

高等职业技术电子信息类专业教材

高频电子技术

刘守义 主编 侯大年 副主编



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

高等职业技术电子信息类专业教材

高频电子技术

主 编 刘守义

副主编 候大年

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书是高等职业院校电子与通讯类相关专业电子技术课程系列教材的第四册。

全书共两篇 10 章。第 1 篇为高频电路实验基础,内容包括:直接检波接收机、LC 选频与检波电路;简单高放式接收机、高放电路;外差式接收机、变频与 AGC 电路;调频接收机、鉴频与 AFC 电路;发射机电路。第 2 篇为高频电路的基本理论及其应用,内容包括:高频小信号放大电路分析基础;高频功率放大电路;调幅、检波与混频——频谱线性搬移电路;角度调制与解调——非线性频率变换电路;反馈控制电路。

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,翻版必究。

图书在版编目(CIP)数据

高频电子技术/刘守义主编. - 北京:电子工业出版社,1999

高等职业技术电子信息类专业教材

ISBN7-5053-5154-0

I. 高… II. 刘… III. 高频-无线电技术-高等学校:技术学校-教材 IV. TN014

中国版本图书馆CIP 数据核字(1999)第 01213 号

丛 书 名:高等职业技术电子信息类专业教材

书 名:高频电子技术

主 编:刘守义

副 主 编:侯大年

责任编辑:陈晓明

排版制作:电子工业出版社计算机排版室

印 刷 者:北京朝阳隆华印刷厂

出版发行:电子工业出版社 URL:<http://www.phei.com.cn>

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:13.75 字数:352 千字

版 次:1999 年 5 月第 1 版 1999 年 9 月第 2 次印刷

书 号: ISBN 7-5053-5154-0
G·392

定 价:18.00 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页、所附磁盘或光盘有问题者,请向购买书店调换。
若书店售缺,请与本社发行部联系调换。电话 68279077

出版说明

高等职业技术教育是现代教育的重要组成部分。近几年随着社会经济和科学技术的发展,已从客观上提出了发展高等职业技术教育的要求。高等职业技术教育在经历了认识定位和模式创新的阶段之后,开始进入课程建构和教材编写的新阶段。

在教育部职教司教材处的直接领导和电子工业出版社的积极组织下,三所积极发展高等职业技术教育的学校——北京联合大学、上海第二工业大学和深圳职业技术学院组建了教材编写领导小组。

三校教材编写领导小组经过多次研讨,认为目前没有能满足高等职业技术教育需要的现行教材,编写符合高等职业技术教育特点的教材已迫在眉睫。三校对电子信息类专业人才培养目标、职业定位以及电子信息类的内涵等问题达成共识,并将电子信息类教材作为首批开发的选题。

我们组织编写这套教材的原则是:充分探索高等职业教学特点,力图构筑以掌握基本概念、强化实际应用为重点,以获得职业技术所需的最基本、最适用的理论知识,以利于培养学生专业实践的适应能力和应变能力的新课程体系。

编写高等职业技术教育的教材是一个新课题,经验尚不足,希望全国电子信息类高职院校的师生积极提出批评建议,共同探索我国高等职业技术教育的特点和路子,不断提高教材的质量,最终形成电子信息类专业配套的高质量的教材。

三校教材编写领导小组

1998年4月

三校教材编写领导小组

组长：牛梦成

组员：高 林 姚家伦 沈耀泉 吴金生

贡文清 朱懿心 戴士弘

前 言

本书是经教育部职教司组织,为高等职业技术学院电子与通讯类相关专业编写的电子技术课程系列教材的第四册。

高等职业教育是高等教育的一个重要方面,其目标是培养具有高尚职业道德、具有大学专科或本科理论水平、具有较强操作动手能力、工作在职业现场第一线的技术人员和管理人员。他们的工作主要不是从事理论研究,也不是从事开发设计,而是把现有的规范、图纸和方案实现为产品、商品和财富。由于培养目标的差异,高等职业技术学院的教学模式与普通的理科学院校、工科院校都有明显的差异。那就是在教学过程中特别注重学生职业岗位能力的培养、职业技能的训练,同时注重学生解决问题能力和自学能力的培养和训练。在把握高职教育特点时,特别要注意防止“强调学科体系,忽视技能”与“强调操作实践,忽视理论”的两种极端倾向。前一种倾向把高等职业教育办成普通理工科的“压缩饼干”;后一种倾向则把高等职业教育办成中专、中技。

