

 世纪高职高专规划教材
高等职业教育规划教材编委会专家审定

GAOPIN DIANZI JISHU

高频电子技术

主编 毛学军
主审 俞 宁



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

教育部推荐教材
教育部规划教材
教育部重点教材
教育部精品教材
教育部规划教材
教育部重点教材
教育部精品教材
教育部规划教材
教育部重点教材
教育部精品教材

高频电子技术

主编：王小明
副主编：李小明

人民邮电出版社

21 世纪高职高专规划教材

高等职业教育规划教材编委会专家审定

高频电子技术

主 编	毛学军			
副主编	杭兴然	杨国柱		
参 编	龚佑红	林咏海	马 勇	
主 审	俞 宁			

北京邮电大学出版社

• 北 京 •

内 容 简 介

本书针对高职院校的教学特点,采用项目化体例,突出做、讲、练的结合,将内容分为直接检波接收机、简单直接高放式接收机、超外差式接收机、调频接收机、发射机5个项目。教材以实践为基础,理论上以实践需要为度,将选频和滤波电路、小信号调谐放大器、高频功率放大器、正弦波振荡器、频率变换与混频器、振幅调制与解调、角度调制与解调、反馈控制电路与频率合成技术等有机融入5个项目。

本书可作为高职高专院校电子类、通信类专业的专业基础课教材,也可供相关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

高频电子技术/毛学军主编. —北京:北京邮电大学出版社,2008

ISBN 978-7-5635-1826-5

I. 高… II. 毛… 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(2008)第 129235 号

书 名: 高频电子技术

主 编: 毛学军

责任编辑: 方 瑜

出版发行: 北京邮电大学出版社

社 址: 北京市海淀区西土城路 10 号(邮编:100876)

发 行 部: 电话: 010-62282185 传真: 010-62283578

E-mail: publish@bupt.edu.cn

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京市梦宇印务有限公司

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16

印 张: 11.25

字 数: 278 千字

印 数: 1—3 000 册

版 次: 2008 年 10 月第 1 版 2008 年 10 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5635-1826-5

定价: 19.00 元

• 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社发行部联系 •

前 言

“高频电子技术”作为电子通信类专业的骨干课程之一,长期受到一线教师的关注。对高职院校来说,如何通过项目化教学,以实践为基础,将有关理论融入其中成为重点讨论的话题。

本教材针对高职院校的特点,确定直接检波接收机、简单直接高放式接收机、超外差式接收机、调频接收机、发射机为课程教学的5个项目,突出做、讲、练的结合,将每一项目按工作过程分解为若干模块,在每一模块中明确教学目标与工作任务,在实践操作的基础上开展问题探究,并适当进行知识拓展,再通过练习巩固所学。

本教材以实践为基础,理论上以实践需要为度,将选频和滤波电路、小信号调谐放大器、高频功率放大器、正弦波振荡器、频率变换与混频器、振幅调制与解调、角度调制与解调、反馈控制电路与频率合成技术等有机融入5个项目,同时在有关项目中体现对电子CAD能力、整机装配能力及编制工艺文件能力的要求。

参与本书编写的人员有淮安广播电视发射台杭兴然台长,淮安信息职业技术学院高级工程师、毛学军副教授,高级实验师杨国柱,青年教师龚佑红、林咏海、马勇。全书由毛学军副教授统稿、主编。

本教材参考学时为90学时,教学资源网站地址为<http://210.29.227.244:8082>。

编 者

2008年6月于淮安

目 录

绪论	1
第 1 章 直接检波接收机	
1.1 直接检波接收机的安装与试听	5
教学目标	5
工作任务	5
实践操作	5
问题探究	6
知识拓展	6
1.2 直接检波接收机原理图绘制	6
教学目标	6
工作任务	7
实践操作	7
问题探究	7
知识拓展	8
1.3 调幅波的观察与检波电路的认识	8
教学目标	8
工作任务	8
实践操作	8
问题探究	9
知识拓展	10
1.4 LC 选频电路的认识	12
教学目标	12
工作任务	12
实践操作	12
问题探究	13
知识拓展	13
1.5 直接检波接收机的原理	15
教学目标	15
工作任务	15
电路归纳	15

问题探究	16
知识拓展	16
本章小结	16
练习	16

第 2 章 简单直接高放式接收机

2.1 直接高放式接收机 PCB 图绘制	18
教学目标	18
工作任务	18
实践操作	18
问题探究	21
知识拓展	22
2.2 直接高放式接收机的装配	25
教学目标	25
工作任务	25
实践操作	25
问题探究	29
知识拓展	29
2.3 直接高放式接收机的调试	36
教学目标	36
工作任务	36
实践操作	36
问题探究	37
知识拓展	37
2.4 选频放大电路分析	39
教学目标	39
工作任务	40
实践操作	40
问题探究	41
知识拓展	43
2.5 直接高放式接收机工作原理	52
教学目标	52
工作任务	52
电路归纳	52
问题探究	52
知识拓展	53
本章小结	53
练习	54

