

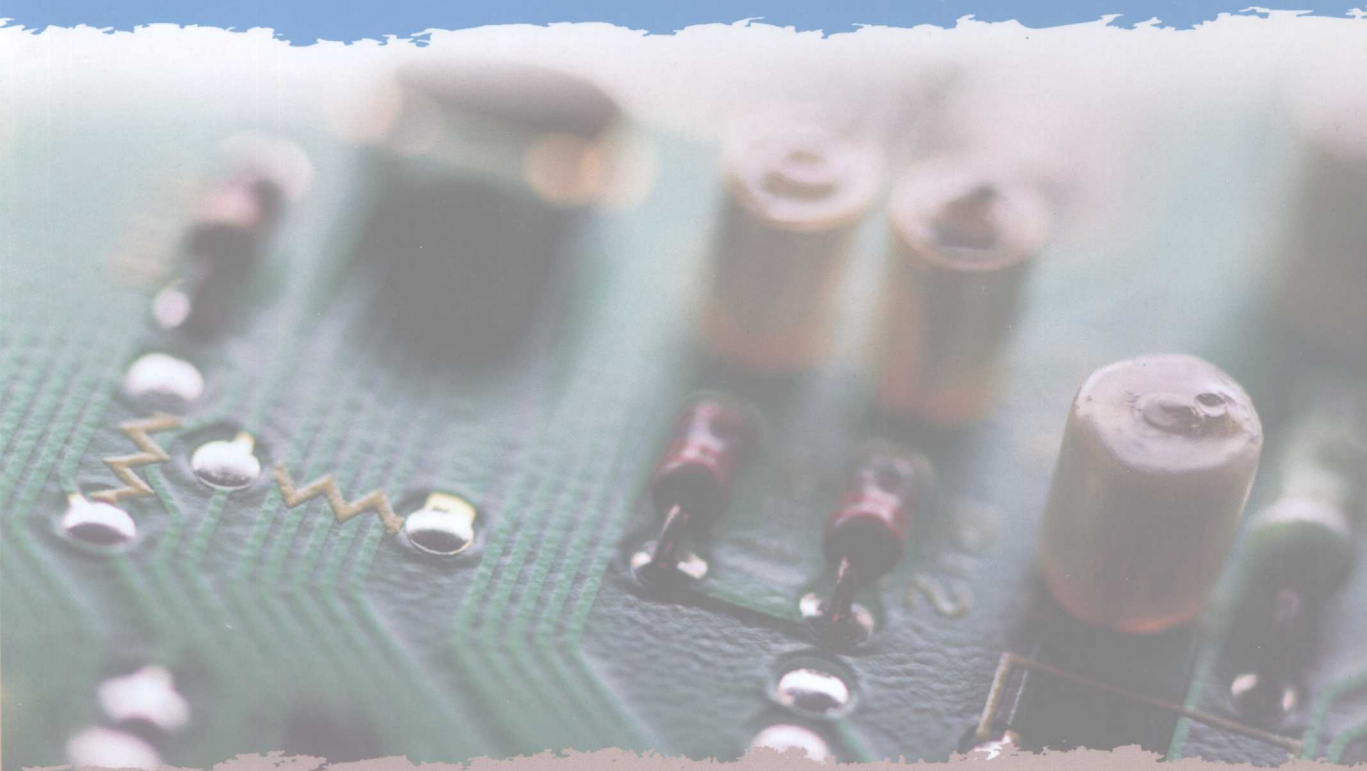


新世纪高职高专
应用电子技术专业系列规划教材

无线电通信技术基础 ——线性电路与实训

新世纪高职高专教材编审委员会组编

主编 崔学武 栾良龙 主审 邱天爽



大连理工大学出版社



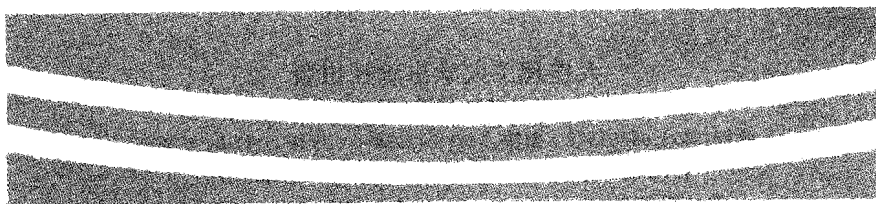
新世纪高职高专应用电子技术专业系列规划教材

无线电通信技术基础

——线性电路与实训

新世纪高职高专教材编审委员会组编

主 编 崔学武 栾良龙 主审 邱天爽



WUXIANDIAN TONGXIN JISHU JICHU

大连理工大学出版社

DALIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

图书在版编目(CIP)数据

无线电通信技术基础——线性电路与实训/崔学武, 栾良龙主编.
—大连: 大连理工大学出版社, 2008. 7
(新世纪高职高专应用电子技术专业系列规划教材)
ISBN 978-7-5611-3381-1

