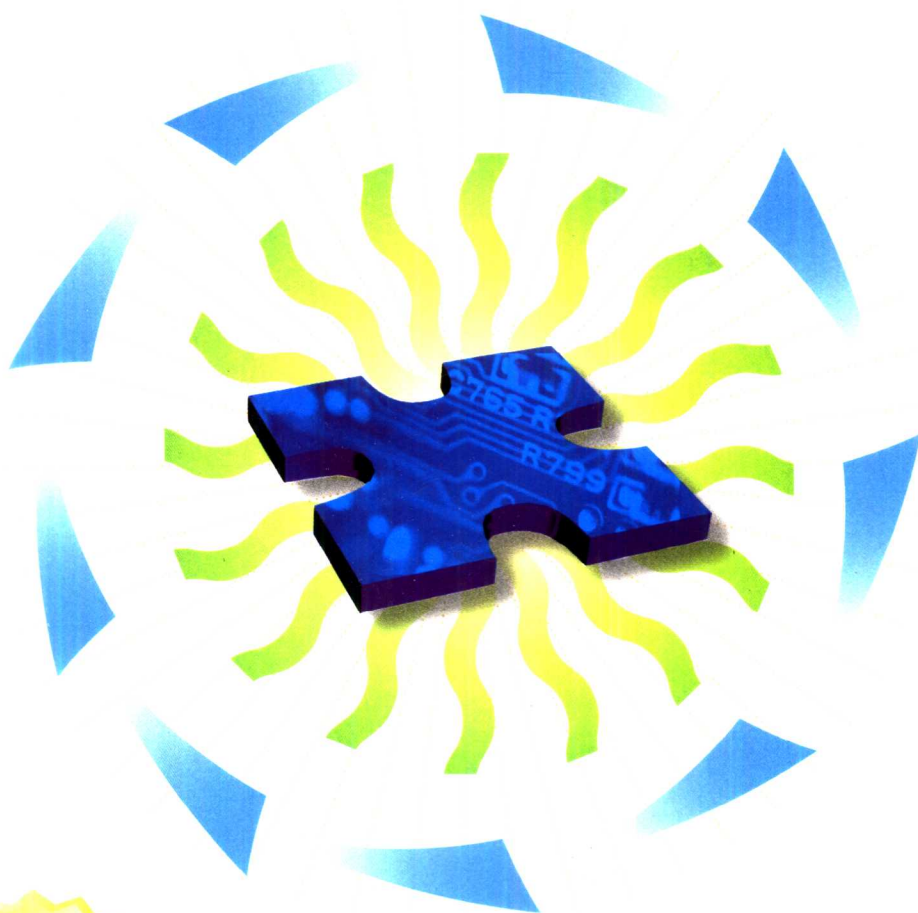


中国高等职业技术教育研究会推荐

高职系列教材

高频电子线路

■ 申功迈 钮文良 编著



面向

21 世纪

高级应用型人才



西安电子科技大学出版社

[http:// www.xduph.com](http://www.xduph.com)

☐中国高等职业技术教育研究会推荐

高职系列教材

高频电子线路

申功迈 钮文良 编著

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书是面向 21 世纪高等职业教育的教材。全书由绪论、通信信号的接收、通信信号的发送、正弦波振荡器、信号变换一(振幅调制、解调与混频电路)、信号变换二(角度调制与解调)、锁相技术及频率合成、无线通信基本系统等章节组成。本书强调基本概念,注重实际应用,增加了电子线路仿真软件的使用内容,有利于学生加深对高频电子线路知识的理解。

本书可以作为高等学校电子信息工程、通信工程等专业的教材或主要参考书,也可以供相关专业工程人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

高频电子线路/申功迈,钮文良编著.

—西安:西安电子科技大学出版社,2001.8

高职系列教材

ISBN 7-5606-1055-2

I. 高… II. ①申… ②钮… III. 高频—电子电路—高等学校:技术学校—教材
IV. TN710.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 052297 号

责任编辑 张晓燕 刘巧艳

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)8227828 邮编 710071

<http://www.xduph.com> E-mail: xdupfxb@pub.xaonline.com

经 销 新华书店

印 刷 中铁一局印刷厂

版 次 2001 年 8 月第 1 版 2002 年 6 月第 2 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 14.25

字 数 333 千字

印 数 4 001~10 000 册

定 价 16.00 元

ISBN 7-5606-1055-2/TN·0185

XDUP 1326001-2

*** 如有印装问题可调换 ***

本书封面贴有西安电子科技大学出版社的激光防伪标志,无标志者不得销售。

序

在即将跨入 21 世纪的前夕,中共中央、国务院召开了第三次全国教育工作会议,并颁发了《中共中央、国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》,进一步明确了高等职业教育的重要地位,指出“高等职业教育是高等教育的重要组成部分。要大力发展高等职业教育。”在这一方针的指引下,我国高等职业教育取得了空前规模的发展。至 1999 年,从事高等职业教育的高等职业学校、高等专科学校和独立设置的成人高校已达 1345 所,占全国高校总数的 69.2%;专科层次的在校生占全国高校在校生的 55.37%,毕业生占高校毕业生总数的 68.5%。这些数字表明,高等职业教育在我国高等教育事业中占有极其重要的地位,在我国社会主义现代化建设事业中发挥着极其重要的作用。随着社会的发展、科技的进步,以及我国高等教育逐步走向大众化,我国的高等职业教育必将进一步发展壮大。

