写。电子科技大学刘光祜教授审阅了全书, 提出了许多宝贵的意见, 在此谨向刘光祜教授表示衷心的感谢。在完成本书编写过程中, 作者从所列参考文献中吸取了宝贵的成果和资料, 本书作者谨向各参考文献的著、编、译者表示感谢。作者还要感谢电子工业出版社对本书出版给予的支持和帮助, 感谢韩同平编辑辛勤有效的工作及对本书出版所付出的各方面的努力。作者深知, 高频电子电路涉及的范围广, 新知识多, 我们对这一领域的学习和研究水平十分有限, 书中难免有不少疏漏和不当之处, 恳请广大读者不吝指正。

编著者

目 录

绪论	(1)
0.1 通信系统的组成	(2)
0.2 发射机和接收机的组成	(3)
0.3 本书的研究对象和任务	(5)
第 1 章 高频小信号谐振放大器	(6)
1.1 LC 选频网络	(7)
1.1.1 选频网络的基本特性	(7)
1.1.2 LC 选频回路	(8)
1.1.3 LC 阻抗变换网络	(15)
* 1.1.4 双耦合谐振回路及其选频特性	(18)
1.2 高频小信号调谐放大器	(21)
1.2.1 晶体管的高频小信号等效模型	(21)
1.2.2 高频小信号调谐放大器	(25)
1.2.3 多级单调谐放大器	(31)
* 1.2.4 双调谐回路谐振放大器	(32)
* 1.2.5 参差调谐放大器	(35)
1.2.6 谐振放大器的稳定性	(38)
1.3 集中选频放大器	(39)
1.3.1 集中选频滤波器	(40)
1.3.2 集成宽带放大器	(46)
1.3.3 集成选频放大器的应用	(48)
1.4 电噪声	(49)
1.4.1 电阻热噪声	(49)
1.4.2 晶体三极管噪声	(51)
1.4.3 场效应管噪声	(52)
1.4.4 噪声系数	(52)
本章小结	(54)
习题 1	(55)
第 2 章 高频功率放大器	(59)
2.1 概述	(60)
2.2 高频功率放大器的工作原理	(60)
2.2.1 工作原理分析	(60)
2.2.2 功率和效率分析	(64)
2.2.3 D类和 E类功率放大器简介	(65)

2.2.4 丙类倍频器	(67)
2.3 高频功率放大器的动态分析	(69)
2.3.1 高频功率放大器的动态特性	(69)
2.3.2 高频功率放大器的负载特性	(71)
2.3.3 高频功率放大器的调制特性	(74)
2.3.4 高频功率放大器的放大特性	(75)
2.3.5 高频功率放大器的调谐特性	(76)
2.3.6 高频功放的高频效应	(77)
2.4 高频功率放大器的实用电路	(78)
2.4.1 直流馈电电路	(78)
2.4.2 滤波匹配网络	(81)
2.4.3 高频谐振功率放大器设计举例	(88)
2.5 集成高频功率放大电路简介	(89)
2.6 宽带高频功率放大器与功率合成电路	(91)
2.6.1 宽带高频功率放大器	(91)
2.6.2 功率合成电路	(97)
本章小结	(97)
习题 2	(98)
第 3 章 正弦波振荡器	(101)
3.1 概述	(102)
3.2 反馈型自激振荡器的工作原理	(102)
3.2.1 产生振荡的基本原理	(102)
3.2.2 反馈振荡器的振荡条件	(104)
3.2.3 反馈振荡电路的判断	(106)
3.3 LC 正弦波振荡电路	(108)
3.3.1 互感耦合 LC 振荡电路	(108)
3.3.2 三点式 LC 振荡电路	(108)
3.4 振荡器的频率稳定度	(115)
3.4.1 频率稳定度的定义	(115)
3.4.2 振荡器的稳频原理	(117)
3.4.3 振荡器的稳频措施	(119)
3.5 晶体振荡器	(120)
3.5.1 石英晶体谐振器概述	(120)
3.5.2 晶体振荡器电路	(121)
3.6 集成电路振荡器	(128)
3.6.1 差分对管振荡电路	(128)
3.6.2 单片集成振荡电路 E1648	(128)
3.6.3 运放振荡器	(130)
3.6.4 集成宽带高频正弦波振荡电路	(130)
3.7 压控振荡器	(131)
3.7.1 变容二极管	(131)
3.7.2 变容二极管压控振荡器	(132)

