



应用型本科规划教材

HIGH FREQUENCY
ELECTRONIC CIRCUIT

高频电子线路

◆ 主 编 周选昌

副主编 高 茅 杨俊秀



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS
浙江大學出版社

应用型本科规划教材

高频电子线路

主 编 周选昌

副主编 高 茅 杨俊秀

浙江大學出版社

内 容 简 介

本书是面向应用型本科教学的规划教材,介绍了无线通信的系统结构、工作原理及各模块之间的相互联系,突出基本概念与实际应用。全书由绪论、谐振回路与阻抗变换、非线性器件描述及应用、发射机与接收机结构、正弦波振荡器、振幅的调制与解调、角度的调制与解调、混频电路、高频放大器、锁相技术与频率合成等部分组成。在内容编排上尽量做到思路清晰、叙述简明、便于自学。

本书可作为高等学校电子信息类专业的教材,也可供相应专业的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

高频电子线路 / 周选昌主编. —杭州:浙江大学出版社, 2006. 7
应用型本科规划教材
ISBN 7-308-04763-6

I. 高... II. 周... 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(2006)第 058996 号

高频电子线路

周选昌 主 编

丛书策划 樊晓燕

责任编辑 张 明

封面设计 刘依群

出版发行 浙江大学出版社

(杭州天目山路 148 号 邮政编码 310028)

(E-mail: zupress@mail. hz. zj. cn)

(网址: <http://www.zjupress.com>)

排 版 浙江大学出版社电脑排版中心

印 刷 杭州杭新印务有限公司

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 15.25

字 数 391 千字

版 次 2006 年 7 月第 1 版 2006 年 7 月第 1 次印刷

印 数 0001—3000

书 号 ISBN 7-308-04763-6/TN·081

定 价 25.00 元

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

浙江大学出版社发行部邮购电话(0571)88072522

应用型本科院校信电专业基础平台课规划教材系列

编 委 会

主 任 顾伟康

副主任 王 薇 沈继忠 梁 丰

委 员 (以姓氏笔画为序)

方志刚 古 辉 李 伟

何杞鑫 林雪明 张增年

唐向宏 夏哲雷 钱贤民

蔡伟健

总 序

近年来我国高等教育事业得到了空前的发展,高等院校的招生规模有了很大的扩展,在全国范围内发展了一大批以独立学院为代表的应用型本科院校,这对我国高等教育的持续、健康发展具有重大的意义。

应用型本科院校以着重培养应用型人才为目标,目前,应用型本科院校开设的大多是一些针对性较强、应用特色明确的本科专业,但与此不相适应的是,当前,对于应用型本科院校来说作为知识传承载体的教材建设远远滞后于应用型人才培养的步伐。应用型本科院校所采用的教材大多是直接选用普通高校的那些适用研究型人才培养的教材。这些教材往往过分强调系统性和完整性,偏重基础理论知识,而对应用知识的传授却不足,难以充分体现应用类本科人才的培养特点,无法直接有效地满足应用型本科院校的实际教学需要。对于正在迅速发展的应用型本科院校来说,抓住教材建设这一重要环节,是实现其长期稳步发展的基本保证,也是体现其办学特色的基本措施。

浙江大学出版社认识到,高校教育层次化与多样化的发展趋势对出版社提出了更高的要求,即无论在选题策划,还是在出版模式上都要进一步细化,以满足不同层次的高校的教学需求。应用型本科院校是介于普通本科与高职之间的一个新兴办学群体,它有别于普通的本科教育,但又不能偏离本科生教学的基本要求,因此,教材编写必须围绕本科生所要掌握的基本知识与概念展开。但是,培养应用型与技术型人才又是应用型本科院校的教学宗旨,这就要求教材改革必须淡化学术研究成分,在章节的编排上先易后难,既要低起点,又要有坡度、上水平,更要进一步强化应用能力的培养。