本系列教材就是力图体现高职教育培养目标的一个尝试。在近年来教学实践的基础上,我们以传统的工科课程为出发点,按照高等职业教育的培养目标进行了大幅度的改革,从专业课程设置、课程内容选材、教法、学法、实验室建设到课堂教学方式,摸索到了一套新的模式。现在我们希望把这些经验具体地体现在这套教材中。

1. 本书特点。

《高频电子技术》是通讯与无线电技术的重要专业基础课,它涉及许多的理论知识与实际动手的技能。为使学生在这两方面都有所收获,本书在教材的选材与叙述体系方面,力求体现高职教学的特点。

本书分为1、2两篇。第1篇为高频电路实验与分析。在这一篇中,通过对由小到大,由简到繁的系统的安装、调试与检测,使学生在高频技术的基本技能方面得到系统的训练,并使学生对系统及由系统引出的基本单元电路的作用、特点、技术指标等有一个整体的认识,对电路的工作原理有一个定性的了解。第2篇为高频电路的基本理论及其应用。在这一篇中通过建立单元电路的数理模型阐述高频电子技术的基本理论,注重介绍实际电路当前发展的水平及在不同系统中的最新应用,使学生深刻理解分析高频电子技术的总体思路和基本方法,从而在新的高度上加深对系统的总体认识。由此为后续课程的学习打下扎实的理论与技能方面的基础。

本书选材在注重实用性的同时,也十分注意内容的科学性与先进性。在高频小功率放大电路中,用放大器的一般模型代替晶体管进行高频等效电路的分析,在高频功放、频谱搬移、非线性频率变换及反馈控制章节中涉及到的应用电路与器件包含许多最新科技的成分。本书注重介绍分析问题的基本思路,在多数章节中避免了冗长的数学推导过程,以有利于学生自学。在系列教材中,模拟电子技术(系列教材第二册)对正弦振荡电路已安排了章节,本书不再专门讨论,在涉及到相关内容时再针对具体问题进行分析。

本教材十分重视学生能力的训练。通过第1篇涉及的十三个实验实训项目,使学生在高频电路的安装、调试方法、检测手段、电路稳定、抗干扰等技术要点方面获得实际的经验与体

会,从而提高相应的实际操作能力。通过运用系统的观点统率具体的专业知识,使学生在专业知识和理论的同时能开阔眼界,提高学习兴趣。

本书的叙述体系力图反映认识知识的客观规律,从学生的实际水平出发,从最基本的实用系统出发,从实际问题入手进行技能训练、引入相关知识和理论,以掌握分析问题与解决问题的一般方法。本书力求使学生带着实际问题,从整体到局部,再从局部到整体循环深入地认识高频技术的实用理论,提高实际操作技能。教材体系力求按照人们的认识规律用实际应用系统通过问题来引导,而不是靠理论体系的逻辑引导。

2. 教学安排与教法

本课程的教学过程应始终贯穿理论与实践相结合的精神。第1篇(实验基础)涉及的多个实验与实训,其作用不仅是验证理论的正确性,更重要的是作为学习的一个阶段,增加感性认识,体会电路的作用与概念的实际含义,在前导课程的基础上获得操作技能的进一步训练。同时对高频电路获得一个总体的定性的认识。动手是真正学好高频电子技术这门课程的先决条件之一,在教学中应尽量创造条件完成全部实践教学内容。由于设备、器材等方面的原因不能完成全部实验的,可以用类似实验代替,也可以采用演示的方式完成有关实验或者借用电子EDA软件工具模拟实验。第1篇的教学建议安排40学时左右。第1篇与第2篇的教学可以在完成第1篇教学内容以后开始第2篇的内容,也可以穿插进行。第2篇教学建议安排50学时左右。

本教材适用各种不同的教学方法。教师可运用自己的教学经验,充分发挥自己的特长,寻找最适用的课堂教学法。为充分发挥教材的特色,我们推荐使用“教—学—做”相结合的引探教学法。充分发挥教师的引导作用,体现学生的主体作用,突出实践环节的主导作用。本书习题以思考题为主,可以安排适当的学时开展课堂讨论。使用本教材的自学者在读课本时要注意用每章的习题引路。快速泛读课本之后立即看习题,带着这些问题再读课本,并仔细阅读课本中的实例来体会叙述的有关内容。努力创造条件动手做实验,积累必要的感性认识,同时阅读有关的参考书、学会查手册积累有关资料。所以说,本教材内容的安排尽可能照顾到了学生自学的特点。

