

邮电高等
学校教材

871326

5007 12

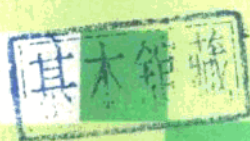
3088

青
人
民
邮
电
出
版
社

载波通信原理

赛锡钧 安玉莲 张秋霞 贺岳陵 编

黄庚年 朱永藩 审校



人民邮电出版社

邮电高等学校教材

载 波 通 信 原 理

蹇锡钧 安玉莲 张秋霞 贺岳陵 编
黄庚年 朱永藩 审校

人民邮电出版社

内 容 提 要

《载波通信原理》是高等院校通信工程系多路通信专业的教材。本书以载波通信系统为主，着重讲清系统构成原理。书中先对增益系统、载波通路的传输质量作了探讨，第四、五、六、七、八章对在一般大学基础课中不涉及的载波机部件差分系统、振铃系统、调制器、载供系统、可变均衡器、自动电平调节系统等作了较深的阐述。第九章对电信网作了概述，以使学生拓宽知识面，有个总的概念。最后对载波通路中的各种杂音作了分析探讨。

书中有相当部分是其他有关教材讨论较少或未涉及的重要问题。

每章后都有小结、思考题或习题。

邮电高等学校教材

载 波 通 信 原 理

蹇锡钧 安玉莲 张秋霞 贺岳陵 编
黄庚年 朱永藩 市校

人民邮电出版社出版

北京东长安街27号

河南邮电印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

开本：850×1168 1/32 1988年11月 第一版
印张：17 页数：272 1988年11月 河南第1次印刷
字数：448千字 插页1 印数：1—2 500 册

ISBN7—115—03748—5/TN·154

定价：3.85 元

前 言

本书是根据电信工程系多路通信专业“载波通信原理”统一大纲编写的一门专业课教材。同时还照顾到高等学校相应专业的需要，在编写上突出应用，结合实际电路着重物理概念的阐述及系统原理方面的分析。个别章节在阐明物理概念的基础上加强数学分析，以满足实际设计的需要。

本书各章附有小结和适度的习题，既适于面授，也适于工程技术人员自学。

本书在《载波通信原理》（1979年人民邮电出版社出版）一书的基础上，结合1980至1985年五年的教学实践，在内容上作了重新编排，删去过多具体电路的分析，而着重了基本原理的讲述。但对载波通信系统中的主要部分，如可变均衡器、自动电平调节系统、长途通信网和载波通路中的噪声等的分析却有所加强。增添了有源可变均衡器的原理及实现的内容。

参加本书编写的有蹇锡钧（第二、四、五、七章），张秋霞（第六、九章），安玉莲（第一、十章），贺岳陵（第三、八章）。

本书惠蒙黄庚年、朱永藩同志细心审校，并提出一些宝贵意见，在此谨表谢意。

由于编者水平有限，时间仓促，难免出现缺点和错误，敬请读者批评指正。

编 者

一九八六年三月

目 录

第一章 频分制多路复用原理及系统构成	(1)
第一节 概述.....	(1)
第二节 通信信号的类型与特点.....	(4)
1—2—1 电话信号.....	(4)
1—2—2 非电话信号.....	(9)
第三节 频分多路复用基本原理.....	(17)
1—3—1 频率搬移与单边带传输.....	(17)
1—3—2 多路通信的构成.....	(20)
1—3—3 双向通信方式.....	(25)
第四节 各种载波通信系统的频谱安排.....	(32)
1—4—1 通路编组原理与标准频谱.....	(32)
1—4—2 各种载波系统的线路频谱.....	(42)
第五节 典型载波通信系统构成.....	(50)
1—5—1 概况.....	(51)
1—5—2 终端机的工作原理.....	(51)
1—5—3 终端机内的导频系统.....	(56)
本章小结.....	(58)
习题.....	(61)
第二章 增音系统	(63)
第一节 增音系统的任务与组成.....	(63)
2—1—1 增音系统的任务.....	(63)
2—1—2 增音系统的作用.....	(65)
2—1—3 增音系统的组成.....	(66)
第二节 增音系统均衡的基本原理.....	(67)
2—2—1 均衡与调节的概念.....	(67)