I. 无… II. ①崔…②栾… III. 线性电路—高等学校:
技术学校—教材 IV. TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 078487 号

大连理工大学出版社出版

地址: 大连市软件园路 80 号 邮政编码: 116023

发行: 0411-84708842 邮购: 0411-84703636 传真: 0411-84701466

E-mail: dutp@dutp.cn URL: <http://www.dutp.cn>

大连日升印刷厂

大连理工大学出版社发行

幅面尺寸: 185mm×260mm
2008 年 7 月第 1 版

印张: 12 字数: 263 千字
2008 年 7 月第 1 次印刷

责任编辑: 陈祝爽

责任校对: 岳会阳

封面设计: 张莹

ISBN 978-7-5611-3381-1

定 价: 24.00 元

我们已经进入了一个新的充满机遇与挑战的时代,我们已经跨入了 21 世纪的门槛。

20 世纪与 21 世纪之交的中国,高等教育体制正经历着一场缓慢而深刻的革命,我们正在对传统的普通高等教育的培养目标与社会发展的现实需要不相适应的现状作历史性的反思与变革的尝试。

20 世纪最后的几年里,高等职业教育的迅速崛起,是影响高等教育体制变革的一件大事。在短短的几年时间里,普通中专教育、普通高专教育全面转轨,以高等职业教育为主导的各种形式的培养应用型人才的教育发展到与普通高等教育等量齐观的地步,其来势之迅猛,发人深思。

无论是正在缓慢变革着的普通高等教育,还是迅速推进着的培养应用型人才的高职教育,都向我们提出了一个同样的严肃问题:中国的高等教育为谁服务,是为教育发展自身,还是为包括教育在内的大千社会?答案肯定而且惟一,那就是教育也置身其中的现实社会。

由此又引出高等教育的目的问题。既然教育必须服务于社会,它就必须按照不同领域的社会需要来完成自己的教育过程。换言之,教育资源必须按照社会划分的各个专业(行业)领域(岗位群)的需要实施配置,这就是我们长期以来明乎其理而疏于力行的学以致用问题,这就是我们长期以来未能给予足够关注的教育目的问题。

如所周知,整个社会由其发展所需要的不同部门构成,包括公共管理部门如国家机构、基础建设部门如教育研究机构和各种实业部门如工业部门、商业部门,等等。每一个部门又可作更为具体的划分,直至同它所需要的各种专门人才相对应。教育如果不能按照实际需要完成各种专门人才培养的目标,就不能很好地完成社会分工所赋予它的使命,而教育作为社会分工的一种独立存在就应受到质疑(在市场经济条件下尤其如此)。可以断言,按照社会的各种不同需要培养各种直接有用人才,是教育体制变革的终极目的。



随着教育体制变革的进一步深入,高等院校的设置是否会同社会对人才类型的不同需要一一对应,我们姑且不论。但高等教育走应用型人才培养的道路和走研究型(也是一种特殊应用)人才培养的道路,学生们根据自己的偏好各取所需,始终是一个理性运行的社会状态下高等教育正常发展的途径。

高等职业教育的崛起,既是高等教育体制变革的结果,也是高等教育体制变革的一个阶段性表征。它的进一步发展,必将极大地推进中国教育体制变革的进程。作为一种应用型人才培养的教育,它从专科层次起步,进而应用本科教育、应用硕士教育、应用博士教育……当应用型人才培养的渠道贯通之时,也许就是我们迎接中国教育体制变革的成功之日。从这一意义上说,高等职业教育的崛起,正是在为必然会取得最后成功的教育体制变革奠基。

