



电力系统通信
科普丛书

张典谟 编

电力系统载波通信

水利电力出版社

电力系统通信科普丛书

电力系统载波通信

张 典 漠 编

水利电力出版社

电力系统通信科普丛书

电力系统载波通信

张典漠 编

*

水利电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号)

各地新华书店经营

水利电力出版社印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 5.625印张 122千字

1988年9月第一版 1988年9月北京第一次印刷

印数00001—5090册 定价1.30元

ISBN 7-120-00355-0/TN·6

内 容 提 要

本书较全面地介绍了载波电话通信方面的基本知识，分析了载波设备的组成及特殊部件的工作原理，阐述了电力载波通道中的信号传输、杂音干扰和通道组成等基本问题。

本书可供电力系统的管理干部和通信工人阅读，也可供有关专业的技术人员和院校的师生参考。

前 言

电能是发展国民经济的重要能源，电力生产在整个社会生产中占有十分显著的地位。为了适应四化建设和人民生活的需要，必须努力扩大电力生产的能力，逐步提高电能生产的质量。

为了确保电力工业安全经济地发供电，必须建立与电力系统相适应的通信系统，即电力系统通信。我国的电力系统通信几乎包括了各种通信方式，不仅采用了普通的音频电话、明线载波、电缆载波、特高频、模拟微波等通信方式，而且还采用了数字微波、光纤通信、卫星通信等先进的通信方式和手段，电力通信系统中还有独特的电力线载波、架空地线载波等特殊通信方式，同时逐步采用程控交换技术，把各种通信电路连接起来，进行电话、数据等信息交换，组成一个完整的通信网，因此电力系统通信是一个先进的、综合型的专业通信网。

我们编写的这套“电力系统通信科普丛书”共分四册：《电力系统通信基础》、《电力系统载波通信》、《电力系统微波通信》、《电力系统电话交换技术》，各册之间互相联系又自成系统。本丛书的读者对象是电力工业中的管理干部、电力通信专业的工人，也可供工程技术人员及有关专业院校的师生参考。

本书共分四章，主要内容包括：语音基本知识，载波电话通信原理，载波设备中的特殊部件，载波机的信号传输、呼叫、自动电平调节及电源系统，电力载波通道中的信号传

输、杂音干扰、结合加工设备和高频通道的组织及设计步骤。

本书经南京电力专科学校秦国屏副教授审阅，提出了许多宝贵的建议和意见，谨致衷心感谢。

由于编者的水平所限，书中一定有不少欠缺和问题，敬请广大读者批评指正。

编者

1987年7月

目 录

前 言

第一章 载波电话通信的基本原理	1
第一节 语音基本知识	1
第二节 载波通信原理	8
第三节 多路载波通信	18
第二章 载波设备中的特殊部件	33
第一节 衰耗器和均衡器	33
第二节 滤波器	47
第三节 差分器	60
第四节 限幅器	69
第五节 调制器	80
第六节 压缩器和扩张器	92
第三章 电力线载波机	103
第一节 信号传输系统	103
第二节 呼叫系统	109
第三节 自动电平调节系统	116
第四节 电源系统	124
第四章 电力线载波通道	130
第一节 高频信号在电力线路上的传输	130
第二节 电力线上的杂音干扰	136
第三节 结合设备和高频电缆	141
第四节 高频阻波器	153
第五节 电力线载波通道的组织与设计	164

第一章 载波电话通信的基本原理

载波电话通信的基本任务是传送多路语音信号，因此本章将介绍语音的基本知识，载波通信原理以及作为多路载波通信基础的三路、十二路载波机的构成和大容量通信的变频过程。

第一节 语音基本知识

电话通信的任务是利用电流传送人们说话的声音，在发送端电话通信的信号是由人的语音产生的，在接收端是由人耳感受声波而听到声音，因此研究电话通信必须首先了解声音及听觉的特性。

一、声音的基本特性

声音是由于物体在水、空气等弹性介质中振动所产生的，而人们的语音是声带振动所形成的。当人讲话时，声带的振动传给周围的空气质点，使它们处于时密时稀的状态，并逐渐波及到离振动源较远的空气层产生空气波。空气波以振动源为中心，以每秒钟340m的速度向各方向传播，当空气波作用到人们的听觉器官时，鼓膜随着振动刺激听觉神经从而听到声音，被人能听到声音的空气波称为声波。

