



国家级职业教育规划教材
劳动保障部培训就业司推荐

高等职业院校移动通信技术专业

高频电子技术

GNH

Yidong Tongxin Jishu Zhuanye

劳动和社会保障部教材办公室组织编写

GaodengZhiyeJishuYuanxiao



中国劳动社会保障出版社

国家级职业教育规划教材
劳动保障部培训就业司推荐
高等职业技术学院移动通信技术专业

高频电子技术

主编 谢俊国 丁向荣

中国劳动社会保障出版社

图书在版编目(CIP)数据

高频电子技术/谢俊国,丁向荣主编. —北京:中国劳动社会保障出版社,2007
高等职业院校移动通信技术专业

ISBN 978-7-5045-6556-3

I. 高… II. ①谢…②丁… III. 高频-电子电路 IV. TN710.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 119271 号

中国劳动社会保障出版社出版发行

(北京市惠新东街1号 邮政编码:100029)

出版人:张梦欣

*

北京金明盛印刷有限公司印刷装订 新华书店经销

787毫米×1092毫米 16开本 13印张 305千字

2007年8月第1版 2007年8月第1次印刷

定价:22.00元

读者服务部电话:010-64929211

发行部电话:010-64927085

出版社网址:<http://www.class.com.cn>

版权专有 侵权必究

举报电话:010-64954652

前 言

为贯彻落实《国务院关于大力发展职业教育的决定》精神，坚持以就业为导向的职业教育办学方针，推进高等职业技术学院课程和教材改革，劳动和社会保障部教材办公室组织一批学术水平高、教学经验丰富、实践能力强的教师与企业、行业一线专家，共同研究开发了电类专业课程的基础平台，涉及电工基础、模拟电子技术、数字电子技术、电工基本技能、金工实习等课程；还开发了电气自动化技术、应用电子、移动通信技术三个专业模块的课程。在课程开发的同时，编写了电类专业相关教材 36 种。

在教材的编写过程中，我们贯彻了以下编写原则：

第一，从职业（岗位）需求分析入手，参照国家职业标准《维修电工》《家用电子产品维修工》《电子设备装接工》《家用电器产品维修工》《用户通信终端（移动电话机）维修员》的要求，精选教材内容，切实落实“管用、够用、适用”的教学指导思想。

第二，体现以技能训练为主线、相关知识为支撑的编写思路，较好地处理了理论教学与技能训练的关系，有利于帮助学生掌握知识、形成技能、提高能力。

第三，按照教学规律和学生的认知规律，合理编排教材内容。尽量采用以图代文的编写形式，降低学习难度，提高学生的学习兴趣。

第四，突出教材的先进性，较多地编入新技术、新设备、新材料、新工艺的内容，以期缩短学校教育与企业需要的距离，更好地满足企业用人的需求。

在上述教材的编写过程中，得到有关省市教育部门、劳动和社会保障部门以及一些高等职业技术学院的大力支持，教材的诸位主编、参编、主审等做了大量的工作，在此我们表示衷心的感谢！同时，恳切希望广大读者对教材提出宝贵的意见和建议，以便修订时加以完善。

劳动和社会保障部教材办公室

2006 年 6 月

内 容 简 介

本书为国家级职业教育规划教材，由劳动和社会保障部教材办公室组织编写。本教材是为高等职业教育通信技术专业和其他相近专业而编著的教材。全书共分为无线通信系统的基本原理，无线发射系统，无线接收系统，无线遥控发射、接收模块及其应用四个模块，将高频小信号放大器、高频功率放大器、调幅电路、调角电路、反馈控制电路等电路单元融入各个模块，通过大量实际电路分析高频电子技术的基本原理、设计、调试与应用制作。

本书可作为高等职业技术学院通信技术专业教材，也可作为成人高校、广播电视大学、本科院校举办的二级职业技术学院和民办高校的相关专业教材，或作为自学用书。本书内容和编写体系有所创新，书中首次披露的无线话筒收发电路、无线电测向技术等也可作为有关工程技术人员难得的参考资料。

本书由谢俊国、丁向荣主编，高金玉主审。其中模块一、模块二和附录由谢俊国编著；模块三、模块四由丁向荣编著。

目 录

模块一 无线通信系统的基本原理	(1)
课题一 无线通信系统的基本组成.....	(1)
课题二 电磁波频段的划分.....	(8)
模块二 无线发射系统	(17)
课题一 高频正弦波振荡器.....	(17)
课题二 振幅调制、高频功率放大器与倍频器.....	(30)
课题三 高频调频技术.....	(52)
模块三 无线接收系统	(68)
课题一 输入调谐回路.....	(70)
课题二 高频小信号放大器.....	(74)
课题三 变频、混频.....	(99)
课题四 解调电路.....	(113)
课题五 反馈控制电路.....	(131)
课题六 应用与制作.....	(156)
模块四 无线遥控发射、接收模块及其应用	(175)
课题一 能“识别”主人的抽屉报警器的制作.....	(175)
课题二 能“识别”主人的微型无线遥控开关的制作.....	(178)
课题三 无线遥控模型汽车的制作.....	(182)
附录 A 高频电子线路实验箱简介.....	(190)
附录 B 无线电测向及 PJ-80 型测向机制作	(194)
附录 C 短波波段的划分.....	(197)
附录 D 参考网址.....	(197)
附录 E 一种调频无线话筒收发电路.....	(198)
参考文献.....	(201)

