

教育部推荐教材 ● 21世纪高职高专系列规划教材 ● 高职高专“工学结合”试点教材



高频电子线路

主 编 苏长赞

副主编 薄春卫 冯 慧

JIAOYUBU TUIJIAN JIAOCAI

GAOPIN DIANZI
XIANLU



北京师范大学出版社
BEIJING NORMAL UNIVERSITY PRESS

教育部推荐教材

21世纪高职高专系列规划教材

高职高专“工学结合”试点教材

高频电子线路

主 编 苏长赞

副主编 薄春卫 冯 慧

参 编 (排名不分先后)

艾艳锦 冯 芳 贺 艳



北京师范大学出版社
BEIJING NORMAL UNIVERSITY PRESS

图书在版编目(CIP) 数据

高频电子线路 / 苏长赞主编. —北京: 北京师范大学出版社, 2007.10

ISBN 978-7-303-08880-5

I. 高… II. 苏… 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(2007)第 163095 号

出版发行: 北京师范大学出版社 www.bnup.com.cn

北京新街口外大街 19 号

邮政编码: 100875

印 刷: 北京京师印务有限公司

装 订: 三河德辉装订厂

经 销: 全国新华书店

开 本: 170mm × 230mm

印 张: 14.5

字 数: 260 千字

版 次: 2007 年 11 月第 1 版

印 次: 2007 年 11 月第 1 次印刷

定 价: 22.00 元

责任编辑: 刘锟翔

装帧设计: 李葆芬

责任校对: 李 茵

责任印制: 董本刚

版权所有 侵权必究

反盗版、侵权举报电话: 010-58800697

北京读者服务部电话: 010-58808104

外埠邮购电话: 010-58808083

本书如有印装质量问题, 请与印制管理部联系调换。

印制管理部电话: 010-58800825

出版说明

随着我国经济建设的发展,社会对技术型应用人才的需求日趋紧迫,这也促进了我国职业教育的迅猛发展,我国职业教育已经进入了平稳、持续、有序的发展阶段。为了适应社会对技术型应用人才的需求和职业教育的发展,教育部对职业教育进行了卓有成效的改革,职业教育与成人教育司、高等教育司分别颁布了调整后的中等职业教育、高等职业教育专业设置目录,为职业院校专业设置提供了依据。教育部连同其他五部委共同确定数控技术应用、计算机应用与软件技术、汽车运用与维修、护理为紧缺人才培养专业,选择了上千家高职、中职学校和企业作为示范培养单位,拨出专款进行扶持,力争培养一批具有较高实践能力的紧缺人才。

职业教育的快速发展,也为职业教材的出版发行迎来了新的春天和新的挑战。教材出版发行为职业教育的发展服务,必须体现新的理念、新的要求,进行必要的改革。为此,在教育部高等教育司、职业教育与成人教育司、北京师范大学等的大力支持下,北京师范大学出版社在全国范围内筹建了“全国职业教育教材改革与出版领导小组”,集全国各地上百位专家、教授于一体,对中等高等职业院校的文化基础课、专业基础课、专业课教材的改革与出版工作进行深入的研究与指导。2004年8月,“全国职业教育教材改革与出版领导小组”召开了“全国有特色高职教材改革研讨会”,来自全国20多个省、市、区的近百位高职院校的院校长、系主任、教研室主任和一线骨干教师参加了此次会议。围绕如何编写出版好适应新形势发展的高等职业教育教材,与会代表进行了热烈的研讨,为新一轮教材的出版献计献策。这次会议共组织高职教材50余种,包括文化基础课、电工电子、数控、计算机教材。2005年~2006年期间,“全国职业教育教材改革与出版领导小组”先后在昆明、

哈尔滨、天津召开高职高专教材研讨会，对当前高职高专教材的改革与发展、高职院校教学、师资培养等进行了深入的探讨，同时推出了一批公共素质教育、商贸、财会、旅游类高职教材。这些教材的特点如下。

