

全国中等职业技术学校电子类专业通用教材

无线电基础

[第三版]



中国劳动社会保障出版社

全国中等职业技术学校电子类专业通用教材

无 线 电 基 础

(第三版)

劳动和社会保障部教材办公室组织编写

中国劳动社会保障出版社

图书在版编目(CIP)数据

无线电基础/顾力平主编. —3 版. —北京: 中国劳动社会保障出版社, 2004
全国中等职业技术学校电子类专业通用教材

ISBN 7-5045-4243-1

I. 无… II. 顾… III. 无线电技术-专业学校-教材 IV. TN014

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 009409 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

*

北京北苑印刷有限责任公司印刷装订 新华书店经销

787 毫米×1092 毫米 16 开本 5.5 印张 137 千字

2004 年 3 月第 3 版 2007 年 7 月第 5 次印刷

定价: 10.00 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

为了更好地适应中等职业技术学校的教学需求，劳动和社会保障部培训就业司于 2002 年组织全国有关学校的教学专家和行业专家，制定了电子类专业教学计划和家用电器维修专业教学计划以及相关课程的教学大纲。根据教学计划和教学大纲的要求，我们组织了相应教材的编写工作。这些教材具有模块化特点，部分专业基础课和技能训练课教材对于上述两个专业具有通用性。

在教材编写过程中，我们始终坚持了以下几个原则。

第一，以能力为本位，重视实践能力的培养，突出职业技术教育特色。根据企业的实际需要，确定学生应具备的能力结构与知识结构，在保证必要专业基础知识的同时，加强实践性教学内容，强调学生实际工作能力的培养。

第二，吸收和借鉴各地教学改革的成功经验，专业课教材的编写采用了理论知识与技能训练一体化的模式，使教材内容更加符合学生的认知规律，保证理论与实践的密切结合。

第三，更新教材内容，使之具有时代特征。根据科学技术发展对劳动者素质提出的新的要求，在教材中充实新知识、新技术、新设备和新材料等方面的内容，体现教材的先进性。

第四，贯彻国家关于职业资格证书与学业证书并重、职业资格证书制度与国家就业制度相衔接的政策精神，力求教材内容涵盖有关国家职业标准（中级）的知识、技能要求，确实保证毕业生达到中级技能人才的培养目标。

这次教材编写工作得到北京、上海、天津、江苏、浙江、福建、江西、山东、湖南、广东、四川、重庆、贵州等省、直辖市劳动和社会保障厅（局）以及有关学校的大力支持，我们表示诚挚的谢意。

劳动和社会保障部教材办公室

2003 年 6 月

简 介

本书根据劳动和社会保障部培训就业司颁发的《电子类专业教学计划》与《无线电基础教学大纲》编写，供中等职业技术学校电子类专业使用。主要内容有：无线电波及其传播、调谐放大器、滤波器和调制与解调等。

本书也可用作职业培训教材。

本书由顾力平、葛维军、葛荣、陈怡编写，顾力平主编。

目 录

第一章 无线电波及其传播	(1)
§ 1—1 无线电波的传播	(1)
§ 1—2 天线和传输线	(4)
§ 1—3 现代通信方式简介	(8)
本章小结	(13)
第二章 调谐放大器	(14)
§ 2—1 谐振与电振荡	(14)
§ 2—2 晶体管的高频放大特性	(20)
§ 2—3 调谐放大器	(22)
§ 2—4 变频原理	(31)
§ 2—5 高频功率放大器	(37)
本章小结	(41)
第三章 滤波器	(43)
§ 3—1 滤波器的基本知识	(43)
§ 3—2 K 式滤波器	(47)
§ 3—3 m 式滤波器	(50)
§ 3—4 有源滤波器	(52)
§ 3—5 声表面波滤波器	(53)
§ 3—6 晶体及陶瓷滤波器	(57)
本章小结	(62)
第四章 调制与解调	(64)
§ 4—1 调制与解调	(64)
§ 4—2 调幅原理	(66)
§ 4—3 调频原理	(69)
§ 4—4 振幅检波	(74)

