



电气信息类创新人才培养系列

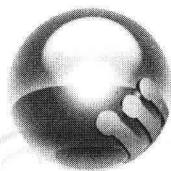
通信电子电路设计

◎ 郭云林 陈松 编著

电子设计专家倾心策划与撰写
创新实践教学与人才培养模式



华中科技大学出版社
<http://www.hustp.com>



电气信息类创新人才培养系列

通信电子电路设计

● 郭云林 陈松 编著

5.
[Z].

华中科技大学出版社
中国·武汉

图书在版编目(CIP)数据

通信电子电路设计/郭云林 陈 松 编著. —武汉:华中科技大学出版社,2010年1月
ISBN 978-7-5609-5777-7

I. 通… II. ①郭… ②陈… III. 通信-电子电路-电路设计 IV. TN91

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 205253 号

通信电子电路设计

郭云林 陈 松 编著

策划编辑:沈旭日

责任编辑:沈旭日

责任校对:刘 竣

封面设计:刘 卉

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)87557437

录 排:武汉众心图文激光照排中心

印 刷:湖北新华印务有限公司

开本:787 mm×1 092 mm 1/16

印张:18.25

字数:448 000

版次:2010年1月第1版

印次:2010年1月第1次印刷

定价:28.80元

ISBN 978-7-5609-5777-7/TN·158

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

内容简介



本书是一本尝试性的创新人才培养教材。在继承传统理论原理的基础上,大量吸收了近年来出现的新器件、新技术、新理论,并突出了工程设计实例等内容。

全书共分为十章,即:绪论,通信电子电路基础,高频小信号放大器,非线性电路分析基础,谐振功率放大器,正弦波振荡器,振幅调制、解调与混频,角度调制与解调,反馈控制电路,频率合成技术。

本书具有通俗易懂、便教便学的特点。可作为大专院校电子信息工程和通信工程等专业参加创新基地培训的师生教学用书;亦可作为本、专科生的教学参考书以及青年教师、工程技术人员自学、进修的教材或参考书。

前 言



华中科技大学出版社和全国大学生电子设计竞赛湖北赛区专家组,策划出版一套电气信息类创新人才培养系列丛书。该丛书要求既要继承传统理论原理,又要尽量吸收近年来电子技术发展的新器件、新技术、新理论,并要对电子设计竞赛有一定指导意义;旨在促进高等院校工科相关专业学生理论水平和工程实践能力的全面提高,培养未来专家型创新人才。本书即是根据这些要求编写的上述系列丛书之一。

本书具有以下特点。

(1) 理论体系完整、内容简洁

理论原理的完整性主要体现在两个方面,一是继承了前辈和今人的劳动成果;二是对近年来出现的新器件、新技术、新理论也作了尽可能多的搜集和整理。这样,读者通过学习本书,就能对通信电子电路(不少书籍亦称之为高频电子线(电)路)主要功能电路的基本概念、原理、分析方法及应用方法,有一个比较新的完整的了解。

内容的简洁性也主要体现在两个方面,一是在各章、节前后衔接的关系上,尽量做到逻辑严谨、联系紧凑,减少重复、交叉或脱节的现象;二是在继承传统理论原理时,强调了继承其精华和干线知识点,对那些现时可学可不学的或业已过时的知识基本上就舍弃了。这从本书的总目录上看便一目了然。

(2) 大量吸收新器件、新技术知识

为了跟上快速发展的电子技术的新形势,本书注意吸收了许多电子技术的新器件、新技术知识,使传统理论原理在新的形势下焕发出新的活力,并获得了一定的扩充。本书差不多每一章都有相关系列新器件性能介绍和新技术应用举例,以开拓读者视野,提高学习兴趣;同时也相当于给读者提供了一些新器件、新技术资料。

(3) 突出工程实践能力培养

为贯彻理论联系实际的原则,加强对学生工程实践能力的培养,本书中各章都安排有应用电路设计的例子。题材取自毕业设计、课程设计课题,综合设计性实验,大学生电子竞赛赛题以及新器件技术资料等;设计方法尽量做到规范,有实际参考价值;测试数据均为笔者亲手实验所得,比较可信;有关芯片的使用注意事项,除资料介绍的外,都是笔者多年工作的点滴经验,或许有借鉴意义。在每一章学习结束后,进行一次应用电路设计实训,对于加强读者的工程实践意识,提高动手能力和创新设计能力,是一定有帮助的。

