

电力载波通信

南京电力专科学校 秦国屏 主编

水利电力出版社

内 容 提 要

本书根据水利电力部中等专业学校电力系统通信专业电力载波通信教学大纲编写的。主要内容包括电力载波通信的基本原理、差接网络、调制器和解调器、限幅器、压缩和扩张器、自动电平调节系统、载波供给系统、监测系统、呼叫系统、电源系统、电力线载波机、微波用载波机、明线及电缆载波机以及电力载波通信的质量指标，全书共分十四章。

本书为中等专业学校电力系统通信专业的教材，也可供从事有关专业的人员自学和参考。

中等专业学校教材

电 力 载 波 通 信

南京电力专科学校 秦国屏 主编

*

水利电力出版社出版

(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行，各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 22.25印张 507千字

1988年11月第一版 1988年11月北京第一次印刷

印数0001—8190册 定价3.95元

ISBN 7-120-00414-X/TN·9

前 言

《电力载波通信》是根据水利电力部中等专业学校电力系统通信专业电力载波通信课程的教学大纲编写的，送审稿已在部内通信专业的各校试用过。

本书内容分电力系统载波通信原理、载波设备部件的电路原理、电力系统常用载波设备的介绍和载波通路质量指标等几部分。在载波通信原理和部件电路原理部分，以电力线载波为主，兼顾电缆载波和微波用载波设备。在介绍电力系统常用载波设备和载波通路质量指标部分，虽以电力线载波为主，但对其他设备按各自的特点作了较详细的介绍，并对各项指标的测试方法作了说明。

全书共十四章。第一章至第七章和第十一、十四章由南京电力专科学校秦国屏同志编写，第八章至第十三章由沈阳电力专科学校张典谟同志编写。本书由秦国屏同志任主编。

本书由华北电力学院杨维娜老师主审，对全书提出了宝贵建议，并纠正了书中的差错。在编写过程中得到了南京有线电厂、扬州电讯仪器厂的支持，在此一并致谢。

由于编者水平有限，书中难免有不妥之处，恳请读者批评指正。

编 者

1987.11

目 录

前 言	
绪 论	1
第一章 电力载波通信的基本原理	4
第一节 音频长途通信	4
第二节 载波通信	9
第三节 电力线载波通信	30
第四节 电力载波通信的其他通信方式	43
第二章 差接网络	46
第一节 电阻差接网络	46
第二节 变压器差接网络	50
第三节 对端衰减及平衡衰减	56
第四节 低阻汇接网络	61
第三章 调制器和解调器	64
第一节 调幅器	64
第二节 检波器	66
第三节 环形调制器	70
第四节 晶体管平衡调制器	79
第五节 同步检波电路	91
第四章 限幅器	94
第一节 二极管限幅器	94
第二节 差分限幅器	99
第五章 压缩和扩张器	101
第一节 压缩器、扩张器的作用	101
第二节 电路原理及分析	108
第三节 失真和测试	119
第六章 自动电平调节系统	122
第一节 作用和组成	122
第二节 静态和动态特性	126
第三节 电力线载波的自动电平调节电路	133
第四节 通信线载波的自动电平调节电路	144
第七章 载波供给系统	157
第一节 载供系统的组成	157
第二节 直接合成的电路	162
第三节 采用锁相的电路	169

第八章 监测系统179

第一节 基群导频监测系统的作用和要求179

第二节 基导信号的发送180

第三节 基导信号的接收184

第九章 呼叫系统196

第一节 概述196

第二节 幅度键控呼叫系统199

第三节 频率键控呼叫系统206

第十章 电源系统210

第一节 电源系统的要求和供电方式210

第二节 ZW60/120微波用载波设备电源系统213

第三节 ZDD-12型电力线载波设备电源系统221

第十一章 电力线载波机230

第一节 ZDD-12型电力载波系列机230

第二节 ZJ-5型电力载波系列机247

第三节 整机体制介绍252

第十二章 微波用载波机267

第一节 概述267

第二节 载波终端机270

第三节 12路分路机287

第十三章 明线及电缆载波机302

第一节 BZ-12型明线12路载波机309

第二节 BZ-12型电缆12路载波机315

第十四章 载波通路传输质量指标332

第一节 传输电平及净衰减332

第二节 净衰减频率特性335

第三节 通路稳定度337

第四节 振幅特性339

第五节 相位失真及群时延特性342

第六节 通路的杂音343

第七节 通路的串音346

第八节 载频同步349

第九节 振铃边际350

绪 论

一、通信的概念

通信在人们生活中是经常遇到的。人们在日常活动中,不可避免地要相互交换信息,为此必须相互传递信息,这就是通信。传递信息的方式很多,可以利用来往书信传递信息,也可以采用其他多种多样的方式达到传递信息这一目的。

在现代传递信息的方式中,以用电或电子的方法传递信息最广泛。这是因为电气通信,可以使信息长距离、迅速、可靠地传递。因此,现代通信实际上就是指电气通信,即电信。在这个意义上,通信和电信已成为同义词。