2—2—2 均衡和调节的安排	(70)
2—2—3 双端均衡	(79)
第三节 典型增音设备的构成	(81)
2—3—1 60路系统增音设备的机线联接图	(81)
2—3—2 ZH363型60路无人增音机	(83)
2—3—3 ZH3型60路有人增音机的组成	(86)
2—3—4 1800路系统的增音设备	(87)
2—3—5 明线增音系统的特点	(88)
第四节 三遥业务系统	(90)
2—4—1 遥供系统	(90)
2—4—2 遥测系统	(93)
2—4—3 通信系统	(97)
本章小结	(100)
思考题与习题	(101)
第三章 载波电话通路的传输质量	(102)
第一节 表征载波电话通路传输质量的电气特性	(102)
第二节 传输电平	(105)
3—2—1 电平	(105)
3—2—2 机内传输电平	(109)
3—2—3 通路净衰减	(112)
第三节 通路净衰减频率特性	(116)
3—3—1 电话通路的有效传输频带	(116)
3—3—2 对通路净衰减频率特性的要求	(117)
第四节 通路振幅特性	(119)
第五节 通路稳定度	(121)
3—5—1 振鸣的产生	(121)
3—5—2 对通路稳定度的要求	(123)
本章小结	(125)
思考题与习题	(125)

第四章 差分、汇接网络与振铃系统	(126)
第一节 混合线圈的工作原理	(128)
4—1—1 混合线圈的电桥平衡条件.....	(129)
4—1—2 衰减及阻抗关系.....	(130)
第二节 混合线圈特例	(139)
第三节 平衡衰减	(142)
第四节 振铃器	(147)
4—4—1 振铃器的作用和构成.....	(147)
4—4—2 带外振铃系统构成.....	(151)
本章小结.....	(156)
思考题与习题.....	(157)
第五章 调幅器	(160)
第一节 晶体二极管的特性及其调幅作用	(161)
5—1—1 晶体二极管特性与分析方法.....	(161)
5—1—2 二极管的调幅作用.....	(166)
第二节 双平衡调幅器	(170)
5—2—1 环形调幅器的实际工作衰减 α	(175)
5—2—2 环形调幅器的过负荷.....	(180)
5—2—3 非线性元件特性不同对载漏的影响.....	(184)
5—2—4 非线性元件特性不同所产生的信号漏.....	(189)
第三节 有源晶体三极管调幅器	(190)
本章小结.....	(195)
思考题与习题.....	(196)
第六章 载频供给系统	(201)
第一节 载供系统的构成与技术指标	(201)
6—1—1 载供系统的构成.....	(201)
6—1—2 载供系统的技术要求.....	(207)
第二节 主振器	(213)
6—2—1 石英晶体谐振器及其特性.....	(215)

6—2—2 晶振级电路分析·····	(219)
第三节 谐波发生器 ·····	(227)
6—3—1 磁饱和线圈谐波发生器·····	(228)
6—3—2 阶跃恢复二极管谐波发生器·····	(237)
第四节 锁相技术 ·····	(245)
6—4—1 锁相环路的基本特性及其应用·····	(246)
6—4—2 锁相环的基本原理·····	(249)
6—4—3 锁相环载频供给·····	(268)
6—4—4 单片集成锁相环路·····	(275)
本章小结 ·····	(278)
习题 ·····	(281)
第七章 可变均衡器 ·····	(284)
第一节 变阻型无源可变均衡器 ·····	(284)
7—1—1 第Ⅰ类可变均衡器·····	(286)
7—1—2 第Ⅱ类可变均衡器·····	(299)
第二节 有源可变均衡器 ·····	(317)
7—2—1 概述·····	(317)
7—2—2 有源可变均衡器的基本原理·····	(318)
7—2—3 网络函数 $H(S)$ 的实现·····	(324)
本章小结 ·····	(327)
思考题与习题 ·····	(327)
第八章 自动电平调节系统 ·····	(329)
第一节 引起传输电平变化的主要因素 ·····	(329)
8—1—1 对称电缆·····	(329)
8—1—2 同轴电缆·····	(332)
8—1—3 架空明线·····	(334)
第二节 自动电平调节系统的构成与分类 ·····	(336)
8—2—1 地温调节系统的构成和工作原理·····	(336)
8—2—2 导频调节系统的构成和工作原理·····	(337)