(4) 通俗易懂

通信电子电路或高频电子线(电)路,历来存在让人望而生畏、难教难学的问题。笔者积几

十年教学、科研和十余年指导电子设计竞赛的经验,希望通过编写本书为解决此问题尽绵薄之力。主要做了两方面的工作。一是对重、难点知识点的阐述尽量做到文字通俗,语言清晰,条理清楚,层次分明,逻辑严谨,让诸多难以理解的问题,变得容易弄明白;二是对有意义的数学分析过程,尽量做到交待清楚,推导详细,逻辑严密,使读者只要具备了基本的数学基础,就能方便地阅读本书。以上两点可以比喻为“扫除了形形色色的拦路虎”、“削平了各式各样的大小山头”,使通信电子电路内容变得比较通俗起来,便学便教。

本书读者对象,目前暂定为各大专院校电子信息工程、通信工程等专业参加创新基地培训的本、专科生和老师;亦可作为相关专业本、专科生的教学参考书;还可以作为相关专业的青年教师、工程技术人员自学、进修的教材或参考书。

本书得以编撰完成,首先要感谢张肃文、谢嘉奎等老一辈权威教授,是他们披荆斩棘、披肝沥胆,写出了惠普全国的开山巨著,才使我们得有今日较为雄厚的理论素养;其次要感谢全国大学生电子设计竞赛组委会的领导和专家,是他们的辛劳使竞赛水平一届高过一届,推动了电子信息类教学改革紧跟电子技术迅速发展的新形势,不断深入开展,从而使我们的视野不断扩大,学术、技术水平随之提高;第三,要感谢华中科技大学出版社和全国大学生电子设计竞赛湖北赛区专家组,是他们给予了我们学习和提高的机会;特别要感谢本书编审沈旭日老师,她对本书的规范化写作和文字润色,助益良多。

华中科技大学出版社和湖北赛区专家组策划编写丛书的指导思想无疑是十分良好的,但要实现这一目标,谈何容易!笔者虽已竭尽全力,但毕竟能、才有限,恐难达所要求之万一,深感惶惶不安。恳请读者和专家不吝赐教,以图改进!

作 者

2009年10月于湖南理工学院

目录 Content



第0章 绪论	(1)
0.1 电通信课程的构建思路	(1)
0.2 无线通信系统的主要单元电路	(2)
0.2.1 一般通信系统的组成	(2)
0.2.2 无线通信系统的组成与工作原理	(3)
0.2.3 无线通信系统的主要功能单元电路	(5)
0.3 无线通信中的几个重要问题	(5)
0.3.1 调制	(5)
0.3.2 无线电信号	(6)
0.3.3 无线电频率	(7)
0.3.4 无线电波的传播方式	(7)
0.3.5 无线通信系统的类型	(8)
0.4 本书内容的系统安排与主要学习方法	(9)
0.4.1 内容的系统安排	(9)
0.4.2 主要学习方法	(9)
第1章 通信电子电路基础	(10)
1.1 通信电路中的元器件	(10)
1.1.1 通信电路中的 R 、 L 、 C 元件	(10)
1.1.2 通信电路中的有源器件	(12)
1.2 LC 谐振回路	(13)
1.2.1 串联谐振回路	(13)
1.2.2 并联谐振回路	(17)
1.2.3 双耦合谐振回路	(22)
1.3 LC 阻抗变换	(25)
1.3.1 串、并联阻抗的等效互换	(26)
1.3.2 变压器阻抗变换电路	(27)
1.3.3 部分接入回路的阻抗变换	(28)
1.4 逼近理想特性的函数滤波器	(30)
1.4.1 巴特沃斯函数低通滤波器	(31)
1.4.2 几种常用逼近型滤波器的软件设计及其特性曲线仿真图	(33)
1.5 其他形式的滤波器	(36)