1. 紧紧围绕教育改革，适应新的教学要求。过渡时期具有新的教学要求，这批教材是在教育部的指导下，针对过渡时期教学的特点，以3年制为基础，兼顾2年制，以“实用、够用”为度，淡化理论，注重实践，消减过时、用不上的知识，内容体系更趋合理。

2. 教材配套齐全。将逐步完善各类专业课、专业基础课、文化基础课教材，所出版的教材都配有电子教案，部分教材配有电子课件和实验、习题指导。

3. 教材编写力求语言通俗简练，讲解深入浅出，使学生在理解的基础上学习，不囫圇吞枣，死记硬背。

4. 教材配有大量的例题、习题、实训，通过例题讲解、习题练习、实验实训，加强学生对理论的理解以及动手能力的培养。

5. 反映行业新的发展，教材编写注重吸收新知识、新技术、新工艺。

北京师范大学出版社是教育部职业教育教材出版基地之一，有着近20年的职业教育教材出版历史，具有丰富的编辑出版经验。这批高职教材的编写得到了教育部相关部门的大力支持，部分教材通过教育部审核，被列入职业教育与成人教育司高职推荐教材，并有25种教材列为“十一五”国家级规划教材。我们还将开发电子信息类的通信、机电、电气、计算机、工商管理等专业教材，希望广大师生积极选用。

教材建设是一项任重道远的工作，需要教师、专家、学校、出版社、教育行政部门的共同努力才能逐步获得发展。我们衷心希望更多的学校、更多的专家加入到我们的教材改革出版工作中来，北京师范大学出版社职业教育与教师教育分社全体人员也将备加努力，为职业教育的改革与发展服务。

全国职业教育教材改革与出版领导小组
北京师范大学出版社

参加教材编写的单位名单

(排名不分先后)

沈阳工程学院

山东劳动职业技术学院

济宁职业技术学院

辽宁省交通高等专科学校

浙江机电职业技术学院

杭州职业技术学院

西安科技大学电子信息学院

西安科技大学通信学院

西安科技大学机械学院

天津渤海职业技术学院

天津渤海集团公司教育中心

连云港职业技术学院

景德镇高等专科学校

徐州工业职业技术学院

广州大学科技贸易技术学院

江西信息应用职业技术学院

浙江商业职业技术学院

内蒙古电子信息职业技术学院

济源职业技术学院

河南科技学院

苏州经贸职业技术学院

浙江工商职业技术学院

温州大学

四川工商职业技术学院

常州轻工职业技术学院

河北工业职业技术学院

太原理工大学轻纺学院

浙江交通职业技术学院

保定职业技术学院

绵阳职业技术学院

北岳职业技术学院

天津职业大学

石家庄信息工程职业学院

襄樊职业技术学院

九江职业技术学院

青岛远洋船员学院

无锡科技职业学院

广东白云职业技术学院

三峡大学职业技术学院

西安欧亚学院实验中心

天津机电职业技术学院

漯河职业技术学院

济南市高级技工学校

沈阳职业技术学院

江西新余高等专科学校

赣南师范学院

江西交通职业技术学院

河北农业大学城建学院

华北电力大学

北京工业职业技术学院

湖北职业技术学院

河北化工医药职业技术学院

天津电子信息职业技术学院
广东松山职业技术学院
北京师范大学
山西大学工程学院
平顶山工学院
黄石理工学院
广东岭南职业技术学院
青岛港湾职业技术学院
郑州铁路职业技术学院
北京电子科技职业学院
北京农业职业技术学院
宁波职业技术学院
宁波工程学院
北京化工大学成教学院
天津交通职业技术学院
济南电子机械工程学院
山东职业技术学院
天津中德职业技术学院
天津现代职业技术学院
天津青年职业技术学院
无锡南洋学院
北京城市学院
北京经济技术职业学院
北京联合大学
大红鹰职业技术学院
广东华立学院
广西工贸职业技术学院
贵州商业高等专科学校
桂林旅游职业技术学院
河北司法警官职业学院
黑龙江省教科院
湖北财经高等专科学校