§ 4—5 鉴频器.....	(77)
本章小结.....	(82)

本章学习内容

1. 介绍无线电波的性质及其传播的主要途径。
2. 介绍天线的工作过程、主要参数及常用天线、传输线和共用天线电视接收系统。
3. 介绍现代通信的几种方式。

§ 1—1 无线电波的传播

一、无线电波的传播特性

人耳能听到的声音的频率在20 Hz~20 kHz的范围内。声音在空气中的传播速度很慢,约340 m/s,而且衰减速度很快,所以声音在空气中不能传得很远。如果把声音通过话筒变成音频信号,那么这种电信号就可以通过放大器,由电线传到很远的地方,而且速度也加快了,这就是有线广播或有线电话。但有线广播或有线电话必须由电线传输电信号。如果不用电线如何将音频电信号传到遥远的地方去呢?这就必须利用无线电波来传播。

如果设法把音频电信号搭载到(即调制)无线电波上,利用无线电波的运载,就可以在瞬间把需传送的信号传得很远,它的传播速度为 3×10^8 m/s。接收机接收到无线电波以后,将音频电信号从无线电波中取出来(即解调),再通过扬声器还原成声音。

二、什么是无线电波

无线电波看不见摸不着,那么什么是无线电波呢?

如果向水中投入一块石头,水面上就会出现一圈一圈向外扩散的水波,这种向外扩散的水波会把石头冲击水面的能量向四周传播,如图 1—1 所示。

每个波环的顶峰称为“波峰”,两个相邻波峰之间的距离称为波长(用 λ 表示),每秒钟产生波环的个数(或某水滴每秒钟振动的次数)称为频率(用 f 表示)。波长乘以频率就是波传播的速度,即波速(用 v 表示)。用式子表示即:

$$v(\text{m/s}) = \lambda(\text{m}) \times f(\text{Hz})$$

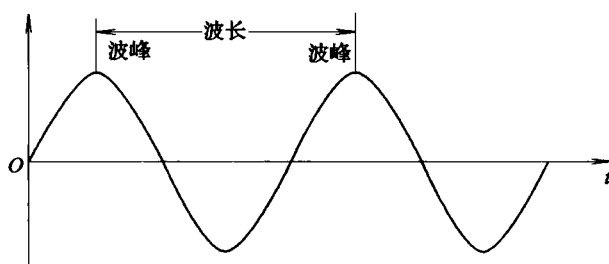


图 1—1 水波示意图

当一根导线中通过高频电流时，也会发生像石头投入水中类似的现象，在导线周围的空
间产生一种波，这种波也会向四周扩散，同时把导线中的高频能量向外传播。这种由高频电
流产生的波是由电场和磁场交替变化形成的，所以称为“电磁波”。

无线电波就是电磁波的一种。实践证明，无线电波的波长、波速及频率之间的关系符合
 $v=\lambda f$ 。

三、无线电波的波段划分

无线电波的频率范围很宽（3 kHz~3 GHz），而且具有电磁波的共性。由于波长不同，
它们还具有各自的特殊性。根据它们的特点和用途可划分为下列几个波段，见表 1—1。

表 1—1 无线电波的波段划分

波段名称		波长范围	频段名称	频率范围	用途
极长波		100 000 m 以上	极低频 (ELF)	3 kHz 以下	海上导航
超长波		100 000~10 000 m	甚低频 (VLF)	3~30 kHz	海岸—潜艇通信；海上导航
长波		10 000~1 000 m	低频 (LF)	30~300 kHz	大气层内中等距离通信；地下岩层通 信；海上导航
中波		1 000~100 m	中频 (MF)	300~3 000 kHz	广播；海上导航
短波		100~10 m	高频 (HF)	3~30 MHz	远距离短波通信；短波广播
超短波 (米波)		10~1 m	甚高频 (VHF)	30~300 MHz	电离层散射通信；人造电离层通信；对 大气层内、外空间飞行体的通信；电视、 雷达、导航、移动通信
微波	分米波	10~1 dm	特高频 (UHF)	300~3 000 MHz	对流层散射通信；中、小容量微波接力 通信
	厘米波	10~1 cm	超高频 (SHF)	3~30 GHz	大容量微波接力通信；数字通信；卫星 通信；波导通信
	毫米波	10~1 mm	极高频 (EHF)	30~300 GHz	穿入大气层时的通信