本套教材对于很多教师过去习惯的理论教学与实验教学分开的普通教学法,以及以理论为主、实验为辅的教学法也同样适用。

为体现高等职业教育的特色,课程的考核也必须作相应的改革。我们把过去的单纯理论考核变成对实验能力、制作水平和理论水平三方面的考核。每个学员都必须单独通过三项考核才算合格。

综上所述,本教材从学生现有水平出发,由浅入深、由实践到理论、由定性到定量的叙述方法;用问题引导、由整体到局部再到整体、理论与实际密切结合、充分发挥学生主动性的教学方法,不仅反映了高等职业教育的特点,更多的是反映了任何领域初学者认识新事物的普遍规律。所以,本教材也可供各级、各类学校和自学者参考选用。

本系列教材在构思和编写过程中,得到国家教委职教司牛梦成同志、华中理工大学康华光教授、上海第二工业大学郭维芹教授、北京联合大学贡文清先生、电子工业出版社应月燕同志以及深圳职业技术学院领导和有关同志的指导和帮助,特致谢意。

参加本教材编写的人员有:钟苏(绪论及第4、8、9章),胡启龙(第5、7、10章),刘守义(其它章节及全文统稿)。冯明发参与了本书绘图,杨宏丽、宋荣、冯明发参与了全书的图、文核对工作。

由于时间紧迫和编者水平的限制,书中的错误和缺点在所难免,热忱欢迎使用者对本书提出批评和建议。

我们正在为本书的所有实验制作印刷电路板,可以为本书的使用者提供一定的方便。

编者

1998.10

于深圳职业技术学院

绪 论

一个多世纪以来,在自然科学方面有很多重大的发现和发明,无线电是这些发明中极其重要的一种。它从诞生到现在的一个多世纪中,对人类的生活和社会的进步起着非常深刻的作用和影响。

在早期,无线电技术的发展和无线电通信的发展几乎是密不可分的。一个无线电收发系统所包含的电子线路,涉及到电子线路的主要类型,它的工作原理和工作过程也具有普遍的、典型的意义,并且通信技术和现代化,充分反映了无线电技术的发展。因此,在本书中,我们将以无线通信系统中发送设备和接收设备为线索,讨论高频电子线路所涉及的一些问题。

一、通信系统的组成

广义地说,凡是在发信者和受信者之间,以任何方式进行消息地传递,都可称为通信。实现消息传递所需的设备的总和,称为通信系统。19 世纪末迅速发展起来的以电信号作为消息载体的通信系统,称为现代通信系统或电信系统,其组成方框如图 1 所示。各部分的作用简介如下。

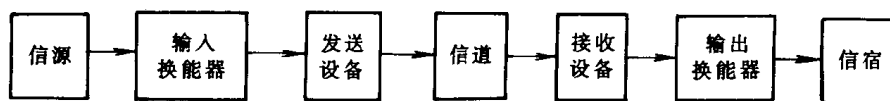


图 1 通信系统组成方框图

1. 换能器

信源是指需要传送的原始信息,如声音、图像、文字等,一般是非电物理量。输入换能器任务是将信源提供的非电量信息变换为电信号,这种电信号通常称为基带信号。基带信号的特点是频率较低,相对带宽较宽,如话音信号带宽为 $300\sim 3400\text{Hz}$,电视信号带宽为 $0\sim 6\text{MHz}$ 。输出换能器的作用则与之相反,是将接收设备输出的基带信号还原成原始信息。

2. 发送设备

发送设备主要任务是调制和放大。在通信系统中,大多数信道不适宜直接传输基带信号。因此,必须将基带信号变换成适合信道传输的频带信号,这个过程称为调制。

调制就是用待传输的基带信号去控制信息载体高频电振荡的某一参数,让这一参数随基带信号而线性变化的过程。例如,在连续波调制中,用基带信号去控制高频振荡的振幅,称为振幅调制,简称调幅(AM);用基带信号去控制高频振荡的频率或相位,则分别称为频率调制,简称调频(FM)或相位调制,简称调相(PM);通常将基带信号称为调制信号,经过调制后的高频振荡信号带有基带信号的信息,称为已调信号,而未被调制的高频振荡是运载信息的工具,称为载波信号。