模块一 无线通信系统的基本原理

高频电子技术源于无线电技术，无线电技术的出现给人类的生活和社会生产带来了极为深刻的影响，它广泛应用于国民经济、军事和日常生活的各个领域。人们所熟悉的无线电广播、雷达、电视以及短波电台等都是无线电技术应用的结晶。下面将通过学习无线电信号发射、接收的主要过程，进而掌握无线通信系统的基本原理。

课题一 无线通信系统的基本组成

◆ 知识点

- 无线发射设备的基本原理和组成
- 无线接收设备的基本原理和组成
- 了解无线接收设备中的超外差接收技术

课题导入

如图 1—1—1 所示是人们非常熟悉的收音机收听广播电台节目的示意图。在这个电台节目接收过程中，电台播音员（节目源）、发射机、发射天线、收音机缺一不可，分别完成了信号的产生、变换、发射、传输和接收过程，组成了一个基本的无线通信系统。生活中人们经常发现，当接收本地电台节目时声音效果很好，而当接收外地距离较远电台节目时声音效果有时好、有时差。有时还会发现，不同品牌、价位的收音机，其接收效果也各不相同，并且调频波段接收的音质要优于调幅波段，其原因会在以后的课题学习中逐步揭示。

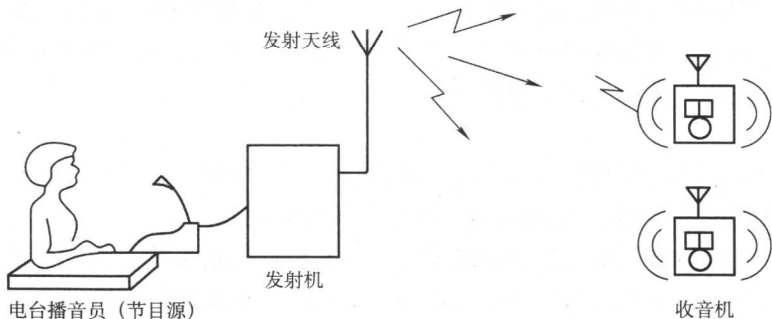


图 1—1—1 无线广播系统的组成

除了以上介绍的无线广播系统以外，还有很多功能不同、使用在不同场合的无线通信设备，例如家庭中使用的用于接收处理图像的电视接收机、公安部门常使用的对讲机、便于随身携带的移动电话（手机）、教师上课使用的无线教学扩音器等。虽然其外观、体积、功率、

传送的信息内容差异很大,但组成这些通信设备最基本的电路结构是基本相同或相似的,高频电子技术所研究的正是组成这些通信系统设备的最基本电路。

相关知识

一、通信系统的基本组成

从发送者到接收者之间信息的传递称为通信。利用电信号传输信息的系统称为通信系统,也称电信系统。通信系统的基本组成框图如图 1—1—2 所示,它由信源、输入变换器、输出变换器、发送设备、接收设备和信道等部分组成。其各部分的含义如下:

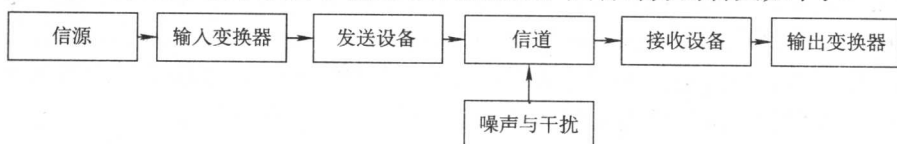


图 1—1—2 通信系统的基本组成框图

1. 信源

信源是指需要传送的原始信息,如语音、音乐、图像、文字等,往往以机械振动、光强等物理量为载体呈现出来。

2. 输入变换器

将信源的非电物理量转换为电信号的装置,如麦克风将机械振动转换为音频电信号,光电管将光图像信号转换为视频电信号。这些信号频率较低,不便于在信道中传输,常称为基带信号。根据信源转换为电信号的方式,通信可分为模拟通信和数字通信。

(1) 模拟信号。变换后信号电压或电流为随信源物理量线性连续变化的信号。

(2) 数字信号。变换后信号电压或电流为随信源物理量非连续、离散变化的信号,常采用二进制数字信号。

根据以上不同的信号类型而组成的发射、接收处理的通信系统分别称为模拟通信和数字通信。本课程主要研究的是模拟通信系统。

3. 发送设备

发送设备用于将输入的基带电信号变成适合于信道传输的信号。发送设备在无线通信系统中也称为发射设备,发射信号常称为射频信号。如图 1—1—3a 所示为无线电测向信号源,可发射摩尔斯电报码,属于无线发射设备。