无线电广播一般使用长波、中波和短波波段，而电视广播使用超短波或微波波段。

四、无线电波的传播方式

无线电波的传播方式有以下几种，如图 1—2 所示。

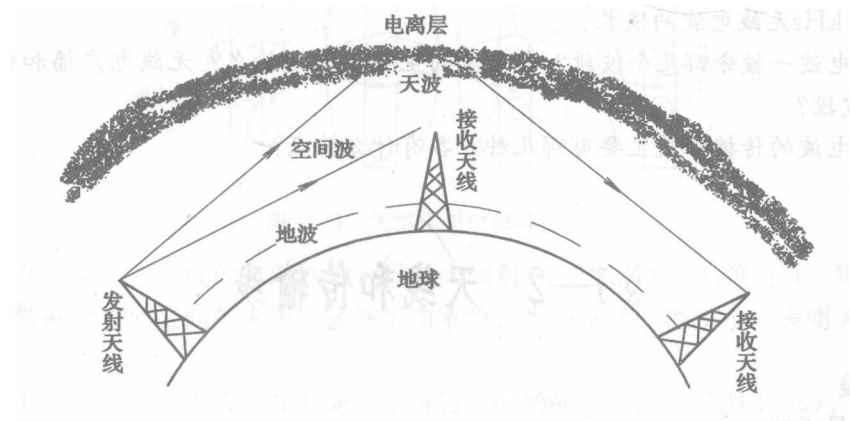


图 1—2 无线电波的传播方式

1. 地面波传播

无线电波沿地球表面传播，称为地面波传播，它是利用无线电波的绕射性质。

地面波在传播过程中，电磁波不断被地面吸收，迅速衰减。这种衰减与电磁波的波长有关。波长越长，衰减越小；波长越短，衰减越大。在通常情况下，利用地面波传播时，中、长波比短波和超短波衰减小，传播距离远。

由于地球表面对地面波有吸收作用，所以地面波不会传得很远，一般为几十到几百千米。

由于地面的电性能在较短的时间内变化不会很大，所以信号由地面波传播比较稳定。

2. 天波传播

无线电波向天空辐射，进入大气电离层后会被电离层反射回地面，这种电磁波的传播方式称为天波传播。

在距离地面高度约 100 km 的高空，有一层约 20 km 厚的电离层，它有反射无线电波的特性。电波的波长越短，被反射的角度越大，电波损失的能量越小。因此，短波能传得很远，而长波几乎不能靠电离层的反射来传播。超短波由于频率过高，一般能穿透电离层而不被反射。天波传播往往会受到气候、季节、昼夜等因素的影响。

3. 空间波传播

空间波传播是指发射天线辐射电磁波，通过空间直接到达接收天线的传播方式。

超短波和微波的传播特性是：既不能绕射，也不能被电离层反射，只能直线传播。由于地球表面是曲面，空间波不会拐弯，所以空间波的传播距离就受到了限制。发射天线架得越高，空间波的传播距离越远。

4. 外球层传播

在距离地面 1 000 km 以外的宇宙空间进行的无线电通信称为外球层传播。它的工作频率一般在几百兆赫以上，卫星通信和卫星直播电视就是利用这种传播方式。

复习思考题

1. 利用什么方法可以将音频电信号传得很远？
2. 什么是无线电波？无线电波的波长、频率和传播速度有何种关系？试计算中央人民广播电台640 kHz无线电波的波长。
3. 无线电波一般分哪几个波段？各波段的主要用途是什么？无线电广播和电视广播一般使用哪些波段？
4. 无线电波的传播方式主要有哪几种？各有什么特点？

