

邮电中等专业学校试用教材

载波通信原理上

河北省邮电学校编

人民邮电出版社



前 言

本书是邮电中等专业学校教学用书。为适应新形势下邮电教育事业发展的需要,1978年,我们组织部分邮电学校分工编写了微波、载波、市内电话、线路、电报、电源、综合电信和邮政机械等八个专业所用的基础课和专业课的教学用书,并将陆续出版,以应各邮电中等专业学校教学急需。

编好教材,是提高教学质量的关键。我们组织编写本教材时,力求以马列主义、毛泽东思想为指导,努力运用辩证唯物主义的观点阐明科学技术的规律,内容上注意了少而精,尽量反映科学技术的新成就。由于编写、审定的时间仓促,又没有经过教学实践的检验,书中会有不少缺点和错误。希望有关教师和同学在使用过程中,把发现的问题提供给我们以便修改提高。

邮电部人事教育局

一九七八年十二月

编 者 的 话

本书是根据1978年6月邮电中等专业学校载波和电源专业教学大纲审定会议审定的大纲编写的。编写过程中，根据形势发展的需要，对原定大纲作了适当调整。

全书分上、下两册，每册各五章，计有：载波通信的基本概念、差分器、调幅器、深负反馈放大器、振铃系统、线路导频系统、监频系统、载供系统、远供系统、增音设备和系统均衡。

本书力求讲清物理概念，并进行必要的定量分析。考虑到载波室维护工作的需要，书中附有较多的实际电路分析。为了提高学生分析问题和解决问题的能力，每章都附有习题和思考题。

参加本书编写工作的有我校教师侯志勋、周耀先、杨桂云、张树文、杨祥林等同志。北京邮电学院教师吴兆益同志，对本书进行了审校。

限于水平和时间仓卒，书中难免有不妥之处，望读者特别是使用本书的师生同志们提出批评指正。

河北省邮电学校

1979年5月

目 录

第一章 载波通信的基本概念	(1)
第一节 电信系统的构成和分类	(1)
第二节 电话信号的传输频带	(7)
第三节 电信线路的基本特性	(8)
第四节 长途电信的基本课题	(13)
第五节 载波通信的基本原理	(15)
第六节 标准群的产生和多路载波电话的变频过程	(27)
第七节 载波通信系统的构成	(47)
第八节 长途电话网	(90)
习题与思考题	(101)
第二章 差分器	(103)
第一节 差分器的作用和要求	(103)
第二节 电阻式差分器	(105)
第三节 混合线圈式差分器	(109)
第四节 平衡衰减与平衡网络	(123)
第五节 差分器的测试	(127)
第六节 其它常用的汇接网络	(128)
习题与思考题	(136)
第三章 调幅器	(140)
第一节 概述	(140)
第二节 二极管调幅器	(141)

第三节 无源三极管调幅器	(165)
第四节 有源三极管调幅器	(176)
第五节 调幅器技术指标与调测	(181)
习题与思考题	(184)
第四章 深负反馈放大器	(188)
第一节 负反馈放大器基础知识	(188)
第二节 混合式深负反馈放大器的分析与计算	(210)
第三节 放大器的自激与防止	(230)
第四节 典型放大器电路分析	(240)
第五节 放大器的测试与维护	(263)
第六节 几个公式的推导	(279)
习题与思考题	(296)
第五章 振铃系统	(301)
第一节 概述	(301)
第二节 振铃发送电路	(305)
第三节 振铃接收电路	(308)
第四节 振铃系统的技术指标	(317)
第五节 直流振铃	(319)
第六节 带外振铃简介	(320)
习题与思考题	(322)
附录: 本书所用符号、下标和单位	(324)

第一章 载波通信的基本概念

本章首先介绍通信系统的组成、电话信号和电信线路的特点，然后介绍载波通信的基本原理和系统构成，最后介绍有关长途电信网的基本知识，从而建立通信的总体概念，为后续各章的学习打下基础。

第一节 电信系统的构成和分类

电信是利用电子技术传递消息的各种通信方式的总称。

一、电信系统的基本模型

为说明电信系统的一般构成方式，我们先介绍一个简单的电话通信的例子，如图1—1—1所示。电话通信传递的消息是话音。发话人发出的声波通过话机的送话器（话筒）变成电信号（音频电流），经电信线路送至对方。对方话机的受话器（耳机）将电信号还原为声波送至受话人，从而完成消息的传递。对于这个简单的通信系统可分为五段，如图1—1—1所示。发话人发出的话音是信息（消息中的实质部分）的来源，称为