8—2—3 导频调节系统的分类·····	(339)
8—2—4 线路导频和群导频调节系统·····	(341)
第三节 ZL3型载波设备的线路导频调节系统·····	(343)
8—3—1 三导频的必要性和三调系统的构成·····	(343)
8—3—2 平调系统电路分析·····	(348)
第四节 其它类型的导频调节系统·····	(363)
8—4—1 明线和同轴电缆载波通信导频调节系统 的特点·····	(363)
8—4—2 其它类型的控制器·····	(366)
第五节 自动电平调节系统的时域分析·····	(373)
8—5—1 调节系统的静态特性及其分析方法·····	(373)
8—5—2 各部件、元件的传递系数 γ ·····	(374)
8—5—3 调节系统的静态误差·····	(381)
8—5—4 各部件、元件的动态特性·····	(383)
8—5—5 自动电平调节系统的动态特性·····	(392)
8—5—6 多站串接时的动态特性·····	(402)
第六节 自动电平调节系统的技术要求·····	(407)
8—6—1 静态特性的要求·····	(407)
8—6—2 动态特性的要求·····	(408)
8—6—3 其它要求·····	(409)
本章小结·····	(411)
思考题与习题·····	(411)
第九章 电信网·····	(415)
第一节 电信网概述·····	(415)
9—1—1 基本概念·····	(416)
9—1—2 等级制网·····	(418)
9—1—3 ATT和CCITT等级制网·····	(420)
9—1—4 我国的四级汇接辐射制网·····	(422)
9—1—5 国际网对国内网的制约·····	(428)

第二节 市话网.....	(428)
9—2—1 概述.....	(428)
9—2—2 用户环路.....	(430)
9—2—3 服务区的形状.....	(438)
9—2—4 交换局的配置.....	(441)
第三节 长途电信网.....	(444)
9—3—1 概述.....	(444)
9—3—2 设计课题.....	(445)
9—3—3 链路的限制.....	(445)
9—3—4 国际网.....	(447)
9—3—5 局站设置.....	(447)
9—3—6 网的设计步骤.....	(449)
第四节 电话编号的概念.....	(451)
第五节 长途电话的传输规划.....	(457)
9—5—1 传输衰减规划.....	(457)
9—5—2 我国长途电信网的衰减分配方案.....	(462)
本章小结.....	(463)
思考题.....	(464)
第十章 载波通路中的杂音及发送电平预料	(466)
第一节 通路中杂音的衡量和杂音定额.....	(466)
10—1—1 杂音的影响和分类.....	(466)
10—1—2 杂音的衡量.....	(469)
10—1—3 载波通信系统的模拟电路和杂音定额.....	(472)
10—1—4 信号对杂音防卫度的要求.....	(478)
第二节 明线载波通路的外线杂音.....	(479)
第三节 固有杂音.....	(484)
10—3—1 电阻热杂音.....	(484)
10—3—2 晶体管杂音.....	(486)
10—3—3 杂音系数.....	(488)

10—3—4 热杂音的积累·····	(494)
第四节 非线性杂音·····	(496)
10—4—1 单个放大器非线性产物的计算·····	(497)
10—4—2 非线性杂音的累积·····	(510)
第五节 线性串音·····	(514)
10—5—1 串音的原因与分类·····	(514)
10—5—2 串音的衡量与累积·····	(516)
10—5—3 减少串音的措施·····	(519)
第六节 发送电平的预斜·····	(521)
10—6—1 电平预斜的作用·····	(521)
10—6—2 常用的预斜类型·····	(522)
10—6—3 预斜实例·····	(524)
本章小结·····	(526)
习题·····	(528)

第一章

频分制多路复用原理及系统构成

载波通信系统实质上是指有线传输的频分制多路模拟通信系统。尽管现代信息科学、计算机通信、数字通信、光纤通信取得了飞跃的进展，但目前载波通信仍是长距离通信中应用最广泛的一种通信方式，而且也是组成未来的计算机、数字通信网的干线基础。随着电信技术的发展，载波通信的内容更为丰富，它不仅传输电话、电报、传真、广播，而且也可传输电视和数据。由于载波通信信号在形式上的多样性，对其通路的传输质量也提出更高的要求。目前电子器件与大规模集成电路的发展，也促进载波设备的集成化与小型化。新兴的近代通信方式繁多，如卫星通信、海缆通信、光纤通信等，它们如何与原有的有线、无线通信系统联接，组成一个经济有效的通信网，这些都是载波通信需要研究的课题。从这几方面来看，载波通信系统仍然需要不断地完善与发展。

本章的主要内容是介绍各种通信信号的基本特点、载波通信的基本原理、载波通信系统的频谱安排与构成等。

第一节 概 述

通信的目的是为了交换信息，而信息的形式可以是语声、图象或是数字。一般通信系统的构成可概括地用图 1—1 来表示。

框图中的信源是指信息的来源，按信息的特点可分为：可闻信息与可视信息，这些信息都是非电信号，要转换为电信号，就要一种变换器，它就称为输入设备。物理信号经输入设备转换成的电信号可能是模拟信号，也可能是数字信号。例如发话器（话筒）将语