通信所需传递的信息有各种不同的形式,如语言、文字、图象、数据等。为了利用电气的方法,将信息从一地传递到另一地,必须首先将信息转换成电信号,即原始信号。然后,将原始电信号经过某种变换,成为适合于信道中传输的电信号。信道是传输电信号的媒质,通过信道完成电信号,由一地向另一地的传输,从而完成信息的传递。实现上述通信的过程是对任何一个通信系统的概括,所以通信系统可用图0-1的框图来表示。图中,信息源将所需传递的信息转换成原始电信号,发信设备是将原始电信号进行变换,以适合信道的传输。信道可以利用导线,也可以利用电磁波辐射传输信号。在整个传输过程中必然会受到各种噪声的干扰,这里用一个噪声源加以集中表示。受信设备将接收到的信号进行相应的反变换,恢复出原始电信号。而受信者经过反转换,从原始电信号中获得所需传递的信息。通过图0-1的介绍,使我们对通信系统有一个完整的概念。

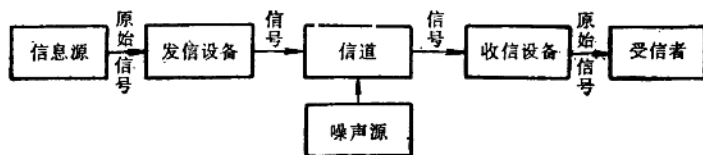


图 0-1 通信系统的模型

二、电力系统的通信

电力工业的任务是经济、安全地生产和输送电能,供给工业、农业和其他用户。为了达到经济、安全地将电能从发电厂输送到负荷中心,往往将很多发电厂、用户通过电力线互相连接起来,成为一个区域性的电力系统。

电力系统运行的特点是发电、供电和用电在瞬间同时完成。为确保这一系统的正常运行,应设有生产调度、继电保护、远动和计算机系统,那就需要通信网来提供传送电话、继电保护及远动等信号的通道。公用通信网在线路路由、设站点、通道数量、质量和功能等

诸方面，都难于满足电力系统的要求，如电力通信线路一般经由各级调度、变电站和电厂等，而邮电线路一般经由城镇，两者路由不全一致。在对通道的可靠性方面，公用通信网亦难完全满足要求。因此，电力系统应设有自建的专用通信网。

三、电力系统采用的通信方式

通信按传递信息的信道不同，可分为有线通信和无线通信两大类。有线通信是利用导线来传递信息的通信方式。根据传递信息的导线结构不同，有线通信又分明线通信、电缆通信、电力线载波通信和光纤通信等多种具体的通信方式。

(1) 明线通信。采用架空明线来传递电信号，称为明线通信。这种通信方式容易因自然灾害，而影响通信。

(2) 电缆通信。采用埋设在地下的电缆来传递电信号，称为电缆通信。这种通信方式可以减小外界对通信的影响。

(3) 电力线载波通信。利用传输电能的高压电力线路来传递高频电信号，称为电力线载波通信。这种通信方式是根据电力系统的特有条件发展而成，具有良好的经济性和可靠性。

(4) 光纤通信。采用光导纤维传输光信号来实现电信号的传递，称为光纤通信。光导纤维是特制的玻璃细线，光信号在其内部传输，从而实现通信。这种通信方式的特点是传输信号不受外界电磁场的影响，因此可将光纤直接复合在电力线的绞线中，带来很多方便。光纤通信在电力系统中的应用有广阔的前景。

无线通信是利用电磁波在空间辐射来传递信息的通信方式。根据用来传递信息的电磁波的一些特征，如波长和传播特点，又可分为短波通信、超短波（特高频）通信、微波中继通信、散射通信、卫星通信等通信方式。短波通信在电力系统中，一般不采用。

(1) 超短波通信。超短波是指频率为 $30\sim 300\text{MHz}$ 、波长为 $1\sim 10\text{m}$ 的无线电波段。利用这一波段的无线电波来实现无线通信，通信距离约为几十公里。要延长通信距离必须在中间设置中继站。通信的容量亦不大。

(2) 微波中继通信。微波是指频率为 300MHz 至 300GHz 、波长为 1m 至 1mm 的无线电波段。在这一波段中，无线电波传播的特点是仅能在视距范围内作直线传播。传播距离约为 $40\sim 60\text{km}$ 。长距离通信必须采用中继站，故又称微波中继通信。它的通信容量大，传输稳定、可靠。

(3) 散射通信。散射通信是利用大气对流层对无线电波散射后的前向分量，来实现电信号传输。这种通信方式不用中继站，通信距离就达几百公里。但其要求发射功率很大。

(4) 卫星通信。利用人造地球卫星作为中继站，来实现微波远距离通信的一种通信方式，它是远距离通信中最有发展前途的。

在电力系统通信网中，上述各种通信方式几乎都因地制宜地被采用。微波中继通信由于其通信容量大，适宜于在通信网中作干线。超短波通信适用于移动通信和通信容量不大的支线。对于多山地区不宜发展微波中继通信，而常采用散射通信。明线通信只用在短距