在高等职业教育大发展的同时,也有着许多亟待解决的问题。其中最主要的是按照高等职业教育培养目标的要求,培养一批“双师型”的中青年骨干教师;编写出一批有特色的基础课和专业主干课教材;创建一批教学工作优秀学校。

为解决当前高职教材严重匮乏的问题,西安电子科技大学出版社与中国高等职业技术教育研究会联合策划、组织编写了计算机及应用电子技术两个专业的教材,现已出版。本系列教材,从策划到主编、主审的遴选,从成立专家组反复讨论大纲,研讨职业教材特色到书稿的字斟句酌,每走一步都比较扎实、十分精心。作者在编写中紧密联系实际,尽可能地吸收新理论、新技术、新工艺,并按照案例引入、改造拓宽、课题综合(通过一个大型的课题,综合运用所学内容)的思路,进行编写,努力突出高职教材的特点。本系列教材内容取材新颖、实用;层次清楚,结构合理;文笔流畅,装帧上乘。这套教材比较适合高等职业学校、高等专科学校和成人高校等高等职业教育的需要。

教材建设是高等职业院校基本建设的主要工作之一,是教学内容改革的重要基础。为此,有关高职院校都十分重视教材建设,组织教师积极参加教材编写,为高职教材从无到有,从有到优而辛勤工作。但高职教材的建设还刚刚起步,还需要做艰苦的工作,我们殷切地希望广大从事高等职业教育的教师,在教书育人的同时,组织起来,共同努力,编写出一批高职教材的精品,为推出一批有特色的、高质量的高职教材作出积极的贡献。

中国高等职业技术教育研究会会长

李宗尧

高等职业技术教育“计算机及应用电子技术专业” 教材编审专家委员会

主任：闵光太(中国高等职业技术教育研究会副会长，
金陵职业大学校长，教授)

副主任：俞克新(中国高等职业技术教育研究会秘书长，研究员)

孙建京(北京联合大学教务长，副教授)

余苏宁(深圳职业技术学院计算机应用工程系副主任，副教授)

李荣才(西安电子科技大学出版社总编辑，教授)

计算机组

组长：余苏宁(兼)

成员：(按姓氏笔画排列)

丁桂芝(天津职业大学计算机工程系主任，副教授)

朱振元(长沙大学高级工程师)

张燕(金陵职业大学计算机系讲师)

唐连章(广州大学副教授)

韩伟忠(金陵职业大学计算机系主任，副教授)

樊月华(北京联合大学应用技术学院副教授)

颜彬(江汉大学副教授)

应用电子技术组

组长：孙建京(兼)

成员：(按姓氏笔画排列)

付植桐(天津职业大学副教授)

刘守义(深圳职业技术学院电子通信工程系副主任，高工)

李建民(江汉大学应用物理系副主任，副教授)

高泽涵(广州大学机电工程系副主任，高级实验师)

鲁宇红(金陵职业大学副校长，副教授)

熊幸明(长沙大学工程系主任，副教授)

总策划：梁家新

策划：马乐惠 徐德源 云立实

前 言

21 世纪是信息的时代。为了适应时代对高素质人才的需求,深化教育改革,大力发展高等职业教育已势在必行。教材改革是发展高等职业教育的重要环节。

我们编写的《高频电子线路》就是面向高职、高专的教材,也可供应用技术性本科生使用。在教材编写过程中,我们力求摆脱繁琐的理论推导,而在强调基本概念的基础上,以常见电路为对象,从技术上引导学生掌握高频电子线路的分析方法,特别是利用先进的 PSpice 仿真分析软件,完成对电路性能的分析,以加深对高频电路的工作原理和电路性能的理解。

本书从模拟通信系统的组成以及系统整体的概念出发,逐步深入地介绍高频电子线路的各个功能电路。各章内容既有各自的相对独立性,又有相互联系的系统性和完整性。同时,考虑到现代通信技术、测量技术和集成电路技术的发展和广泛应用,本书对电路的介绍尽可能地接近实际应用中的情况,增加了集成电路的应用实例。分立元件电路曾是集成电路技术的基础,概念清楚,易于理解,且有些电路仍然在应用中。然而,集成电路毕竟已经成为现代电子技术的主流,所以对于分立元件电路,我们采取少讲、不讲的原则,尽量采用集成电路。

高频电子线路是一门理论性、工程性和实践性很强的课程。它需要一定的电路分析、信号系统和模拟电子线路等学科的知识作为基础。通过本课程的学习,学生在掌握基本理论的基础上,还需要通过实践环节,锻炼并掌握分析、解决问题的能力,动手操作的能力,以及使用先进仿真软件的能力。

本书由申功迈主编,钮文良承担了大部分编写任务。其中,第一、二、三章由申功迈执笔,第四、五、六、七、八章由钮文良执笔。卜铁雷绘制了部分插图。北京联合大学赵长奎教授、深圳职业技术学院刘守义教授对本书进行了认真的审阅,并提出了宝贵意见和修改建议。本书编写过程中,得到了西安电子科技大学出版社,以及编辑部夏大平主任、马乐惠主任和张晓燕、刘巧艳编辑及董有喆教授的大力支持和帮助。在此,一并致以诚挚的感谢。