1.5.1 石英晶体滤波器	(36)
1.5.2 陶瓷滤波器	(38)
1.5.3 声表面波滤波器	(39)
1.5.4 三种滤波器的性能比较	(41)
第2章 高频小信号放大器	(42)
2.1 概述	(42)
2.2 高频小信号调谐放大器	(43)
2.2.1 晶体管的高频小信号模型	(43)
2.2.2 高频小信号调谐放大器电路分析	(48)
2.2.3 小信号放大器的稳定性问题	(53)
2.3 集中选频放大器	(56)
2.3.1 一般组成形式	(56)
2.3.2 集中选频放大实用电路设计举例	(56)
2.4 高速宽带集成运算放大器	(59)
2.4.1 电压反馈型运算放大器	(59)
2.4.2 电流反馈型运算放大器	(62)
2.5 放大器中的噪声与抑制	(65)
2.5.1 放大器内部噪声的来源	(66)
2.5.2 放大器的噪声系数	(69)
2.5.3 减小噪声系数的措施	(73)
第3章 非线性电路分析基础	(74)
3.1 非线性电路的基本概念与非线性元件	(74)
3.1.1 非线性电路的基本概念	(74)
3.1.2 非线性元件的基本特性	(75)
3.2 非线性电路的基本分析方法	(77)
3.2.1 幂级数分析法	(77)
3.2.2 时变参量电路分析法	(79)
3.2.3 大信号折线近似分析法	(81)
3.3 模拟乘法器	(82)
3.3.1 概述	(82)
3.3.2 模拟乘法器的基本原理	(83)
3.3.3 单片集成模拟乘法器应用设计举例	(88)
第4章 谐振功率放大器	(95)
4.1 概述	(95)
4.2 谐振功率放大器的工作原理	(96)
4.3 谐振功率放大器的电路分析与计算	(99)
4.3.1 晶体管特性曲线的理想化及其解析式	(99)

4.3.2	集电极余弦电流脉冲的分解	(100)
4.3.3	谐振功率放大器的动态特性分析	(102)
4.3.4	谐振功率放大器的参量计算	(104)
4.3.5	R_p 、 V_{CC} 、 V_{BB} 和 V_{bm} 变化对谐振功率放大器性能的影响	(106)
4.4	谐振功率放大器的实际电路	(108)
4.4.1	直流馈电电路	(108)
4.4.2	输出匹配网络	(112)
4.4.3	输入匹配网络	(117)
4.5	谐振功率放大器设计举例	(119)
4.5.1	谐振功率放大器的主要设计步骤	(119)
4.5.2	谐振功率放大电路设计举例	(120)
4.6	集成高频功率放大电路简介	(121)
第5章	正弦波振荡器	(126)
5.1	概述	(126)
5.2	反馈型 LC 正弦波振荡器的工作原理	(126)
5.2.1	自激振荡建立的物理过程及电路的基本构件	(126)
5.2.2	振荡器的起振条件	(127)
5.2.3	振荡器的平衡条件	(128)
5.2.4	振荡器平衡状态的稳定条件	(129)
5.3	一般 LC 振荡器	(131)
5.3.1	变压器反馈式 LC 振荡器	(132)
5.3.2	三点式 LC 振荡器	(132)
5.3.3	改进型电容三点式振荡器	(137)
5.4	振荡器的频率稳定问题	(140)
5.4.1	频稳度的概念	(140)
5.4.2	影响频稳度的因素	(141)
5.4.3	稳频措施	(142)
5.5	石英晶体振荡器	(143)
5.5.1	并联型晶体振荡器	(143)
5.5.2	串联型晶体振荡器	(145)
5.6	两类常用的正弦波振荡器	(145)
5.6.1	集成电路振荡器	(146)
5.6.2	压控振荡器	(148)
第6章	振幅调制、解调与混频	(154)
6.1	振幅调制原理	(154)
6.1.1	普通调幅波(AM 波)	(155)
6.1.2	抑制载波的双边带调幅(DSB)	(158)
6.1.3	抑制载波的单边带调幅(SSB)	(160)