离通信的场合，而电力线载波通信在电力系统中应用最广泛。为提高电力系统通信网的可靠性，实际上有线通信和无线通信这两种通信方式在构成通信网时，几乎都被平行地采用，互为备用。

四、电力线载波通信

在电力系统中为输送电能架设了大量的电力线路，利用电力线来实现载波通信是电力系统中特有的通信方式。由于电力线的导线截面大、传输衰耗小、杆塔坚固、绝缘良好、受外界影响较小，所以在采用了可靠的电力线载波设备后，基本上只有电力线路上的缺陷，才会引起通信故障。尤其是目前对电力线高频通道研究的进展，使电力线载波通信和电缆通信已具有相同的可靠性。同时，采用这种通信方式，不必单独架设线路和维护线路，这就不但设备投资和运行费用经济，而且还可缩短基建时间。因此，电力线载波通信是电力系统中的主要通信方式之一。

另外，利用电力线路现已进一步在电力线的分裂导线之间，以及电力线路的架空避雷线上，或者在其中复合通信电缆来实现载波通信，这又为电力线载波通信提供了广阔的途径。

第一章 电力载波通信的基本原理

电力系统的专用通信网, 根据可靠和经济等因素, 均采用多种通信方式来构成。通信网中将大量地使用电力线载波、通信线载波和微波通信方式。无论是电力线载波通信还是微波(模拟)通信, 都应用载波的原理。所以, 本章在先介绍有关有线通信的概念之后, 再介绍通信线载波通信的原理和设备原理方框图, 最后介绍电力线载波通信的原理和设备原理方框图, 以便对电力系统专用通信网中, 所应用的各种载波通信方式有个全面的了解。

第一节 音频长途通信

电力系统的专用通信网主要用来传送电话和数据信号, 为电力系统管理和控制服务。它们包括语言的模拟信号和电报、遥测、遥控、远方保护、数据等模拟或数字信号。这些信号各有特点, 在介绍通信原理之前, 瞭解各种通信信号是极有必要的。

一、通信信号

1. 电话信号

电话信号是由人的语言声音转换而成的, 亦称为话音信号。语声从人的声带振动, 经过声道作用而产生, 其波形是不易表示的。人们所发出的语声从其频谱来看是非常宽广, 理论上可为零至无穷大。但它的能量主要集中在 $250\sim 600\text{Hz}$ 之间, 而在高频部分从 $800\sim 1000\text{Hz}$ 以上频谱, 按频率增高一倍频程能量下降 12dB 的规律下降, 频率高于 $6\sim 7\text{kHz}$ 以上能量已很微弱。

人们的听觉器官感受声音的能力是有限的。通常只能听到 $16\sim 2000\text{Hz}$ 之间的可闻声, 其中对 $800\sim 1000\text{Hz}$ 左右的声音感觉最为灵敏。根据上述产生语声的频带和听觉所能达到的频带来选择, 电话信号的频带应为 $200\sim 7000\text{Hz}$ 之间。

对电话通信质量起重要作用的是清晰度。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和发信端发出音节数的百分比, 称为清晰度。实验证明, 只要清晰度达到 70% 以上, 就可以听懂对方的讲话。根据电话通信的质量来选择电话信号的频带, 若频带取得太宽通信质量虽高, 但对通信设备要求过高, 这是不经济的。实验证明, 如果去掉电话信号的 500Hz 以下的成分, 清晰度仅降低 5% , 而去掉 3000Hz 以上的成分, 对清晰度几乎无影响。综合上述因素考虑, 目前国际和国内都选用三种电话信号频带: 宽频带是 $300\sim 3400\text{Hz}$; 一般频带是 $300\sim 2600\text{Hz}$ (或 $300\sim 2400\text{Hz}$)和窄频带是 $300\sim 2000\text{Hz}$ 。

2. 远动信号

远动信号包括电力系统中远方监控所需传输的遥测、遥信信号。它们均为离散性的脉

冲序列，一般是二进制的数字信号，其波形如图1-1-1(a)所示。单元信号只有1.0二个状态，单元信号所占的时间为 t_0 ，数字信号在每秒钟内所包含的信号单元的个数，即每秒传送信号单元的个数称数字信号的信号速率，单位为波特(Bd)。则信号速率

$$R_B = \frac{1}{t_0}$$

图1-1-1(a)所示的二进制数字信号的信号速率 $R_B = 1/20 \times 10^{-3} = 50\text{Bd}$ 。

在实际应用时，亦常有N进制的数字信号。图1-1-1(b)所示的是四进制的数字信号，它每秒钟内所包含的信号单元数，即信号速率仍为50Bd。但每个信号单元具有四个不同状态，每个信号单元可代表两个二进制信号单元。通常将数字信号等效于二进制的信号速率称为数字信号的信息速率，它反映了每秒内传送的信息量，单位为比特/秒(b/s)。则信息速率

$$R_b = R_B \log_2 N$$

显然，对于二进制数字信号的信息速率等于信号速率，如图1-1-1(a)中的数字信号的信息速率为50b/s；对于图1-1-1(b)中四进制的数字信号的信息速率应为100b/s。