4. 接收设备

接收设备的作用是把发送设备发送的有用信号从众多的信号和噪声中选取出来。如图 1—1—3b 所示为 PJ—80 型无线电测向机,属于无线接收设备。

同一系统的发射设备与接收设备相配套,组成完整的通信系统。不同的通信系统,其发送设备和接收设备一般不能通用。发送设备与接收设备是组成通信系统的核心。

有些通信设备具有发射与接收两种功能,如便携式短波电台、对讲机、手机等,它们都具有信号的收发功能,常称之为全双工通信设备。

5. 信道

信道是信息传输的通道,也称为传输媒介,可分为有线信道和无线信道两大类,相应的通信称为有线通信或无线通信。

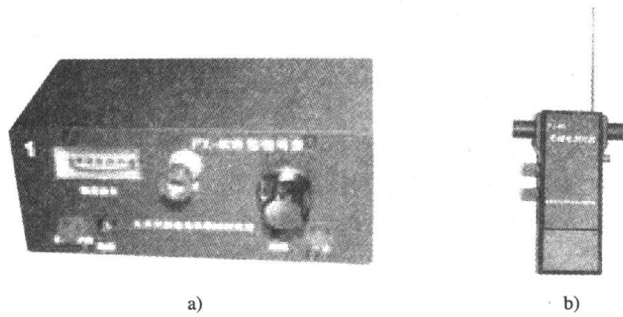


图 1—1—3 无线电测向设备

a) 无线电测向信号源 b) PJ-80 型无线电测向机

(1) 有线通信。利用各种导线作为信道来传输信号的通信方式，如图 1—1—4 所示。有线通信的信道多为同轴电缆、双绞线及光纤等，信号不容易受到干扰，应用很广泛。

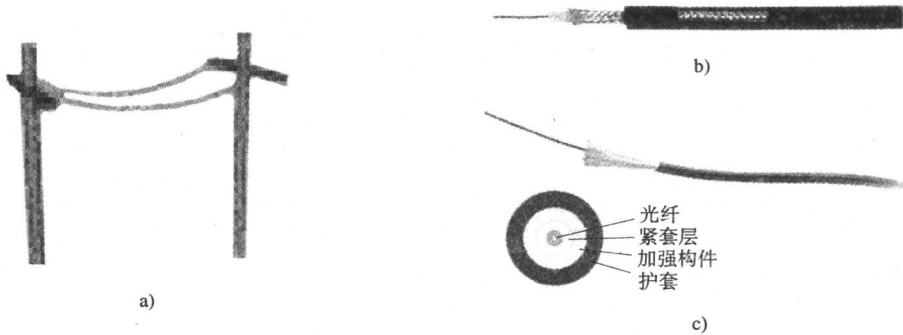


图 1—1—4 常见的有线信道

a) 架空明线 b) 同轴电缆 c) 光缆

(2) 无线通信。无线信息传输系统利用无线电波在空间的传播来完成信息的传递。为了保证信息的有效传输，常通过相应的天线来实现高频电信号的发射与接收。不同频率的高频信号所需天线大小、尺寸、形状各不相同，小的仅几厘米，大的有几百米高。如图 1—1—5 所示是两种无线通信天线。

在无线电通信系统中，无线信道多为大气层或外层空间。由于无线电波能方便快捷地在空间传播，所受限制较少，因此，广泛应用于广播、电视、通信、雷达和导航等领域中。

6. 输出变换器

用于将接收输出的电信号恢复出原始信息，如功率放大器与扬声器将音频电信号转换为扬声器纸盆的机械振动。

7. 噪声与干扰

信号在传输过程中不可避免地会受到各种噪声的干扰。噪声按其来源一般可分为外部噪声和内部噪声两大类。

外部噪声包括自然界存在的各种电磁波干扰（如闪电、宇宙射线、太阳辐射等），工业上强力电机、电力机车、电焊机等工作时产生的电磁辐射和其他无线电设

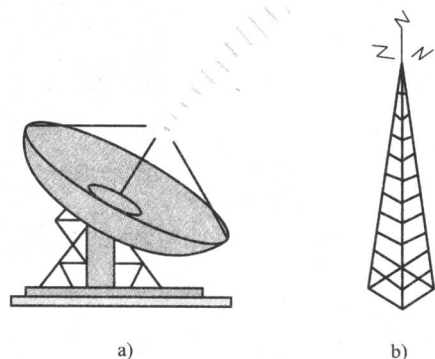


图 1—1—5 两种无线通信天线

a) 卫星接收天线 b) 广播发射塔

备发射的信号等。内部噪声则是指电子设备本身产生的各种噪声。因此，噪声与干扰不仅存在于信道中，也存在于发射、接收的整个电路中，通信系统要尽量避免这些噪声的干扰。

二、典型的无线发射设备的组成

典型调幅发射机的原理框图如 1—1—6 所示，调频发射机的原理框图如图 1—1—7 所示，如图 1—1—8 所示为调频无线话筒发射器实物图。下面以图 1—1—6 所示调幅发射机的原理框图为例，介绍组成发射机的各主要电路的作用。