§ 1—2 天线和传输线

一、天线

1. 什么是天线

天线是向空间辐射或接收电磁波的装置。

天线根据其用途一般可分为发射天线和接收天线两大类。

发射天线是一个将高频电流的能量转变为电磁波的能量，并将电磁波辐射到空间的装置，如图 1—3a 所示。

接收天线则是一个将从空间传来的电磁波能量转变为高频电流的装置，如图 1—3b 所示。

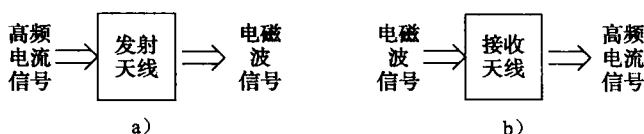


图 1—3 电磁波的发射和接收

a) 发射天线辐射电磁波 b) 接收天线接收电磁波

多数发射天线能够有效地起接收作用，某些接收天线也能起到发射电磁波信号的作用，即发射天线与接收天线具有一定的互易性。

2. 天线的工作原理

电磁波具有波的性质，它能在长度等于 $1/2\lambda$ 的导线中产生共振。

图 1—4 所示是天线辐射电磁波的情形。当给长度为 $1/2\lambda$ 的天线导体的中点加上高频电流（电压）时，天线上就会有高速往复运动的电荷。电荷移动产生相互正交的电力线和磁力线。于是，伴随电荷的往复运动，电力线和磁力线便成为闭合曲线而被推挤到外围空间去，这就是电磁波。反之，在天线周围的电磁波也能使天线导体中产生相应的电荷运动（电流）。

3. 天线的主要参数简介

(1) 输入阻抗 要使天线能从馈线得到最大功率，就必须使天线和馈线有良好的阻抗匹配。

(2) 天线效率 效率对于接收天线系统的性能往往不是关键的，但对发射天线系统是很重要的。

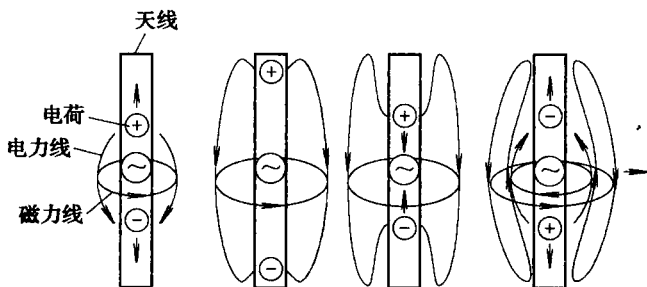


图 1—4 天线辐射电磁波的情形

(3) 半功率角 在天线的方向性中, 设最大辐射方向上的功率密度为 1, 则辐射的功率密度为 1/2 的两个方向之间的夹角 θ 就是半功率角。半功率角的值越小, 表明天线的方向性越强 (见图 1—5)。

(4) F/B 指定向天线的前方电场强度与后方电场强度之比 (见图 1—6)。

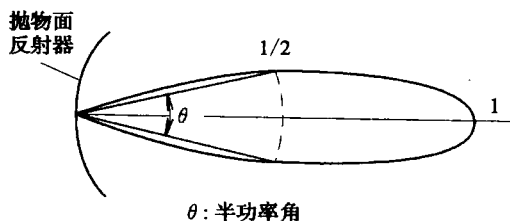


图 1—5 半功率角

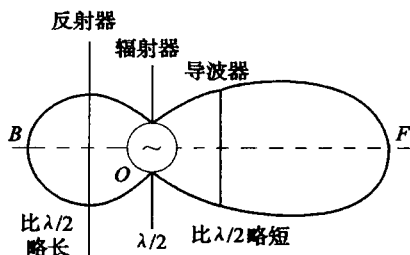


图 1—6 F/B

(5) 增益 一般是指待测天线与标准天线所发射的电磁波, 在离天线一定距离的某点上产生相同电场强度所需要的天线功率之比。其中的标准天线经常由半波天线来担当。

(6) 频率特性 实际使用的天线一般不只是工作在某一频率上, 而是在某一频带内, 因此要求天线在工作频带内的特性保持一致。天线的频率特性用频带宽度来表示。

设天线在工作频带内的最大增量为 100%, 在其两侧增益下降至 70.7% 处的频率分别为 f_1 和 f_2 , 则天线的频带宽度 $\Delta f = |f_2 - f_1|$ 。天线的频带宽度与天线振子所用材料的直径有关, 直径越大频带越宽, 反之则频带越窄。