华东师范大学职成教所
淮南职业技术学院
淮阴工学院
黄河水利职业技术学院
南京工业职业技术学院
南京铁道职业技术学院
黔南民族职业技术学院
青岛职业技术学院
陕西财经职业技术学院
陕西职业技术学院
深圳信息职业技术学院
深圳职业技术学院
石家庄职业技术学院
四川建筑职业技术学院
四川职业技术学院
太原旅游职业技术学院
泰山职业技术学院
温州职业技术学院
无锡商业职业技术学院
武汉商业服务学院
杨凌职业技术学院
浙江工贸职业技术学院
郑州旅游职业技术学院
淄博职业技术学院
云南机电职业技术学院
云南林业职业技术学院
云南国防工业职业技术学院
云南文化艺术职业学院
云南农业职业技术学院
云南能源职业技术学院
云南省交通职业技术学院
云南司法警官职业学院

云南热带作物职业技术学院
西双版纳职业技术学院
玉溪农业职业技术学院
云南科技信息职业学院
昆明艺术职业学院
云南经济管理职业学院
云南农业大学
云南师范大学
昆明大学
陕西安康师范学院
云南水利水电学校
昆明工业职业技术学院
云南财税学院
云南大学高职学院
山西综合职业技术学院
温州科技职业技术学院
昆明广播电视大学
天津中德职业技术学院
天津职教中心
天津现代职业技术学院
天津师范大学

天津公安警官职业技术学院
武警昆明指挥学院
天津工业大学
天津开发区职业技术学院
黑龙江大兴安岭职业学院
黑龙江农业经济职业技术学院
黑龙江农业工程职业技术学院
黑龙江农业职业技术学院
黑龙江生物科技职业技术学院
黑龙江旅游职业技术学院
中国民航飞行学院
四川信息职业技术学院
四川航天职业技术学院
四川成都纺织高等专科学校
四川科技职业学院
四川乐山职业技术学院
四川泸州职业技术学院
四川成都农业科技职业技术学院
四川宜宾职业技术学院
江西省委党校
齐齐哈尔职业学院

前言

“高频电子线路”是电子信息 and 通信类专业的核心技术课程。本书根据教育部《高职高专教育专门课程基本要求》，针对高职高专教育的特点，系统介绍了通信系统的组成、通信系统中不同功能的单元电路的原理和分析方法以及在系统中的内在联系。

全书共分7章，第1章介绍无线通信系统的组成和调制的基本概念；第2章介绍高频小信号放大器；第3章介绍高频功率放大器与倍频器；第4章介绍正弦波振荡器；第5章介绍振幅调制与解调电路；第6章介绍角度调制与解调电路；第7章介绍增益、频率和相位自动控制电路。考虑到不开设“通信原理”课程的专业，在第5章和第6章分别介绍了数字信号的幅度键控、频率键控、相位键控及其解调电路。第2章至第7章均安排了相应的实训内容。

本书由天津工业大学信息与通信工程学院苏长赞担任主编，提出编写大纲。天津开发区职业技术学院薄春卫和天津工业大学信息与通信工程学院冯慧为副主编。参加编写的还有天津职业大学艾艳锦，天津天狮职业技术学院冯芳，天津天狮职业技术学院贺艳。具体分工如下：薄春卫编写了第6章，冯慧编写了第4章，艾艳锦编写了第5章，贺艳编写了第2章，冯芳编写了第3章，苏长赞编写了第1章和第7章。

在编写过程中，参阅了同行作者大量的文献资料，在此致以深深的谢意；同时，也感谢天津工业大学信息与通信工程学院的领导和北京师范大学出版社周光明先生的大力支持和帮助。

由于编者水平有限，书中难免有疏漏和不妥之处，热诚欢迎使用本书的老师和同学批评指正，意见和建议请发送到电子邮箱 suchangzan@126.com。

编者

2007年8月

目录

Contents

第1章 无线通信系统的组成和调制	(1)
1.1 无线通信系统的组成	(1)
1.1.1 无线通信系统的组成	(1)
1.1.2 无线发射与接收电路组成	(2)
1.2 调制的基本概念	(5)
1.2.1 调制的基本概念	(5)
1.2.2 已调信号的特点	(5)
1.2.3 采用调制技术的目的	(7)
1.3 无线电波的波段划分和传播特性	(8)
1.3.1 无线电波的波段划分	(8)
1.3.2 无线电波的传播方式	(9)
1.4 高频电子线路课程的特点	(9)
本章小结	(10)
习题1	(10)
第2章 高频小信号放大器	(11)