放大是指对调制信号和已调信号的电压和功率进行放大、滤波等处理过程,以保证已调波有足够的功率送入信道。

3. 信道

信道是信号传输的通道,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,同一信道对不同频率的信号传输特性是不同的。例如,在自由空间媒介里,电磁能量是以电磁波的形式传播的,而不同频率的电磁波却有着不同的传播方式。电磁波具有直射、绕射、反射、折射等现象。例如,1.5MHz 以下的电磁波可以绕着地球的弯曲表面传播,称为地波,如图 2 所示。由于大地不是理想导体,当电磁波沿其上传播时,有一部分能量被损耗掉,并且频率越高,损耗越严重,因此频率较高的电磁波不宜采用绕射方式传播。另外还应指出,由于地面的电性能在较短时间内的变化不会很大,因此这种传播比较稳定。1.5~30MHz 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,如图 3 所示。电离层是由太阳和星际空间的辐射引起大气上层电离形成的。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,被吸收的能量越小,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传播到宇宙空间而不再返回地面。因此频率更高的电磁波不宜用天波传播。30MHz 以上的电磁波主要沿空间直线传播,称为空间波,如图 4 所示。由于地球表面的弯曲,空间波传播的距离受限于视距范围。架高发射天线、利用通信卫星可以增大其传输距离。

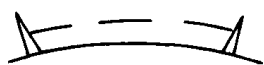


图 2 电磁波沿地表绕射

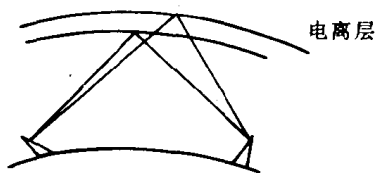


图 3 电磁波的折射与反射

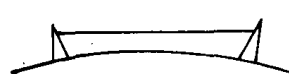


图 4 电磁波的直射

为了讨论问题的方便,将不同频率的电磁波人为地划分为若干个频段或波段,其相应名称和应用举例,列于表 1 中。应该指出,各波段的划分是相对的,因为各波段之间并没有显著的分界线,但各个不同波段的特点仍然有明显的差别。例如,从使用的元器件以及电路结构与工作原理等方面来说,中波、短波和米波段基本相同,但它们和微波波段则有明显的区别。前者大都采用所谓集总参数的元件,如通常的电阻器、电容器和电感线圈等,在器件方面主要采用一般的晶体二极管、三极管、场效应管和线性组件等。而后者则采用所谓分布参数元件,如同轴线、光纤和波导等,在器件方面除采用晶体管、场效应管和线性组件外,还需要特殊器件如调速管、行波管、磁控管及其它固体器件,它们在作用原理上和晶体管也很不一样。

4. 接收设备

接收设备的任务是选频、放大和解调。也就是将信道传输过来的已调信号进行处理,恢复出与发送端相一致的基带信号,这个过程称为解调,显然解调是调制的逆过程。又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是很微弱的(微伏数量级),需要放大后才能解调。同时,信道中还存在许多干扰信号,因而接收设备还必须具有从众多干扰信号中选择有用信号,抑制干扰信号的能力。

二、无线电发送设备和接收设备的组成

发送和接收设备是现代通信系统的核心部件。现以无线电调幅广播发射和接收设备为例,

说明它们的组成。

图 5 为调幅发射机组组成方框图,它包括三个部分:高频部分、低频部分和电源部分。

高频部分通常由主振、倍频、中间放大、功放推动和被调放大(末级功放)组成。主振级的作用是产生频率稳定的高频载波信号。倍频级的作用是将主振产生的高频载波的频率提高到所需的数值。中间放大和推动级联合将载波信号放大到被调放大器所需要的大小。被调放大受低频功率放大级送来的基带信号的控制,将等幅波变成调幅波,同时完成末级高频功率放大,最后经发射天线将已调波辐射出去。