二、传输线

1. 什么是传输线

传输线又称馈线, 是在无线电通信装置与天线之间传送能量的导线。

在无线电发射台的发射机与发射天线之间、接收机与接收天线之间都要采用传输线 (这些传输线属高频传输线)。

2. 传输线的分类

(1) 平行双线传输线 平行双线传输线是一种平衡式传输线, 由两根线径相等的平行导线组成 (见图 1—7a), 两根导线的距离不超过波长的 1/10。

通常, 平行双线传输线的特性阻抗在 300 Ω 左右, 辐射损耗较大, 一般工作在 200 MHz 以下。

(2) 同轴传输线 又称同轴电缆, 是一种不平衡式传输线, 由同轴的内外两根导线组

成,其结构如图 1—7b 所示。内导线是实心导线,外导线由金属编织网制成,内外导线间充以高频绝缘介质,表面附有塑料保护层。

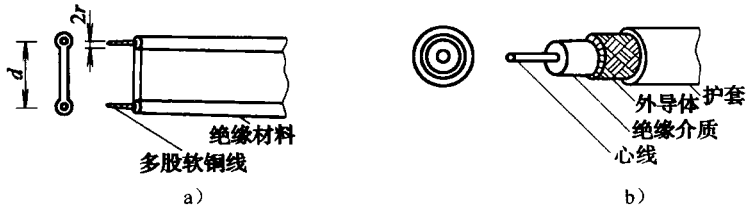


图 1—7 两种常用传输线

a) 平行双线传输线 b) 同轴传输线

同轴传输线的电阻损耗取决于内导线的直径,电阻损耗小于同直径的平行传输线。由于外导线的屏蔽作用,同轴传输线的辐射损耗很低,其工作频率可达 3 000 MHz。常用同轴传输线的特性阻抗有 50 Ω 、75 Ω 和 150 Ω 三种规格。

三、常用超短波天线

1. 半波振子天线

半波振子天线是中心点馈电的半波辐射器。天线的每边都是 $1/4\lambda$, 如图 1—8a 所示,其长度 L (m) 与设计频率 f (MHz) 之间的关系近似为 $L=143/f$ 。

2. 半波折合振子天线

半波折合振子天线是半波长中心馈电的半波辐射器,由两根平行导线在端部连接起来而成,如图 1—8b 所示。它的馈电点阻抗是纯电阻,约为 290 Ω 。在增益和方向性要求不是特