高等职业教育还刚刚开始自己发展道路的探索过程,它要全面达到应用型人才培养的正常理性发展状态,直至可以和现存的(同时也正处在变革分化过程中的)研究型人才培养的教育并驾齐驱,还需要假以时日;还需要政府教育主管部门的大力推进,需要人才需求市场的进一步完善发育,尤其需要高职教学单位及其直接相关部门肯于做长期的坚忍不拔的努力。新世纪高职高专教材编审委员会就是由全国 100 余所高职高专院校和出版单位组成的旨在以推动高职高专教材建设来推进高等职业教育这一变革过程的联盟共同体。

在宏观层面上,这个联盟始终会以推动高职高专教材的特色建设为己任,始终会从高职高专教学单位实际教学需要出发,以其对高职教育发展的前瞻性的总体把握,以其纵览全国高职高专教材市场需求的广阔视野,以其创新的理念与创新的运作模式,通过不断深化的教材建设过程,总结高职高专教学成果,探索高职高专教材建设规律。

在微观层面上,我们将充分依托众多高职高专院校联盟的互补优势和丰裕的人才资源优势,从每一个专业领域、每一种教材入手,突破传统的片面追求理论体系严整性的意识限制,努力凸现高职教育职业能力培养的本质特征,在不断构建特色教材建设体系的过程中,逐步形成自己的品牌优势。

新世纪高职高专教材编审委员会在推进高职高专教材建设事业的过程中,始终得到了各级教育主管部门以及各相关院校相关部门的热忱支持和积极参与,对此我们谨致深深谢意,也希望一切关注、参与高职教育发展的同道朋友,在共同推动高职教育发展、进而推动高等教育体制变革的进程中,和我们携手并肩,共同担负起这一具有开拓性挑战意义的历史重任。

新世纪高职高专教材编审委员会

2001 年 8 月 18 日

[illegible]

本教材的编写原则是:淡化理论,注重实用。对分析具体问题,避免采用繁琐的公式推导,力求结合实践验证,用通俗流畅的语言对一些难理解的问题进行定性的、由浅入深的分析。只要具有插件板、函数信号发生器、交流毫伏表、示波器及万用表,就可进行各种电路的实验,并且实验过程中元件损耗较小,收集整理可反复使用。

本教材建议学时数为 90 左右(包括实训),各院校可根据具体情况而定。

本书理论篇由崔学武编写,实训篇以及理论篇中第4章第九节由梁良龙编写。崔学武负责全书的统稿和最

4 / 无线电通信技术基础——线性电路与实训 □

后定稿。

邱天爽教授审读了全部书稿,并提出了许多宝贵意见,在此表示衷心感谢。同时向所有关心和帮助本书编写、出版的同志一并表示谢意。

由于编写时间仓促和水平有限,书中难免有错误和不妥之处,敬请读者指正。

所有意见和建议请发往:gzjckfb@163.com

欢迎访问我们的网站:<http://www.dutpgz.cn>

联系电话:0411—84707492 84706104

编 者

2008年7月于哈尔滨



理论篇

第一章 绪论	3
1.1 通信技术发展简史	3
1.2 通信系统简介	4
1.3 无线电波段的划分	6
1.4 无线电波的传播	7
1.5 无线通信的几个问题	8
1.6 复数知识及常用数学公式	11
1.7 测量基础知识	13
思考题	17
第二章 简单谐振电路	18
2.1 引言	18
2.2 串联谐振电路	19
2.3 串联谐振电路的幅频曲线和相频曲线	22
2.4 串联谐振电路中电感 L 与电容 C 的电压频率特性	25
2.5 串联谐振电路的选频特性指标	27
2.6 串联谐振电路在电子技术中的应用	31
2.7 简单并联谐振电路和并联谐振	32
2.8 并联谐振电路的阻抗曲线和并联谐振特点	35
2.9 并联谐振电路的频率特性曲线和选频特性指标	38
2.10 并联谐振电路的应用	39
2.11 复杂并联谐振电路	43
2.12 并联电路的滤波原理	52
本章小结	54
思考题	56
第三章 双口网络	61
3.1 概述	61
3.2 双口网络的基本方程和参数	63
3.3 双口网络的网络函数	69
3.4 线性双口网络的等效电路	74
3.5 双口网络的镜像参数	79

3.6 阻抗匹配网络	86
本章小结	93
思考题	94
第四章 滤波器与传输线	98
4.1 滤波器的基本概念	98
4.2 K 式 LC 滤波器	100
4.3 其他类型的滤波器	108
4.4 传输线的基本概念	113
4.5 传输线方程	114
4.6 均匀传输线上的波	117
4.7 终端短路、开路和接纯电抗负载的无损耗线	122
4.8 传输线的应用	127
4.9 视频信号的传输衰减与补偿调整	131
本章小结	137
思考题	138