低频部分包括低频电压放大和低频功率放大。基带信号通过逐级放大,在低频功放输出对被调放大级进行调制所需的功率电平。

无线电信号的接收过程正好和发射过程相反。图 6 所示为超外差式接收机方框图,接收天线将收到的电磁波转变为已调波电流,然后从这些已调波电流中选择出所需的信号并对其进行放大。放大后的有用信号 $f_c(t)$ 送入混频器与本地振荡器产生的正弦振荡信号 $f_L(t)$ 在混频器中混频,产生一个频率固定不变的中频信号 $f_i(t)$ (在后面的有关章节中将证明,该信号保留了输入信号中的全部有用信息)。混频器产生的中频信号经过若干级中频放大后,经解调器解调,还原成基带信号,最后经低频放大输出。

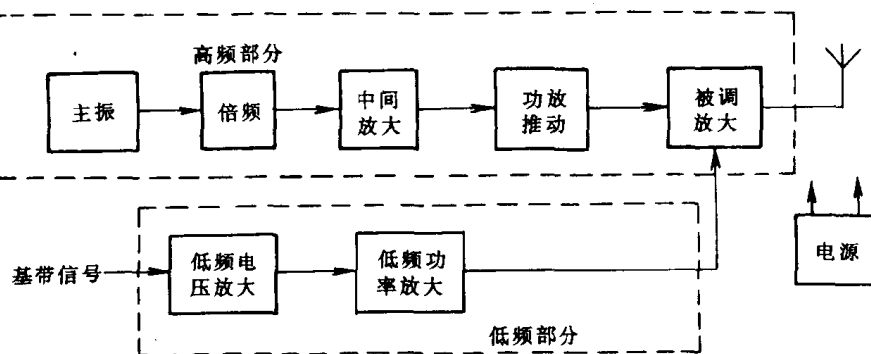


图 5 调幅发射机组组成方框图

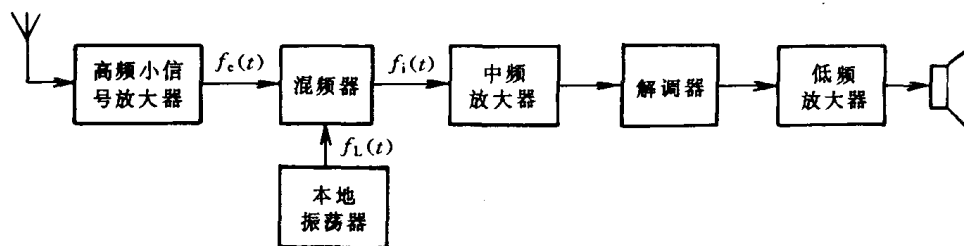


图 6 超外差式接收机组组成方框图

三、本书研究的对象和内容

通过以上介绍,我们对无线电通信的基本原理有了一个初浅的了解。而本书将要讨论的有关“高频电路”问题应包括哪些电路?它们在无线电通信系统中又处于什么地位呢?

本书将介绍无线电发送设备和接收设备的工作原理和组成,着重讨论构成发送、接收设备的各单元电路的工作原理、典型电路、性能特点、工程分析方法、测试及调试方法。这些基本单

元电路包括:高频小信号放大电路、高频功率放大电路、调制和解调电路、倍频电路、混频电路、反馈控制电路等(正弦波振荡电路已在本系列教材的《模拟电子技术》中讨论过,这里不再重复)。这些电路除了在现代通信系统中具有举足轻重的作用外,还广泛地应用于其它电子设备中。

需要指出的是“高频”这一术语,广义来说就是适于无线电传播的无线电频率,通常又称“射频”,从表 1 可见它包括的频率范围很宽。本书讨论的内容只限于狭义的“高频”,通常指低于微波频率范围。这是因为在微波波段,使用的有源器件和线路结构都与高频波段很不相同。当然,在本书中讨论的一些高频电路的基本原理,对微波范围也是适用的。