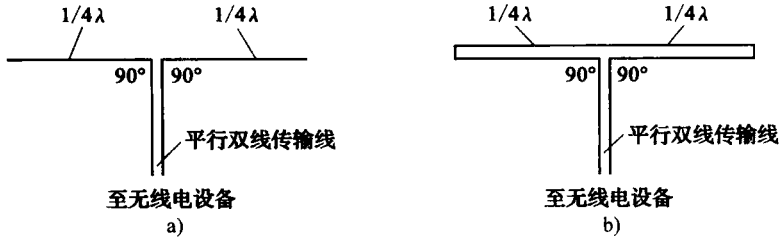


图 1—8 基本半波天线

a) 半波振子天线 b) 半波折合振子天线

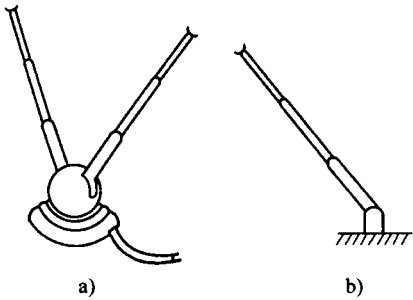


图 1—9 拉杆天线

a) 对称型 b) 不对称型

别高的场合,半波折合振子天线与平行双线传输线配用比较理想。

3. 引向天线

引向天线也称八木天线,由一个基本的半波折合振子和多个辅助振子按一定规律排列而成。它的优点是具有较强的方向性,其馈电点阻抗约为 300 Ω 。

4. 室内天线

(1) 拉杆天线 拉杆天线分对称型和不对称型两种,如图 1—9 所示。

拉杆天线的优点是长度和振子夹角可随意调节,既

适合各种频率的要求，也适合室内电磁波经多次反射而使电磁波复杂化的场合。对称型拉杆天线的阻抗为 $300\ \Omega$ ，不对称型拉杆天线的阻抗为 $75\ \Omega$ ，使用时应当注意与馈线或负载匹配。

(2) 环形天线 环形天线实际上是半波折合振子天线的变形，如图 1—10 所示。它的尺寸较小，一般工作在特高频区。

环形天线的输入阻抗在 $200\sim 300\ \Omega$ 之间，使用时应注意与馈线匹配。

四、特高频和微波天线——抛物面天线

抛物面天线（见图 1—11）能有效地将微弱的电磁波信号经抛物面反射器聚集于抛物面天线的焦点，使焦点上的信号大为增强，从而能更有效地接收微弱信号，因此抛物面天线必须准确成型和精密调准。反射器的直径越大，增益越高，方向性越强（半功率角越小）。为保证正常运行，抛物面天线的反射器的直径至少等于数个波长。反射体可以是金属薄板、金属屏或金属网。如果使用金属网，网孔尺寸必须远远小于波长。

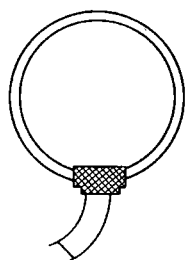


图 1—10 环形天线

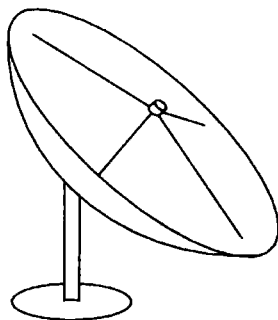


图 1—11 抛物面天线

五、CATV

1. 什么是 CATV

CATV 是共用天线电视接收系统的英文缩写，俗称有线电视或闭路电视。

CATV 最初是为解决某些地区收视困难的问题而开发的。在收视困难地区的山顶或高楼顶等电磁波较强的位置上安装共用天线，将接收来的电视信号先经过适当处理，然后由专用部件将信号合理地分配给各电视接收机。由于系统各部件之间采用了大量的同轴电缆作为信号传输线传送大量的图像信号、语音信号和数据信号，所以 CATV 便成了具有向特定地区进行电视转播、播放自办节目及地方节目的有线电视。CATV 的系统方框图如图 1—12 所示。

2. CATV 系统的主要优点

- (1) 改善弱信号地区的接收效果，减少干扰。
- (2) 消除重影。
- (3) 抗干扰性能好，可以消除杂波，使电视图像清晰。
- (4) 节省费用，美化城市。
- (5) 可传递其他信息，用途广泛。