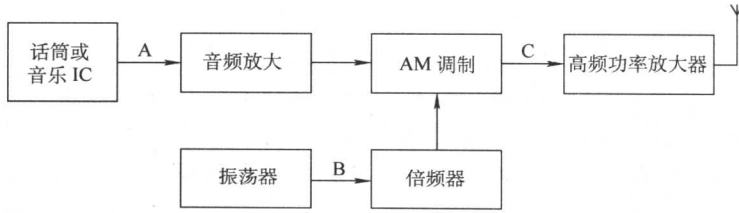


图 1—1—6 典型调幅发射机的原理框图

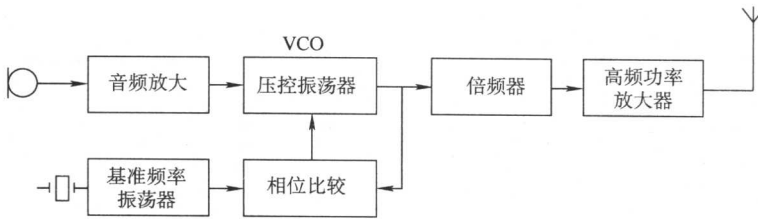


图 1—1—7 调频发射机的原理框图

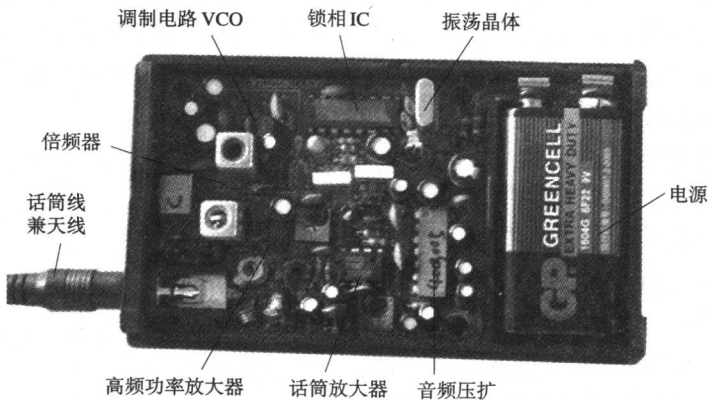


图 1—1—8 调频无线话筒发射器实物图

1. 音频（话筒）放大器

音频（话筒）放大器又称为调制信号放大器，用来放大话筒或音乐的电信号，输出足够强的音频调制信号。通常，音频放大器是由几级小信号低频电压放大器或集成运算放大器组成的，在图 1—1—8 中，是由 MC4558 集成运算放大器及阻容元件组成。音频电路调试常在

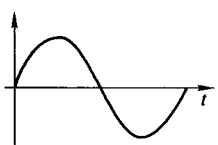

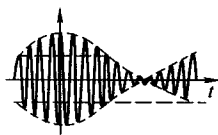
A 点注入正弦波形，见表 1—1—1。

2. 振荡器

振荡器用来产生频率稳定的高频振荡信号，其性能的好坏直接影响到发射机的正常工作。振荡电路常用的有 LC 振荡器、石英晶体振荡器等。振荡器输出等幅的高频正弦波，即表 1—1—1 中 B 点所示的波形。

表 1—1—1

图 1—1—6 中 A 点、B 点、C 点的波形示意图

A 点的波形	B 点的波形	C 点的波形
		

石英晶体的频率稳定性极好，高性能发射设备多采用石英晶体振荡器或石英晶体频率锁相的压控振荡器。

3. 倍频器

在各种振荡电路中，尤其是采用石英晶体的振荡电路中，受晶体基频的限制及分布参数的影响，难以产生太高的振荡频率，所以电路上往往采用倍频器倍频，使高频振荡的频率倍增到所需的载波频率上，以满足较高载频的要求。

4. 调制器

用调制信号（如音频信号）去控制等幅的高频振荡电路的某个参量的过程，称为调制。通俗地讲，调制就是把调制信号的信息“装载”到载频（载波）上去。经过调制后的高频振荡称为已调信号或已调波。由于载波的频率很高，可用尺寸较小的天线以电磁波的形式将其发射到空中，传向远方，表 1—1—1 中 C 点的波形就是经调幅后的波形。调制电路是组成无线电发射设备的必不可少的单元，可分为以下三种调制：

- (1) 当被控制的是高频振荡的振幅时，这种调制称为振幅调制，简称调幅（AM）。
- (2) 当被控制的是高频振荡的频率时，这种调制称为频率调制，简称调频（FM）。
- (3) 当被控制的是高频振荡的相位时，这种调制称为相位调制，简称调相（PM）。

5. 高频功率放大器

高频功率放大器简称高频功放，它的作用是将已调制信号放大到足够大的功率，最后由天线以电磁波形式辐射出去，以满足发射功率的要求。同时，高频功率放大器往往具有滤波作用，能滤除不需要的杂波和谐波分量，保持已调波有用信号的纯净，降低杂波干扰。

根据功率要求，高频功率放大器常采用较大功率的高频晶体管，而在短距离微功率发射应用上仍可采用小功率高频晶体管。

6. 发射天线

天线的作用是：将已调制高频载波经天线辐射出去，在空间形成交变的电磁波，并传向远方。天线的好坏直接影响到发射的距离和性能。不同频段、不同应用的发射机配备的天线各不相同，大至抛物面天线、阵列天线、背射天线，小到半波振子天线、开槽天线和微型印制天线，视使用场合、用途、频段、作用距离等因素而定。