为了满足当今社会对信息与电子技术类专业应用型人才的需要,许多应用型本科院校都设置了相关的专业。而这些专业的特点是课程内容较深、难点较多,学生不易掌握,同时,行业发展迅速,新的技术和应用层出不穷。针对这一情况,浙江大学出版社组织了十几所应用型本科院校信息与电子技术类专业的教师共同开展了“应用型本科信电专业教材建设”项目的研究,共同研究目前教材的不适应之处,并探讨如何编写能真正做到“因材施教”、适合应用型本科层

次信电类专业人才培养的系列教材。在此基础上,组建了编委会,确定共同编写“应用型本科院校信电专业基础平台课规划教材系列”。

本专业基础平台课规划教材具有以下特色:

在编写的指导思想上,以“应用类本科”学生为主要授课对象,以培养应用型人才为基本目的,以“实用、适用、够用”为基本原则。“实用”是对本课程涉及的基本原理、基本性质、基本方法要讲全、讲透,概念准确清晰。“适用”是适用于授课对象,即应用型本科层次的学生。“够用”就是以就业为导向,以应用型人才为培养目的,达到理论够用,不追求理论深度和内容的广度。突出实用性、基础性、先进性,强调基本知识,结合实际应用,理论与实践相结合。

在教材的编写上重在基本概念、基本方法的表述。编写内容在保证教材结构体系完整的前提下,注重基本概念,追求过程简明、清晰和准确,重在原理,压缩繁琐的理论推导。做到重点突出、叙述简洁、易教易学。还注意掌握教材的体系和篇幅能符合各学院的计划要求。

在作者的遴选上强调作者应具有应用型本科教学的丰富的教学经验,有较高的学术水平并具有教材编写经验。为了既实现“因材施教”的目的,又保证教材的编写质量,我们组织了两支队伍,一支是了解应用型本科层次的教学特点、就业方向的一线教师队伍,由他们通过研讨决定教材的整体框架、内容选取与案例设计,并完成编写;另一支是由本专业的资深教授组成的专家队伍,负责教材的审稿和把关,以确保教材质量。

相信这套精心策划、认真组织、精心编写和出版的系列教材会得到广大院校的认可以,对于应用型本科院校信息与电子技术类专业的教学改革和教材建设起到积极的推动作用。

系列教材编委会主任

顾伟康

2006年7月

前 言

随着无线通信技术的迅速发展,通信产品日益丰富,人们十分清晰地认识到高频知识在整个无线通信应用系统中的重要地位,因此各高等学校的信电类专业把“高频电子线路”作为一门主要的专业基础课程。

随着高等教育的大众化,面向应用型本科教学的教材十分有限。为了适应大多数本科应用型学生学习与掌握高频电子线路的基础知识,增强基本应用的技能,根据国家教育部教学指导小组制定的大纲要求及学生的实际学习情况,我们编写了这本《高频电子线路》教材,它是“应用型本科信电专业专业基础平台课系列教材”丛书中的一本。本教材的编写大纲通过丛书编写委员会的认真讨论与审核,确定该教材在内容编排上尽量做到基本概念清晰、模块结构合理,并求做到浅一点、宽一点,加强系统性与实用性。

根据上述思路,本书首先详细介绍了高频电子线路中最基本的选频回路、阻抗变换与器件的非线性概念,然后介绍无线通信系统的发射机和接收机的各模块实现功能及相互联结关系,最后围绕各模块电路的基本功能、基本原理与基本实现进行介绍与分析,指出各模块实现的功能指标要求,并给出实际应用的电路实例。

本书共分为9章。第1章介绍谐振回路与阻抗变换;第2章介绍非线性器件描述及应用;第3章介绍发射机与接收机结构;第4章介绍正弦波振荡器;第5章介绍振幅的调制与解调;第6章介绍角度的调制与解调;第7章介绍混频电路;第8章介绍高频放大器;第9章介绍锁相技术与频率合成。全书内容丰富,每章均包含有相当数量的习题。

本书由周选昌担任主编,高茅、杨俊秀担任副主编,参编成员有郑利君、曹莹。

浙江大学信息学院陈邦媛教授逐字逐句地审阅了本书的全部内容,并提出了许多十分中肯而宝贵的意见,对保证本书的质量起到了重要的作用,在此表示特别的感谢。作者同时要感谢许多关心和支持本书编写的人员,他们在本书