2.1 高频小信号放大器的分类和主要性能指标	(11)
2.1.1 高频小信号放大器的分类	(11)
2.1.2 高频小信号放大器的主要性能指标	(11)
2.2 谐振回路	(13)
2.2.1 串、并联谐振回路的选频特性	(14)
2.2.2 常用阻抗变换电路	(18)
2.3 单调谐放大器	(20)
2.3.1 单级单调谐放大器	(20)
2.3.2 多级单调谐放大器	(25)
2.4 双调谐放大器	(26)
2.5 谐振放大器的稳定性	(28)
2.6 集中选频放大器	(30)
本章小结	(34)
习题2	(35)
实训1 LC单调谐放大器	(36)
第3章 高频功率放大器与倍频器	(39)
3.1 高频功率放大器的分类	(39)

3.2 丙类高频功率放大器的基本原理	(40)
3.2.1 基本原理	(40)
3.2.2 输出功率与效率	(44)
3.3 高频功率放大器的特性	(46)
3.4 高频功率放大器的直流馈电与滤波匹配电路	(52)
3.4.1 直流馈电电路 ...	(52)
3.4.2 滤波匹配电路 ...	(55)
3.5 丙类倍频器	(58)
本章小结	(60)
习题3	(61)
实训2 丙类高频功率放大器	(62)
第4章 正弦波振荡器	(65)
4.1 反馈振荡器的工作原理	(66)
4.1.1 反馈式振荡器的组成	(66)
4.1.2 振荡的平衡条件与起振条件	(67)
4.1.3 反馈振荡电路判断	(69)
4.2 LC三点式正弦波振荡器	(70)
4.2.1 LC三点式正弦波振荡器的组成原则	(70)
4.2.2 电感三点式振荡器	(71)
4.2.3 电容三点式振荡器	(71)

4.2.4 改进电容三点式振荡器	(72)
4.3 石英晶体正弦波振荡器	(75)
4.3.1 石英晶体谐振器及其特性	(75)
4.3.2 石英晶体正弦波振荡器	(77)
4.4 RC正弦波振荡器	(80)
4.4.1 RC串并联网络和移相网络	(80)
4.4.2 RC桥式正弦波振荡器	(82)
4.4.3 RC移相正弦波振荡器	(83)
本章小结	(84)
习题4	(85)
实训3-1 电容三点式振荡器	(87)
实训3-2 RC正弦波振荡器	(89)
第5章 振幅调制与解调电路	(93)
5.1 振幅调制与解调的基本原理	(93)
5.1.1 普通调幅信号与实现普通调幅的基本原理	(93)
5.1.2 双边带调幅信号与实现双边带调幅的基本原理	(98)
5.1.3 单边带调幅信号与实现单边带调幅的基本原理	(100)