不同用途的发射设备对发射电路的要求各有不同。一般要求发射电路的频率稳定度高，发射输出功率足够，效率高，功耗小。

三、典型的无线接收设备的组成

收音机是最典型的无线电调幅接收设备，其原理框图及各点波形如图 1—1—9 所示，如图 1—1—10 所示为集成电路调幅收音机的电路板，其主要单元电路有：

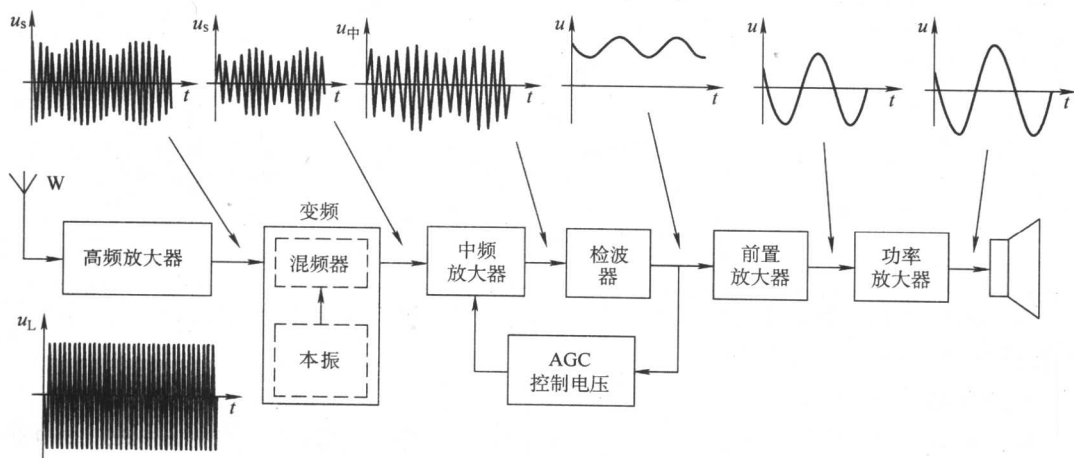


图 1—1—9 调幅收音机的原理框图及各点波形

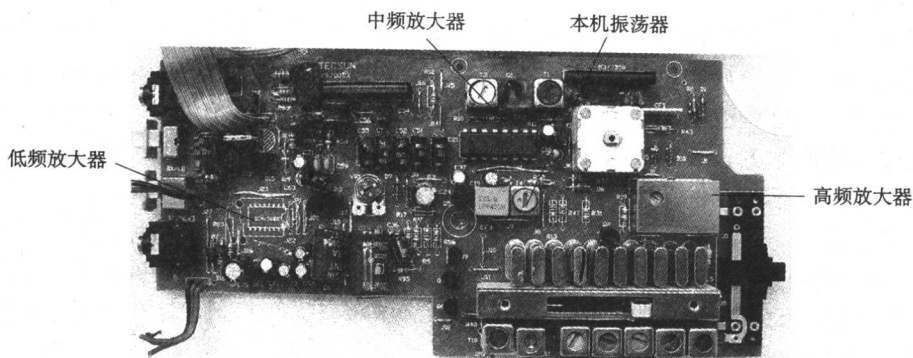


图 1—1—10 集成电路调幅收音机的电路板

1. 高频放大器

用来对天线所接收到的有用高频信号进行频段选择和放大，并对其他频率的无用信号进行抑制。

2. 混频器

是超外差式接收机的核心，其作用是将高频放大器输出的高频已调信号（调幅信号）和本机振荡器所提供的高频等幅信号在混频器中实现变频。这里本机振荡器所提供的振荡频率比接收的高频已调信号的载频高一个中间频率，在混频器输出端就可获得载频频率为两者频率之差的较低的中频信号，这是“超外差”式接收机名称的由来。

目前大多数的无线电接收设备,如无线电广播接收机(收音机)、电视接收机、短波通信电台、雷达接收机等都采用“超外差”接收方式。超外差接收机具有接收灵敏度高、选择性好、结构简单的特点。

3. 中频放大器

用来放大中频信号,中频频率较低且是固定频率,因此,中频放大器的选择性和增益都可做得较高,使整机的接收性能提高。

4. 检波器

用于从中频信号中“取出”调制信号,这个过程称为解调,调幅波的解调也称为检波。这里中频信号的包络线的形状与高频已调信号相同,仍携有原来调制信号的信息,检波器从中频调幅信号中取出含信息的包络信号成分,经低频放大器放大,送到耳机或扬声器中转变为声音信号。

在图 1—1—9 中可参见波形变换情况,无线接收设备的工作过程与发射设备正好相反,它的任务是把通过空间传来的电磁波接收下来,选出所需的已调波信号,并把它还原为原来的调制信号,以推动输出变换器,获得所需的信息。

课题小结

本课题介绍了无线通信发射与接收的基本原理和工作过程,其传输的信息是声音。对于其他形式的信息如图像、数据、传真等,同样可采用上述无线电传输的方式,组成不同的无线收发系统,当然也可以采用有线传输方式,相应的通信称为无线通信或有线通信。无线通信成本低,方便快捷,所受限制较少,应用更广泛。

通信设备中的电路单元主要有:高频小信号放大器、高频功率放大器、调幅电路、调频电路、调相电路及反馈控制电路等,下面各模块将逐步深入学习这些电路的原理。

思考与练习

1. 说明发射机采用晶体振荡器、倍频器倍频与采用 LC 自由振荡器直接产生载波相比所具有的优点。
2. 根据图 1—1—6 所示调幅发射机的原理框图,分析其基本工作原理。
3. 如接收的广播信号频率为 900 kHz,中频为 455 kHz,那么,接收机的本机振荡信号频率是多少?