从传输数字信号的角度，了解信号应占用的频带宽度很重要。对于图1-1-1(a)所示的数字信号，只有当单元信号0、1两种状态交替出现时，其基波频率达到最高，为25Hz。而当出现全部是0或全部是1时，其基波频率均达最低，为0Hz。同样，对于图1-1-1(b)所示的数字信号，虽有四种状态，但很显然可能出现的最高和最低基波频率仍为25Hz和0Hz。若考虑其一定数量的谐波成分，便可确定其占用频带，如考虑到3~4次，占用频带约为0~(75~100)Hz。所以，数字信号的占用频带宽度仅与信号速率有关。同时也能看出，在相同的频带宽度采用不同进制的数字信号，可以提高信息速率、增大信道容量。

远动信号这样的脉冲序列，为在载波通路中传输，必须调制到音频频带内的某一音频信号上才行，通常采用调频制的频率键控。根据国际推荐不同速率的调频制远动音频脉冲信号，占用频带如表1-1-1所示。表中所指的占用频带宽度是实际传输信号的频带宽度。由于传输要求不同，同一信号速率在传输时可选取不同的带宽。

3. 远方保护信号

远方保护的信号通常利用电力线载波来传输。无论哪种型式的远方保护，它的信号在

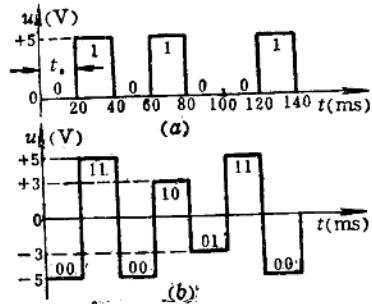


图 1-1-1 二进制和四进制信号波形图
(a)二进制信号；(b)四进制信号

表 1-1-1 调频制远动音频脉冲信号占用带宽

信号速率 $R_B(\text{Bd})$	50	100	200	200	600	600
占用带宽 $B(\text{Hz})$	80	160	240	320	750*	900

* 我国提出。

送入载波通路时，均是已调制的音频脉冲。调制的方式有调幅制和调频制两种，如采用调频制的远方保护信号，其占用带宽可参照表1-1-1。

二、电话通信的基本原理

电力系统的专用通信网中，传送的信号有各种形式，但目前主要是电话信号。这里以传送电话信号为主进行介绍。

有线电话通信的基本原理接线如图1-1-2(a)所示。它是由某地的送话器、变量器B经过通信线路与另一地的受话器连接而成。其中送话器和受话器的构造原理图，分别画在图1-1-2(b)、(c)中。

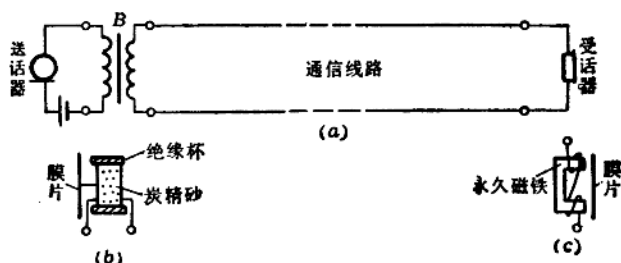


图 1-1-2 电话通信原理
(a)原理接线；(b)送话器；(c)受话器

当发话者在送话器前讲话时，讲话的语言声波迫使送话器的膜片发生相应的振动，因此改变了绝缘杯中炭精砂所受到的压力，使送话器的内阻随语音压力的大小而变化。于是在送话器回路中产生脉动电流。脉动电流中的交变成分是随语音而变化的成分，称之为语音电流，即语音信号，它由变量器B感应到线路上，通过通信线路流到对方的受话器中去。在受话器内由语音电流所产生的交变磁通，使受话器的铁质膜片发生相应的振动，膜片振动又引起周围空气的振动，产生了声波，作用在受话者的耳膜上，便听到了发话者的语音，实现了单向电话通信。