实 训 篇

实验一 电阻、电感和电容的频率特性的测试	143
实验二 典型电信号的观察及测试	146
实验三 串联谐振特性的测试	148
实验四 串联谐振电路的深入研究	151
实验五 并联谐振特性的测试	153
实验六 并联谐振电路的深入研究	155
实验七 复杂并联谐振电路的等效电路(一)	157
实验八 复杂并联谐振电路的等效电路(二)	160
实验九 双口网络的等效代换	163
实验十 衰减器的设计	166
实验十一 相移器的设计	168
实验十二 低通滤波器特性的测试	171
实验十三 高通滤波器特性的测试	173
实验十四 带通、带阻滤波器特性的测试	175
实验十五 陷波器特性的测试	177
实验十六 典型 RC 选频网络测试	180
参考文献	182

理论篇

1.1 通信技术发展简史

很久以来,人们就寻求以各种方式来实现信号的传输。早在公元前 700 多年前,我们的祖先就以烽火台的火光传送敌人入侵的警报。这是人类记载的最早信号。随后,人们又利用击鼓或鸣钟的声响传达战斗的命令。以后又出现信鸽、旗语、驿站等传递消息的方法。那时,信号的形式和内容都是简单的,传递信号的方法在距离、速度、可靠性和有效性方面都没有得到明显的改善。随着人们实践活动和科学技术的日益发展,要求传达的内容越来越复杂,信号的形式也不断增多,传递的方法要求快并准确。十九世纪初,人们开始研究如何利用能够沿导线传输的电信号来传递消息,即所谓的“有线通信”。1836 年摩尔斯发明了有线电报;1864 年英国物理学家麦克斯韦通过数学推导,预言了电磁波的存在,并建立了麦克斯韦方程;1876 年贝尔发明了电话;1887 年德国物理学家赫兹在实验中证明了电磁波的存在。此后,许多科学家都开展了利用电磁波传输信息的研究,即“无线电通信”,其中以意大利的马可尼贡献最大,他在 1895 年首次成功地把电磁波用到了通信上。

马可尼把 100 米长的铜线高高悬垂在空中,而另一端埋在地下,这就是无线电通信中必不可少的天线的起源;1899 年他又成功地进行了英吉利海峡 18 海里的通信,由于通信设备装在船上,这也是移动通信的起源。马可尼最初使用的电磁波是由火花振荡器产生的减幅振荡,以后又进行了等幅振荡器的研究。直到 1905 年弗来明发明了真空二极管并在 1914 年发明了真空三极管之后,无线电通信才进入实际应用阶段。

1918 年调幅无线电广播及超外差收音机问世;1925 年开始采用三路明线载波电话,实现了多路通信;1936 年电视广播开播;1948 年发明了晶体管,为微电子技术和电子设备小型化奠定了基础;1956 年铺设了越洋通信电缆;1960 年发明了数字集成电路;1964 年发明了模拟集成电路;20 世纪 60 年代彩色电视问世;1964 年移动通信领域出现了自动拨号双工移动通信系统;20 世纪 70 年代出现了大规模集成电路,微处理器开使用于通信系统;1978 年出现了蜂窝式移动电话系统;20 世纪 80 年代移动通信、卫星通信和光纤通信得到迅速发展。

1.2 通信系统简介

传输信息的系统称为通信系统。在电子学这门技术中,通信技术是其中的一个重要分支,电子学的发展推动通信技术的进步,通信技术的工作原理和工作过程具有普遍的、典型的意义,对机电一体化、自动控制等具有指导作用。一个完整的通信系统应包括信号源、发送设备、传输信道、接收设备和终端装置五部分,如图 1-1 所示。

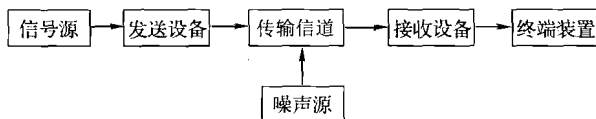


图 1-1 通信系统方框图

传输信道可以是架空明线、电缆、光缆,也可以是传输电磁波的自由空间。其中,无线发送设备和无线接收设备分别说明如下:

1. 无线发送设备的组成

无线发送设备的组成框图如图 1-2 所示。

高频振荡器——用来产生频率稳定、波长足够短的高频电磁波,此部分以稳频为目的。

高频放大器及倍频器——提高频率到载频和放大载波电压,将高频载波放大到足够大。

话筒——将语音、音乐转化成电信号。

低频放大器——将电信号放大到足够大。

幅度调制器——将音频电信号“装载”到载波上。

高频功率放大器——将携带音频信号的高频载波(称已调波)进行功率放大。

天线——将足够强大的已调波辐射到空中去,传送到四面八方。

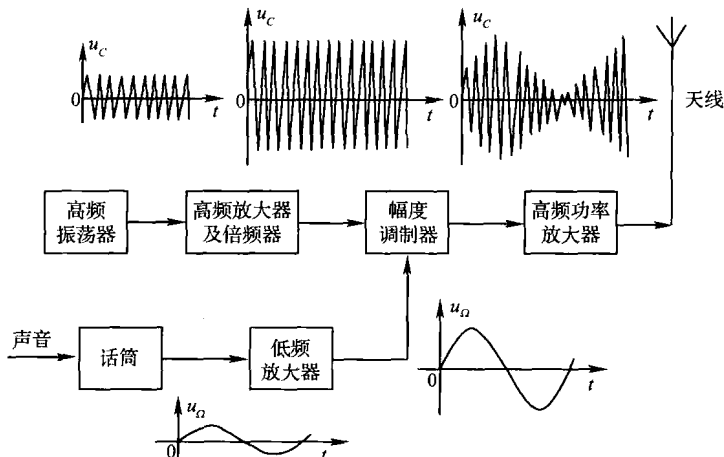


图 1-2 无线发送设备方框图

图 1-3(a)为载波信号,图 1-3(b)为音频信号,图 1-3(c)为已调波。为方便分析,音频

信号取单一频率正弦波。从图可见,已调波幅度随音频信号的变化而变化,但其频率仍为高频。由于已调波的振幅随着音频信号的内容而变化,因此又称调幅波。这种用单一频率调幅的已调波,可用三角函数简单分析。设载波为:

$$u_c(t) = U_c \cos \omega_c t \quad (1-1)$$

$u_c(t)$ 是高频振荡的瞬时值, U_c 是它的振幅, ω_c 是角频率。

设音频信号为一余弦波:

$$u_\Omega(t) = U_\Omega \cos \Omega t \quad (1-2)$$

$u_\Omega(t)$ 为音频信号的瞬时值, U_Ω 为音频信号振幅, Ω 为音频信号角频率。

调制后,已调波信号的振幅随音频信号幅度的变化而变化,其数学表示式为:

$$u(t) = U_c (1 + m \cos \Omega t) \cos \omega_c t \quad (1-3)$$

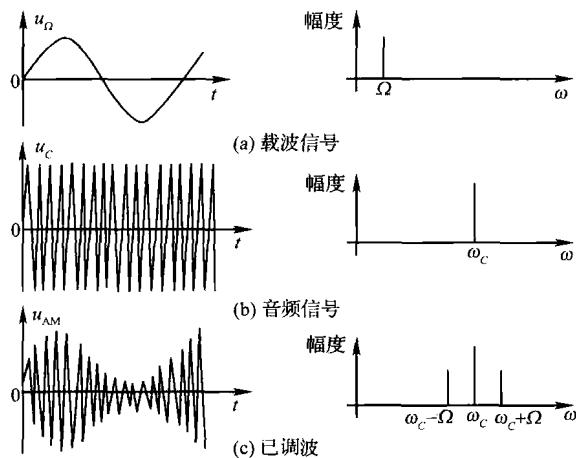


图 1-3 单音调幅的波形与频谱

式中 $m = U_\Omega / U_c$ 称调幅系数。已调波可用三角公式分解为:

$$u(t) = U_c \cos \omega_c t + \frac{1}{2} m U_c \cos(\omega_c + \Omega)t + \frac{1}{2} m U_c \cos(\omega_c - \Omega)t \quad (1-4)$$

载波分量 上边频分量 下边频分量

可见,已调波所占频带宽度为:

$$B = (\omega_c + \Omega) - (\omega_c - \Omega) = 2\Omega \quad (1-5)$$

重要声明:如果音频信号为具有一定频带的信号,例如从 50 Hz~4.5 kHz,可证明,已调波的频带宽度等于两倍的最高调制信号频率,即带宽为 $2 \times 4.5 = 9$ kHz