6.1.4 残留边带调幅(VSB)	(161)
6.2 振幅调制的实现方法	(162)
6.2.1 高电平调幅	(162)
6.2.2 低电平调幅	(164)
6.3 调幅信号的解调	(166)
6.3.1 大信号包络检波器	(166)
6.3.2 同步检波	(174)
6.4 混频电路	(176)
6.4.1 混频原理	(177)
6.4.2 混频电路	(180)
6.4.3 混频干扰	(183)
第7章 角度调制与解调	(186)
7.1 角度调制的原理	(186)
7.1.1 瞬时频率与瞬时相位	(187)
7.1.2 调角信号的产生	(187)
7.1.3 调角信号的频谱分析	(192)
7.1.4 调角信号的功率分配	(195)
7.2 调频的实现方法	(196)
7.2.1 概述	(196)
7.2.2 变容二极管直接调频	(199)
7.2.3 晶体振荡器直接调频	(204)
7.2.4 间接调频·调相	(206)
7.3 调角信号的解调	(209)
7.3.1 概述	(209)
7.3.2 叠加型相位鉴频器	(212)
7.3.3 乘积型相位鉴频器	(215)
7.3.4 脉冲计数式鉴频器	(219)
7.4 调频制中几个问题的说明	(220)
第8章 反馈控制电路	(224)
8.1 自动增益控制(AGC)	(224)
8.1.1 AGC的概念与原理电路框图	(224)
8.1.2 AGC的工作原理	(224)
8.1.3 AGC的电路类型	(225)
8.1.4 AGC的主要质量指标	(226)
8.1.5 实际AGC电路举例	(227)
8.2 自动频率控制(AFC)	(229)
8.2.1 AFC的概念与原理电路框图	(229)
8.2.2 AFC的工作原理	(229)

8.2.3 AFC 的主要质量指标	(230)
8.2.4 AFC 应用举例	(231)
8.3 锁相环路(PLL)	(232)
8.3.1 PLL 的组成	(232)
8.3.2 PLL 的基本工作原理	(233)
8.3.3 PLL 的各组成部件分析及其模型	(234)
8.3.4 PLL 的数学模型与基本方程	(238)
8.3.5 PLL 锁定的概念与性能分析	(239)
8.3.6 PLL 的基本应用	(244)
8.4 集成锁相环芯片应用举例	(247)
8.4.1 内部结构与引脚功能	(248)
8.4.2 主要参数	(248)
8.4.3 应用电路设计举例	(249)
8.4.4 使用注意事项	(251)
第9章 频率合成技术	(252)
9.1 概述	(252)
9.2 直接模拟频率合成法(DAFS)	(253)
9.3 间接频率合成法(锁相频率合成)	(255)
9.3.1 锁相频率合成器	(255)
9.3.2 锁相频率合成应用电路设计举例	(256)
9.4 直接数字频率合成法	(269)
9.4.1 正弦波直接数字频率合成的基本原理	(270)
9.4.2 DDS 的特点	(272)
9.4.3 直接数字频率合成应用电路设计举例	(273)
9.5 频率合成技术的发展方向	(279)
9.5.1 三种合成方法的比较	(279)
9.5.2 频率合成技术的发展方向	(280)
主要参考文献	(281)

第 0 章 绪 论



从 19 世纪开始,在伏特和法拉第先后发明直流电、交流电的基础上,人们尝试利用电能快速远距离传递信息。1837 年,莫尔斯发明了有线电报,1876 年贝尔发明了有线电话,开启了电通信的新时代。1864 年麦克斯韦在总结前辈电磁学理论的基础上,发表了著名的麦克斯韦电磁场方程,预言了电磁波的存在;1887 年赫兹在实验室中证明了麦克斯韦的理论,并得出了电磁波在自由空间的传播速度与光速相同的结论。从此人们竞相研究利用无线电波来传递信息的技术。1895 年前后,意大利科学家马可尼、俄国科学家波波夫等,先后获得无线通信的成功。1904 年,弗莱明发明真空二极管,宣告无线电电子学时代的来临。1907 年,发明了电子三极管,用它可以组成放大、振荡、调制、解调、变频等多种功能的电路,为现代千变万化的电子线路提供了关键器件,使无线通信技术和整个电子技术领域开始进入飞速发展的时期,因而被认为是电子技术发展史上的第一个里程碑。1948 年,发明了晶体三极管,它比电子管有更多显著优点,并基本上取代了电子管,从而被认为是电子技术发展史上的第二个里程碑。20 世纪 60 年代开始出现的集成电路,已获得日益广泛的应用,被认为是电子技术发展史上的第三个里程碑。