3.7.3 晶体压控振荡器	(134)
* 3.8 RC 振荡器	(135)
3.8.1 RC 移相振荡器	(136)
3.8.2 文氏电桥振荡器	(137)
* 3.9 负阻振荡器	(139)
3.9.1 负阻器件的基本特性	(140)
3.9.2 负阻振荡电路	(141)
3.10 振荡器中的几种现象	(142)
3.10.1 间歇振荡	(142)
3.10.2 频率拖曳现象	(143)
3.10.3 振荡器的频率占据现象	(145)
3.10.4 寄生振荡	(147)
本章小结	(148)
习题 3	(149)
第 4 章 频率变换电路基础	(154)
4.1 概述	(155)
4.2 非线性元器件的特性描述	(155)
4.2.1 非线性元器件的基本特性	(155)
4.2.2 非线性电路的工程分析方法	(157)
4.3 模拟相乘器及基本单元电路	(162)
4.3.1 模拟相乘器的基本概念	(162)
4.3.2 模拟相乘器的基本单元电路	(164)
4.4 单片集成模拟乘法器及其典型应用	(167)
4.4.1 MC1496/MC1596 及其应用	(167)
4.4.2 BG314(MC1495/MC1595) 及其应用	(169)
4.4.3 第二代、第三代集成模拟乘法器	(173)
本章小结	(176)
习题 4	(177)
第 5 章 振幅调制、解调及混频	(179)
5.1 概述	(180)
5.2 振幅调制原理及特性	(180)
5.2.1 标准振幅调制信号分析	(181)
5.2.2 双边带调幅信号	(185)
5.2.3 单边带信号	(187)
5.2.4 AM 残留边带调幅	(190)
5.3 振幅调制电路	(191)
5.3.1 低电平调幅电路	(192)
5.3.2 高电平调幅电路	(198)
5.4 调幅信号的解调	(200)
5.4.1 调幅波解调的方法	(200)
5.4.2 二极管大信号包络检波器	(202)
5.4.3 同步检波	(211)

5.5 混频器原理及电路	(215)
5.5.1 混频器原理	(215)
5.5.2 混频器主要性能指标	(218)
5.5.3 实用混频电路	(219)
5.5.4 混频器的干扰	(224)
5.6 AM 发射机与接收机	(230)
5.6.1 AM 发射机	(230)
5.6.2 AM 接收机	(232)
5.6.3 TA7641BP 单片 AM 收音机集成电路	(234)
本章小结	(235)
习题 5	(236)
第 6 章 角度调制与解调	(241)
6.1 概述	(242)
6.2 调角信号的分析	(243)
6.2.1 瞬时频率和瞬时相位	(243)
6.2.2 调角信号的分析与特点	(243)
6.2.3 调角信号的频谱与带宽	(247)
6.3 调频电路	(251)
6.3.1 实现调频、调相的方法	(251)
6.3.2 压控振荡器直接调频电路	(252)
6.3.3 变容二极管直接调频电路	(252)
6.3.4 晶体振荡器直接调频电路	(257)
6.3.5 间接调频电路	(258)
6.4 调频波的解调原理及电路	(262)
6.4.1 鉴频方法及其实现模型	(262)
6.4.2 振幅鉴频器	(263)
6.4.3 相位鉴频器	(266)
6.4.4 比例鉴频器	(271)
6.4.5 移相乘积鉴频器	(273)
6.4.6 脉冲计数式鉴频器	(274)
6.5 调频制的抗干扰性及特殊电路	(275)
6.5.1 调频制中的干扰及噪声	(275)
6.5.2 调频信号解调的门限效应	(277)
6.5.3 预加重电路与去加重电路	(277)
6.5.4 静噪声电路	(279)
6.6 FM 发射机与接收机	(280)
6.6.1 调频发射机的组成	(280)
6.6.2 集成调频发射机	(281)
6.6.3 调频接收机的组成	(283)
6.6.4 集成调频接收机	(284)
本章小结	(285)
习题 6	(286)
第 7 章 反馈控制电路	(291)