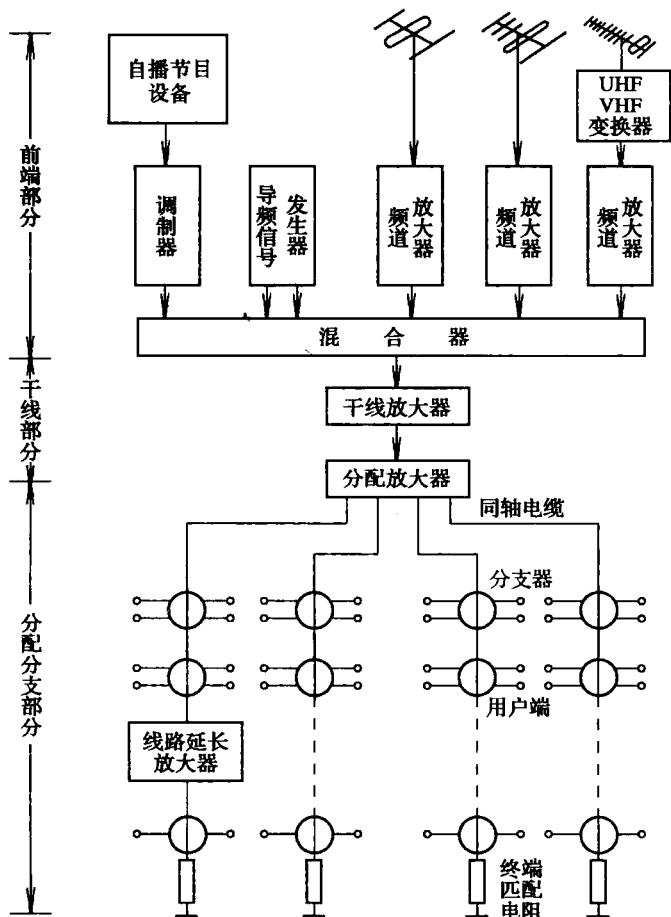


图 1—12 典型 CATV 系统方框图

复习思考题

1. 什么是天线？它是如何工作的？有哪些主要参数？常用的超短波天线有哪几种？
2. 常用的传输线有哪几种？它们的特性阻抗各为多少？
3. 什么是 CATV？CATV 系统主要有哪些优点？

§ 1—3 现代通信方式简介

在现代社会中，信息是一种非常重要的资源。对信息的获取、传递和处理的能力，标志着一个国家经济和社会发展的程度。信息的传递主要是靠通信来实现的，图 1—13 所示为通信系统框图。

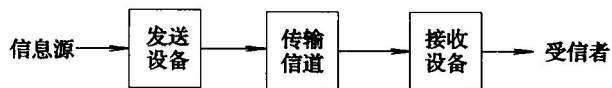


图 1—13 通信系统框图

一、卫星通信

卫星通信是利用人造卫星作为中继站来转发无线电波，并在两个或多个地面站之间传递的通信方式。这种通信方式是在卫星技术的基础上，于 20 世纪 70 年代中期实现的，如图 1—14 所示。

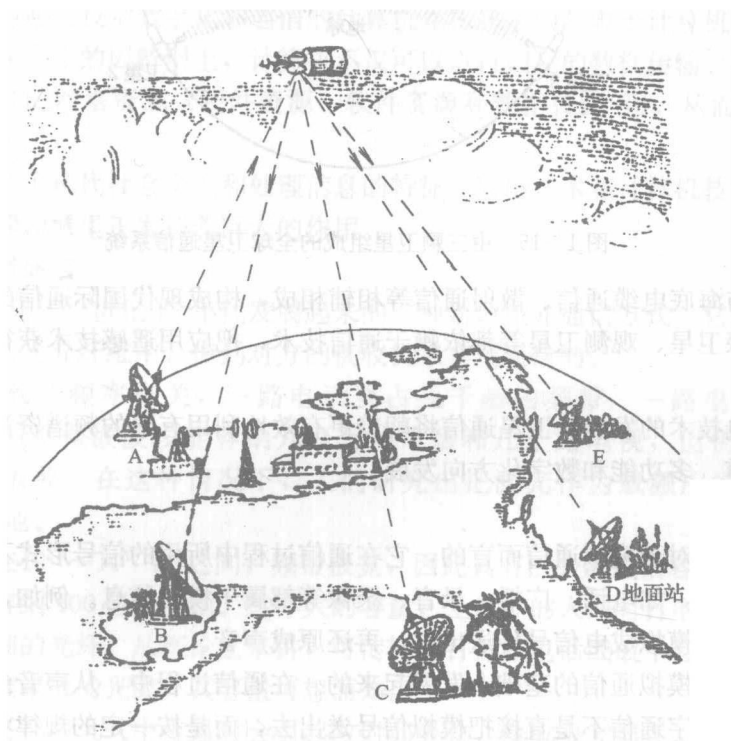


图 1—14 卫星通信

通信卫星一般都发射到赤道上空，距地面约 36 000 km。它绕地球运行一周的时间正好等于地球自转一周的时间，与地球自转同步。因此，通信卫星相对于地球来说，就像是静止不动一样，也称为“静止卫星”或“同步卫星”。卫星通信的优点是：通信距离远（利用一颗卫星能实现相距 1 万多千米的两地间的通信）、传输容量大（一颗通信卫星可同时提供上万路电话和多路电视的通信）、可靠性高、灵活性强和多路连接等。