课外实践

收集民用无线通信接收设备(如收音机、电视机、对讲机、移动电话等)的有关电路图,在老师的指导下分析其接收电路是否采用超外差接收方式。

知识链接

1. 无线电测向机:一种无线电接收设备,可通过接收信号寻找能发射无线电波的小型信号源,我国每年都开展无线电测向比赛活动,国际上每两年举行一届世界无线电测向锦标赛。
2. 摩尔斯码:又称摩尔斯电码,是一种时通时断的信号代码,通过不同的排列顺序来表达不同的英文字母、数字和标点符号,最早应用于等幅电报,它由美国人艾尔菲德·维尔于 1835 年发明。

课题二 电磁波频段的划分

◆ 知识点

- 电磁波频段的基本划分方法及应用特点
- 无线电波长、频率及传播速度之间的关系

课题导入

人们生活中能看到很多无线接收（发射）设备，你知道它们的工作频率是多少吗？

如图 1—2—1a 所示全波段收音机的接收频率范围为：中波波段 525 kHz ~ 1 605 kHz，短波波段 2.2 MHz ~ 26 MHz，调频波段 87.5 MHz ~ 108 MHz；图 1—2—1b 所示电视接收机的接收频率范围为：48.5 MHz ~ 870 MHz；图 1—2—1c 所示对讲机的工作频率范围为：150 MHz ~ 174 MHz（VHF）和 400 MHz ~ 470 MHz（UHF）；图 1—2—1d 所示 GSM 手机的工作频率为：900 MHz/1 800 MHz/1 900 MHz（三频手机）；图 1—2—1e 所示教学扩音器的工作频率范围为：180 MHz ~ 260 MHz；图 1—2—1f 所示无线路由器的工作频率范围为 2.4 GHz ~ 2.462 GHz。

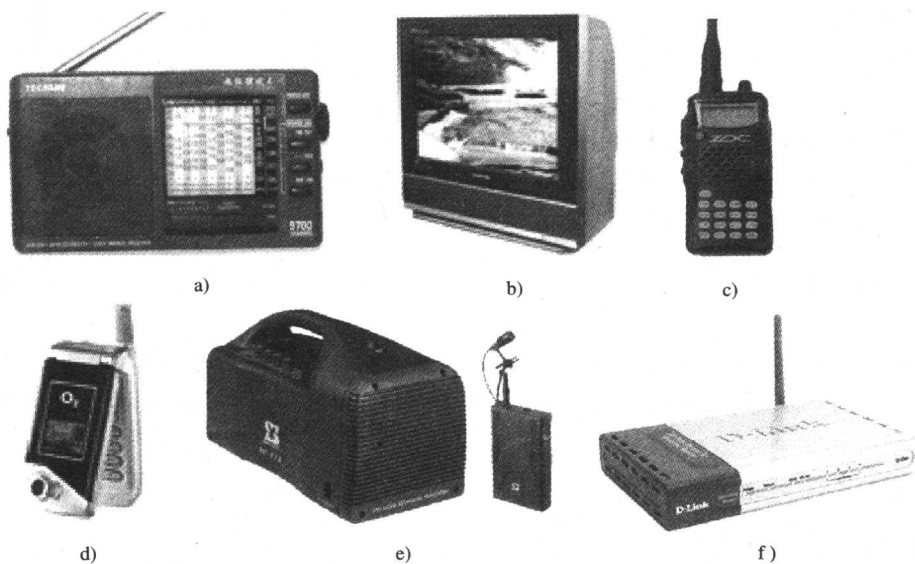


图 1—2—1 常见无线接收（发射）设备

a) 全波段收音机 b) 电视接收机 c) 对讲机 d) GSM 手机 e) 教学扩音器 f) 无线路由器

以上众多的无线产品各具有一定的工作频率（范围），不同频率的无线电波传输方式、性能特点各不相同，那么频率应该如何选择呢？

相关知识

一、无线电波波段的划分

无线电信道实为电磁波在空间中传播的通道，无线电波在空间的传播速度与光波相同，约为 3×10^8 m/s。其波长 λ 、频率 f 和传播速度 c 之间的关系为

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

可见，频率 f 与波长 λ 之间为倒数的关系。因此，无线电波可以按频率划分，也可以按波长划分。

表 1—2—1 列出了不同频段无线电波的主要用途，根据无线电波传输的特点而应用于不同的领域中。国际上将无线电波划分为 12 个频段，而通常的无线电通信只使用其中的第 4 至第 11 个频段。