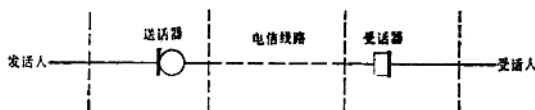


图 1—1—1 电话通信示意图

信源。送话器将声波转换为能在电信线路上传递的电信号，称为变换器。电信线路是传递电信信号的通道，称为信道。受话器把电信号还原为声波，称为反变换器。最后，受话人收到信息，称为信宿。

实际电信系统的形式虽然很多，但总可划归为这五部分。如果再考虑干扰源的话，则电信系统的基本模型如图1—1—2所示。



图 1—1—2 电信系统的基本模型

信源中的信息是我们传输的对象。

信道是我们传递信息的途径。

变换器（亦称终端设备）是把信源中的信息变换成适合于在信道上传输的电信号。一般分两步完成：首先是把非电信号变成电信号（如话筒将声波变成相对应的音频电流），然后再对电信号进行处理，使它能在信道中传输。

不同的信源和不同的信道可构成不同类型的电信系统。

二、电信系统按信源分类

按信源不同，电信系统可分为电话、电报和广播三种类型。

1. 电话

传递语言的通信方式叫电话。

发话人和受话人在同一城市时，叫市内电话。发话人和受话人相距较远（如不在同一城市）时，叫长途电话。

话音信号中包括很多频率。目前长途电话电路传递的话频信号频带多为300~3400赫。

2. 电报

传递文字、符号、图片等信号的通信方式叫电报。

电报又分“直”流电报、载波电报、传真电报等。

所谓“直”流电报是指用编码的方法传递文字、数字、符号的通信方式。例如汉字中的“笔”字，在标准电码本上，用阿拉伯数字“4581”表示，然后再将各阿拉伯数字用不同的电脉冲表示并发送出去。对方根据收到的电脉冲译为阿拉伯数字，再进一步译为汉字，从而完成信息的传递。“直”流电报的传输频带一般为0~80赫。

音频载波电报是将“直”流电报变频至音频范围内在长途电话电路上传输。在300~3400赫频带内可以开放16~24路载波电报。

传真电报是直接传递文字的真迹、表格、图片的通信方式。

3. 广播

把消息（包括语言、音乐、图象等）向不指定的收信者单向传输的通信方式叫广播。

广播分语声广播和图象广播两种。

传递语言、音乐的广播叫语声广播。传输频率约从数十赫至上万赫（如50~10000赫）。

传递图象的广播叫图象广播。电视广播是带伴音的图象广播，传输频带约为0~8兆赫。

电报、广播都可通过长途电话电路传输，此时统称为长途

电信。

随着电信技术的发展，电信系统的种类日益增多，分类方法也不完全一致。例如现代电信技术可按语声通信（如电话、语声广播）、图象通信（如传真电报、电视）和数字通信分类。数字通信是将要传递的信息先转换成简单的数字信号再进行传输的通信方式，如“直”流电报就是最简单的数字通信。近代，电话和电视信号也有先转换为数字信号后，再在信道上传输的。

三、电信系统按信道分类

按信道不同，电信系统可分为有线电信和无线电信两大类。

1. 有线电信

电信号沿导线传输的电信系统，称为有线电信。目前最常用的有线电信信道有架空明线、对称电缆和同轴电缆等。近代，已开始研制和使用波导管和光导纤维等有线电信信道。有线电信信道结构如图1—1—3所示。