由上所述可以看出，有线电话通信的基本原理是送话器将语音转换为语音电流，语音电流沿通信线路传送到对方，然后受话器再将语音电流复原为语音。

图1-1-3是双向电话通信的原理电路。当发话者在A地送话器讲话时，在送话器电路

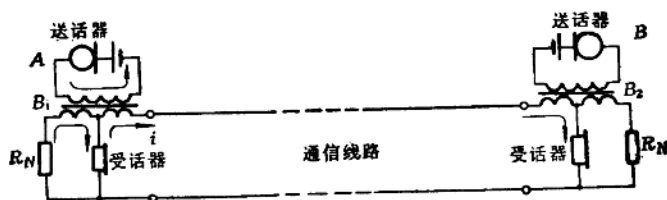


图 1-1-3 实际电话通信原理

中将产生话音电流，经变量器 B_1 感应到次级，电流方向如图1-1-3中所示。如果没有平衡电阻 R_N ，感应的语音电流将经本侧受话器，而发话者将在受话器中听到自己的讲话声音，这称为侧音。只要适当地选择平衡电阻 R_N 的数值，可以使本地受话器中的两个电流分量相互抵消。在自己的受话器里，听不到自己讲话的声音，达到消除侧音的目的。变量器次级感应的语音电流通过通信线路，流入对方 B 地的受话器中，使 B 地听到了发话者的讲话。同样，对方 B 地在发话时，也能传送过来。这就是实际使用的有线电话通信原理。

三、音频直达通信

图1-1-3中，实际上画出了两台电话机，分别装在地，中间用通信线路连接起来，亦可用图1-1-4表示。这就是最单的有线通信，称为音频通信。

现在所用的电话机，一般发出的语音电流功率 P_t 为1 mW时，能正常通话的接收功率 P_r ，约需1 μ W。在这种情况下要保证良好地通信，通信线路能允许的最大衰耗是有限止的，其值约为

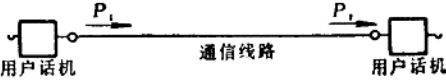


图 1-1-4 音频电话通信

$$b_{\max} = 10 \log \frac{P_t}{P_r} = 10 \log \frac{10^{-3}}{10^{-6}} = 30 \text{ dB}$$

所以一般来说，两个用户话机之间的线路衰耗，对于频率为800Hz的最大值不应超过30dB（3.45Np）。实际上，通信电路的用户话机之间，除通信线路衰耗以外，还因经过交换设备、中继线路、用户线路等环节亦有衰耗，其衰耗应作一定的分配。按邮电部邮电技术基础标准YDG08-64规定，如图1-1-5所示。因此，允许通信线路的衰耗仅为12dB（1.4Np）。

表 1-1-2 各种通信线路的最大通信距离

线路种类	导线材料	线 径 (mm)	衰 耗 常 数 (dB/km)	最大通信距离 (km)
架空明线 (线距200mm)	硬铜线	2.5	0.0504	240
		3.0	0.0367	330
		4.0	0.0224	640
	镀锌铁线	2.5	0.193	63
		3.0	0.168	72
		4.0	0.141	86
电缆对绞	铜	0.4	1.64	7
		0.5	1.33	9
		0.6	0.972	12
		0.7	0.834	14
电缆星绞	铜	0.8	0.669	18
		0.9	0.582	20
		1.0	0.530	22
		1.2	0.434	28
		1.4	0.365	33

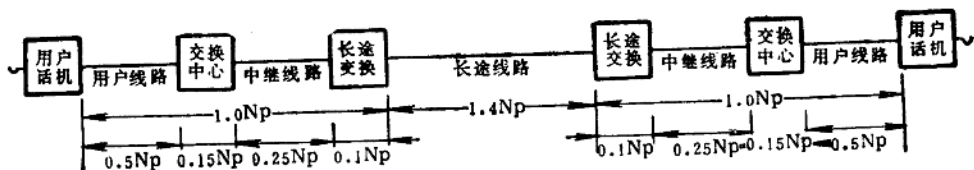


图 1-1-5 用户话机间的衰耗分配

注：图中具体的衰耗分配标出供参考，单位沿用Np。

如已知各种线路的衰耗常数，可分别算出其最大通信距离，列在表1-1-2内。由表1-1-2可见加粗导线的线径可以增加通信距离。电缆的线径较细，最大通信距离很短。由表中看出即使线径4mm、线距为200mm的架空明线，其最大通信距离亦只有500km左右。因此，音频直达电话通信的通信距离是有限的。

四、二线制音频长途通信

为了延长通信距离，可以在通信线路中间加接放大器，但一般电子放大器只能单方向放大信号，而电话通信的话音电流信号总是双方向传输的，因此只有用两只放大器按相反方向连接，才能实现双向放大。

如图1-1-6所示，简单地将两只放大器和通信线路直接连接，在两只放大器的环路里，将构成一个正反馈电路。上面放大器放大的信号，将直接加到下面的那只放大器的输入端，而下面的放大器放大后的信号也将直接加到上面放大器的输入端。那末在两只放大器所构成的环路中，增益很大，电路产生振荡，话机受话器中发出叫声，使通信无法正常运行，这种现象称为振鸣。