7.1 概述	(292)
7.2 反馈控制电路的基本原理与分析方法	(292)
7.2.1 基本工作原理	(292)
7.2.2 数学模型	(293)
7.2.3 基本特性分析	(294)
7.3 自动增益控制电路	(295)
7.3.1 AGC 电路的工作原理	(295)
7.3.2 可控增益放大器	(298)
7.3.3 实用 AGC 电路	(300)
7.4 自动频率控制电路	(301)
7.4.1 AFC 电路的组成和基本特性	(301)
7.4.2 AFC 电路的应用举例	(303)
7.5 锁相环路	(306)
7.5.1 锁相环路的基本工作原理	(306)
7.5.2 锁相环路的基本应用	(312)
7.6 单片集成锁相环电路简介与应用	(318)
7.6.1 NE562	(318)
7.6.2 NE562 的应用实例	(321)
本章小结	(323)
习题 7	(324)
附录 余弦脉冲分解系数表	(327)
部分习题答案	(329)
参考文献	(333)

绪论



图 1-1 软件开发生命周期流程图

高频电子电路是在高频段范围内实现特定电功能的电路,它被广泛地应用于通信系统和各种电子设备中。为了具体了解高频电子电路的种类和功用,现以通信系统为例,对其做一概要的介绍。

0.1 通信系统的组成

通信既是人类社会生活的重要组成部分,又是社会发展和进步的重要因素。广义地说,凡是在发信者和收信者之间,以任何方式进行的消息传递,都可称为通信。实现消息传递所需设备的总和,称为通信系统。19 世纪末迅速发展起来的以电信号为消息载体的通信方式,称为现代通信系统,其组成方框图如图 0.1 所示。各部分的主要作用简介如下:

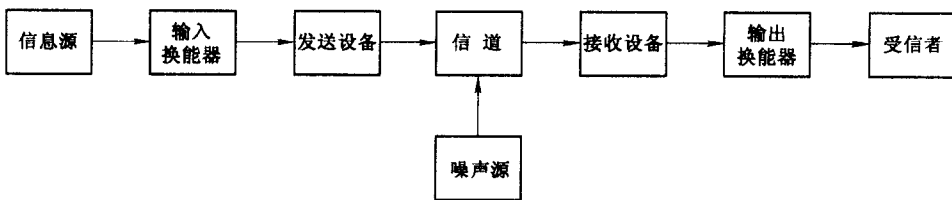


图 0.1 现代通信系统组成方框图

1. 信息源

信息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。原始信息经输入换能器转换成电信号后,送入发送设备,将其变成适合于信道传输的电信号,然后经过信道送入接收设备。

2. 输入换能器

输入换能器的主要任务是将发信者提供的非电量消息(如声音、景物等)变换为电信号,它应能反映待发送的全部消息,通常具有“低通型”频谱结构,故称为基带信号。当输入消息本身就是电信号时(如计算机输出的二进制信号),输入换能器可省略而直接进入发送设备。

3. 发送设备

发送设备主要有两大任务:一是调制,二是放大。所谓调制,就是将基带信号变换成适合信道传输特性传输的频带信号。在连续波调制中,是指用原始电信号去控制高频振荡信号的某一参数,使之随原始电信号的变化规律而变化。对于正弦波信号,其主要参数是振幅、频率和相位,因而出现了振幅调制、频率调制和相位调制(后两种合称为角度调制)等不同的调制方式。

例如,在无线通信中,由天线理论可知要将电信号有效地发射出去,天线的尺寸必须和电信号的波长为同一数量级。由原始非电量信息经转换而成的原始电信号一般是低频信号,波长很长。例如,音频信号的频率仅在 15 kHz 以内,对应波长为 20 km 以上,要制造出相应的巨大天线是不现实的。另外,即使这样巨大的天线制造出来,由于各个发射台发射的均为同一频段的低频信号,在信道中会互相重叠、干扰,接收设备也无法选择所要接收的信号。因此,为了有效地进行传输,必须采用几百 kHz 以上的高频振荡信号作为载体,将携带信息的低频电信号“装载”到高频振荡信号上(这一过程即称为调制),然后经天线发送出去。到了接收端后,再

把低频电信号从高频振荡信号上“卸取”下来(这一过程称为解调)。其中,未经调制的高频振荡信号称为载波信号,低频电信号称为调制信号,经过调制的高频振荡信号称为已调波信号。