表 1—2—1 无线电频段和波段的划分

序号	频段名称	频段范围 (含上限)	波段名称	波长范围 (含上限)	主要用途	
1	极低频 (ELF)	3 ~ 30 Hz	极长波	100 ~ 10 兆米		
2	超低频 (SLF)	30 ~ 300 Hz	超长波	10 ~ 1 兆米		
3	特低频 (ULF)	300 ~ 3 000 Hz	特长波	100 ~ 10 万米		
4	甚低频 (VLF)	3 ~ 30 kHz	甚长波	10 ~ 1 万米	音频电话、长距离导航、时标	
5	低频 (LF)	30 ~ 300 kHz	长波	10 ~ 1 千米	船舶通信、信标、导航	
6	中频 (MF)	300 ~ 3 000 kHz	中波	1 000 ~ 100 米	广播、船舶通信、飞行通信、船港电话	
7	高频 (HF)	3 ~ 30 MHz	短波	100 ~ 10 米	短波广播、军事通信	
8	甚高频 (VHF)	30 ~ 300 MHz	米波	10 ~ 1 米	电视、调频广播、雷达、导航	
9	特高频 (UHF)	300 ~ 3 000 MHz	分米波	微波	电视、雷达、移动通信	
10	超高频 (SHF)	3 ~ 30 GHz	厘米波		10 ~ 1 厘米	雷达、中继、卫星通信
11	极高频 (EHF)	30 ~ 300 GHz	毫米波		10 ~ 1 毫米	射电天文、卫星通信、雷达
12	至高频	300 ~ 3 000 GHz	丝米波		10 ~ 1 丝米	

二、无线电波的传播方式

不同频段的电磁波的传播方式和特点各不相同，所以它们的用途也就不同。无线电波的传播方式主要有三种：

1. 沿地面传播的地波

中、长波适合地面传播，地球表面的导电特性较为稳定，中、长波的传播也就较稳定，其中长波的波长较长，遇障碍物绕射能力强，传送距离较远，多用于导航，如图 1—2—2a 所示。

2. 靠电离层折射和反射传播的天波

频段在 3 MHz ~ 30 MHz 范围的短波波长较短，地面绕射能力弱，且地面吸收损耗较大，主要靠电离层的折射、反射实现远距离的短波通信。电离层与地球表面之间的多次反射可实现超远距离的无线电通信，短波广播和通信具有天线尺寸小、所需发射功率低、传输距离远、通信成本低的特点，因此，该频段广播、通信电台众多，频段最为拥挤，如图 1—2—2b 所示。

3. 沿空间直线传播的空间波

频率超过 30 MHz 以上的电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内，因此，传播距离近，常将天线架设在高处山顶，以提高覆盖面。若采用卫星通信，会使空间传播的覆盖面积和距离大大增加，如图 1—2—2c 所示。

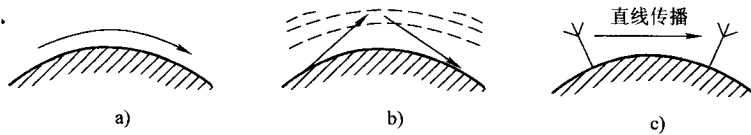


图 1—2—2 无线电波的传输方式

a) 沿地面传播的地波 b) 靠电离层折射和反射传播的天波 c) 沿空间直线传播的空间波

三、频率的分配

在无线电频率分配上有一点需要特别注意，就是干扰问题。如果两个电台在同一地区、同一时段用相同的频率或频率过于接近，工作中就必然会产生相互干扰。因此，无线电频率不能无秩序地随意占用，而需要仔细规划并加以利用。

1. 频率的分配

即将频率根据不同的业务加以分配，以避免频率使用方面的混乱。如我国将 88 MHz ~ 108 MHz 分配为调频广播使用、525 kHz ~ 1 605 kHz 分配为中波调幅广播使用等。

2. 频谱的节约

即从频谱利用的观点来看，无线电总的频谱范围是有限的，每个无线设备所占的频谱应力求减少，以便容纳更多的无线设备，减少干扰。现代通信系统都力求压缩每个无线设备的带宽，减小信道间的间隔和杂散干扰发射，提高频谱利用率。

电磁波是在全球传播的，进行频率分配工作的世界组织是国际电信联盟 (ITU)，其总部设在瑞士日内瓦。其下设有：国际无线电咨询委员会 (CCIR)，以研究有关的各种技术问题并提出建议；国际频率登记局 (IFRB)，负责国际上使用频率的登记管理工作。中华人民共和国信息产业部无线电管理局为我国无线电管理方面的职能部门，负责全国无线电频率、台站管理等工作。

为避免各种信号频率重叠，相互干扰，要求不同的无线发射设备工作在不同的发射频率上，采用调制的方法把要传送的信号装载到这些不同频率的高频信号上，再经天线发射出去，这样就避免了相互干扰。

四、天线

天线是一个能量转换器，是无线电设备必不可少的组成部分。发射天线能将发射机馈给的高频电能转换为向空间辐射的电磁波能，接收天线将在空间传播的电磁波能转化为高频电能。一般发射、接收天线可互换使用，因此，描述天线的主要参数和特性，如输入阻抗、方向性系数、辐射电阻、有效高度、天线增益等，对用于发射的天线和用于接收的天线都适用，具有可逆性。