声音是由声波的振幅、频率和波形决定的，单纯的声音由发声体的简谐振动产生的，其声音大小随时间的变化规律可用图1-1(a)所示的一条正弦曲线来表示。 A 是声波的

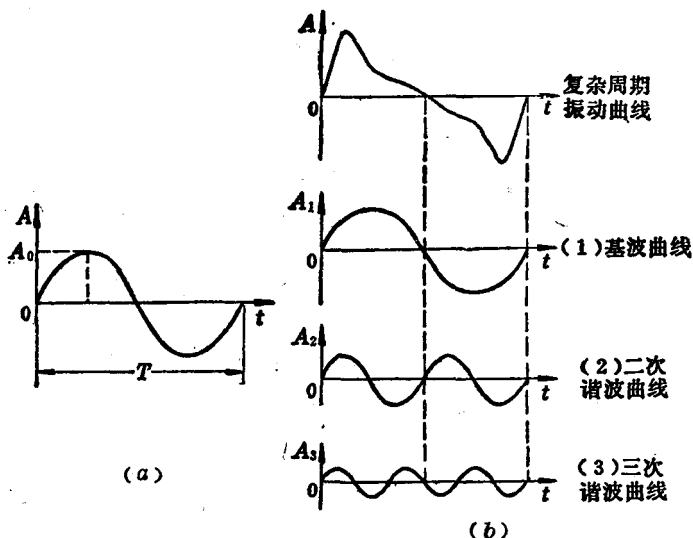


图 1-1 声波振动曲线
(a) 纯音曲线; (b) 复杂周期振动的曲线及谐波

振幅，它表示空气质点振动的最大瞬时值， T 是振动周期，它表示一个完整振动所经历的时间用秒计算，振动周期的倒数称为振动频率，它表示一秒钟内发生的完全振动次数以 Hz 为单位， $1\text{Hz}=1\text{周/s}$ 。周期和频率固定的单纯的声音可以由音叉或乐器弦线的振动而产生，但是人们语言所产生的振动则是复杂的周期振动，以图 1-1 (b) 所示的振动波形为例，可以把它分解为三个谐波分量，各谐波的幅度和频率都不相同，曲线 (1) 具有和复杂周期振动相同的频率，因此这个组成部分叫做该振动的基波或一次谐波，曲线 (2) 和 (3) 相应地具有二倍及三倍于基波的频率，它们叫做该振动的泛音或二次、三次谐波，从曲线可见，基波、二次和

三次谐波的合成就是复杂周期振动的曲线，并不是任何复杂周期振动都只包含三种分量，有的可能还有四次、五次等等更高次谐波分量，但是任何复杂的周期振动都可以分解成许多简谐的正弦振动之和。

根据大量的实际测量结果可知：在人们声带所发出的语音中，男声的基音频率为 $80\sim 500\text{Hz}$ ，女声的基音频率为 $150\sim 1300\text{Hz}$ 。基音频率以外还包括大量的谐波成分，最高的谐波频率约为 8000Hz ，因此准确重发同样的语言，信号频带应为 $80\sim 8000\text{Hz}$ 。另外声音能量的百分之八十以上集中在 1000Hz 以下的低频率范围，男声集中在 $250\sim 500\text{Hz}$ ，女声在 $300\sim 600\text{Hz}$ ，人们讲话时发出的声音功率是不均匀的，约在 $0.1\mu\text{W}$ 到几千微瓦之间变化，平均功率为 $10\mu\text{W}$ 左右。

二、听觉的特性

人耳对声音的感受有一定的频率范围，实验表明：人耳的可闻频带约在 16Hz 到 20000Hz 之间，频率过低或过高的振动，不论声压多大，人耳都没有声音的感觉。

在可闻频带范围内，如果声压过小人耳就感觉不出声音，但如果声压过大则会引起痛苦的感觉。图1-2是听觉的频率特性曲线，横坐标以 Hz 为单位表示声音的频率 f ，纵坐标以 Pa (帕斯卡)为单位表示声强，图1-2中可闻限曲线表示在不同振动频率下使人耳能感觉出声音时所需要的最低声强值，如果实际声强低于可闻限就感觉不到声音。图中痛苦感觉限表示在各种振动频率下，人耳能承受的最大声强，实际声强超过痛苦感觉限后使耳膜感到疼痛。痛苦感觉限和可闻限之间称为听觉区域。

可闻限的倒数称为听觉灵敏度。如图1-2所示，当声音的振动频率为 2500Hz 左右时，虽然声压很小但是人耳已能听

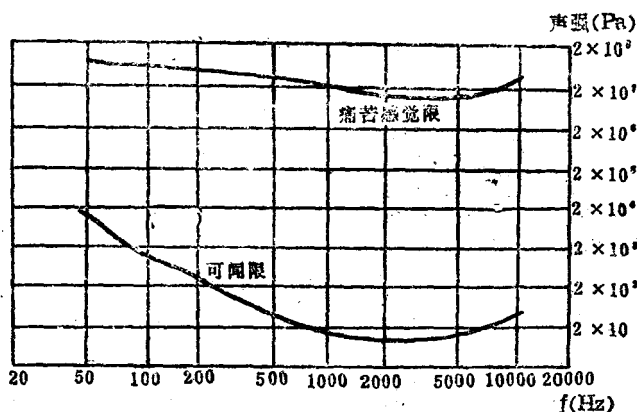


图 1-2 听觉的频率特性

到声音，这表示人耳对2500Hz左右的振动听觉很灵敏，而对16~20000Hz以外的振动，人耳的灵敏度低到听不出声音，因此人耳听到的声音响度和实际的声音强度是不相同的。在同一声压下，声音频率的变化将会引起声音响度的变化。在听觉区域内，同一频率的振动声压越大声音将越响，但是由于人耳对声音响度的感觉和声压增长的对数成正比，因此响度感觉的增长比实际声压的增长要小得多。