对称电缆和同轴电缆，一般埋于地下。

波导管为空心铜管，电磁波在管内传播。

光导纤维是特制的玻璃细线。光本身就是一种电磁波。信息被处理后，经玻璃细线传播。

2. 无线电信

电信号以电磁波形式在自由空间传播的电信系统，称为无线电信。

频率高于300兆赫的电磁波，一般称微波。由于微波通信

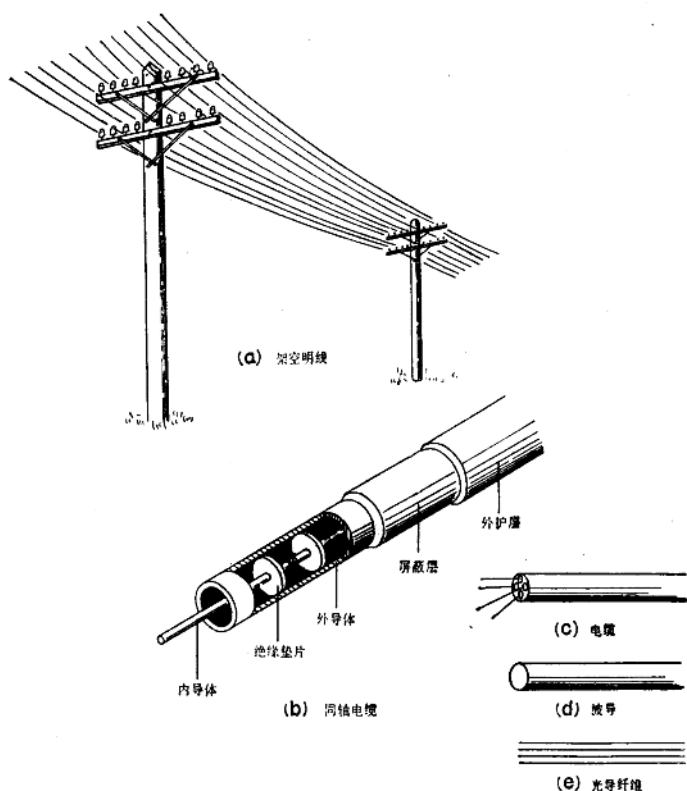


图 1—1—3 有线电信信道示例

使用频率较高，它在电离层内已不能反射，所以只能用于视距通信（也就是指接收天线和发射天线相互可见）。在长距离微波通信中，每隔一定距离（如50公里）设一个中继站，进行微波接力通信。若中继站设在人造地球卫星上，就是卫星通信。

各种主要电信系统的组织与连接，见图1—1—4。本课程

通信卫星

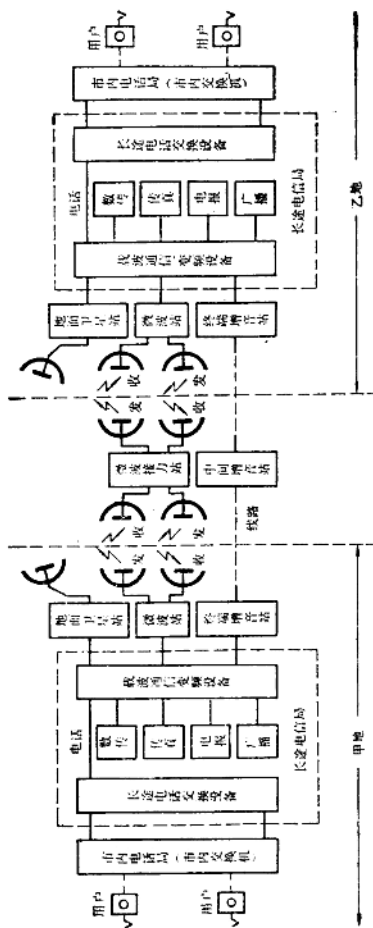


图 1-1-4 电信系统组织示意图

主要讨论有线长途电话设备的原理。

有线长途电话的通话途径为：用户话机——市内电话局——长途电话交换设备——载波通信变频设备等——线路（包括增音机）——对方局——……对方用户话机。其中：

市内电话局——连接市内电话用户。

长途电话交换设备——将市内电话用户连接到长途电话电路上。

载波通信变频设备——用以提高线路利用率（原理后述）。

增音机——用作延长通信距离。

长途电话还可以通过微波、卫星等途径传送。

第二节 电话信号的传输频带

电话通信是传递人的语声的，其质量好坏在很大程度上可用清晰度来衡量。

所谓清晰度，就是在发信端发出一定数量的无意义的音节，收听者在收信端进行记录，其正确接收的音节数与发信端所发出的音节数的百分比。例如，发信端发出50个无意义不连贯的音节，收听者正确记录45个，则清晰度为90%。大量实验证明，只要清晰度达70%以上，就可以听懂对方的讲话。。