的编排与编写过程中提出了不少有益的建议。

限于编者的水平,本书中存在的不妥与错误之处在所难免,恳请读者批评指正。

作 者

2006 年 5 月

目 录

绪 论	(1)
第 1 章 谐振回路与阻抗变换	(6)
1.1 选频回路指标	(6)
1.2 LC 并联谐振回路	(7)
1.2.1 LC 并联谐振回路的基本概念与特性	(7)
1.2.2 LC 并联谐振回路的选频特性	(8)
1.3 LC 串联谐振回路	(11)
1.3.1 LC 串联谐振回路的基本概念与特性	(11)
1.3.2 LC 串联谐振回路的选频特性	(12)
1.4 实际谐振回路与有载品质因数	(13)
1.4.1 高频电路中的电感线圈与电容	(13)
1.4.2 串并联支路阻抗变换	(14)
1.4.3 实际谐振回路与有载品质因数 Q_e	(16)
1.5 无源阻抗变换网络	(17)
1.5.1 阻抗变换的目的及一般电路结构	(17)
1.5.2 常用的无源阻抗变换电路	(18)
1.5.3 阻抗变换网络的应用	(22)
1.6 传输线变压器	(23)
1.6.1 传输线变压器的结构与工作原理	(24)
1.6.2 传输线变压器的应用	(25)
1.7 集中选频滤波器	(26)
1.7.1 晶体滤波器和陶瓷滤波器	(26)
1.7.2 声表面波滤波器	(27)
1.7.3 集中选频滤波器的应用	(28)
本章小结	(29)
习 题	(29)

第2章 非线性器件描述及应用	(33)
2.1 非线性器件的描述	(33)
2.1.1 非线性器件的描述方法	(33)
2.1.2 线性化处理	(36)
2.2 器件非线性性的影响	(36)
2.2.1 输入仅有一个有用信号	(37)
2.2.2 多个输入信号	(38)
2.2.3 多级级联系统非线性特性	(41)
2.3 非线性器件的应用	(43)
2.4 模拟相乘器电路	(46)
本章小结	(50)
习 题	(50)
第3章 发射机与接收机结构	(52)
3.1 概 述	(52)
3.1.1 发射机、接收机的一般组成	(52)
3.1.2 发射机的一般功能	(53)
3.1.3 接收机的一般功能	(53)
3.1.4 发射机、接收机的关键技术	(54)
3.2 发射机方案	(55)
3.2.1 直接变换实现方案	(55)
3.2.2 二步法变换实现方案	(56)
3.3 接收机方案	(57)
3.3.1 超外差接收方案	(58)
3.3.2 直接下变频方案	(63)
3.3.3 抑制镜频接收方案	(64)
3.4 无线发射接收机的性能指标	(65)
本章小结	(67)
习 题	(68)
第4章 正弦波振荡器	(69)
4.1 反馈型振荡器的基本原理	(69)
4.1.1 反馈型振荡原理及维持振荡的平衡条件	(69)
4.1.2 自激振荡形成的物理过程	(70)
4.1.3 振荡器的稳定条件	(72)
4.1.4 反馈振荡电路的判断方法	(73)
4.2 LC 正弦振荡器	(74)
4.2.1 构成 LC 振荡器的两个注意点	(74)