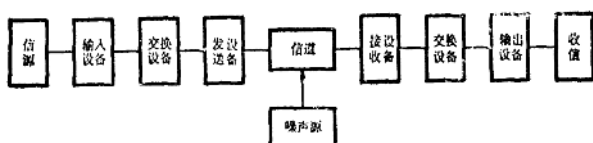


图 1—1 一般通信系统的构成图

音变成声频电流，它就是随时间连续变化的模拟信号。又如电传打字机将文字符号变成直流脉冲，形成离散的数字信号。

交换设备是沟通输入（输出）设备与发送（接收）设备的接续装置。它可以经济地使用发（收）信设备，提高它们的利用率。

发送设备的任务是将各种信息的电信号（基带信号）经过处理（如调制、放大、滤波等）使之满足信道传输的要求，并能经济有效地利用信道。

信道是传输信息的媒介，它又分为有线与无线两种。为了充分利用传输信道，就必须实现信道的多路复用传输。多路复用的任务主要是由发（收）信设备来完成，因此发（收）信设备实质上是多路复用设备。多路复用技术是现代通信的重要手段，目前可分为频分多路复用制（FDM）和时分多路复用制（TDM），载波机属于频分多路复用设备。

噪声源集中代表了信号在通信系统传输中所受到的噪声和干扰，它们有的来源于系统设备的内部，如固有噪声和非线性噪声，有的来源于外界，如雷、电、磁暴干扰和工业、电台干扰等。

信号在传输过程中不仅受到上述的干扰，同时受到传输线路的衰减。为了补偿线路的衰减，在线路中间还要设置若干增音机或再生器。

接收设备和输出设备的作用与发送设备和输入设备作用相反，它们是接收线路传输的信息，并将它恢复为原始信息形式，完成通信。

如上分析，载波通信系统只是一种具体的通信方式，其组成如

图 1—2 所示。目前，载波通信系统传输的大量信息是话音信号，因此用电话信号传输的过程来描述其构成。图 1—2 中的用户是表示用户话机，它代表着信源与换能的输入设备。在市内电话局中有市话交换机，它是接通电话用户的交换接续设备。市话交换机又分为人工与自动接续两种，目前我国大部分城市采用自动接续。在长途电信局内主要有两种机器，一种是长途电话交换设备，另一种是载波电话机（以后简称载波机）。长途电话交换设备是用来接通市话与长途载波电路的设备，它又可分为人工、半自动、全自动三种接续方式。我国目前多用人工与半自动接续，只在大城市内的个别专线有用全自动接续。载波机相当于通信系统中的发送与接收设备，它的作用是将话音信号频率变换成适合线路传输的频率，再将线路传输的高频信号还原成话音。载波机常根据传输话路数与传输线路的种类来命名。

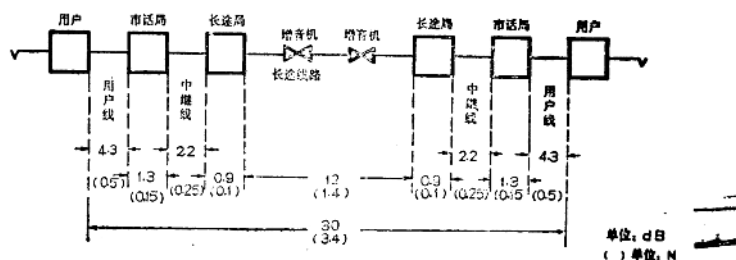


图 1—2 载波通信系统的构成

长途线路是传输信息的媒介，在当前有线传输系统中，主要是指明线、对称电缆及同轴电缆。此外还有光纤，它具有广阔的发展前途。增音机的作用是补偿信号在前一段线路上传输时所受的损失。增音机的数量与通信距离的远近、载波机的路数多少有关，两地通信距离越长，载波机路数越多，需要的增音机越多。增音机又分有人维护增音机与无人维护增音机。

按照课程内容的划分，本课程只讲述载波通信的基本原理、载

波机（包括增音机）的构成原理、以及载波通路（两地载波机及其间的传输途径）的传输质量问题。

第二节 通信信号的类型与特点

载波通信所用的频率范围与其传输线路能利用的频率范围有密切的关系。而传输线可用的频率范围多依据传输线本身的衰减频率特性与阻抗频率特性而定。一般传输线多用其衰减值较小、阻抗特性变化不大的频段。如架空明线多用甚低频（*VLF*） $6\sim 30\text{kHz}$ 至低频（*LF*） $30\sim 300\text{kHz}$ ，对称电缆用在低频（*LF*） $10\sim 300\text{kHz}$ 以内，同轴电缆目前只用在高频（*HF*） $0.3\sim 30\text{MHz}$ 和甚高频（*VHF*） $30\sim 300\text{MHz}$ 之间的 $0.3\sim 60\text{MHz}$ 频段内。光通信用在 $10^{13}\sim 10^{15}\text{Hz}$ 之间。发信设备的任务在于将各种信息的原始电信号搬移到适合各种线路传输的频段上去。