第 3 章 超外差式接收机

3.1 超外差式接收机的装调	56
教学目标	56
工作任务	56
实践操作	57
问题探究	79
知识拓展	82
3.2 编制工艺文件	89
教学目标	89
工作任务	89
实践操作	89
问题探究	97
知识拓展	98
3.3 变频电路与中放电路分析	98
教学目标	98
工作任务	99
实践操作	99
问题探究	101
知识拓展	102
3.4 自动增益控制电路	102
教学目标	102
工作任务	102
实践操作	102
问题探究	104
知识拓展	104
3.5 超外差式接收机基本工作原理	104
教学目标	104
工作任务	104
电路归纳	104
问题探究	107
知识拓展	108
本章小结	108
练习	109

第 4 章 调频接收机

4.1 调频接收机的装调	111
教学目标	111
工作任务	111

实践操作.....	111
问题探究.....	115
知识拓展.....	116
4.2 调频信号的认识	116
教学目标.....	116
工作任务.....	117
实践操作.....	117
问题探究.....	117
知识拓展.....	118
4.3 鉴频电路分析	118
教学目标.....	118
工作任务.....	118
实践操作.....	119
问题探究.....	119
知识拓展.....	120
4.4 自动频率控制电路	125
教学目标.....	125
工作任务.....	125
实践操作.....	125
问题探究.....	125
知识拓展.....	126
4.5 调频接收机基本工作原理	127
教学目标.....	127
工作任务.....	128
电路归纳.....	128
问题探究.....	128
知识拓展.....	129
* 4.6 音频放大器	131
教学目标.....	131
工作任务.....	131
实践操作.....	131
问题探究.....	132
知识拓展.....	132
本章小结.....	132
练习.....	133

第5章 高频信号的发射与接收

5.1 高频信号的发射与接收	134
教学目标.....	134

工作任务·····	134
实践操作·····	134
问题探究·····	136
知识拓展·····	139
5.2 调频电路的检测·····	142
教学目标·····	142
工作任务·····	142
实践操作·····	142
问题探究·····	142
知识拓展·····	145
5.3 功放电路分析·····	151
教学目标·····	151
工作任务·····	151
实践操作·····	152
问题探究·····	154
知识拓展·····	159
5.4 调频发射机基本工作原理·····	166
教学目标·····	166
工作任务·····	166
电路归纳·····	166
知识拓展·····	167
本章小结·····	167
练习·····	168
参考文献·····	170

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,而无线电通信系统则是无线电技术的最早应用。

一个无线电收发系统包含了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。

高频电子技术即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。

1. 通信系统的组成

广义地说,凡是在发信者和收信者之间,以任何方式进行消息地传递,都可称为通信。实现消息传递所需设备的总和,则称为通信系统。过去,通信系统指的只是无线电报和电话,而今还包括传真、电视和各式各样的数据信息传输系统。其组成方框图如图 0-1 所示。



图 0-1 通信系统组成方框图

(1) 信源与信宿

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。数据信息来源则有雷达定位系统、计算机和数据处理设备、自动控制系统、传感器或宇宙空间等。信宿则是指信息的最终归宿。

(2) 输入换能器与输出换能器

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。

(3) 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。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。

(4) 信道

信道是信号传输的通道,又称传输媒介。通信系统中应用信道可分为两大类:有线信道(如电缆、光纤等)和无线信道(如地球表面、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。

(5) 接收设备

接收设备的任务是选频、放大和解调。

解调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的过程。显然,解调是调制的逆过程。

放大源于信道的衰减特性。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。

选频则源于信道中还存在许多干扰信号,因而接收设备必须从众多干扰信号中选择有用信号,抑制干扰信号。

2. 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 0-2 为调幅发射机组组成方框图,它包括 3 个部分:高频部分、低频部分和电源部分。