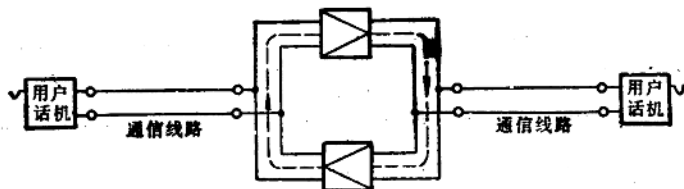


图 1-1-6 不正确双向放大通信电路

为了消除振鸣，在两只放大器和通信线路连接处，均插入一个差接系统如图1-1-7(a)所示。图中差接系统的传输特性是对面的两对端子间具有很大的衰耗，而相邻的两对端子间的衰耗较小，如图1-1-7(b)所示。从图1-1-7(a)中可见，插入差接系统后，使两只放大器所构成的环路中，增加了很大的衰耗，消除了振鸣；对双向传输的话音信号分别得到了放大，达到了延长通信距离的目的。图1-1-7(a)的虚线框内，实质上就是一台音频增音机的原理方框图。

由上可见，只要在通信线路中间均匀地接入音频增音机，就可延长通信距离。这种通信方式由于仅采用一对通信线路实现的音频通信，故称二线制音频通信。采用这种通信方式出现了新的问题，因为增音机的插入，增加了可能产生振鸣的正反馈途径，插入增音机愈

多, 增加的反馈途径也愈多, 产生振鸣的可能性就愈大。因此, 为了避免产生振鸣, 只能插入 6~7 台增音机, 其增益不能太大。这样二线制音频通信的最大通信距离不过 2000~3000km。

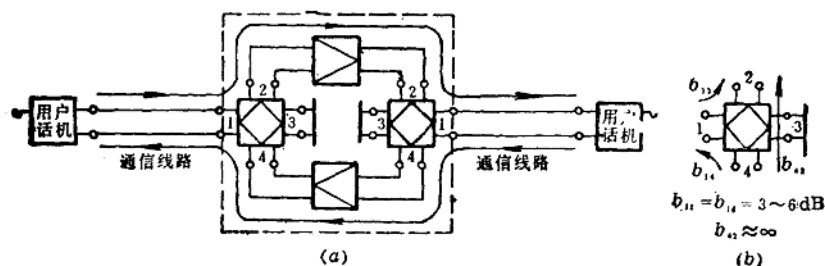


图 1-1-7 二线制音频通信
(a) 音频增音电路; (b) 差接系统的传输特性

五、四线制音频长途通信

为了避免产生振鸣而能延长通信距离, 可采用四线制, 如图 1-1-8 所示。由图中可见, 即使插入多台增音机整个通信电路只有一个可能产生振鸣的正反馈途径, 因此可插入较多的增音机, 电路较为稳定。这种通信方式要采用两对通信线路。在电缆线路中, 电缆的线径细衰耗大, 最大直达通信距离较短。为了长距离通信需要插入较多的增音机, 所以电缆线路都采用四线制。

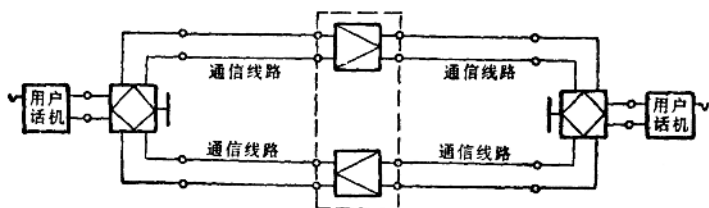


图 1-1-8 四线制音频通信

应当指出, 四线制通信的通信距离由于受延时和回音的限制, 也不可能太远。实际上, 有线长途通信的通信距离只有采用了载波通信后才能解决。

第二节 载波通信

音频通信中采用增音机可以延长通信距离。但音频通信只能在一对通信线路甚至二对通信线路上, 开通一对电话通信, 显然是不经济的。如要在一对通信线路上实现多路电话通信, 就要采用载波通信。

一、载波通信原理

在电话通信中,传送的话音信号,其频带一般为 $300 \sim 3400\text{Hz}$, 如果要用窄带仅 $300 \sim 2000\text{Hz}$, 频带宽度很窄。而一般通信线路能传送信号的频带远比此宽,这就为多路信号复用通信线路,进行多路通信提供了条件。

1. 线路传输频带

有线通信所采用的线路,主要有架空明线,对称电缆和同轴电缆三种。在电力系统通信网中还大量利用电力线来传送通信信号。

架空明线是将导线用电杆架设在空中的线路。导线有铜线和铁线两种,线径一般为 $2.5 \sim 4\text{mm}$, 见表1-1-2。图1-2-1为线径 3mm 铜线和铁线的损耗(α)和阻抗(Z_c)频率特性。由图1-2-1(a)可见,铜线的线路损耗 α 随频率增加而增大,并受气候的影响较大。铜质明线的传输频带一般为 $0 \sim 150\text{kHz}$, 特性阻抗 Z_c 为 600Ω 。由图1-2-1(b)可见,铁线的损耗比铜线大,随频率增高损耗变化亦大,一般情况下传输频带在 $0 \sim 30\text{kHz}$ 内。特性阻抗 Z_c 为 1400Ω 。