载波通信可传输的原始信息有多种类型，如电话信号、广播信号、电报和数据信号、传真信号和电视信号等，此外还有混合类型的信号，例如电视电话等。虽然信息的类型可以有多种，但电话信号是当前载波通信的主要对象。所以本课程仍以电话信号的传输为主要内容。

通信技术的基本任务就是将各种各样的原始信号尽可能无失真地传送给收信者，因此，我们首先应该对通信的各种原始信号的特点有所了解。

1-2-1 电话信号

电话信号是人的语声通过换能器（话筒）产生的。因此，电话信号的特点显然是同语声的特性分不开的。为此，我们对语声的基本特性作一些讨论。

1. 语声的性质和频谱

根据语言学的研究，人的语声可以分成元音和辅音两大类，辅

音又有浊辅音和清辅音之分。由频谱分析表明，所有元音都具有离散频谱，它由基频及其谐频组成，如图 1—3 所示。其中基频 f_0 反映音调的高低。在频谱包络中存在着若干个共振峰 $F_1, F_2, \dots$ 等。前两个或三个共振峰对辨别语声的意义特别重要，基频本身却影响不大。

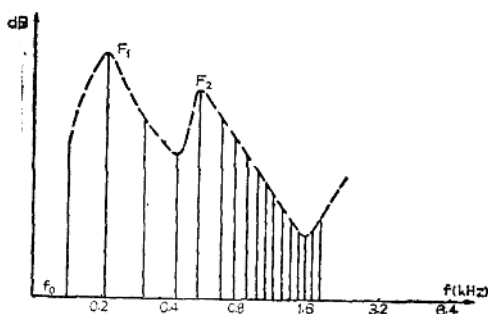


图 1—3 元音频谱举例

清辅音的频谱是连续的，且含有噪声成份，而浊辅音则可同时分析出两种不同的频谱。

图 1—4 为汉语理想化的平均频谱曲线。由曲线可见，能量主要分布在：男声在 $250\text{Hz} \sim 500\text{Hz}$ 之间，女声在 $300 \sim 600\text{Hz}$ 之间。频率高于 $6 \sim 7\text{kHz}$ 时，相对于能量集中的频段来说，其能量已衰落数十分贝，因此通常将 7000Hz 作为语声频率的一个界限。

此外，人耳所感受的声音是有限的，通常可闻声在 $60 \sim 20000\text{Hz}$ 之间。至于电话信号的频带究竟应取多宽，这又与清晰度、可懂度和自然度等因素有关。

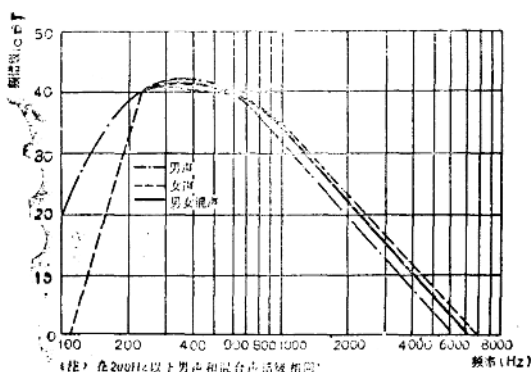


图 1—4 标准汉语平均频谱

2. 评定语声质量的三要素

语声质量的好坏程度是由人的听觉来判断的。因此就有必要了解如何通过清晰度、可懂度、自然度等概念来评定语声质量。

所谓清晰度，就是在发信端发出一定数量的无意义音节，在收信端由几个收听者记录这些音节，其中正确接收的音节对发信端所发音节总和的百分比，称为清晰度。语声通过清晰度来评定质量，是一种相当客观的方法。如果发信端发出的是单词或句子，则统计能正确理解原意的单词或句子所占的百分比，就称为单词或句子的可懂度。显然，一般单词都是音节有规律的组合，句子的规律更加明显，因而它们可懂度就比音节清晰度来得高。比如音节清晰度达到60%~70%，单词可懂度可达70~80%，句子可懂度则可达95%。

除清晰度与可懂度外，还有自然度。自然度是指经过信号变换、传输以后恢复的语声与原来的语声听起来相似的程度。显然，这很难用数值来表示，只能用好、比较好、较差等来说明。在自然度与清晰度之间也没有固定的关系。在有些电话系统中，清晰度可