限于作者水平,书中难免有错误和不妥之处,敬请读者指正。

作 者

2001 年 3 月

1003/15

目 录

第一章 绪论	1	3.4 倍频器	71
1.1 信息技术	1	3.4.1 丙类倍频器	72
1.2 通信系统	1	3.4.2 参量倍频器	72
1.3 收音机电路	4	3.5 天线	74
1.4 实训: R828AM/FM 收音机装配实训 ...	7	3.5.1 对称天线、单极天线	75
1.5 本课程的特点	7	3.5.2 抛物面天线、微带天线	76
第二章 通信信号的接收	9	3.6 实训: 高频谐振功率放大器的 仿真与性能分析	77
2.1 概述	9	习题	80
2.2 小信号谐振放大器	10	第四章 正弦波振荡器	82
2.2.1 单级单调谐放大器	11	4.1 概述	82
2.2.2 多级单调谐回路谐振放大器	22	4.2 反馈型振荡器的基本工作原理	82
2.2.3 双调谐回路谐振放大器	23	4.2.1 起振条件和平衡条件	83
2.2.4 谐振放大器的稳定性	26	4.2.2 稳定条件	84
2.3 集中选频放大器	28	4.2.3 正弦振荡电路的基本组成	85
2.3.1 集中选频滤波器	28	4.3 LC 正弦振荡电路	86
2.3.2 集中选频放大器的应用	31	4.3.1 三点式振荡电路	86
2.4 放大器的噪声	32	4.3.2 改进型电容三点式振荡电路	88
2.4.1 电阻热噪声、晶体管的噪声	32	4.4 晶体振荡器	89
2.4.2 噪声系数	34	4.4.1 石英谐振器的特性	90
2.4.3 降低噪声系数的措施	38	4.4.2 晶体振荡电路	91
2.5 实训: 高频小信号谐振放大器的 仿真与性能分析	38	4.5 实训: 正弦波振荡器的 仿真与蒙特卡诺(Monte Carlo)分析 ...	93
习题	44	习题	98
第三章 通信信号的发送	45	第五章 信号变换一: 振幅调制、解调与 混频电路	99
3.1 通信信号的功率放大	45	5.1 信号变换概述	99
3.2 谐振功率放大器	46	5.1.1 振幅调制电路	99
3.2.1 谐振功率放大器的 基本工作原理	46	5.1.2 振幅解调电路	104
3.2.2 谐振功率放大器的 工作状态分析	50	5.1.3 混频电路	105
3.2.3 谐振功率放大器电路	55	5.2 振幅调制电路	106
3.3 宽频带的功率合成 (非谐振高频功率放大器)	63	5.2.1 模拟乘法器	107
3.3.1 传输线变压器	63	5.2.2 低电平调制电路	111
3.3.2 功率合成电路	69	5.2.3 高电平调制电路	114
		5.3 振幅解调电路	115

5.3.1 二极管包络检波电路	115
5.3.2 同步检波电路	116
5.4 混频电路	120
5.4.1 混频电路	120
5.4.2 混频过程中产生的干扰和失真	124
5.5 自动增益控制	126
5.5.1 AGC 电路的作用及组成	126
5.5.2 AGC 电压的产生	127
5.5.3 实现 AGC 的方法	128
5.6 实训: 幅度调制电路及幅度解调 电路的仿真	129
习题	134

第六章 信号变换二: 角度

调制与解调	136
6.1 角度调制原理	136
6.1.1 调频信号数学表达式	136
6.1.2 调相信号数学表达式	137
6.1.3 调角信号的频谱和频谱宽度	138
6.2 调频电路	141
6.2.1 直接调频电路	141
6.2.2 间接调频电路	145
6.2.3 扩展最大频偏的方法	147
6.3 角度调制的解调	148
6.3.1 相位检波电路	148
6.3.2 频率检波电路	152
6.4 自动频率控制	156
6.4.1 AFC 的原理	156
6.4.2 AFC 的应用	157
6.5 实训一: 49.67 MHz 窄带调频发射器 的制作	158
6.6 实训二: 49.67 MHz 窄带调频接收器 的制作	158
习题	162

第七章 锁相技术及频率合成

7.1 锁相环路	164
7.1.1 锁相环路的基本工作原理	164
7.1.2 锁相环路的数学模型	165
7.1.3 锁相环路的捕捉特性	170
7.1.4 锁相环路的跟踪特性	172
7.1.5 一阶锁相环路的性能分析	172
7.2 集成锁相环路和锁相环路的应用	174
7.2.1 集成锁相环	174
7.2.2 锁相环路的应用	181
7.3 频率合成原理	185
7.3.1 频率合成器的技术指标	186
7.3.2 直接式频率合成法 (直接式频率合成器)	187
7.3.3 间接频率合成法 (锁相频率合成器)	188
7.3.4 直接数字式合成法(波形合成法) (直接数字式频率合成器)	190
7.4 实训: 锁相环路性能测试	193
习题	196

第八章 无线通信基本系统

(450 MHz 收发信机电路)	198
8.1 450 MHz 收发信机功能方框图	198
8.2 发射机电路功能说明	202
8.3 接收机电路功能说明	204
8.4 音频信号处理电路和 压控振荡器系统	208
8.5 设备技术指标测试与常用测试设备	212
8.5.1 常用测试设备	212
8.5.2 技术标准	214
8.5.3 移动收发信机的测试	215

第一章 绪 论

1.1 信 息 技 术

当前最热门的话题就是信息技术。其实，信息技术概括起来包括两类技术：信息处理与信息传输。

信息是一个抽象的概念。信息的具体形式有：语言、文字、符号、音乐、图形、图像和数据。将表示声音和图像等物理信号，经过传感器转换为电信号，就成为我们处理的对象。人们从这些信号中获取信息。