表 1

频率	30Hz	300Hz	3kHz	30kHz	300kHz	3MHz	30MHz	300MHz	3GHz	30GHz	300GHz	3THz	300THz
频段名称	极低频 (ELF)	声频 (VF)	甚低频 (VLF)	低频 (LF)	中频 (MF)	高频 (HF)	甚高频 (VHF)	特高频 (UHF)	超高频 (SHF)	极高频 (EHF)	超极高频		
应用举例	音频 电话 数据传输 长距离航海时间标准			航海设备 无线电信标	调幅广播 民间保护 业余无线电	短波广播 移动通信 军用通信 业余无线电	电视 调频广播 空中交通管制 业余无线电	电视 遥测 雷达 业余无线电	雷达 卫星和空间 通信 业余无线电	无线电天文学 雷达 着陆设备 业余无线电	卫星广播 与通信	光学通信 数据传输	
波段名称													
波长	10Mm	1Mm	超长波 (VLW)	长波 (LW)	中波 (MW)	短波 (SW)	米波 超短波	分米波	厘米波	毫米波	亚毫米波	100μm	1μm
传输媒介	有线	架空明线				视频电缆		射频电缆		同轴电缆		波导	
	无线	海水地球表面										自由空间	

* 常对微波波段做更详细的划分,并用不同的拉丁字母表示如下:

波段代号	P	L	S	C	X	Ku	K	Ka	Q~W
简称		22cm 波段	10cm 波段	5cm 波段	3cm 波段	2cm 波段	1.25cm 波段	0.8cm 波段	0.4cm 波段
波长范围 (cm)	130~75	75~15	15~7.5	7.5~3.65	3.65~2.42	2.42~1.66	1.66~1.13	1.13~0.75	0.75~0.375
频率范围 (MHz)	225~400	400~2000	2000~4000	4000~8200	8200~12400	12400~18000	18000~26500	26500~40000	40000~80000

* 本表选自参考文献[2]

第 1 篇 高频电路实验基础

电台能将声音、图象、文字与符号通过一定的方式发送出去。收音机、电视机、传呼机、移动电话等广播与通讯设备能接收电台发射的信号,把它还原成声音、图像、文字或符号。信号的发送与接收涉及到无线电技术中的信息传输与信息处理问题。高频电子线路讨论的正是用于信息传输和信息处理方面的基本电路。

高频电子技术包含的基本电路多种多样。不同的通讯系统传输的信息、选择的信道、为完成通信设计制作的设备可能互相间有着很大的差异,但基本方法与采用的基本电路却是相通的。本篇通过对直接检波接收机、高放式接收机、超外差接收机、简单的无线电发射机等实用电路由浅入深、由简到繁的实验与分析,对高频电子技术中所涉及到的基本电路形成一个整体的定性的认识。

第 1 章 直接检波接收机、LC 选频与检波电路

本章通过安装一台最原始的直接检波接收机,并通过对接收机中选频与检波电路的实验与分析开始高频电路的学习。在这一章中,技能部分涉及的主要内容有:简单电路的安装与调试;有源音箱、示波器、高频信号发生器、扫频仪等高频实验室常规仪器的使用。理论部分涉及的主要内容有:调幅信号的定性分析;检波二极管的作用及检波的物理过程;选频电路的作用与特点;直接检波接收机的工作原理等。

1.1 直接检波接收机电路

在绪论中,我们已经对通讯系统的组成有了一个大概的了解。大家都知道,接收设备是完成通信工作的重要一环。绪论给出了接收机的结构方框图。其实,早期的接收机,电路远没有这么复杂。

将一个由可变电容器与磁性天线构成的谐振回路、一个二极管、一个电容器与一个耳机按图 1-1 连接起来就可以接收从电台发射出来的广播信号。在这个电路中,没有任何放大环节,因此不需要电源,人们称之为直接检波接收机。可以通过下面的实验来逐渐认识这种简单的接收机。

实验一 直接检波接收机的安装与试听

一、实验步骤

1. 电路连接

首先在一块面包板或万能板上按图 1-1 将电路连接起来,为了获得较大的音量,可以用一

个有源音箱来代替耳机。

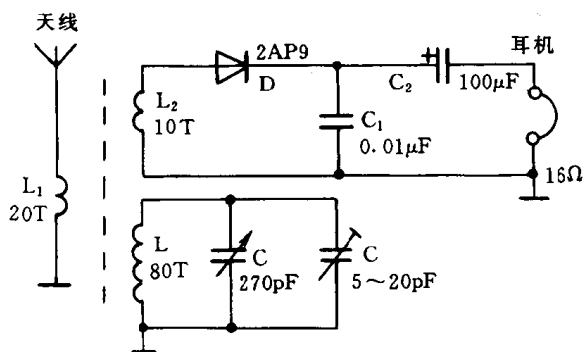


图 1-1 直接检波接收机

2. 天、地线连接

如果实验室有良好的室外天线与地线,按图将天线与地线连接好(如果没有室外天线,实验从步骤 4 往下进行)。

3. 收听电台广播

电路安装完毕后,如果检查无误,就可以接收电台播音了。缓慢调节可变电容器的旋钮,可以收听到一个本地中波电台的广播。如果收不到声音,可能是天、地线不良或电台信号太弱,实验可以继续往下进行,用高频信号发生器代替电台,直接接收高频信号发生器的调幅信号。