伴随电子器件的进步,不仅有线和无线通信技术得到了蓬勃发展,而且在人类生活的各个方面,电子技术的应用和发展也迅速扩展开来,早已深入到各行各业和千家万户,其中最引人瞩目的成就当首推计算机技术了。电子技术的各种成就反过来又推动了通信技术快速地向广度和深度发展。20 世纪 80 年代末,由于计算机的参与,出现了第三种通信方式——网络通信。不仅如此,近年来电子技术、微机技术和通信技术的发展速度,都是人们始料不及的,短短十几年的时间里,全球三大通信方式已经融为一体了!

0.1 电通信课程的构建思路

如上所述,世界上大小、各式各样的通信系统,不外乎无线、有线、网络三大通信系统,而且它们已经“三位一体”了。那么,面对如此众多的通信设备,我们怎样来学习它们呢?无数前辈的辛勤劳动,已为我们做好了大致的安排:不仅是所有通信系统,而且包括其他形形色色的电子设备,这些千变万化的电子电路,从其传输或处理的信号频率来看,其实可以简单地分为两大类,即低频电子电路和高频电子电路,前者即先修课程“模拟电子技术基础”,或“低频电子电路”等;后者即“高频电子线路”,或“通信电子电路”等。低频电子线路具有普遍的适用性,对三大通信系统都适用;高频电子线路的各种基本功能单元电路,则以无线通信系统的应用电路最具代表性。因此,本书将以无线通信系统必须具备的单元电路为例,引领通信电子电路的学习;同时也就基本上涵盖了有线通信和网络通信电子电路的学习内容。

有人问,目前电子线路的发展趋势是集成化,为什么还要学习功能单元电路呢?这是因为集成电路是以功能单元电路为基础的,只有掌握了基础单元电路,才能更好地熟悉和理解集成

电路,并应用集成电路进行工程设计。

又有人问,目前通信系统中数字化的处理技术日益增多,为什么还要学习这么多模拟电路呢?的确,数字通信,乃至软件无线电,是现代通信发展的方向。但是,它们也都是以模拟通信为基础的。模拟的系统概念和数字化的处理技术相结合,是整个电子技术的发展趋势,当然也是通信技术的发展趋势,但都离不开模拟电路的概念、原理和分析方法。

所以,本书以无线通信系统为基础,介绍各种模拟的高频通信电子电路,既符合学习三大通信系统电路的需求,也符合集成化、数字化成分与日俱增的发展趋势。

0.2 无线通信系统的主要单元电路

为了具体了解通信电子电路包含的主要单元电路,下面介绍无线通信系统的基本组成。为不失整个通信系统的构架或概念,不妨先简介一下通信系统的一般组成。

0.2.1 一般通信系统的组成

从广义上说,传输信息的电子系统都称为电通信系统。例如,广播电台是传输声音信息的通信系统,电视是传输声音及图像信息的通信系统,计算机网络是传输数据信息的通信系统,等等。因此,不难推知,一般的通信系统均应包含以下5个部分:信息源、发送设备、传输媒质、接收设备和受信装置,如图0.2.1所示。

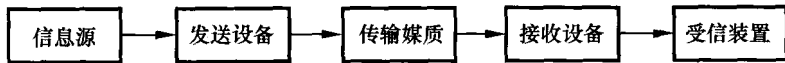


图 0.2.1 一般通信系统的组成框图

1. 信息源

信息源是将原始信息(语音、文字、图像、数据等)转换为相应电信号的装置,如话筒、摄像机、计算机、传感器等。信息源输出的电信号有模拟的或数字的,通常称为基带信号。

2. 发送设备

发送设备的作用是将基带信号转换为适合在相关媒质中传输的信号。基带信号一般不适合于直接在传输媒质中传输,因此需要利用发送设备对其进行变换,以得到适合在媒质中传输的信号。