通信的主要任务是传递信息，即将经过处理的信息从一个地方传递到另一个地方。对信息传输的要求主要是提高可靠性和有效性。信息处理的目的是为了更有效、更可靠地传递信息。

传递信息既可以通过有线信道，也可以通过无线信道。信号的无线传输是无线电技术的主要应用，通信作为无线电技术的最早应用，其组成和工作过程，很典型地反映了无线电技术的基本问题。通信技术和现代化充分反映了无线电技术的发展和现代化。本书将以无线通信系统为主要研究对象，着重讨论无线电设备中的高频放大器和高频功率放大器、振荡器、频率变换器等电子电路的基本原理和应用。

1.2 通 信 系 统

通信系统直接完成信息的传递任务。了解该系统的构成，有利于掌握无线通信的基本原理，以及通信电子线路的组成原理。我们知道，无线通信是将信号从一个地方，经空间传送到另一个地方。为了使我们获取的声音或图像信号，能不失真地传递到其它地方，需要对声音或图像信号做一些处理，使代表这些信息的电信号变换成有利于传输的信号。这就是通信系统的基本功能。

通信系统的基本组成方框图如图 1.1 所示。它由输入、输出变换器，发送、接收设备，以及信道组成。输入变换器将要传递的声音或图像消息变换为电信号，该电信号包含了原始消息的全部信息（允许存在一定的误差，或者说信息损失），称为基带信号。输入变换器的输出作为通信系统的信号源。不过，这种信号的变换不是本书讨论的重点。输出变换器实现的是输入变换器的逆过程，即将经过处理的基带信号重新恢复为原始的声音或图像，为人们所接受。

信道是信号传输的通道，也就是传输媒介，不同的信道有不同的传输特性。为了适应信道对要传输信号的要求，就必须将已获取的基带信号再做变换，这就是发送变换设备的

功用。发送设备将基带信号经过调制等处理，并使其具有足够的发射功率，再送入信道，实现信号的有效传输。显然，接收变换设备的作用与输入变换设备相反，用来恢复原始基带信号。发送变换和接收变换有许多方式，其传送信息的效率和可靠性都不同，变换机理及实现的电子线路也不同，这些便是本书研究的重点。

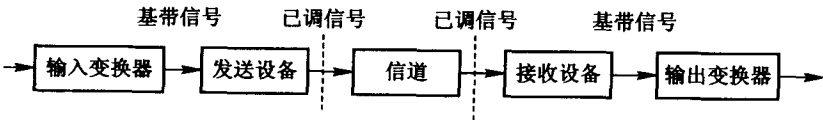


图 1.1 通信系统基本组成框图

根据分类方式的不同，通信系统的种类很多。按传输的消息的物理特征，其可以分为电话、电报、传真通信系统，广播电视通信系统，数据通信系统等；按传输的基带信号的物理特征，其又可以分为模拟和数字通信系统；而按传输媒介的物理特征，则其分为有线通信系统和无线通信系统。

在无线模拟通信系统中，传输媒介是自由空间。根据电磁波的波长或频率范围，电磁波在自由空间的传播方式不同，且信号传输的有效性和可靠性也不同，由此使得通信系统的构成及其工作机理也有很大的不同。

无线通信系统使用的频率范围很宽阔，从几十千赫兹到几十兆赫兹。习惯上按电磁波的频率范围划分为若干个区段，称作频段，或波段。无线电波在空间传播的速度 $c=3\times10^8\text{ m/s}$ ，则高频信号的频率 f 与其波长 λ 的关系为

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

式中， f 单位取 Hz， λ 单位用 m。

无线电波段可以按频率划分，也可以按波长划分。表 1-1 列出按波长划分的波段名称、相应的波长范围及相应的频段名称。不过，波段的划分是粗糙的，各波段之间并没有明显的分界线，所以在各波段之间的衔接处，无线电波的特性也无明显差异。

表 1-1 波段的划分

波段名称		波段范围	频率范围	频段名称
	超长波	100~10 km	3~30 kHz	甚低频 VLF
	长波	10~1 km	30~300 kHz	低频 LF
	中波	1000~200 m	0.3~1.5 MHz	中频 MF
	短波	200~10 m	1.5~30 MHz	高频 HF
	超短波(米波)	10~1 m	30~300 MHz	甚高频 VHF
微波	分米波	100~10 cm	0.3~3 GHz	特高频 UHF
	厘米波	10~1 cm	3~30 GHz	超高频 SHF
	毫米波	10~1 mm	30~300 GHz	极高频 EHF
	亚毫米波	1~0.1 mm	300~3000 GHz	超极高频

应当注意到，无线电波波长与传播方式有关。无线电波的传播，是无线通信系统中的一个重要的环节，其传播方式有三种：沿地面传播的地波，靠电离层折射和反射传播的天

波，以及沿空间直线传播的空间波。无线电波是一种电磁波，当沿地面传播时，由于地面不是理想导体，将造成能量的损耗，且这种损耗随频率的升高而增加，因此，通常只有中、长波适合地面传播。同时，由于地球表面的导电特性较为稳定，短时间内不会有很大的变化，因此，中、长波的传播也就较稳定，传送距离也较远。频率超过 30 MHz 以上的超短波主要沿空间直线传播。鉴于地球表面是弯曲的，所以这种传播只限于视线范围，而卫星通信使空间传播的距离大大增加。在 1.5 MHz~30 MHz 范围的短波是靠大气层上部的电离层的折射和反射进行传播的，可以传播得很远。无线电波到达电离层后，一部分能量被吸收掉，一部分能量被反射和折射到地面。其中，频率较低的无线电波被反射到地面，频率较高的无线电波则穿过电离层，不会反射到地面，这就是 30 MHz 的超短波主要沿空间直线传播的原因。