4.2.2 互感耦合式 LC 振荡器	(75)
4.2.3 三点式 LC 振荡器	(75)
4.3 石英晶体振荡器	(81)
4.3.1 石英晶体振荡器及其特性	(81)
4.3.2 石英晶体振荡器电路	(82)
4.4 压控振荡器	(84)
4.4.1 概 述	(84)
4.4.2 变容二极管压控振荡器	(85)
4.4.3 射极耦合多谐振荡器	(86)
4.5 振荡器的频率稳定度	(88)
4.5.1 振荡器频率的准确度与稳定度	(88)
4.5.2 导致振荡频率不稳定的因素	(89)
4.5.3 提高频率稳定度的措施	(89)
本章小结	(89)
习 题	(90)
第 5 章 振幅的调制与解调	(94)
5.1 概 述	(94)
5.2 振幅调制及性能分析	(95)
5.2.1 普通调幅(AM)	(96)
5.2.2 抑制载波的双边带调幅(DSB)	(98)
5.2.3 单边带调幅(SSB)	(100)
5.3 调幅信号的解调原理	(102)
5.4 振幅调制与解调电路	(104)
5.4.1 振幅调制电路	(104)
5.4.2 振幅解调电路	(105)
本章小结	(117)
习 题	(117)
第 6 章 角度的调制与解调	(122)
6.1 角度调制信号的基本特性	(122)
6.1.1 调频信号与调相信号	(123)
6.1.2 角度调制信号的频谱分析	(126)
6.2 调频电路	(129)
6.2.1 调频电路概述	(129)
6.2.2 直接调频电路	(130)
6.2.3 间接调频电路——调相电路	(134)
6.2.4 扩展频偏的方法	(137)
6.3 鉴频电路	(139)

6.3.1 概 述	(139)
6.3.2 斜率鉴频	(140)
6.3.3 正交鉴频	(143)
本章小结	(145)
习 题	(146)
第 7 章 混频电路	(150)
7.1 概 述	(150)
7.1.1 混频器的结构与工作原理	(150)
7.1.2 混频器的主要指标参数	(151)
7.2 有源混频器电路	(153)
7.2.1 单管跨导型混频电路	(153)
7.2.2 单平衡混频电路	(156)
7.2.3 双平衡混频电路	(157)
7.3 无源混频电路	(160)
7.3.1 二极管混频原理	(161)
7.3.2 二极管双平衡混频器	(162)
本章小结	(166)
习 题	(166)
第 8 章 高频放大器	(169)
8.1 概 述	(169)
8.2 高频放大器的分类	(169)
8.3 高频小信号放大器	(170)
8.3.1 晶体管的高频等效电路	(171)
8.3.2 高频小信号放大器电路	(173)
8.3.3 高频小信号放大器的稳定性	(176)
8.4 高频功率放大器(C类)	(177)
8.4.1 电路组成与工作原理	(177)
8.4.2 动态负载线	(181)
8.4.3 C 功率放大器的输出功率和效率	(183)
8.4.4 直流馈电电路	(184)
8.5 功率合成电路	(186)
8.5.1 魔 T 网络	(187)
8.5.2 功率合成电路	(190)
本章小结	(191)
习 题	(192)

第 9 章 锁相技术与频率合成	(194)
9.1 锁相环路的基本组成与工作原理	(194)
9.1.1 锁相环路的基本组成与工作原理	(194)
9.1.2 锁相环路中各组成部件的数学模型	(195)
9.1.3 环路的相位模型和环路基本方程	(199)
9.2 锁相环路的跟踪与捕捉特性	(200)
9.2.1 锁相环的跟踪特性	(200)
9.2.2 锁相环的捕捉特性	(204)
9.3 锁相环路的实现	(207)
9.3.1 鉴相器的指标与分类	(207)
9.3.2 各种鉴相器的工作原理	(207)
9.3.3 集成锁相环路及应用	(211)
9.4 锁相环在频率合成中的应用	(215)
9.4.1 频率合成器的主要技术指标	(215)
9.4.2 锁相频率合成器	(216)
本章小结	(220)
习 题	(220)
附录一 余弦电流脉冲分解	(223)
附录二 专业术语英文缩写对照	(225)
参考文献	(226)

绪 论

一、无线通信的发展简史

信息传输是人类社会活动的重要内容,无论是古代还是现代,人们始终坚持寻求快速、远距离、安全、高效率的通信手段。1864 年英国物理学家麦克斯韦(J. Clerk Maxwell)提出了“电磁场的动力理论”,为后来无线电的发明与发展奠定了坚实的理论基础。从此以后,许多科学家都在努力研究如何利用电磁波传输信息的问题,这就是无线电通信。尤其是意大利科学家马可尼(Guglielmo Marconi)在 1901 年首次实现了横跨大西洋的无线电通信,从此无线电通信进入了实用阶段。