3. 传输媒质

信号从发送到接收,中间要经过传输媒质,亦称传输信道,如自由空间、电缆、光缆等。不同的信道有不同的传输特性,人们把以自由空间作为传输媒质的通信,称为无线通信;把以电缆、光缆等作为传输媒质的通信,称为有线通信。有的把光缆作为传输媒质的通信单列为光纤通信。

4. 接收设备

接收设备的作用是将信道传送过来的信号进行接收和处理,以恢复成与发送端基带信号

相一致的信号。当然,信号在信道传输和恢复过程中,会产生损耗和干扰,因而发生失真。应尽量减小这种失真。

5. 受信装置

受信装置是将接收设备输出的基带信号还原为信息原来形式的装置,如扬声器、显示器、计算机等。

由上可见,各种通信系统的信息源和受信装置是基本相同的;它们的区别主要在于传输媒质的不同,因而发送设备和接收设备也会有相应的差别;但信号在发送设备和接收设备中的变换或处理过程是基本相同的。因此,以无线通信系统为例,来说明各种通信系统中所包含的主要单元电路,有典型代表意义。

0.2.2 无线通信系统的组成与工作原理

无线通信系统的种类和形式繁多,但其基本功能单元电路大同小异。下面以最简单的无线电话通信系统为例,来说明其发送设备和接收设备的基本组成与工作过程。图 0.2.2 为无线电话通信系统的基本组成框图。

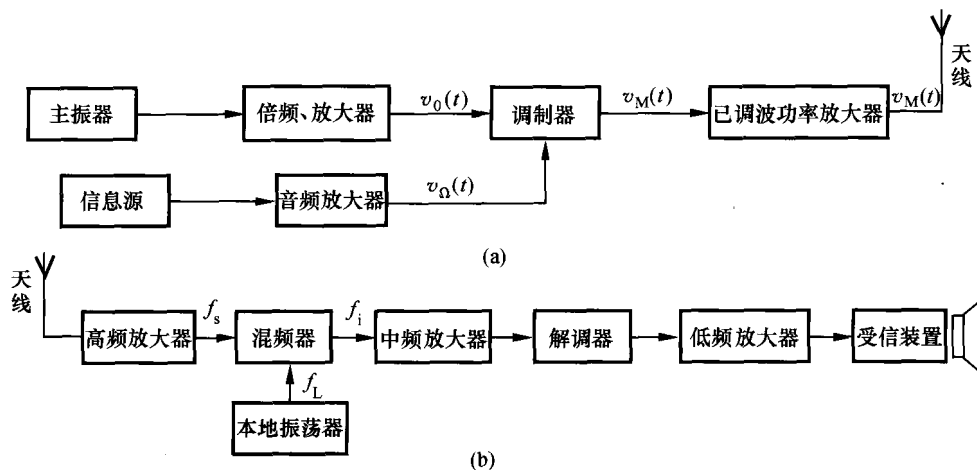


图 0.2.2 无线电话通信系统的基本组成框图
(a) 无线电话发送机 (b) 无线电话接收机

1. 无线电话发送机的构成与工作原理

由图 0.2.2(a) 可见,无线电话发送机主要由语音变换电路、载波产生电路、调制电路、已调波功率放大电路和天线等五部分组成。

(1) 语音变换电路

语音变换电路由话筒(信息源)和音频放大器等组成,它可将语音信息变换成相应的模拟电信号,并经过音频放大器,把音频信号放大到调制器要求的电压或功率电平。音频放大器一般通过适当的低通滤波器来限制信号的带宽。

(2) 载波产生电路

载波产生电路由主振器和倍频器或谐振放大器等组成。在无线通信中,由原始信息转换而

来的电信号,其频率都比较低,需要用高频率的振荡信号将它携带,才能在传输媒质(自由空间)中传输,将信息送达远方。这种高频率的振荡信号称为载波。载波的振荡频率通常在几十千赫以上,一般由正弦波振荡器产生,这种正弦波振荡器在发送机中称为主振器;如果对发送机工作频率的准确度和稳定度要求较高,则主振器通常采用晶体振荡器。

为了达到发送机要求的工作频率和调制器要求的载波信号电平,主振器的输出信号还需要进行倍频或(和)高频电压/功率放大。这就是倍频器或谐振放大器的功能,它们通常采用丙类工作方式。