采用调制方式以后,由于传送的是高频振荡信号,所需天线尺寸便可大大减小。同时,不同的发射台可以采用不同频率的高频振荡信号作为载波,这样在频谱上就可以互相区分开了。

所谓放大,是指对调制信号和已调波信号的电压和功率进行放大、滤波等处理过程,以保证送入信道有足够大的已调波信号功率。

4. 信道

信道是连接发、收两端的信号通道,又称传输媒介。通信系统中应用的信道可分为两大类:有线信道(如架空明线、电缆、波导、光纤等)和无线信道(如海水、地球表面、自由空间等)。不同信道有不同的传输特性,相同媒介对不同频率信号的传输特性也是不同的。例如,在自由空间中,电磁能量是以电磁波的形式传播的。然而,不同频率的电磁波却有着不同的传播方式。1.5 MHz 以下的电磁波主要沿地表传播,称为地波。由于大地不是理想的导体,当电磁波沿其传播时,有一部分能量被损耗掉,频率越高,趋肤效应越严重,损耗越大,因此频率较高的电磁波不宜沿地表传播。1.5~30 MHz 的电磁波,主要靠天空中电离层的折射和反射传播,称为天波。电离层是由于太阳和星际空间的辐射引起大气上层电离而形成的。电磁波到达电离层后,一部分能量被吸收,一部分能量被反射和折射到地面。频率越高,被吸收的能量越少,电磁波穿入电离层也越深。当频率超过一定值后,电磁波就会穿透电离层而不再返回地面。因此频率更高的电磁波不宜用天波传播。30 MHz 以上的电磁波主要沿空间直线传播,称为空间波。由于地球表面的弯曲,空间波的传播距离受限于视距范围,架高发射天线可以增大其传输距离。

5. 接收设备

接收设备的任务是将信道传送过来的已调波信号进行处理,以恢复出与发送端相一致的基带信号。这种从已调波中恢复基带信号的处理过程,称为解调。显然解调是调制的逆过程。由于信道的衰减特性,经远距离传输到达接收端的信号电平通常很微弱(微伏数量级),需要放大后才能解调。同时,在信道中还会存在许多干扰信号,因而接收设备还必须具备从众多干扰信号中选择有用信号,并抑制干扰的能力。

6. 输出换能器

输出换能器的作用是将接收设备输出的基带信号转换成原来形式的消息,如声音、景物等,供收信者使用。

0.2 发射机和接收机的组成

发射机和接收机是现代通信系统的核心部件,是为了使基带信号在信道中有效和可靠地传输而设置的。现以无线广播调幅发射机为例说明它的组成,如图 0.2 所示。

它包括三个组成部分:高频部分、低频部分和电源部分。

高频部分通常由主振、缓冲、倍频、高频放大、调制与高频功放组成。主振级的作用是产生频率稳定的载频信号,缓冲级是为减弱后级对主振级的影响而设置的。有时为了将主振级的频率提高到所需的数值,缓冲级后要加一级或若干级倍频器。倍频级后加若干级高频放大器,

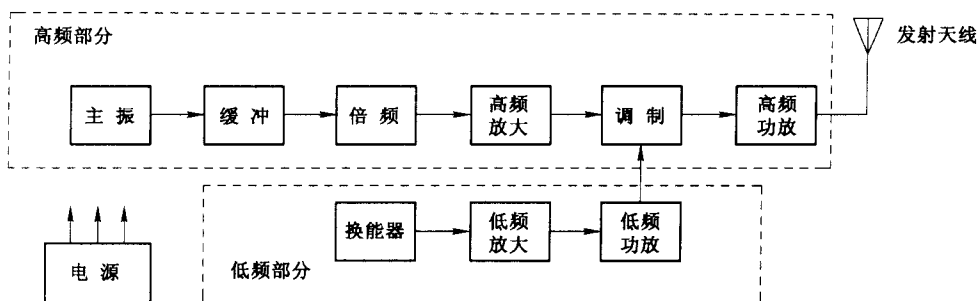


图 0.2 调幅发射机组成方框图

以逐步提高输出信号的功率。调制级将基带信号变换成适合信道传输特性传输的频带信号。最后经高频功率放大器进行放大,使输出信号的功率达到额定的发射功率,再经发射天线辐射出去。

低频部分包括换能器、低频放大及低频功放。换能器把非电量消息(如声音、景物等)变换为基带低频电信号,通过低频放大级逐级放大,使低频功放输出能对高频载频信号进行调制所需的信号功率。

无线通信的接收过程正好和发射过程相反。在接收端,接收天线将收到的电磁波转换为已调波电流,然后从这些已调波电流中选择出所需的信号进行放大和解调。这种直接放大式接收机的组成方框图如图 0.3 所示。