1907 年李·德·福雷斯特(Lee de Forest)发明了电子三极管,用它可以组成具有放大、振荡、变频、调制、检波及波形变换等重要功能的电子管电路,为电子电路设计提供了重要器件。因此,电子管器件的出现是电子技术发展史上的第一个重要里程碑。

1948 年肖克莱(W. Shockley)等科学家发明了晶体三极管,它在节能、体积与重量、稳定性及长寿命等方面远胜于电子管,因此晶体三极管的出现是电子技术发展史上的第二个重要的里程碑。从此以后,晶体管成为电子电路设计的重要器件。

集成电路发明于 20 世纪 60 年代后期,随着集成电路的出现,中规模、大规模乃至超大规模集成电路的不断涌现,集成电路已成为电子电路,特别是数字电路的发展主流,对信息传输起到了巨大的推动作用。因此,集成电路的出现是电子技术发展史上的第三个里程碑。

近 30 年来,随着电子技术的迅速发展,无线通信也已取得了突破性的发展。通信系统也从模拟通信过渡到数字通信,有效地增强了系统的抗干扰性能和通信的安全性能,降低了系统功耗,延长了工作寿命。无线移动通信已成为电子信息产业的重要组成部分,数以千万的用户利用灵巧的无线手机在一段无线频谱中进行双向移动通信。目前移动通信正朝着 3G 方向发展。

二、无线通信系统的组成

通常把信息从发送者传送到接受者的过程称为通信,而实现信息传输过程的系统称为通信系统,它的基本组成框图如图 0.1 所示。

在通信系统中,信号一般要经过两种变换与反变换。在发送端,第一个变换是输入变换器,它把要传输的信息(一般是非电信号,如语音)转变为电信号。该信号一般是低频的,而

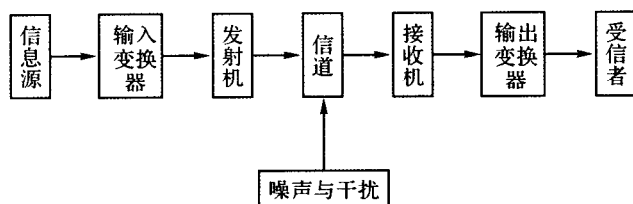


图 0.1 通信系统的基本组成框图

且包含零频率附近的分量,通常称该电信号为基带(Baseband)信号。它可以是模拟信号,也可以是数字信号。第二个变换是发射机将基带信号变换成其频带适合在信道中有效传输的信号形式,并送入信道。这种变换称之为调制(Modulation),变换后的信号称为已调信号,也称为通带(Passband)信号,去调制的基带信号也称为调制信号。

在接收端,接收机的功能与发射机的功能正好相反。第一个反变换是从信道中选取有用的已调信号,并将其转换为基带信号,该变换称为解调(Demodulation)。第二个反变换是输出变换器将解调后得到的基带信号转变为相应的信息(如语音),传送给受信者。

信道是信息的传输媒介,分为有线信道和无线信道两类。有线信道如电线、电缆、光纤和波导。无线信道即为由电磁波传播的自由空间。由有线信道组成的通信系统称为有线通信系统,由无线信道组成的通信系统称为无线通信系统。适合电波传播的频段范围极为宽广,从几十千赫兹的超长波到几十吉赫兹的毫米波,不同频段的电磁波在空间传输的方式和特性也都不相同。表 0.1 概括地说明了无线电波段的划分、主要特性与用途、所适用的传输媒质等。