(3) 调制电路

调制电路即调制器。它的任务就是把反映信息的音频信号“装载”到高频振荡的载波上去,让载波携带着信息传向受信者。这一过程称为调制。载波的振幅、频率、相位均可以携带信息,在模拟通信中分别称为调幅、调频和调相,相应的调制电路是彼此不同的。

由图 0.2.2(a) 可见,调制器有两个输入信号和一个输出信号,分别称为调制信号(音频信号 $v_{\Omega}(t)$)、载波信号($v_0(t)$) 和已调信号或已调波($v_M(t)$)。这是非常重要的三种通信系统信号。

(4) 已调波放大器

调制器的输出信号可能还需要加以放大,以便把高频已调信号的功率提高到天线输入端所需的值。这一般是乙类或丙类高频功率放大器。

(5) 发射天线

发射天线把高频已调波的能量转换为极化符合要求的电磁波,以便在自由空间中有效地传输。天线的长度必须和载波的波长可以相比拟,才能有效地将高频电振荡转换为电磁波辐射出去。

综上所述,很容易总结出无线电话发送机的工作过程或工作原理。恕不另述。

2. 无线电话接收机的构成与工作原理

由图 0.2.2(b) 可见,无线电话接收机主要由接收天线、高频小信号放大电路、混频电路、中频放大电路、解调器和语音还原电路等六部分组成。

(1) 接收天线

接收天线是利用电磁感应原理接收发送信号的装置。从发射机传播过来的电磁波,在接收天线上感应出一个小的电压信号,其幅度范围可以从几十 mV 到小于 1 μ V。接收天线的尺寸也必须和载波的波长可以相比拟。

(2) 高频放大器

高频放大器将接收天线感应的微弱小信号加以放大,因此,这是一种高频小信号放大器,工作方式为甲类。由于自由空间中存在的电磁波很多,所以高频放大器必须采用选频网络作负载和输入回路,以选取有用的信号。

(3) 混频电路

混频电路包括混频器和本地振荡器两部分。混频器是一种差频器件,它使接收信号的频率 f_s 和本地振荡器的频率 f_L 相差拍,保持一个中频 $f_i = |f_L - f_s|$ 不变,且不改变接收信号的调制规律。从而使不同频率的接收信号可以在同一个固定频率的放大器中加以放大,这可以使微弱的接收信号得到足够的增益,并提高对有用信号的选择性。

本地振荡器产生频率为 f_L 的正弦波信号,亦称本地载波,它可以由同一器件混频器自己产生,亦可由另一正弦波振荡器单独产生,然后送混频器处理。

这种含有混频电路的接收机,因为本地信号 f_L 和外来信号 f_s 差拍,因而称为外差式接收机或超外差式接收机,是长期以来广泛采用的一种接收方式。

(4) 中频放大电路

中频放大电路的工作频率为 f_i 。它把中频信号增强到适合解调的电平(1 V 左右)。这是接收机高频小信号放大和选频能力的中心环节。

(5) 解调器

解调是调制的逆过程,即从已调波中把调制信号“拆卸”下来,还原出调制信号的过程。解调由解调器完成,根据调制方式的不同,解调分为振幅解调、频率解调和相位解调等3种。

(6) 语音还原电路

语音还原电路包括音频放大电路和受信装置。音频放大电路对解调器输出的调制信号进行电压放大和功率放大;受信装置扬声器则将调制信号转换为原始语音信息。

0.2.3 无线通信系统的主要功能单元电路

以上以图 0.2.2 为例,讨论了无线电话通信系统的一般组成与工作过程。事实上,对于其他无线通信系统,只是改变信息源和受信装置而已,其他功能电路在原理上是相同的。因此,从图 0.2.2 中可以归纳出无线通信系统包含的主要高频电子电路:高频正弦波振荡器;高频小信号调谐放大器;高频功率放大器;调制器和解调器以及混频器等。这些功能单元电路正是本书研究的主要对象。如前述,这些内容也同样适合有线和网络通信系统。至于调制信号的处理电路,属于先修低频电子电路课程范围,前面已说明过了。