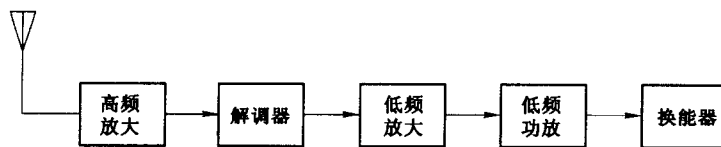


图 0.3 直接放大式接收机的组成方框图

图中高频小信号放大器通常以 LC 谐振回路为负载完成选频放大作用。由于直放式接收机的灵敏度和选择性都与工作频率有关(即波段性差),并受高频小信号调谐放大器级数限制,级数不能过高,因此,目前已不多用。图 0.4 所示的超外差式接收机克服了上述缺点,得到了广泛应用。

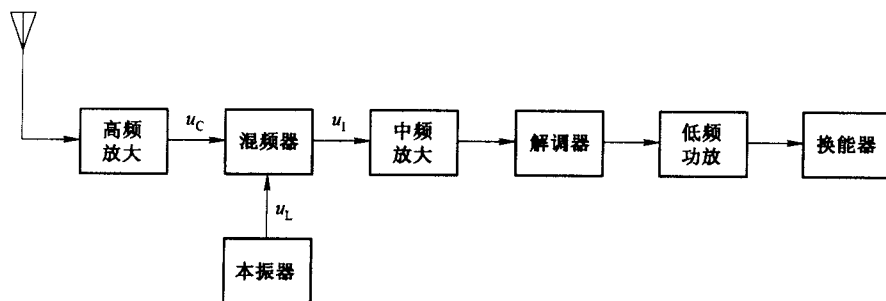


图 0.4 超外差式接收机的组成方框图

超外差式接收机与直接放大式接收机相比,增加了混频器、本地振荡器和中频放大器三种功能电路。混频器的作用是将接收到的不同频率的载波信号变换为固定频率的中频信号。其

原理是:用本地振荡器产生的正弦波振荡信号 $u_L(t)$ (其频率为 f_L) 与接收到的有用信号 $u_C(t)$ (其频率为 f_C) 在混频器中混频,得到中频信号 $u_I(t)$ (其频率为 f_I)。通常选取 $f_I = f_L - f_C$ 。这种作用就是所谓的外差作用,也是超外差式接收机名称的由来。当输入信号频率变化时,使本地振荡器的频率也相应地改变,保持中频固定不变,因此中频放大器的增益和选择性都与接收信号的载频无关。这就克服了直接放大式接收机的缺点。经混频后所得的中频信号仍是已调波信号,且调制规律不变,即中频信号保留了输入信号中的全部有用信息。当然,超外差式接收机电路比较复杂,还存在一些特殊的混频干扰现象,这是超外差式接收机的缺点。

0.3 本书的研究对象和任务

通过本节的学习,我们已对无线通信有了一个极粗浅的了解。本书将要讨论的“高频电子电路”究竟包括哪些电路呢?它们都有什么功用呢?

这可借助图 0.2 和图 0.4 来说明。在发射机中的主振、倍频、高频功率放大、调制电路和接收机中的高频小信号放大、混频、本地振荡、中频放大、解调电路等,都属高频电子电路的研究对象。它们除了在现代通信系统中占据着“举足轻重”的作用外,还广泛地应用于其他电子设备中。概括说来,高频电子电路所研究的基本功能电路包括:高频小信号放大电路、高频功率放大电路、正弦波振荡电路、调制和解调电路、倍频电路、混频电路等。

本书的主要任务是讨论以集总参数为限的上述各高频电子电路的基本组成、工作原理、性能特点、基本工程分析方法。同时,本着贯彻以集成电路为主的原则,适当删减目前已逐步由相应集成电路取代的分立元件电路,增加集成电路方面的内容。

在上述电路中,除高频小信号放大电路属线性电路外,其余均属非线性电路。另外,包括自动增益控制、自动频率控制和自动相位控制(锁相环)在内的反馈控制电路也是高频电子电路研究的重要对象,是通信系统中必不可少的辅助部分。