卫星通信可进行电话、电报、广播、电视、传真等各种信息的传递。目前，80% 以上的国际通信业务和全部国际电视转播业务都是由卫星通信来承担的。卫星通信不仅可用于国际通信，也可用于国内通信；不仅可用于民用通信，也可用于军事通信。

从卫星上看地球，能看到超过地球表面 1/3 的部分。因此，只要用三颗卫星就能组成全球卫星通信系统。国际卫星通信系统就是由在大西洋、印度洋和太平洋上空的三颗卫星构成的，如图 1—15 所示。

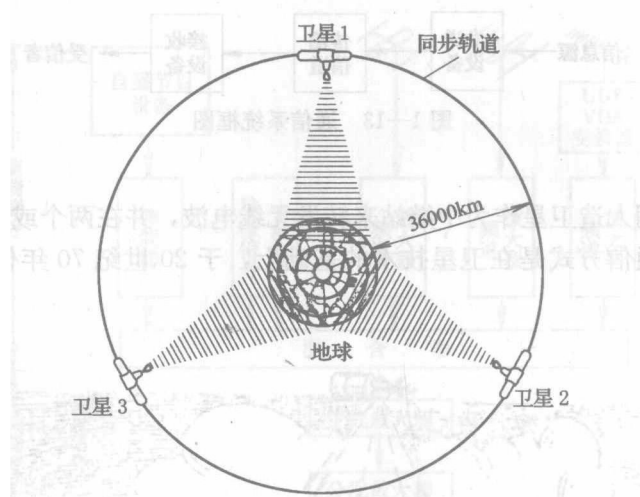


图 1—15 由三颗卫星组成的全球卫星通信系统

卫星通信与海底电缆通信、散射通信等相辅相成，构成现代国际通信的主要手段。气象卫星、资源勘探卫星、观测卫星等都依赖于通信技术，把应用遥感技术获得的数据和资料传送到地面上来。

随着无线电技术的发展，卫星通信将朝着更有效地利用有限的频谱资源、进一步加大通信容量、多通道、多功能和数字化方向发展。

二、数字通信

数字通信是相对于模拟通信而言的，它在通信过程中所用的信号形式不同。

在日常生活中，如电话、广播、录音、录像等都属于模拟信息。例如，当打电话时，就是把人的声音信号模拟成电信号传送出去，再还原成声音。

数字通信是在模拟通信的基础上发展起来的。在通信过程中，从声音到电信号的模拟转换是相同的。但数字通信不是直接把模拟信号送出去，而是按一定的规律将模拟信号转换成由“1”和“0”构成的一系列数字信号后送出去，在接收端再将这此数字信号还原成模拟信号，最后再还原成声音。

数字通信与模拟通信相比，具有明显的优点。如：可通过对数字脉冲信号的再生来消除传输过程中产生的干扰和畸变，有利于远距离和弱信号的传输；便于用计算机对信息进行处理，有利于提高传输速度；便于保密，有利于保密通信。此外，数字通信还容易做到标准化、系列化、固体化、小型化，并具有设备体积小、重量轻、耗电少、成本低和便于生产等优点。

过去，用来传输信息的通信系统 90% 都使用模拟通信。目前，模拟通信正向数字通信过渡，通信正处在模拟通信和数字通信并存的阶段。由于数字信号的产生、存储和转换均较为方便，在电话、电报、传真、电视等各种通信系统都实现数字化以后，可把它们连成一个数字通信网，在各个系统、部门、行业之间进行更广泛的信息交换。

然而，模拟通信还会在一个相当长的时间内继续使用，而且很可能还会有所发展。但从长远来看，发展的方向肯定是数字通信。