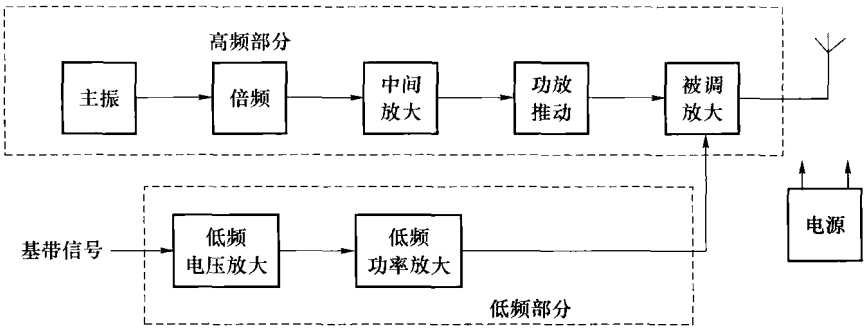


图 0-2 调幅发射机组组成方框图

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。如图 0-3 所示为超外差式接收机组组成方框图,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 $f_i(t)$ (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。

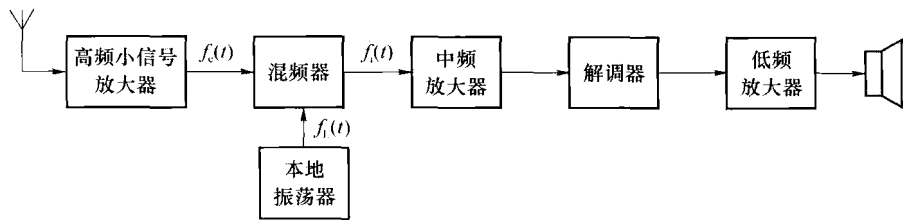


图 0-3 超外差式接收机组成方框图

3. 本书研究的对象和内容

本书通过几个项目,由浅入深地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、工程分析方法和测试及调试方法。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。这些电路除了在现代通信系统中具有举足轻重的作用外,还广泛地应用于其他电子设备中。

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 0-1 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 0-1 无线电频率范围

频率	30 Hz 300 Hz 3 kHz 30 kHz 300 kHz 3 MHz 30 MHz 300 MHz 3 GHz 30 GHz 300 GHz 3 THz 300 THz												
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			超长波 (VLW)	长波 (LW)	中波 (MW)	短波 (SW)	米波	分米波	厘米波	毫米波	亚毫米波	光波	
							超短波	微波 *					
波长	10 Mm	1 Mm	100 km	10 km	1 km	100 m	10 m	1 m	10 cm	1 cm	1 mm	100 μm	1 μm
传输媒介	有线	架空明线 视频电缆					射频电缆		同轴电缆	波导			光导纤维
	无线	海水地球表面					自由空间						

第 1 章 直接检波接收机

教学目标

- 掌握 PCB 焊接技能与技巧。
- 掌握元器件的加工和安装方法。
- 掌握直接检波接收机 PCB 板组装技能。
- 掌握直接检波接收机的试听方法。
- 学会电路板的读识。
- 掌握电路原理图的绘制方法。
- 熟悉调幅波和检波的观测方法。
- 学会电容器作用的测试方法。
- 熟悉接收机接收的最高频率与最低频率的测试方法。
- 掌握 LC 回路的频率特性测量方法。
- 了解回路谐振频率与 L 、 C 的关系。
- 掌握频率范围的调节。
- 学会电路归纳。

工作任务

- 完成直接检波接收机的装配。
- 完成直接检波接收机的调试。
- 绘制直接检波接收机的 PCB 图。
- 读识直接检波接收机电路板。
- 绘制直接检波接收机原理图。
- 观测调幅波。
- 观测检波。
- 测试电容器 C 的作用。
- 测试接收机接收的最高频率与最低频率。
- 测量 LC 回路的频率特性。
- 观察回路谐振频率与 L 、 C 的关系,并调节频率范围。
- 画出直接检波接收机方框图。
- 简述直接检波接收机原理。

1.1 直接检波接收机的安装与试听

教学目标

- 熟悉 PCB 装配图的识别。
- 掌握 PCB 焊接技能与技巧。
- 熟悉元器件的加工和安装方法。
- 掌握直接检波接收机的试听方法。

工作任务

- 完成直接检波接收机 PCB 板的组装。
- 完成一个本地中波电台广播的收听。

实践操作

1. 直接检波接收机电路板的组装

(1) 元器件分类

直接检波接收机共有 3 类器件,分别为磁性天线、电容、检波二极管,如表 1-1 所示。

表 1-1 直接检波接收机器件

序 号	类 别	型号或参数	理论数值
1	磁性天线	初级线圈	80 匝
		次级线圈	10 匝
2	电容	差容双链 CBM223	可变电容 C1A 150 pF 并联微调电容 3~15 pF
			可变电容 C1B 80 pF 并联微调电容 3~15 pF
		电解电容 C_1	100 μ F
		瓷片电容 C_2	0.01 μ F
3	检波二极管	2AP9	导通电压 0.2 V