例如，某根天线用作发射天线时，它向某一方向的辐射最强，而用作接收天线时，它对这个方向来的电磁波的接收能力也同样是最强的。下面为了讨论方便，以发射天线为例进行分析。

1. 天线辐射电磁波的基本原理

(1) 传输线的概念。在模拟电路和数字电路中，电路的参数 (R 、 L 、 C) 大都集中在电路的某些元器件 (如电阻器、线圈、电容器) 上，即指的是集总参数电路。而在高频发、收设备中，传输线 (或称馈线) 的每一段都有分布电阻、分布电容和分布电感，即整个传输导线均有分布参数，可将这些传输导线称为分布参数电路。

把天线和发射机（或接收机）连接在一起的传输线往往要比集总参数电路的连接线长得多，有的比电波的波长还要长。因此，人们将这种用来传送高频电能的（导）线称为长线。这里的“长”的含义不是指导线的绝对长度，而是指它的长度与工作波长 λ 相比较而言的。例如长度为 1 m 的传输导线，对于 100 kHz 的频率（其波长 $\lambda = 3\,000$ m）来说构不成长线；而对于 150 MHz 的频率（对应波长 $\lambda = 2$ m）来说，却占了整个波长的 1/2，就该叫长线了。因此，在传输线和天线工程中，线长常用电波长来度量，如 $\lambda/4$ 、 $\lambda/2$ 、 λ 、 2λ 等，而不常使用绝对长度（即普通的长度尺）度量。

(2) 终端开路传输线的性质和等效电路。天线的辐射能力与导线的形状和长度有关。下面介绍如图 1—2—3 所示的终端开路线的长度 l 与工作波长 λ 成不同比例时，终端开路传输线的输入阻抗 Z 的性质及其等效电路。

1) 当线长 $l < \frac{\lambda}{4}$ 时，连接信号源的两根短导线相当于一个电容器，输入阻抗呈容性，如图 1—2—3a 所示等效电路。线越短，容量越小，呈现的容性阻抗越大 ($X_c = \frac{1}{2\pi fC}$)。

2) 当线长 $l = \lambda/4$ 时，信号源正好处在波节处，输入端电压 U 最小，而电流 I 最大（波腹），等效电路相当于一个串联谐振回路，如图 1—2—3b 所示。在谐振状态下的输入阻抗为纯阻性，且阻值最小（导线中有损耗）。

3) 当线长增加到 $\lambda/4 < l < \lambda/2$ 时，由于线上的分布参数 (L 、 C) 在原串联谐振状态下继续增加， L 的增大使 $X_L = 2\pi fL$ 增大， C 的增大使 $X_c = \frac{1}{2\pi fC}$ 减小，导致 $X_L > X_c$ ，使电感中储存的磁场能大于电容中储存的电场能，该线呈感性，如图 1—2—3c 所示。

4) 当线长 $l = \lambda/2$ 时，信号源在波节处，输入端电流最小，电压最大（波腹），相当于回路的并联谐振状态，输入阻抗 Z 呈纯阻性，如图 1—2—3d 所示。若不考虑线的损耗（即理想情况下）， Z 极大。

上面讨论四种线长情况时，传输线的两根线平行且间距很小，两根线上的电流方向相反，它们对外所产生的电磁场几乎相互抵消，因而不能向外辐射电磁能。

(3) 天线振子。图 1—2—4 画出了三种 ($l < \lambda/4$ ， $l = \lambda/4$ ， $l = \lambda/2$) 平行传输导线的情况。将图 1—2—4a 所示的平行开路线改为张开形式，呈开放状态，如图 1—2—4b 所示，展开后的两根导线上的电流方向相同，因而两根导线所产生的感应电动势的方向也相同，从而可向空间辐射较强的电磁波。当导线长度 $l < \lambda/4$ 时，因导线上的电流很小，向外辐射很弱；当导线长度增大到可与波长入相比拟时 ($\frac{\lambda}{2} < l < \lambda$)，导线上的电流大大增加，因而就能形

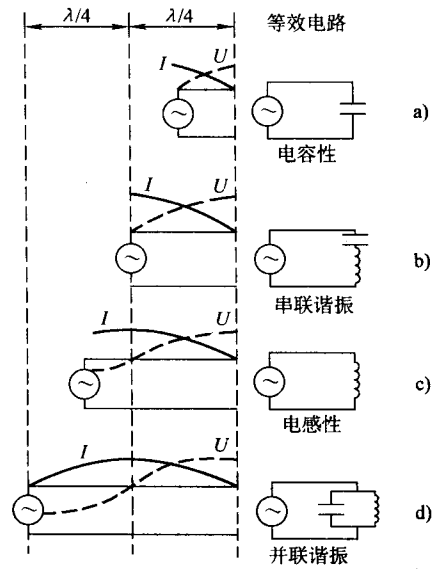


图 1—2—3 终端开路传输线的输入阻抗 Z 的性质及其等效电路