通信系统的核心部分是发送设备和接收设备。不同的通信系统的发送设备和接收设备的组成不完全相同，但基本结构也还是有相似之处。我们经常见到的通信系统有广播通信系统，移动通信系统，它们都是无线通信系统。从发送设备到接收设备之间的无线电波的传播属于模拟通信系统，其组成结构基本相同。在我们接触这些设备的工作原理和组成电路之前，初步了解其结构组成是有好处的。

无线通信系统的发送设备和接收设备的结构框图如图 1.2 和图 1.3 所示。

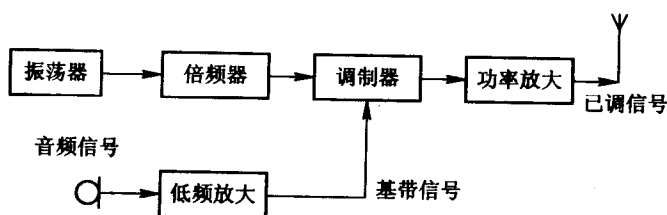


图 1.2 无线通信发送设备

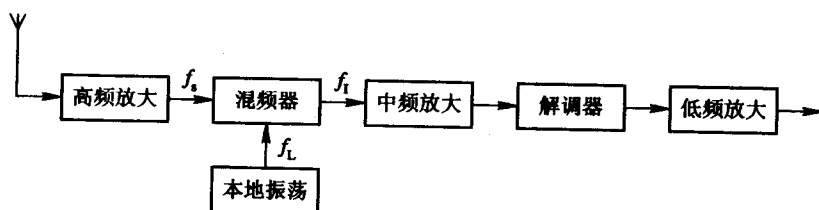


图 1.3 无线通信接收设备

振荡器产生等幅的高频正弦信号，经过倍频器后，即成为载波频率信号；然后，载波频率信号被基带信号调制，产生高频已调信号，最后再经功率放大器放大，获得足够的发射功率，作为射频信号发送到空间。载波频率在适合无线信道传播的频率范围。

接收设备的第一级是高频放大器。由于由发送设备发出的信号经过长距离的传播，受到很大的衰减，能量受到很大的损失，同时还受到传输过程中来自各方面的干扰和噪声。当到达接收设备时，信号是很微弱的，因而需要经过放大器的放大，并且，高频放大器的窄带特性同时滤除一部分带外的噪声和干扰。高频放大器的输出是载频为 f_c 的已调信号，

经过混频器，与本地振荡器提供的频率为 f_L 的信号混频，产生频率为 f_1 的中频信号。中频信号经中频放大器放大，送到解调器，恢复原基带信号，再经低频放大器放大后输出。

高频放大器、中频放大器都是小信号谐振放大器，功率放大器是谐振功率放大器，调制器和解调器进行幅度调制、角度调制和它们的解调。上述电路以及振荡器、混频器都是本课程所讨论的重点。

1.3 收音机电路

在日常生活中，常见的通信产品有许多，与我们息息相关的产品有收音机、电视接收机、步话机、手机等。其中收音机与电视接收机是最常用的通信设备，属于广播通信的范畴，是一种单向通信设备。而后两种通信设备则是双向通信设备，特别是手机，用作无线移动通信，越来越为人们所接受，成为日常工作与生活不可或缺的通信产品。

收音机问世已有相当长的时间了，然而，收音机的工作原理特别体现了无线通信技术方面的内容，几乎囊括了高频接收技术的大部分内容。我们通过一个典型的收音机电路来分析无线通信接收设备的工作基本原理。收音机电路如图 1.4 所示。

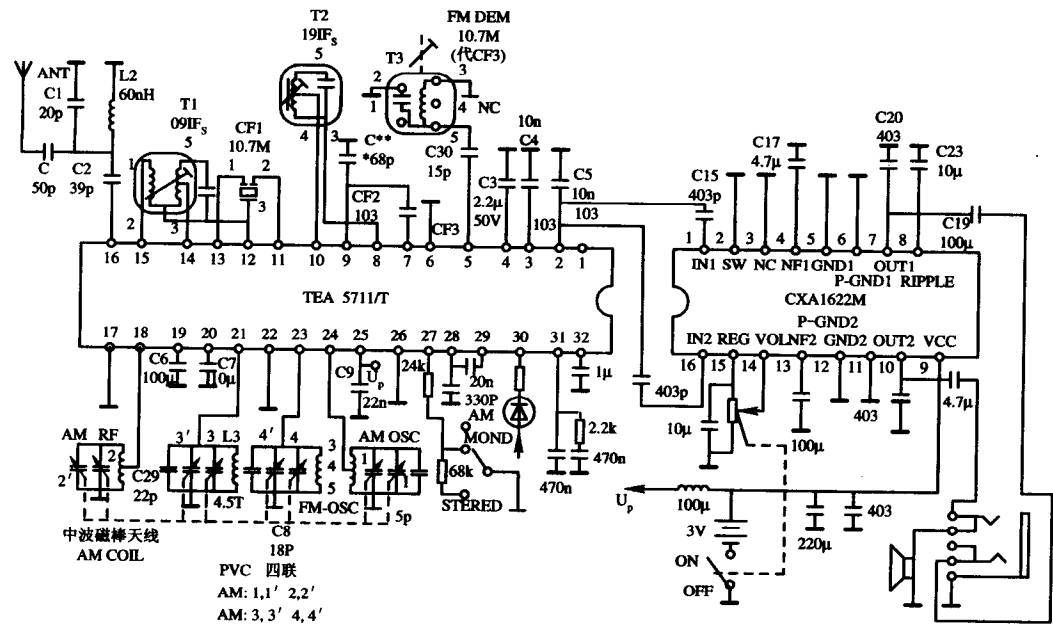


图 1.4 R828 AM/FM 收音机电路原理图

该收音机电路由两片集成电路芯片与一些外围辅助电路组成。TEA5711/T 芯片是收音机的主要芯片，它将接收到的无线电信号，经过高频信号接收、放大、变换，然后，再经过立体声功率放大器芯片 CXA1622M，输出声音信号，这就是我们接收到的中央人民广播电台的播出节目。