第 1 章

高频小信号谐振放大器

内容提要

高频小信号谐振放大电路除具有放大功能外，还具有选频功能，即具有从众多信号中选择出有用信号、滤除无用的干扰信号的能力。从这个意义上讲，高频小信号谐振放大电路又可分为集放大、选频于一体，由有源放大元件和无源选频网络所组成的高频电子电路。高频小信号谐振放大器在通信设备中的主要用途是做接收机的高频放大器和中频放大器。

本章以 LC 谐振电路和各类集中选择性电路为例，讨论高频小信号放大电路的选频特性及其有关问题。重点分析晶体管单级 LC 谐振放大器。对于由其他器件组成的放大器，只是所用器件的等效电路有所差别，总的分析方法是相同的。由于集成电路的迅速发展，本章还将介绍由集成放大电路和集中选择滤波器组成的高频小信号放大器的基本电路形式和特点。本章的教学需要 10~12 学时。

1.1 LC 选频网络

在通信系统中,信号在传输过程中不可避免地会受到各种噪声的干扰。干扰噪声包括自然界存在的各种电磁波源(闪电、宇宙星体、大气热辐射等)和其他无线通信设备发射的电信号等。接收设备的首要任务就是把所需的有用信号从众多无用信号和噪声中选取出来并放大,同时应抑制和滤除无用信号和各种干扰噪声。选频网络在高频电子电路中得到广泛的应用,它能选出我们所需要的频率分量和滤除不需要的频率分量,因此掌握各种选频网络的特性及分析方法是重要的。在高频电子电路中应用的选频网络可分为两大类。第一类是由电感和电容元件组成的谐振回路,它又可分为单谐振回路及耦合谐振回路;第二类是各种滤波器,如 LC 集中滤波器,石英晶体滤波器,陶瓷滤波器和声表面波滤波器等。

1.1.1 选频网络的基本特性

在通信系统中,多数情况下要传输的电信号并不是单一频率的信号,都含有很多频率成分,信号能量的主要部分总是集中在一定宽度的频带范围内,是占有一定频带宽度的频谱信号。这就要求选频电路的通频带宽度应与所传输信号的有效频谱宽度相一致。为了不引起信号的幅度失真,理想的选频电路在通频带内的幅频特性 $H(f)$ 应满足

$$\frac{dH(f)}{df} = 0 \quad ! (1-1)$$

为抑制通频带外的干扰,选频电路在通频带外的幅频特性 $H(f)$ 应满足

$$H(f) = 0 \quad (1-2)$$

显然,理想的幅频特性应是矩形,即是一个关于频率的矩形窗函数,在通频带内各频率点的幅频特性相等,通频带之外各频率点的幅频特性为 0。图 1.1 中所示的矩形为理想选频电路的幅频特性曲线,其纵坐标是 $\alpha(f) = H(f)/H(f_0)$,称为归一化幅频特性函数, f_0 为选频电路的谐振频率。

由信号与系统的理论可知,幅频特性为矩形窗函数的选频电路是一个物理不可实现的系统,因此实际选频电路的幅频特性只能是接近于矩形,如图 1.1 中所示。接近的程度与选频电路本身的结构形式有关。通常用矩形系数 $K_{0.1}$ 表示,其定义为

$$K_{0.1} = \frac{2\Delta f_{0.1}}{2\Delta f_{0.7}} \quad (1-3)$$

式中, $2\Delta f_{0.7}$ 为 $\alpha(f)$ 由 1 下降到 $1/\sqrt{2}$ 时,两边界频率 f_1 与 f_2 之间的频带宽度,称为通频带,通常用 B 表示,即

$$B = f_2 - f_1 = 2(f_2 - f_0) = 2\Delta f_{0.7} \quad (1-4)$$

$2\Delta f_{0.1}$ 为 $\alpha(f)$ 下降到 0.1 处的频带宽度。显然,理想选频电路的矩形系数 $K_{0.1} = 1$,而实际选频电路的矩形系数均大于 1。

由于回路谐振曲线不是理想矩形,而有一定的不均匀性,所以具有一定频带宽度的信号作

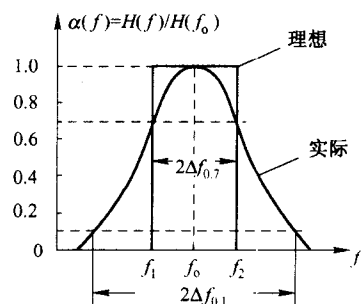


图 1.1 选频电路的幅频特性