0.3 无线通信中的几个重要问题

在通信电子电路中,有些技术或概念问题会经常遇到或应用到,不妨先在这里作一统一阐释,以备应用。

0.3.1 调制

调制就是把代表原始信息的基带信号“装载”到载波上去的过程。更广义地说,一个信号寄托在另一个信号上,也可称为调制。那么,为什么要进行调制呢?就无线通信而言,主要有两个原因。一是天线要有效地发射无线电信号,其长度必须和信号的波长可以比拟。基带信号的频率较低,因而波长很长,例如,设音频信号的频率 $F = 15 \text{ kHz}$,则波长

$$\lambda = C/F = [3 \times 10^8 / (15 \times 10^3)] \text{ m} = 20000 \text{ m} = 20 \text{ km}$$

以 $\lambda/4$ 的长度作为天线的长度,则 $\lambda/4 = 5 \text{ km}$ 。显然,5 km 长的天线是难以制成的。如果采用高频率的载波来携带基带信号,这个问题就容易解决了。二是虽然原始信息的形式多种多样,但其基带信号的频率范围都处在相近的低频范围里,例如,人类的语言信号频率范围为 300 ~ 3400 Hz,各种图像信号的频率范围为 0 ~ 6 MHz,若这些信号以电磁波的形式在自由空间传播,则接收者无法从中选择出有用的信号。如果采用高频载波来携带基带信号,且不同的基带信号用不同频率的高频载波携带,那么接收者就可以通过选频网络把有用的信号选择出来。可

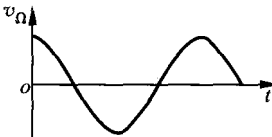
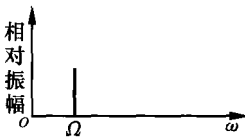
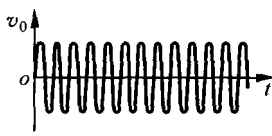
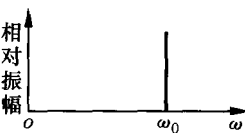
供选择的高频载波频率范围是很宽的,而每个携带了信息的已调波带宽是很窄的,因而在自由空间中可同时容纳的已调波非常多。这就是无线通信为什么要采用调制技术的原因。根据上述原理,亦可以容易找到在有线、网络通信中采用调制的原因。这也是通信电子电路采用高频电子电路的原因。

0.3.2 无线电信号

前已述,调制器的两个输入信号和一个输出信号,分别称为调制信号、载波信号和已调信号。这是通信电子电路中经常需要处理的三种无线电信号。调制信号即由原始信息转换而来的电信号,在本书中一般为模拟信号;在数字或数据通信中,一般为数字信号,它们的频率范围属于低频率范围,通常统称为基带信号。载波信号即高频振荡信号,包括发送机中用于调制的载波和接收机中用于混频的本地载波、用于同步解调的同步载波等,是一种单一频率的正弦波。已调信号即调制器的输出信号,是载波携带信息以后变成的信号,其频率成分包含载频和一些边频分量,因而也是高频范畴的信号。所以,无线电信号总的来说可以分为低频信号和高频信号两类,这也就是低频电子线路和高频电子线路的来源。

在通信电子电路的分析讨论中,经常需要用到三种无线电信号的时域特性和频域特性。在时域特性方面,常以数学表达式或波形来描述;在频域特性方面,常以信号的频谱特性或频谱图来描述。例如,对于调制信号,不管其波形有无规律,都可通过傅里叶变换把它们分解为若干正弦波分量之和,因此通常以其中的一个正弦分量为代表,写出其数学表达式,画出其波形和频谱图(一根谱线或全部谱线),就可以代表调制信号了;对于载波信号,因为是单频正弦波,一般可直接写出它的数学表达式,画出其波形图或频谱图。对于已调信号,情况稍复杂一些,但可以写出数学表达式,画出波形图和频谱图。以上所述,如表 0.3.1 所示。

表 0.3.1 三种无线电信号的时域特性与频域特性

无线电信号	数学表达式	波形图	频谱图
调制信号	$v_{\Omega} = V_{\Omega} \cos \Omega t$		
载波信号	$v_0 = V_0 \cos \omega_0 t$		
已调信号	$v_{AM} = V_0 (1 + m_a \cos \Omega t) \cos \omega_0 t$	