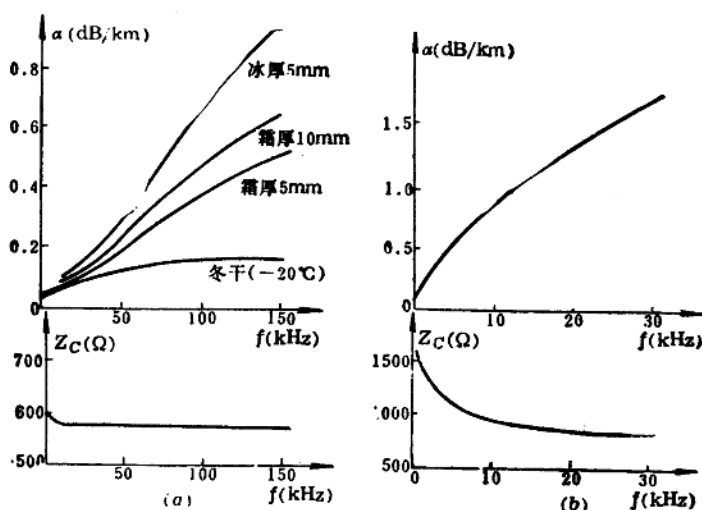


图 1-2-1 线径3mm线距20cm明线损耗、阻抗频率特性
(a)铜线; (b)铁线

对称电缆是由若干对铜导线组成的缆芯外加护层构成。如HEQ₁-252型 $4 \times 4 \times 1.2 + 2 \times 0.9$ 对称电缆,外加护层为铅护套钢带铠装,以适用于直接埋在地下。HEQ₁-252型电缆缆芯由四个线径为 1.2mm 的四线组组成,另加两根线径为 0.9mm 的信号线。对称电缆实测的损耗和阻抗频率特性如图1-2-2。由图可见,其损耗随频率增高而增大。另外,损耗还与地温有关,地温越高,损耗越大。在频率为 12kHz 以下损耗和阻抗变化很大,故一般传输频带取 12kHz 以上。特性阻抗 Z_c 为 180Ω 左右。

同轴电缆由内导体和金属圆管的外导体,按同一轴线构成的同轴管组成。同轴电缆内

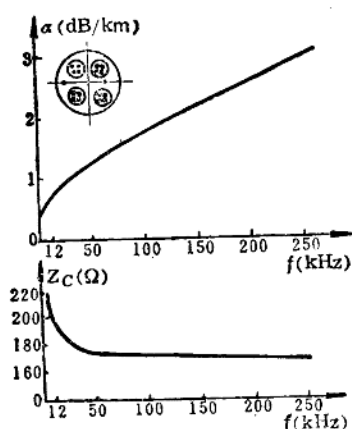


图 1-2-2 纸绝缘 $4 \times 4 \times 1.2\text{mm}$ 对称电缆衰减、阻抗频率特性

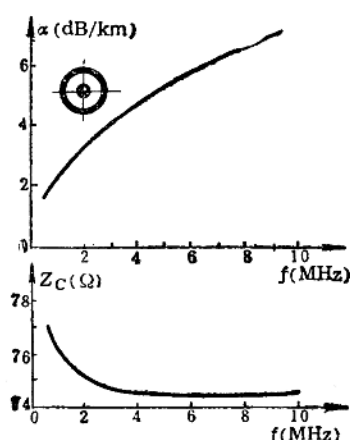


图 1-2-3 中同轴电缆衰减、阻抗频率特性

可有几根同轴管，如 4 根或 8 根。由于这种结构传输信号时，抗干扰能力特别强，传输频率很高。常用的有中同轴电缆和小同轴电缆两种，国产的标称尺寸标为“内导体线径/外导体内径”。中同轴电缆为 $2.6/9.5(\text{mm})$ ，小同轴电缆为 $1.2/4.4(\text{mm})$ 。图 1-2-3 为中同轴电缆的衰减、阻抗频率特性。同轴电缆的衰减频率特性主要按照 $\sqrt{f}$ 的规律变化。由图 1-2-3 可见，中同轴电缆的传输频带在 300kHz 以上，其特性阻抗为 75Ω 。

电力线在电力系统通信网中，大量被利用传送通信信号。电力线的传输特性与线路的电压等级、导线型号、导线在杆塔上的排列、利用的相别等均有关，但总的规律是一致的。

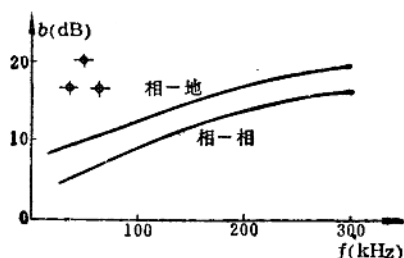


图 1-2-4 某电力线的衰减频率特性

图 1-2-4 为某 220kV 、 162.5km 、三角排列的电力线路衰减频率特性。由图可见，线路的衰减随频率增高而增大，利用相-地之间传输信号的衰减比相-相之间传输信号的衰耗大。传输信号的频率过低将受到工频电流的严重干扰，一般传输频带为 $40 \sim 500\text{kHz}$ 。