话音信号约包含自数十赫至上万赫的频率。但是，如果把话音信号中的全部频率都传输，则对通信设备中的各个环节均要求有很高的技术指标，这显然是不经济的。当然，传输频率也不能过少，否则将影响通话质量。实验证明，去除频率500赫以下的信号后，清晰度仅降低5%；去除频率3000赫以上的信号后，对清晰度几乎无影响。从技术经济指标考虑，目前国际和国内都已确认电话信号的话音传输频带可采用下述三种。

(1)窄频带: $0.4 \sim 2.0$ 千赫 (简记为 $0 \sim 2$ 千赫)。

(2)一般频带: $0.3 \sim 2.6$ (或 2.7) 千赫 (简记为 $0 \sim 3$ 千赫)。

(3)宽频带: $0.3 \sim 3.4$ 千赫 (简记为 $0 \sim 4$ 千赫)。

电话通信的音频信号也常用音频三角形表示。三角形水平底边的左端代表话音信号的低频 0.3 千赫, 右端代表话音信号的高频 3.4 千赫。

由于电话机和人耳对频率 800 赫附近的音频信号的反应比较灵敏, 所以常用 800 赫 (有时也用 1000 赫) 为话音信号的测试和计算频率。

第三节 电信线路的基本特性

目前, 用于有线通信的线路主要有三种: 架空明线、对称电缆和同轴电缆。它们的特性, 这里简要介绍一下。

一、架空明线

如图1—1—3所示, 架空明线线路是指用电杆架设在空中的金属导线。为了保证足够的机械强度, 线径较粗, 多为 $2.5 \sim 4.0$ 毫米。线质有铜线、铁线、铝绞线等。铜线多用于远程干线上。

线径为 3.0 毫米、线距为 20 厘米的架空明线铜线线路的衰减特性如表1—3—1和图1—3—1所示。从中可以看出, 架空明线线路的衰减与频率、气候有关。

1. 线路衰减随频率增高而增大, 即频率越高, 线路衰减越大。

2. 气候在冬季干燥时线路衰减最小, 冰凌时衰减最大。

表 1-3-1 架空明线铜线线路衰减特性 (线径3.0mm,
线距20cm)

衰减 (mNp/Km) 频率 (KHz)	气候	冬干	夏潮	霜5mm	霜10mm	冰3mm	冰5mm
36		9.89	13.15	15.86	19.04	20.02	23.64
84		15.10	21.41	35.02	46.02	49.56	62.20
92		15.76	22.75	38.02	51.40	54.96	69.96
143		19.74	30.08	52.83	69.88	83.40	126.92

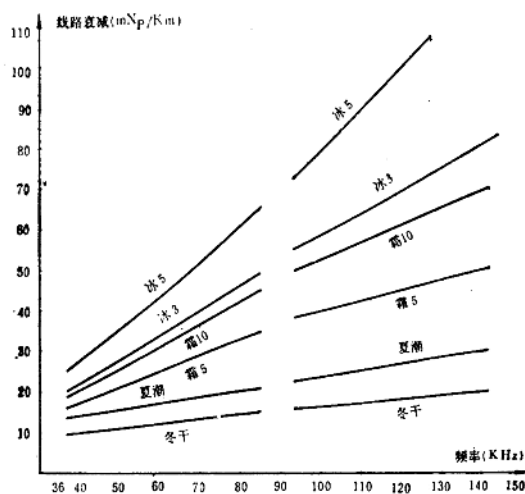


图 1-3-1 架空明线铜线线路衰减特性

气候变化时，高频部分衰减的变化大于低频部分。

架空明线铜线线路的最高传输频率一般不超过150千赫，可供开设3路及12路载波用。

架空明线铜线线路的特性阻抗约为600欧左右。

架空明线铁线线路的衰减比铜线大很多，图 1—3—2 为线径3.0毫米、线距20厘米每公里铁线线路衰减频率特性。一般情况下，铁线线路的最高传输频率不超过30千赫。铁线线路的特性阻抗，在话音频带内约为1400欧左右，高频时约为 800 欧左右，一般只用于短程的单路、三路载波。