5.1.4 振幅解调的基本原理	(103)	6.1 调角信号的基本性质	(136)
5.2 混频的基本原理	(105)	6.1.1 调角信号的数学分析	(136)
5.3 常用模拟乘法器电路	(106)	6.1.2 调角信号的频谱和带宽	(139)
5.3.1 二极管乘法器电路	(106)	6.2 直接调频电路	(142)
5.3.2 双差分对乘法器电路	(109)	6.2.1 变容二极管的基本特性	(142)
5.4 振幅调制与振幅解调电路	(113)	6.2.2 变容二极管直接调频电路	(143)
5.4.1 振幅调制电路	(113)	6.3 间接调频电路	(148)
5.4.2 振幅解调电路	(116)	6.3.1 间接调频的基本原理	(148)
5.5 混频电路	(121)	6.3.2 变容二极管调相电路	(148)
5.6 数字信号的幅度键控和解调	(124)	6.3.3 变容二极管间接调频电路	(150)
5.6.1 数字基带信号的波形	(124)	6.4 扩展最大频偏的原理	(151)
5.6.2 幅度键控信号与产生	(125)	6.5 限幅器	(153)
5.6.3 幅度键控信号的解调	(126)	6.6 调频信号的解调	(156)
本章小结	(127)	6.6.1 鉴频特性及鉴频方法概述	(156)
习题5	(128)	6.6.2 单失谐回路斜率鉴频器	(157)
实训4-1 低电平调幅电路	(130)	6.6.3 双失谐回路斜率鉴频器	(159)
实训4-2 二极管检波电路	(132)	6.6.4 相位鉴频器	(160)
实训4-3 晶体管混频电路	(133)	6.6.5 比例鉴频器	(167)
第6章 角度调制与解调电路	(136)	6.7 数字信号的频率键控和解调	(170)
		6.7.1 频率键控信号与产生	(170)

6.7.2 频率键控信号的解调	(172)	7.4.2 锁相环路的频率自动跟踪过程	(191)
6.8 数字信号的相位键控和解调	(174)	7.4.3 锁相环路的相位模型与基本方程	(192)
6.8.1 相位键控信号与产生	(174)	7.4.4 数字锁相环路的基本结构	(195)
6.8.2 相位键控信号的解调	(175)	7.5 几种集成电路锁相环路简介	(196)
本章小结	(178)	7.5.1 高频锁相环 L562	(196)
习题 6	(180)	7.5.2 超高频锁相环 L564	(197)
实训 5 变容二极管直接调频电路	(183)	7.5.3 低频锁相环 CD4046	(197)
第 7 章 增益、频率和相位自动控制电路	(187)	7.5.4 低频锁相环 LM567	(199)
7.1 反馈控制的概念	(187)	7.6 锁相环路的应用	(199)
7.2 自动增益控制(AGC)电路	(188)	7.6.1 锁相环基本应用原理	(199)
7.2.1 自动增益控制的作用	(188)	7.6.2 锁相环应用电路	(201)
7.2.2 自动增益控制的原理	(188)	7.7 锁相频率合成器	(205)
7.2.3 自动增益控制的电路	(189)	7.7.1 单环锁相环频率合成器	(205)
7.3 自动频率(AFC)控制电路	(190)	7.7.2 多环锁相环频率合成器	(207)
7.3.1 自动频率控制的作用	(190)	7.7.3 吞脉冲锁相环频率合成器	(209)
7.3.2 自动频率控制的原理	(190)	本章小结	(212)
7.3.3 自动频率控制的电路	(190)	习题 7	(213)
7.4 锁相环路(PLL)的基本原理	(191)	实训 6-1 锁相环频率解调电路	(213)
7.4.1 锁相环路的基本结构	(191)	实训 6-2 锁相环倍频器	(214)
		参考文献	(216)



内容提要

本章主要介绍无线通信系统的组成、调制的基本概念、无线通信系统的类型、无线电波的波段划分和传播特性的方法以及本课程要研究的内容和特点。

第1章 无线通信系统的组成和调制

1.1 无线通信系统的组成

所谓通信就是信源(发信者)与信宿(收信者)之间的消息的传递和交换。实现通信的所有设备组成通信系统。现代通信系统以电信号作为信号传输的媒体。按信息传输通道的不同,可分为有线通信系统和无线通信系统。