表 0.1 无线电波波段划分表

级别	频率范围	波长范围 ($\lambda = c/f$)	主要用途	传播媒质
甚低频 (V. L. F)	10kHz~30kHz	30km~10km (超长波)	高功率,长距离,点对点通信	双线, 地波
低频 (L. F)	30kHz~300kHz	10km~1km (长波)	长距离点对点通信,船舶导航用	双线, 地波
中频 (M. F)	300kHz~3MHz	1000~100m (中波)	广播、船舶通信、飞行通信、警察用无线电等	电离层反射, 同轴电缆
高频 (H. F)	3MHz~30MHz	100m~10m (短波)	中距离及远距离的各种通信与广播	电离层反射, 同轴电缆
甚高频 (V. H. F)	30MHz~300MHz	10m~1m (米波段)	短距离通信、电视、调频、雷达、导航	天波(电离层与对流层散射),同轴线
超高频 (U. H. F)	300MHz~3GHz	100cm~10cm (分米波段)	短距离通信、电视、雷达、散射通信、流星余迹通信	视线中继传输, 对流层散射
特高频 (S. H. F)	3GHz~30GHz	10cm~1cm (微波段)	短距离通信、波导通信、雷达、卫星通信	视线中继传输视线, 穿透电离层传输
极高频	30GHz~300GHz	1cm~0.1cm	射电天文、雷达	视线传输
自红外线 至紫外线	$5 \times 10^{11} \text{ Hz} \sim$ $5 \times 10^{16} \text{ Hz}$	$6 \times 10^{-2} \text{ cm} \sim$ $6 \times 10^{-7} \text{ cm}$	光通信	光纤

在无线通信中,必须将基带信号转换为适合信道传输的通带信号的主要原因是:第一,为了有效地把信号以电磁波的方式辐射出去。为了有效地将信号的能量辐射到空间,必须要求天线的长度与信号的波长可比拟(例如至少十分之一)。而基带信号的频率一般是比较低的,如语音信号的频率可以认为在 $300\sim 3400\text{Hz}$ 范围内,如果要直接辐射语音信号,就要求天线的长度达 300km 以上,这显然是不现实的。为了有效地辐射,发射信号的频率必须提高。在发射机中,由振荡器产生的高频信号,称为载波。但载波并不携带要发射的信息,因此,需要用基带信号去控制高频载波的某个参数(如幅度、频率或相位等)使其成为携带了有用信息的已调波。该过程称为调制。将这种频率足够高的已调信号加到天线上,发射天线的尺寸可显著缩小。第二,为了有效地利用频带。一般要传输的基带信号的频率范围都差不多,如广播电台的音乐节目的频率范围大约集中在 $100\text{Hz}\sim 10\text{kHz}$,如果每个电台都直接发射这些信号,就会形成相互干扰,令接收机无法区分。只有将不同电台的节目调制到不同的载波频率上,变成中心频率不同的频带信号,接收机才能任意选择所需的电台而抑制不需要的电台和干扰。提高了系统的抗干扰能力。

当今公众数字移动通信常用的两种制式 GSM 和 IS-95 采用的载波频段都在 900MHz ,目前正在研发、即将推出的第三代数字移动通信都采用 2GHz 的载波频段,无线局域网(WLAN)采用的是 2.4GHz 载波频段,全球定位系统(GPS)采用的是 1.6GHz 的载波频段。

正弦载波有三个参数,即幅度、频率和相位。利用基带信号控制载波信号幅度的调制方式称为调幅;利用基带信号控制载波信号频率的调制方式称为调频;利用基带信号控制载波信号相位的调制方式称为调相。用模拟信号调制正弦载波称为模拟调制,用数字信号调制正弦载波的称为数字调制。采用不同调制方式的通信系统的性能和技术难度都是不同的。

图 0.2 是采用调幅方式的中波广播发射机的一种组成框图。

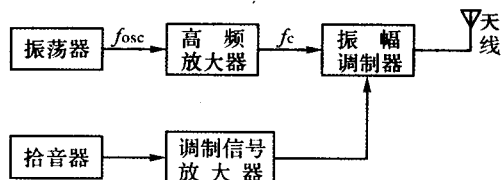


图 0.2 采用调幅方式的中波广播发射机组成框图

振荡器用来产生频率为 f_{osc} 的高频振荡信号,其频率一般在几十 kHz 以上。

高频放大器由多级带有谐振系统的谐振放大器(包括倍频器)组成,用来放大振荡器产生的振荡信号,使其频率倍增至载波频率 f_c 上,并提供足够大的功率。

调制信号放大器(也称低频放大器)由多级放大器组成。前几级为小信号放大器,用来放大传感器变换来的微弱电信号,后面几级为功率放大器,用来提供足够功率的调制信号。

振幅调制器用来实现调幅功能,它将输入的载波信号和调制信号变换为所需要的调幅波信号,然后送到天线上发射。

图 0.3 是采用调幅方式的无线广播接收机组成框图。

高频放大器由一级或多级小信号谐振放大器组成,用来放大天线上感生的有用信号,同时利用谐振回路的选频特性来抑制天线上感生的其他频率的干扰信号。由于谐振放大器的中心频率随所需接收信号频率 f_c 不同而不同,因此,高频放大器必须是可调谐的。