2. 无线接收设备的组成

超外差接收机方框图如图 1-4 所示。

天线——接收从空中传来的、微弱的、一般只有几微伏至几十微伏的电磁波。

高频放大器——它有两个任务,一是从接收到的许许多多电台中选择出一个所需要的电台信号,二是把所选中的信号进行放大。

本地振荡器——它是接收机内部产生正弦信号的自激振荡器,其频率高于接收载波信号频率 465 kHz,它和前级高放部分采用统一调谐机构。

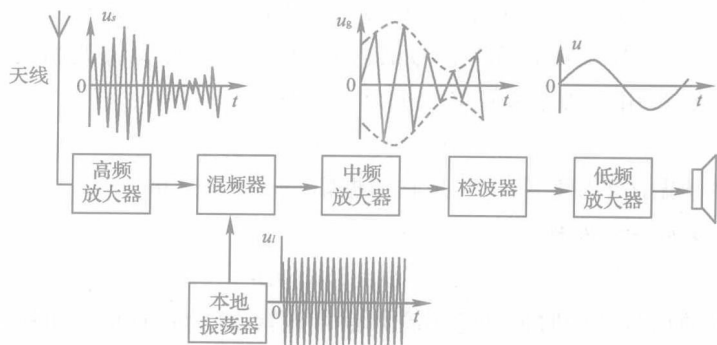


图 1-4 超外差接收机方框图

混频器——利用晶体管的非线性将本振和载波信号混频,通过选频电路选出其差频信号,即为超外差接收机的中频信号 465 kHz,同时,本级对输入信号也有放大作用。

中频放大器——它是中心频率固定在 465 kHz 的选频放大器,滤除无用信号,将有用的中频信号放大到几百毫伏。

检波器——它的任务是解除调制,从中波已调波中提取出音频调制信号。

低频放大器——将检出的音频信号进行功放,以便推动扬声器发声。

1.3 无线电波段的划分

频率从几十千赫至几万兆赫的电磁波都属于无线电波(载波频率范围大约为 $10^1 \sim 10^{10}$ Hz)。在这样宽广频率范围内的无线电振荡虽然具有许多共同的特点,但是随着频率的升高,高频振荡的产生、放大和处理方法等都不太一样,特别是无线电波的传播特点更不相同。为了便于分析和应用,习惯上将无线电的频率范围划分为若干个区域,叫做频段,也叫做波段。它可以按频率划分,也可以按波长划分。

无线电波在空间传播的速度是每秒 30 万千米。电波在一个振荡周期 T 内的传播距离叫做波长,用符号 λ 表示。波长 λ 、频率 f 和电波传播速度 C 的关系可用下式表示:

$$\lambda = C \cdot T = \frac{C}{f} \quad (1-6)$$

这是电磁波的一个基本关系式。知道频率 f 可算出波长 λ 。如果 C 的单位是“米/秒”, f 的单位是“赫兹”,则波长的单位是“米”。

无线电波段可以按频率划分,也可以按波长划分。表 1-1 列出了按波长划分的波段名称及相应的波长范围。米波和分米波有时合称为超短波,波长小于 30 厘米的波称为微波。

上述各波段的划分是相对的,波段之间并没有明显的分界线。还有其他的划分方法,如中波调幅广播 AM 波段为 535~1605 kHz,调频广播 FM 波段为 88~108 MHz,这是按应用范围来划分的波段,其他的划分方法就不一一列举了。

表 1-1

波段的划分

波段名称	波长范围	频率范围	频段名称
超长波	10000~100000 m	30~3 kHz	甚低频 VLF
长波	1000~10000 m	300~30 kHz	低频 LF
中波	200~1000 m	1500~300 kHz	中频 MF
中短波	50~200 m	6000~1500 kHz	中高频 IF
短波	10~50 m	30~6 MHz	高频 HF
米波	1~10 m	300~30 MHz	甚高频 VHF
分米波	10~100 cm	3000~300 MHz	特高频 UHF
厘米波	1~10 cm	30~3 GHz	超高频 SHF
毫米波	1~10 mm	300~30 GHz	极高频 EHF
亚毫米波	1 mm 以下	300 GHz 以上	超极高频