1.1.1 无线通信系统的组成

图 1-1 是无线通信系统的组成框图。它以无线电波作为信号传输的载体。系统中各组成部分的作用如下。

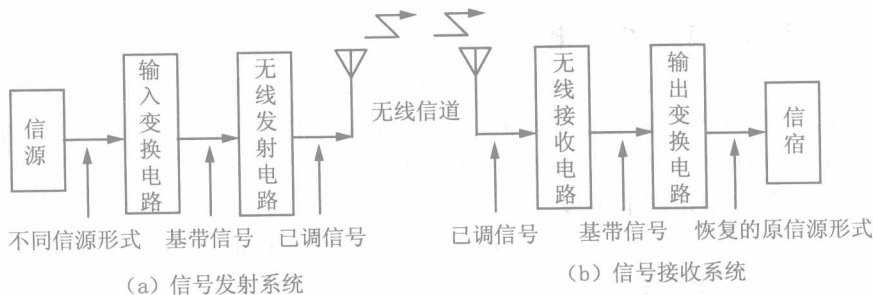


图 1-1 无线通信系统的组成框图

1. 信源

信源的作用是形成消息,一般为非电量,它有语言、音乐、文字、符号、图像、数据等多种不同形式。

2. 输入变换器

将不同形式(非电量)的信息源转换成相应的电信号,不同的信息源需要不同的变换器。电信号是信息的载体,在送入发射电路之前的这种信号称为

基带信号。基带信号通过电话机、电报机、摄像机等输入变换器得到。基带信号的特点是频率较低,相对频带较宽,例如,电话通信中语音基带信号的频带宽度为 $300\sim 4000\text{Hz}$ 。

3. 无线发射电路

发射电路的主要功能是对基带信号进行调制和功率放大,其中,最核心的功能是实现低频基带信号对高频载波信号的调制,得到已调信号,以实现信号在信道中的有效传输。功率放大电路的作用是将已调信号进行能量上的放大,以提高通信距离和通信的可靠性。发射电路输出的是已调信号。

4. 信道

信道就是传输信号的通道,也就是信号传输的媒质。不同的信道有不同的传输特性。信道可以分为有线信道和无线信道,有线信道就是指传输导线和光导纤维;而无线信道就是指空间电磁波。

5. 无线接收电路

接收电路的主要功能是选择要接收的已调信号并进行放大和解调,其中最核心的功能是解调。所谓解调就是从已调信号中恢复原基带信号。

6. 输出变换器

输出变换器的功能和输入变换器相反,将解调出的基带信号恢复为原信息源的形式。

7. 信宿

信宿是信息传输的归宿,得到原来信息源形式的信息。

1.1.2 无线发射与接收电路组成

无线发射与接收电路是通信系统的核心部分,虽然不同的通信系统发射和接收电路的组成不完全相同,但电路结构基本相似。下面以音频信号的发射和接收为例来说明无线发射与接收电路的组成。

一、无线发射电路的组成

图 1-2 是无线发射电路的组成框图,各部分的作用如下。

1. 载波振荡电路与倍频电路

载波振荡电路用来产生高频信号。一般采用石英晶体振荡器,具体内容将在第 4 章学习。当石英晶体振荡器的振荡频率达不到所需数值时,还需要使用倍频电路使频率倍增到所需载波频率,倍频电路将在第 3 章学习。

2. 调制放大电路

调制放大电路为低频放大器,对话筒(输入变换电路)输出的信号进行放大,以达到调制电路所需的信号强度。低频放大器在模拟电子技术课程中已经学习过。

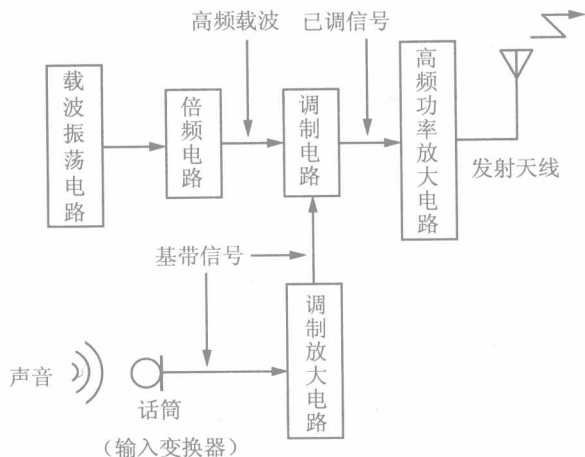


图 1-2 无线发射电路的组成框图

3. 调制电路

调制电路是发射电路的核心，其功能是将低频基带信号“装”到高频载波上，实现的方法是由调制放大器输出的低频基带信号对高频载波进行调制，使高频载波的振幅、频率和相位按照低频基带信号的规律变化，即实现调幅、调频和调相。这部分内容将在第 5 章(调幅)和第 6 章(调频和调相)学习。