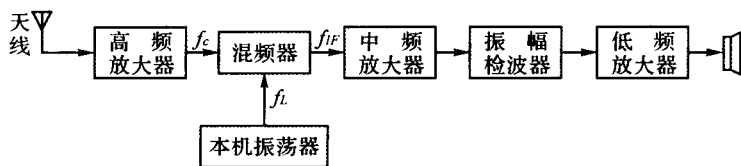


图 0.3 采用调幅方式的无线广播接收机组成框图

混频器的作用是将载波频率为 f_c 的高频已调信号不失真地变换为载波频率为 f_{IF} 的中频信号。我国调幅广播接收机的中频规定为 465kHz, 调频广播的中频为 10.7MHz。

本机振荡器用来产生振荡频率为 f_L 的高频振荡信号, 且要求 $f_L = f_c + f_{IF}$ 。由于 f_{IF} 为固定的, 因此振荡频率 f_L 也应是可调的, 而且必须正确跟踪 f_c 的变化。

中频放大器由多级固定调谐的小信号放大器组成, 用来放大中频调幅信号。

振幅检波器用来实现解调功能, 将中频信号变换为反映传输信息的调制信号。

低频放大器由小信号放大器和功率放大器组成, 用来放大携带有信息的调制信号, 并向扬声器提供所需的推动功率。

发射机与接收机的电路结构详见后面章节内容。

三、高频电子线路的特点

高频电子线路是包含非线性器件的电路, 如晶体二极管、晶体三极管及场效应晶体管等都是非线性器件, 非线性器件往往具有复杂的物理特性。

1. 器件的参数

非线性器件有多种含义不同的参数, 这些参数都是随器件的静态工作点及输入激励信号量的大小而变化的。例如, 晶体三极管, 就其转移特性曲线 ($i_c - v_{be}$) 而言, 它的主要参数为跨导, 相应的有跨导、时变跨导和平均跨导三种。这三种跨导各有不同的应用场合。跨导适用于低频小信号分析, 时变跨导适用于频率变换电路的分析, 平均跨导适用于功率放大与振荡电路的分析。可见在分析非线性器件的电路时, 必须根据器件的实际工作情况选用相应的参数。

2. 不满足叠加原理

在分析非线性器件对输入信号的响应时, 不能采用线性器件的叠加原理。若非线性器件的伏安特性为 $i = f(v)$, 则当 $v = v_1 + v_2$ 时, $i = f(v_1 + v_2)$, 而不是 $i = f(v_1) + f(v_2)$ 。

例如, 若设 $i = av^2$, 则当 $v = v_1 + v_2$ 时, $i = a(v_1 + v_2)^2 = av_1^2 + 2av_1v_2 + av_2^2$, 而不是 $i = av_1^2 + av_2^2$ 。若 $v_1 = V_{1m}\cos\omega_1 t$, $v_2 = V_{2m}\cos\omega_2 t$, 则 i 中除了出现 $2\omega_1$ 、 $2\omega_2$ 分量外, 还出现了两个输入频率的和频 ($\omega_1 + \omega_2$) 与差频 ($\omega_1 - \omega_2$)。可见, 在非线性电路中, 输出频率与输入频率相比发生了变化, 并且会产生新的频率分量。

四、本课程的安排

本书共分为九章。第 1 章是谐振回路与阻抗变换, 第 2 章是非线性器件描述及应用。这两章是高频电子线路的基础知识, 包含的内容很多, 如基本谐振回路电路及实际谐振回路的分析、各种阻抗变换网络的特点与匹配方法、非线性器件的描述、非线性器件对电路性能的影响以及非线性器件的应用等, 这些内容所涉及的概念将贯穿于整本教材。本书将这些