4. 接收高频信号发生器信号

将高频信号发生器信号频率置于 1MHz,调制频率为 1kHz,调制度为 60%。输出端中心头通过一个 0.01μF 电容器接接收机天线,高频信号发生器的“地”与接收机的“地”相接。改变高频信号发生器输出信号的大小并仔细调节接收机可变电容器旋钮,可以从扬声器中听到清晰的 1kHz 单音。改变高频信号发生器的调制频率,声音的音调跟着变化。

实验中可以体会到,只有当可变电容器置于某一小段位置时,才能接收到高频信号发生器的信号,扬声器发出的声音的音调与高频信号发生器的调制频率有关。

二、实验分析

通过以上实验,我们安装了一台最简单最原始的接收机,并试听了收音效果。一个由天线线圈与可变电容器组成的可变频率的调谐回路、一个二极管、一个耳机再连接上天地线,就能接收空中的无线广播信号,说明这一简单电路已包含了接收机的主要功能。如此简单的接收机是如何工作的,调谐回路、二极管、耳机在这里的主要作用是什么?这正是本章首先要解决的问题。下面我们首先认识一下由二极管 D 与电容器 C_1 组成的检波电路。

1.2 调幅信号与检波电路

从低频电路中我们知道,送到有源音箱去放大并推动喇叭发声的应是音频电信号。如果把图 1-1 中二极管 D 与电容器 C_1 构成的电路看成如图 1-2 所示的一个四端网络的话,显然,其输出应是音频信号。其输入是什么信号呢?二极管 D 与电容器 C_1 在电路中起了什么作用?可以通过下面的实验来获得这方面的认识。

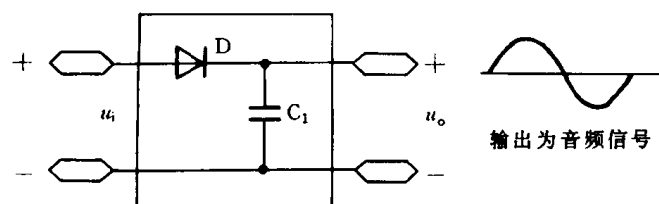


图 1-2 检波电路

实验二 调幅波的观察与检波电路的认识

一、实验步骤

1. 观察输入信号波形

在实验一第 4 步的基础上,即在准确地接收到高频信号发生器的信号以后,用示波器依次观测图 1-1 中高频信号发生器输出、可变电容器定片与二极管 D 正端的信号波形。示波器的扫描周期置于 $2\text{ms}/\text{div}$ 左右。一般情况下,我们说用示波器观测某一点的波形,是观测该点对地的波形。因此,示波器的中心端直接与该点相接,示波器的“地”与电路的“地”相接。

如果操作正确,示波器展示的波形如图 1-3 所示。但不同测试点的信号幅度不同。

2. 测量输入信号有关参数

在示波器上测量图 1-3 所示波形的正弦包络线的周期,记下读数。注意该读数与高频信号发生器调制信号的频率数有什么关系。

如果测试正确,用示波器测得的包络线的周期约为 1ms ,恰为高频信号发生器调制信号的周期。

3. 观测加至有源音箱的信号波形

用示波器观测图 1-1 中二极管负端的波形并测量其周期,记下读数。

操作时,小心调节高频信号发生器的频率与输出幅度,可使观测到的波形如图 1-4(a)所示为一正弦波。该波形与图 1-3 所示波形的包络线的形状完全相同,其周期与包络线的周期读数一致。

4. 观测信号中的直流成分

在步骤 3 观测的基础上,将示波器输入选择置于 DC 位置。可以观测到波形的形状没有变化,但波形整体发生了如图 1-4(b)所示沿竖直方向向上的位移。说明观测的信号中,包含直流成分。