4. 高频功率放大电路

高频功率放大电路的功能是对已调信号进行放大，以足够大的功率送入信道。在无线发射电路中，高频功率放大电路的负载是发射天线，由发射天线向空中辐射电磁波。高频功率放大电路将在第 3 章学习。

5. 发射天线

发射天线功能是将高频功率放大电路输出的高频电流转换为向空间辐射的电磁波。

二、无线接收电路的组成

图 1-3 是超外差式无线接收电路的组成框图，各部分的作用如下。

1. 接收天线

接收天线接收从空中传播来的电磁波，感应出微弱的(已调)高频电信号。

2. 高频放大电路

高频放大电路从天线接收的电信号中选出所要接收(载波)频率的信号，得到高频已调信号。高频放大电路由高频小信号放大电路组成，将在第 2 章学习。

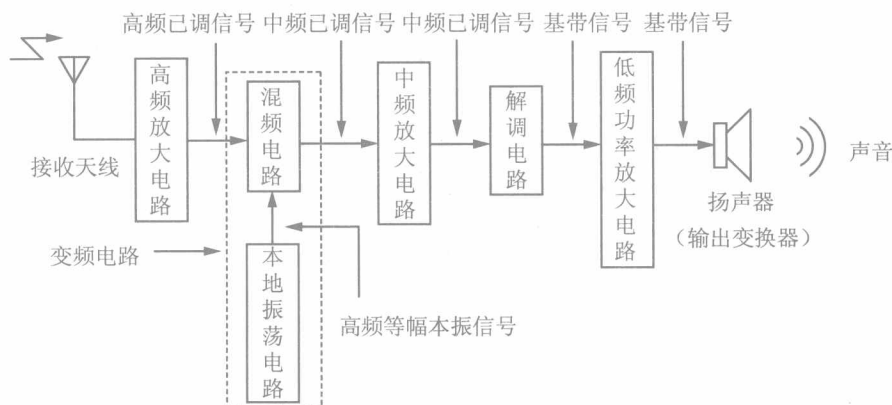


图 1-3 无线接收电路的组成框图

3. 本地振荡电路

本地振荡电路也称本机振荡电路，产生等幅高频信号，其振荡频率比接收到的已调信号的载波频率高出一个中频频率。本地振荡电路和发射电路中的载波振荡电路均属高频振荡电路，电路完全相同，只是用在接收电路中称为本机振荡电路，将在第 4 章学习。

4. 混频电路

混频电路与本地振荡电路共同组成变频电路，是超外差式接收电路的核心部分。接收到的已调信号和本机振荡电路产生等幅高频信号同时送入混频电路，混频电路输出信号的性质不变，仍为已调信号，只是载波频率变为接收信号载波与本地振荡频率的差值，即转换为中频，得到中频已调信号。由于本地振荡信号频率能与接收信号的频率保持同步变化，所以中频频率是固定的，我国 AM 广播接收机采用的中频为 465kHz。混频电路将在第 5 章学习。

5. 中频放大电路

中频放大电路的功能是对中频已调信号进行放大。由于中频频率固定，因而中频放大电路的增益和选择性都可以较高，同时也方便了中频放大电路制作和调试。中频放大电路属于小信号选频放大电路，将在第 2 章学习。

6. 解调电路

解调电路在调幅接收电路中也称检波电路；在调频接收电路中也称鉴频电路。其功能是将基带信号从载波上“卸”下来，恢复原基带信号。解调电路是接收电路最重要的组成部分，发射方采用不同的调制方式，接收方应采用相应不同的解调方式。这部分内容将在第 5 章（检波）和第 6 章（鉴频调相）学习。