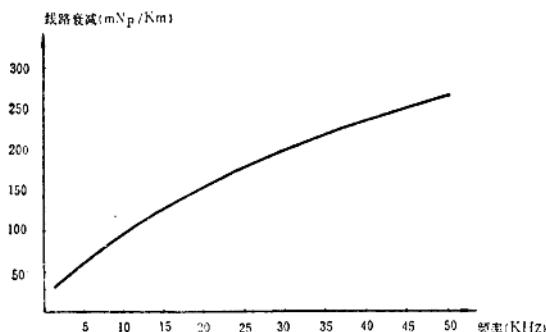


图 1—3—2 铁线线路衰减频率特性

二、对称电缆

1. 结构

目前，我国多采用 HEQ_2-252 型对称电缆。图1—3—3 为适用于 ZL_3 型晶体管60路载波系统的 HEQ_2-252 $4 \times 4 \times 1.2+2 \times 0.9$ 型对称电缆的结构。它可分为缆芯和护层两部分，缆芯是由若干铜导线组成，每四根导线（也称芯线）组成一组，叫四芯组。芯线间用电缆纸绳等绝缘。对角位置的两根芯线组成一对线路。型号中的字母和数字代表下列涵义：

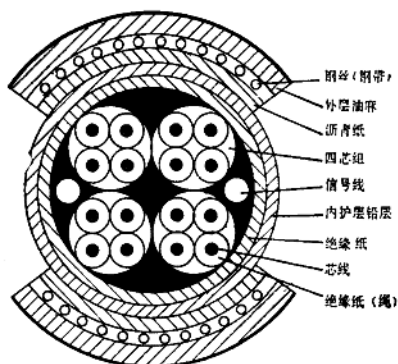


图 1—3—3 对称电缆结构示意图

H ——通信电缆。

E ——对称星绞。

Q ——铅护套。

2——钢带铠装。

252——最高复用频率为252千赫。

$4 \times 4 \times 1.2$ ——有四个四芯组，每根芯线的线径为1.2毫米。

2×0.9 ——有两根线径为0.9毫米的信号线（作用后述）。

除 4×4 电缆外，还有 1×4 和 7×4 两种。无特殊说明时，本书以 4×4 电缆为例。

2. 电气特性

HEQ_2 ——252 $4 \times 4 \times 1.2 + 2 \times 0.9$ 型电缆的电气特性如图1—3—4和1—3—5所示。

长途对称电缆一般埋于地下1.2米左右的深处。根据我国情况，在地下1.2米处，地温约在 $13^\circ\text{C} \pm 13^\circ\text{C}$ 的范围内，即在

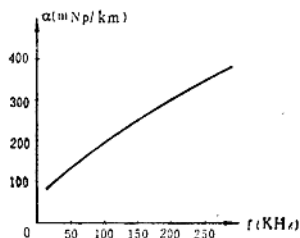


图 1—3—4 对称电缆衰减频率特性

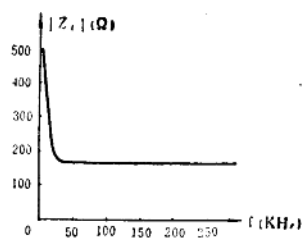


图 1—3—5 对称电缆阻抗频率特性

$0^{\circ}\text{C}\sim 26^{\circ}\text{C}$ 范围内。 13°C 为平均地温。

图1—3—4中的 α 为地温 13°C 时对称电缆线路每公里的衰减。从图中看出，电缆线路的衰减随频率增高而增加。此外，电缆线路的衰减还与地温有关：地温越高，线路衰减越大。

图1—3—5为电缆线路的阻抗频率特性，从图中看出，在12千赫以下特性阻抗变化较大，不易匹配，一般不做载波通信用。在12千赫以上，特性阻抗约为180欧左右。

三、同轴电缆

1. 结构

同轴电缆结构如图1—3—6所示，它由缆芯和外护层两部分组成。缆芯由同轴管和四芯组等组成。同轴管由内导体（硬铜线）和外导体（铜管）组成一对线路，二者同轴心，所以称同轴电缆。每根同轴电缆内的同轴管数目，我国目前多用4管和8管两种。国产中同轴电缆线路的内导体是直径为2.6毫米的硬铜线，外导体的内径为9.5毫米、厚度为0.25毫米的铜管。内外导体的尺寸为2.6/9.5时，称为中同轴，再大时称大同轴，1.2/4.4时叫小同轴。