由上可见，虽各种线路的传输频带是不同，但即使是传输频带最窄的架空明线（常用的铜质架空明线的传输频带为 $0 \sim 150\text{kHz}$ ），传送一路话音信号（宽带为 $300 \sim 3400\text{Hz}$ ），尚有大量的空闲频带可被利用。

2. 多路频分复用概念

在一条通信线路上，进行一路音频电话通信，话音信号只需要占用 $300 \sim 3400\text{Hz}$ 的传输频带，尚有很宽的传输频带可以传输其他信号。为此，可以采用调制技术，将另外一路话音信号调制到频率为 f 的高频波上，使话音信号变为高频信号，它由频率 f 和 $f \pm (0.3 \sim 3.4)\text{kHz}$ 三个成分组成，占用的频带为 $f - 3.4 \sim f + 3.4\text{kHz}$ ，这就可以利用通信线路空闲频带来传输，如图 1-2-5(a) 中所示。在收信端用带通和低通滤波器将高频信号和通信线路上

同时传输的话音信号区分出来,如图1-2-5(b)所示。高频信号再经过反调制恢复成语音信号。这样就在一条通信线路上实现了两路电话通信,一路为音频通信,另一路为高频通信。从高频通信的过程来看,其中的高频波仅起到运载语音信号的作用,故此高频波称为载波,其频率称为载频,高频通信亦常称为载波通信。

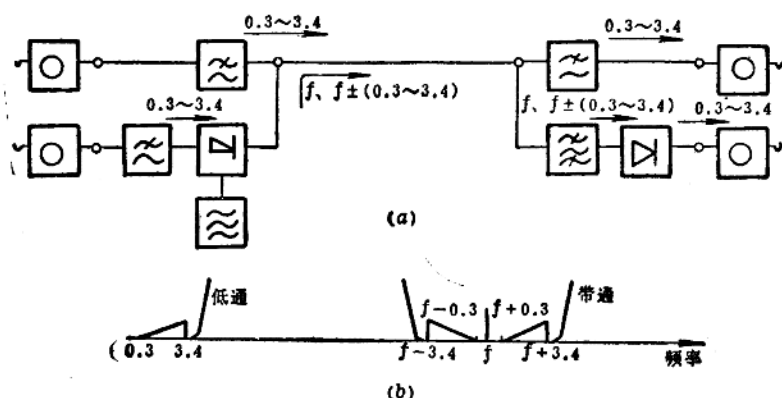


图 1-2-5 载波通信原理 (图中频率单位为kHz)
(a)单方向载波电话通信原理图; (b)频谱图

载波通信的实现,主要分三个阶段:采用调制器将信号变为高频信号;传输到对方后利用滤波器将高频信号区分出来;再用反调制器恢复为原信号。如果将多路语音信号,分别采用不同频率的载波进行调制,获得频带依次排列的各路高频信号,经同一条通信线路传输,到对方后,用滤波器来加以区分,经过反调制器恢复成各路语音信号,这样就可实现各路互不干扰的多路通信。采用这方法来进行多路通信的方案称为频率分割制,或称在通信线路上实现频率复用。

图1-2-6(a)画出了一路音频通信和一路载波通信的原理方框图。载波通信的过程是: A端的话音信号(频率为0.3~3.4kHz)经差接系统送入调制器,加入调制器的载波频率为 f_1 ,调制后输出的高频信号频率为 f_1 和 $f_1 \pm (0.3 \sim 3.4)$ kHz,经功率放大,由中心频率为 f_1 的发信带通滤波器取出已调信号,送到通信线路上去。B端由中心频率为 f_1 的收信带通滤波器,从通信线路上滤取频率为 f_1 和 $f_1 \pm (0.3 \sim 3.4)$ kHz的高频信号,经放大和反调制,恢复出A端的话音信号,由差接系统送到用户话机。同样,B端发出的语音信号以相同的方式,利用频率为 f_2 的载波,通过调制变换成频率为 f_2 和 $f_2 \pm (0.3 \sim 3.4)$ kHz的高频信号送到A端。电路里插入差接系统的目的是使图中虚线所示的回路里,增加很大的衰耗,以防止回路里反馈引起振鸣。音频通信电路中,两端加设低通滤波器各一个,以防止和载波通信的高频信号之间互相串扰。由此可知,在通信线路上来往传输的信号有 f_1 和 $f_1 \pm (0.3 \sim 3.4)$ kHz, f_2 和 $f_2 \pm (0.3 \sim 3.4)$ kHz的高频信号,以及音频通信的0.3~3.4kHz的音频信号,如图1-2-6(b)中所示。它们在收信端依靠带通滤波器和低通滤波器的作用,将其彼此分开,互不影响。