现在，我们剖析一下 TEA5711/T 芯片的工作原理。TEA5711/T 芯片的电路原理图如图 1.5 所示，该电路的引脚功能与参数，分别如表 1-2 和表 1-3 所示。

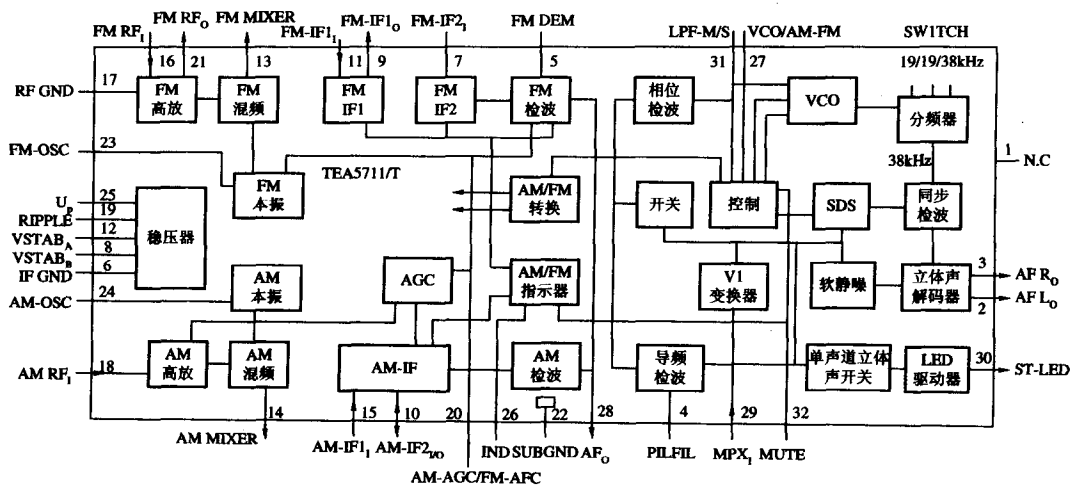


图 1.5 TEA5711/T 电路原理框图

表 1 - 2 TEA5711/T 引脚功能及直流电压($U_F = 3\text{ V}$)

引脚	功 能	直流电压		引脚	功 能	直流电压	
		AM	FM			AM	FM
1	空脚(N.C)	—	—	17	高放接地(RF GND)	0	0
2	左声道音频输出(AF - L ₀)	0.65	0.65	18	AM 高放输入(AM - RF ₁)	0	0
3	右声道音频输出(AF - R ₀)	0.65	0.65	19	滤波(RIPPLE)	2.1	2.1
4	导频滤波(PILFIL)	0.95	0.95	20	AM - AGC/FM - AFC	0.1	0.7
5	FM 鉴频器(FM - DEM)	—	1.0	21	FM 高放输出(FM - RF ₀)	0	0
6	IF 接地(IF GND)	0	0	22	接地(SUBGND)	0	0
7	FM 中放 2 输入(FM - IF ₂ ₁)	—	0.73	23	FM 本振(FM - OSC)	0	0
8	稳压 B(VSTAB _B)	1.4	1.4	24	AM 本振(AM - OSC)	0	0
9	FM 中放 1 输出(FM - IF ₁ ₀)	—	0.69	25	U _P	3.0	3.0
10	AM 中放 2 输入/输出 (AM - IF ₂ _{1/0})	1.4	1.4	26	指示器输出(IND)	3.0	3.0
11	FM 中放 1 输入(FM - IF ₁ ₁)	—	0.73	27	VCO/AM - FM 转换	1.3	0.95
12	稳压 A(VSTAB _A)	1.4	1.4	28	音频输出(AF ₀)	0.6	0.7
13	FM 混频输出(FM - MIXER)	—	1.0	29	复合信号输入(MPX ₁)	1.23	1.23
14	AM 混频输出(AM - MIXER)	1.4	1.4	30	立体声指示灯(ST - LED)	3.0	3.0
15	AM 中放 1 输入(AM - IF ₁ ₁)	1.4	1.4	31	PLL 滤波-单声道/立体声转换 (LPF - M/S)	0.1	0.8
16	FM 高放输入(FM - RF ₁)	—	0.73	32	静音(MUTE)	0.7	0.7