(2) 元器件检测

① 通过万用表等设备完成对元器件的检测。

② 元器件检测结果记录。

(3) 电路板元器件位置的熟悉

根据 PCB 元器件分布图 1-1,对各元器件在印制板上的安装位置进行熟悉。

(4) 元器件的整形、安装与焊接

对二极管、瓷介电容器、电解电容器、双链、天线线圈依次进行整形、安装与焊接。

(5) 电路成品板整体检查

首先检查焊接点是否有漏焊、假焊、虚焊、桥连等现象；其次检查元器件是否有漏装，有极性的元器件是否装错引脚；最后检查 PCB 板上印制条、焊盘是否有断线、脱落等现象。

(6) 天、地线连接

将良好的室外天线与地线连接好。

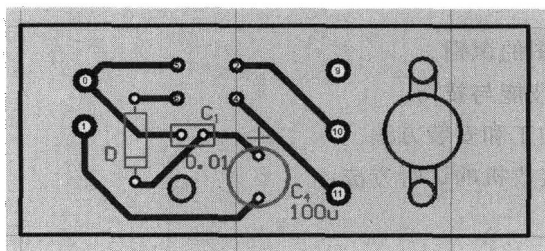


图 1-1 PCB 板

2. 本地中波电台广播的收听

电路安装完毕后，如果检查无误，即可接收电台播音（如要获得较大的音量，可以用一个有源音箱来代替耳机）。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。

问题探究

通过以上实践，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。

知识拓展

如果收不到声音，可能是天、地线不良或电台信号太弱，故可改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。

将高频信号发生器信号频率置于 1 MHz，调制频率为 1 kHz，调制度为 60%。输出端中心头通过一个 0.01 μF 电容器接收机天线，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 1 kHz 单音。改变高频信号发生器的调制频率，声音的音调随之变化。

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。

1.2 直接检波接收机原理图绘制

教学目标

- 学会电路板的识读。
- 掌握电路原理图的绘制方法。

工作任务

- 读识直接检波接收机电路板。
- 绘制直接检波接收机原理图。

实践操作

1. 根据电路成品板绘制直接检波接收机原理图

进入 Protel 99 界面后,首先要根据所要绘制原理图的规模构思出这张图的整体框架,选择合适的图样幅面;接着放置元件,元件的放置位置对元件间的连接及整张图样上的元件匀称布局都要产生直接影响,因此在放置元件后还要对元件的位置进行调整,使元件摆放匀称且便于连线;再下来就走线路连接;最后在电路图上再添加文字和图案,将电路原理图存盘和打印。

2. 将所绘原理图与如图 1-2、图 1-3 所示参考图比较,做对比分析

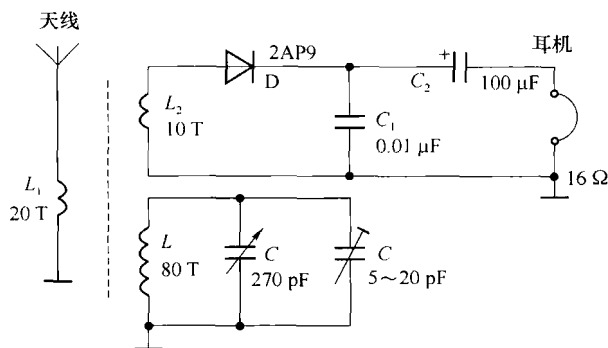


图 1-2 直接检波接收机参考图(一)

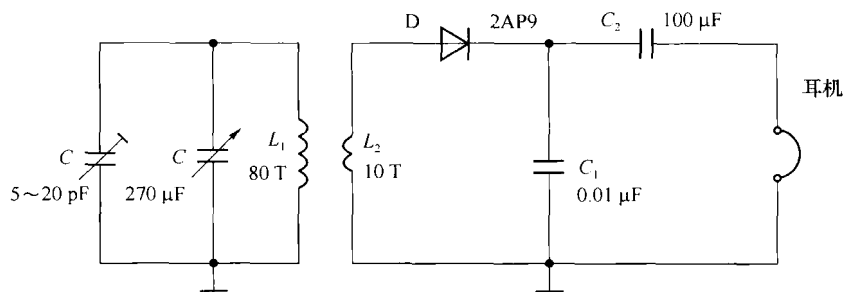


图 1-3 直接检波接收机参考图(二)

问题探究

1. 电路原理图绘制过程中有哪些环节?

打开原理图设计器—创建新原理图文档—设置图样幅面—放置元件与布局—放置连接符号等—调整修改—保存图形文档—其他操作。

2. 所绘图如有问题或不同之处,做出分析。