1.4 无线电波的传播

无线电波传播的基本方式有直射、绕射、反射和折射。

1. 直射

无线电波能够直射传播。从发射天线 A 发出的电波沿直线传播到接收天线 B, 如果天线 B 放到卫星上, 通信距离可以大大增加, 所以这种波是视距传播或空间传播。如图 1-5 所示。由于地球表面是一个曲面, 如果天线太低, 电波传播时会受到地面的阻挡, 发射和接收天线愈高, 能够进行通信的距离也愈远。理论计算和实验表明: 当发射和接收天线各为 50 米时, 视距传播的通信距离约为 50 千米。因此, 只有在超短波波段才能采用空间波的传播方式, 例如: 微波接力通信和电视信号传播。

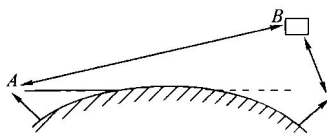


图 1-5 电波的直射传播

2. 绕射

地波传播又称表面波传播, 即电磁波沿地球表面绕射的传播。电波沿地球表面传播时, 将有一部分能量被消耗掉。波长越长, 损耗越小。长波沿地面绕射传播的本领最强, 白天的中波广播就是靠地波传播的。由于地面的电性能在较短时间内的变化不会很大, 所以, 地波传播比较稳定。晚上, 电离层对中波的作用减小, 这时中波可借天空波传播到较远的地方。例如某些位于远处的电台, 白天听不到, 晚间却听得很清楚。中波波段的频率范围为 535~1605 kHz。

3. 反射和折射

无线电波利用电离层的反射和折射传播的电波称为天空波, 又称天波。我们知道, 地球表面有一层厚厚的大气层, 由于受到太阳的照射, 大气层上部的气体将发生电离, 产生自由电子和离子, 这部分大气层叫电离层。电离层中电子和离子的密度与高度有关。对

电波传播有明显作用的电离层有两层:一层叫 E 层,离地面约 100~130 千米;另一层叫 F 层,离地面约 200~400 千米。电离层的高度以及电子和离子的密度与太阳有密切关系。在一年四季中、在一昼夜间受太阳活动变化的影响,电离层都在变化。

当无线电波遇到电离层时,电磁波会被反射与折射,同时也有一部分被电离层吸收。电离层的电离程度越大,对电波的反射、折射和吸收作用就越强;此外,波长较长的无线电波容易被电离层反射回到地面,而波长较短的无线电波则比较容易穿过电离层传播到宇宙空间去。

长波在低电离层(如 E 层)中受到较强的反射作用。从地面天线辐射出去的长波,受到电离层的反射而折回地面,又将受到地面的反射折回电离层。这样多次反射与折射的结果,可以使长波传播到很远的地方。长波波段主要用于导航和播送标准时间信号,也用于长距离无线电报。短波从高电离层(如 F 层)反射回地面,又受到地面的反射,又射向天空,向前传播。因此,短波的传播距离更远,几乎可达到地球的每个角落。因此,它是国际无线电广播的主要手段。但短波天空波的传播受电离层的影响很大,而电离层的物理特性又是经常变化的,所以短波的传播很不稳定,通常在两点间进行短波通信时,接收的信号会突然减弱,有时甚至无法接收。如图 1-6 所示为各种电磁波传播的途径。

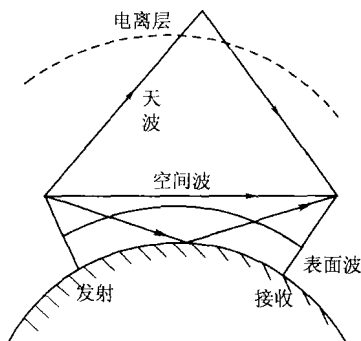


图 1-6 电磁波传播的途径

电波传播的规律比较复杂,影响它的因素也较多,这里篇幅有限,不能详细论述,有兴趣者可阅读有关书籍。

1.5 无线通信的几个问题

1. 原始信号直接发射和接收存在的问题

无线电通信是把信号输送到天线上,交变的信号在天线四周激起以光速向外传播的电磁波,称为电波辐射。由天线理论可知:要使信号通过天线有效地辐射出去,信号必须是交流信号,并且信号的波长应与天线的长度相比拟。比如 1000 MHz 的手机信号,其波长为 0.3 m,所以手机天线长度 10 cm 就可以了。而对于 1000 kHz 的中波信号,其波长为 300 m,天线长度就需几十到一百米。比中频低很多的频率是不易辐射的,通常把能有效辐射的几百千赫兹以上的信号称为射频信号。

调制信号(也称原始信号)多为复杂的非正弦信号,它可分解为一个由许多正弦量组