表 1-3 TEA5711/T 电参数及测试条件

参 数	测试条件	最小值	典型值	最大值
AM: $f=1\text{ MHz}$, $f_m=1\text{ kHz}$, $30\%\text{mod}$				
静态电流 I_p/mA	无信号	11	14	17
输入电容 C_1/pF	$U_{20}=0.2\text{ V}$		3.0	
高放变换增益 G_c/dB	$U_{20}=0.2\text{ V}$	1.8	3.3	5.0
高放灵敏度 $U_{IN1}/\mu\text{V}$	$S/N=26\text{ dB}$	40	55	70
中放灵敏度 U_{IN2}/mV	$U_{28}=30\text{ mV}$	0.13	0.2	0.45
音频输出电压 U_{20}/mV	$U_{IN2}=3.16\text{ mV}$	36	45	70
谐波失真 $\text{THD}/\%$	$U_{IN1}=1\text{ mV}$		0.8	2.0
信号过载电压 U_{IN1}/mV	$80\%\text{mod}$, $\text{THD}\leq 8\%$	150	300	
指示器电流 $I_{IND}/\mu\text{A}$	$U_{IN2}=100\text{ mV}$	150	190	230
指示器断电流 $I_{IND(OFF)}/\mu\text{A}$	$U_{IN2}=0$		0	10
FM: $f=100\text{ MHz}$, $f_m=1\text{ kHz}$, $\Delta f=22.5\text{ kHz}$				
静态电流 I_p/mA	无信号	13	16	19
高放限幅灵敏度 ($U_{IN2}/\mu\text{V}$)	$U_{2R}=-3\text{ dB}$	0.4	1.2	1.8
高放灵敏度 $U_{IN3}/\mu\text{V}$	$S/N=26\text{ dB}$	1.0	2.0	3.8
高放电压增益 (U_{11}/U_{IN4})/dB	$U_{IN3}\leq 1\text{ mV}$, 包括陶瓷滤波器	12	18	22
中放灵敏度 $U_{IN4}/\mu\text{V}$	$U_{1R}=-3\text{ dB}$		20	30
音频输出电压 U_{20}/mV	$U_{IN3}=1\text{ mV}$	52	65	78
谐波失真 $\text{THD}/\%$	$U_{IN3}=1\text{ mV}$, $\Delta f=22.5\text{ kHz}$		0.3	0.8
信号过载电压 U_{IN3}/mV	$\text{THD}\leq 5\%$		500	
指示器电流 $I_{IND}/\mu\text{A}$	$U_{IN4}=100\text{ mV}$	235	300	365
指示器断电流 $I_{IND(OFF)}/\mu\text{A}$	$U_{IN34}=0$		0	20
FM 立体声解码电路: $f=1\text{ kHz}$, $U_{IN9}(L+R)=195\text{ mV}$, $P=20\text{ mV}$				
复合信号电压增益 (U_{AF-1}/U_{IN9})/dB		-0.1	0	1.0
谐波失真 $\text{THD}/\%$			0.5	1.0
信噪比 $[(S+N)/N]/\text{dB}$	$P=20\text{ mV}$		74	
声道分离度 CS/dB	$L=1, R=0$ 或 $L=0, R=1$	26	30	
立体声控制 SC/dB	$U_{IN3}=120\mu\text{V}$		30	
立体声控制 SC/dB	$U_{IN3}=10\mu\text{V}$		1.0	
音频输出信号控制 SC/dB	$U_{IN3}\leq 2\mu\text{V}$		20	

从图 1.5 可见,该芯片分成上下两个放大通道。上方的通道是调频信号接收、放大、转换通道。从引脚 16,接收高频调频信号,经过高频放大,再经过调频信号的混频,输出 10.7MHz 的中频信号,经过两级中放和 FM 检波,产生 455KHz 中频调频信号,又经过锁相环电路鉴频,恢复音频信号,再经立体声功率放大器,放出声音来。下方的通道是调幅信号接收、放大、转换通道。从引脚 18,接收高频调幅信号,经过高频放大、混频,输出 455 kHz 的中频调幅信号,经过 AM 检波,直接送功率放大器放大、输出。该电路包括自动增益控制和自动频率控制电路。

收音机放大电路集成芯片包括高频电子电路中除调制和高频谐振功率放大以外的各个部分电路,其工作原理将在以后章节详细介绍。

1.4 实训: R828 AM/FM 收音机装配实训

1. 实训目的

通过对收音机的安装、焊接及调试,了解电子产品的生产制作过程;掌握电子元器件的识别及质量检验;学会利用工艺文件独立进行整机的装焊和调试,并达到产品质量要求;学会编制简单电子产品的工艺文件,能按照行业规程要求,撰写实训报告(包括主要指标,线路工作原理,使用说明,测试说明,调试工艺等);训练动手能力,培养职业道德和职业技能,培养工程实践观念及严谨细致的科学作风。

2. 实训步骤

- (1) 读图:对照电路原理图,看懂接线图,了解电路图符号及图注。
- (2) 元件测试:了解元器件的主要技术参数及测试方法。
- (3) 插件与焊接:根据工艺图纸与文件,认真完成元器件的焊接。
- (4) 调试:分别进行 IF - AF(中频-音频)调试、KC(调幅档)调试、MC(调频档)调试、复听四个过程。
- (5) 撰写实训报告。

1.5 本课程的特点

高频电子线路是低频电子线路的后续课程。从它处理的信号频率角度来说,发送和接收的信号,都是高频信号。这是相对于需要传送信息的音频信号和视频信号来说的。我们称这些音频信号和视频信号为基带信号。基带信号的基本特点是其信号频谱是宽带的,即该信号频谱范围的上限频率和下限频率的差(即信号带宽),与其下限频率的比远大于 1。宽带信号包含大量低频信号的能量。这些信号不适于在空间(即无线信道)中传播,特别是远距离的传播。为了能够在无线信道中,有效地传播这些信号,就必须经过调制,将基带信号(即音频信号和视频信号)变换为适合于传播的高频信号。这就是说,无线通信中传送和接收的信号都是已调信号。已调信号是窄带信号,即已调信号频谱范围的上限频率和下限频率的差,与下限频率的比远小于 1。宽带信号与窄带信号是相对而言的。