5. 试验电容器 C 的作用

将电容器 C 从电路中取下来,再一次用示波器观测图 1-1 中二极管负端的波形,体会一下与步骤 3 观测到的波形有什么不同。这时我们看到,示波器展示的波形如图 1-4(c)所示,波形不再是正弦波。

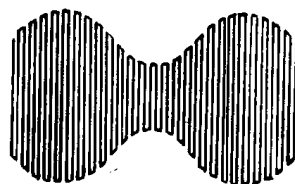


图 1-3 调幅波

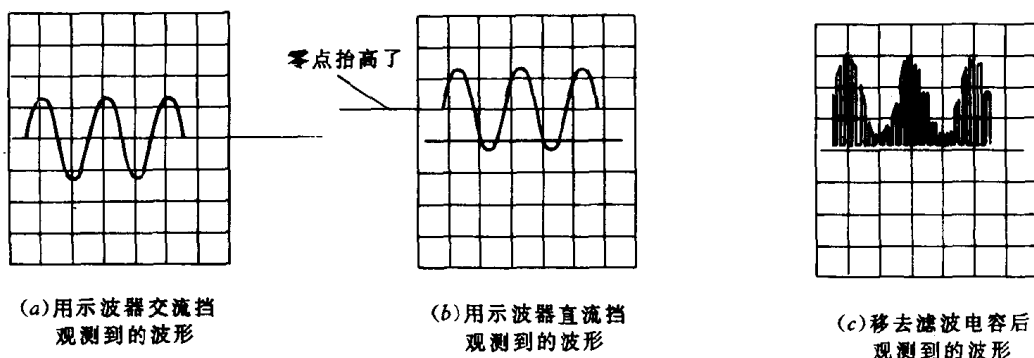


图 1-4 检波输出波形

二、实验分析

对上面的实验,可以作如下分析:

(1) 如果将高频信号发生器看成一个电台,则从电台发射出来被天线接收到的信号不是音频信号,而是如步骤 1 所观测到的带有包络线的高频信号。

(2) 步骤 2 与 3 说明,加至有源音箱放大的音频信号与包络线的周期完全一致,电台是将音频信号加载在高频信号上通过空间发送出来的。音频信号改变了高频信号的幅度,使高频信号的幅度按照音频信号的变化规律改变。这种信号称为调幅信号,或称为调幅波。高频信号起了运载音频信号的作用,称为载波。音频信号称为调制信号或调制波。

读者可能会问:为什么不将音频信号直接从电台发射出去而要利用载波呢?主要有两个原因。其一是:要将无线电信号有效地发射出去,天线的尺寸必须和电信号的波长 λ 为同一数量级。波长与信号频率及电波的传播速度有关,按照

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad (1.1)$$

的关系,计算出频率为 1kHz 的音频信号对应的电波波长为 300km,要制造出这样巨大的天线显然是不现实的。其二是:即使能制造出这样大的天线,不同电台发射的音频信号处于同一频段,在信道中会互相重叠、干扰,接收设备无法选择要接收的信号。

(3) 步骤 3、4、5 说明,调幅信号通过二极管 D 之后,音频信号被分离出来,这种过程称为解调或称为检波。图 1-1 中,二极管 D 与电容器 C 构成的检波电路的作用就是将音频信号从调幅波中解调出来,其物理过程可以通过图 1-5 来说明。为使分析问题简单,假设二极管特性曲线是通过原点的一根直线[如图 1-5(b)所示]。当二极管两端作用的是正向电压时,二极管就导通,在导通期间,二极管可用它的正向内阻来代替,当作用的是反向电压时,二极管就截止,在截止期间把二极管当作断路来处理。

设检波电路输入端加上一个调幅波电压 u_i ,由于二极管只能单向导电,所以只是在输入信号的正半周二极管才能导通。在二极管导通时,输入电压通过二极管的正向电阻给电容器 C 充电,由于正向电阻很小,充电速率很快, C 两端电压在很短时间内就接近调幅电压的峰值,如图 1-5(c)中 A 点。很明显, C 两端的电压又与输入电压相加后加到二极管的两端,因而,二极管导通与否,须视这两个电压相加的结果。如在 A 点(时间为 t_1),电容器两端电压 u_o 与输入电压 u_i 相等,二极管两端电压为零,二极管截止。在 t_1 以后由于 u_i 的下降,使 $u_o > u_i$,二极管两端电