为了远距离地传送信号和接收信号,就需要调制,这是一种变换。无线电波的发送设

备和接收设备就是进行这种变换的设备。因此,在这些设备中,必定包含非线性的器件。在本教材中,阐述的各部分高频电子线路,除高频小信号谐振放大器外,都是非线性电路。

相对于线性电子线路的分析方法来说,非线性电子线路的分析方法更加复杂,求解也困难得多。然而,根据实际情况,常常可以通过工程分析方法,或借助电子电路的仿真软件 PSpice,对电子器件和电路的数学模型和工作条件进行合理的近似,以获取符合实际情况的具有实际意义的结果。我们更关心高频电子线路的各个部分的外特性,即输入信号与输出信号,及它们之间的变换关系。

全书共分 8 章。第一章绪论,简单地介绍无线电信号传输的基本原理与通信系统,使学生从一开始就建立系统的概念。第二章小信号谐振放大器,包括并联谐振回路及小信号谐振放大器的基本原理。第三章介绍了谐振功率放大器,使学生建立非线性电路的概念。第四章正弦振荡器,介绍作为载波信号源的正弦振荡器的工作原理与类型。第五章是一个重点,主要有幅度调制、解调、混频及其电路的基本原理。第六章角度调制是非线性调制,也是通信系统经常采用的方式。第七章锁相环路是现代通信系统和测量设备不可缺少的技术。最后一章,通过对讲机介绍通信设备及性能指标的概念。在第二、三、四、五章都给出 PSpice 分析电路的内容,引导学生掌握先进的电子线路的分析方法。

高频电子线路的各个组成部分有许多实际的电路,反映出通信的基本原理,又包含着实际应用的价值。我们应当很好地掌握它们。然而,这些复杂的电路也有其特有的规律,是必须掌握的要点。同时,应当注意到,构成高频电子线路的元器件与低频电子线路的元器件既有相同之处,又有不同之处。同学们在学习过程中,必须注意它们的异同。

高频电子线路是在科学和生产实践过程中,逐步发展起来的学科,其理论概念和实际电路都来自科学和生产实践。因此,对它们的学习必须注重理论联系实际,注重实践环节。

本教材在基本理论的分析基础上,引入了利用 PSpice 仿真软件的分析方法,作为实践教学和作业的一部分,符合现代教学和科学实践的要求。

第二章 通信信号的接收

2.1 概 述

在无线通信中,发射与接收的信号应当适合于空间传输。所以,被通信设备处理和传输的信号是经过调制处理过的高频信号,这种信号具有窄带特性。而且,通过长距离的通信传输,信号受到衰减和干扰,到达接收设备的信号是非常弱的高频窄带信号,在做进一步处理之前,应当经过放大和限制干扰的处理。这就需要通过高频小信号放大器来完成。这种小信号放大器是一种谐振放大器。混频器输出端也接有这种小信号放大器,作为中频放大器对已调信号进行放大。

高频小信号放大器广泛用于广播、电视、通信、测量仪器等设备中。高频小信号放大器可分为两类:一类是以谐振回路为负载的谐振放大器;另一类是以滤波器为负载的集中选频放大器。它们的主要功能都是从接收的众多电信号中,选出有用信号并加以放大,同时对无用信号、干扰信号、噪声信号进行抑制,以提高接收信号的质量和抗干扰能力。

谐振放大器常由晶体管等放大器件与 LC 并联谐振回路或耦合谐振回路构成。它可分为调谐放大器和频带放大器,前者的谐振回路需调谐于需要放大的外来信号的频率上,后者谐振回路的谐振频率固定不变。集中选频放大器把放大和选频两种功能分开,放大作用由多级非谐振宽频带放大器承担,选频作用由 LC 带通滤波器、晶体滤波器、陶瓷滤波器和声表面波滤波器等承担。目前广泛采用集中宽频带放大器。

高频小信号放大器主要性能指标有:谐振增益、通频带、选择性及噪声系数等。

1. 谐振增益

放大器的谐振增益是指放大器在谐振频率上的电压增益,记为 A_{v0} ,其值可用分贝(dB)表示。放大器的增益具有与谐振回路相似的谐振特性,如图 2.1 所示。图中 f_0 表示放大器的中心谐振频率, A_v/A_{v0} 表示相对电压增益。当输入信号的频率恰好等于 f_0 时,放大器的增益最大。

2. 通频带

通频带是指信号频率偏离放大器的谐振频率 f_0 时,放大器的电压增益 A_v 下降到谐振电压增益

A_{v0} 的 $1/\sqrt{2} \approx 0.707$ 时,所对应的频率范围,一般用 $BW_{0.7}$ 表示,如图 2.1 所示。

$$BW_{0.7} = f_H - f_L$$

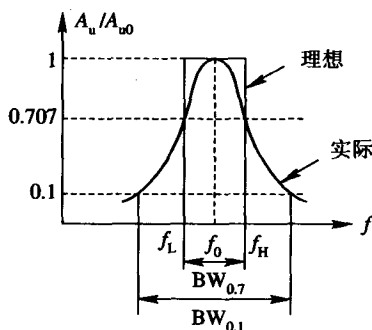


图 2.1 谐振放大器的幅频特性曲线