三、语音质量和频带宽度

电话通信要完成传送语音的任务，一方面要求通信电路把语音以一定的强度传到接收端，保证语音的声强在可闻限以上，另一方面要求在接收端能听懂从发送端送来的声音。因此必须对语音的质量规定度量的方法，通常采用清晰度法。清晰度法就是在被测通路的发送端发出一定数量的，没有任何意义的字母或单字，在接收端记录所收到的字母或单字，其中正确接收的百分数就是这个传输通路的清晰度。

如果发送端发出的是单词或句子，则在接收端统计能正确理解原意的单词或句子所占的百分数就叫做单词或句子的可懂度。由于单词是单字有规律的组合，句子又是单词有规律的组合，人们通过长期实践，许多单词及句子的规律已深刻地储存在记忆中，因此它们的可懂度比字母或单字的清晰度高。对同一个传输通路，如果字母或单字的清晰度达到60%~70%，那么单词的可懂度可达70%~80%，句子的可懂度可达95%。

用清晰度来衡量通话电路质量的方法，可以确定电话传输频带的宽度。图1-3是清晰度及声音能量百分数与频率的关系曲线，横坐标以Hz为单位表示频率 f ，纵坐标以百分数表示清晰度及语音的能量。图1-3中的实线B表示去除某一频率以下的其它频率后所测得的清晰度，虚线B表示在此情况下所余留的语音能量占全部语音能量的百分数。实线H和虚线H表示去除某一频率以上的其它频率后，所测得的清晰度和余留的语音能量的百分数。

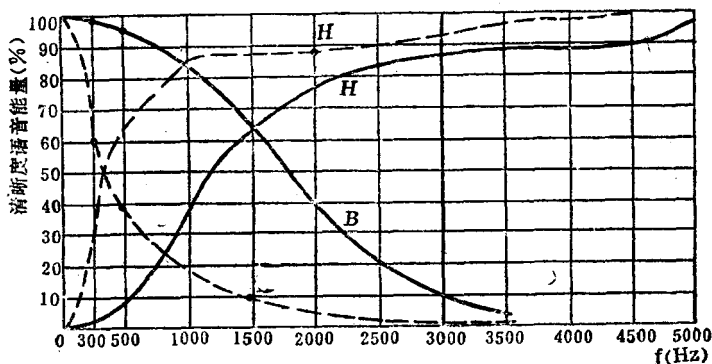


图 1-3 语音清晰度及能量的频率特性

从两条B曲线可见，去除语音中的低频成份时，随着被去除的频率成份增多所余留部分语音的能量急剧下降，但其清晰度的减小则比较缓慢，例如当去除300Hz以下的频率成份时，语音能量保留60%，语音清晰度为98%，如去除500Hz以下的频率成份后，余留的语音能量减小为38%，但语音的清晰度仍为96%。从两条H曲线可见，当去除的高频成份减少，即保留的高频成份增多时，虽然增加的语音能量不多，但是清晰度提高很快，例如去除2000Hz以上的频率成份后，语音能量保留88%，清晰度为75%；当去除3500赫以上的频率成份时，语音能量保留96%，仅增加8%，但是清晰度提高到88%，增加了13%。

上述曲线说明，有了较高的频率成份就有较高的清晰度，有较低的频率成份就有较多的语音能量，为了保持一定的清晰度和足够的语音能量，一般选取300~3400Hz的频率成份作为电话传输的基本频带，在需要压缩话音频带时可选为300~2700Hz左右，但是最窄不能少于300~2000Hz。

在电话通信中，通常采用800Hz的信号作为语音的代表频率进行电路的测试和调整，其原因主要是800Hz处在对清晰度影响最大的500Hz至2000Hz中间。另外从听觉频率特性曲线可见，对800Hz的信号人耳的听觉灵敏度也是比较高的。由于800Hz信号的角频率 $\omega = 2\pi f = 2 \times 3.14 \times 800 \approx 5000$ rad/s，在电路计算中也比较方便，因此在许多通信设备中都有800Hz的信号源。

四、噪声与加权

高压输电线产生的电晕、发、供电设备在声频范围内的电振动，照明线、电车线对通信线路的感应作用以及雷电等都能在通信电路中产生噪声，因此在通信电路的接收端除了

收到发送端产生的原始语音外，必定存在着噪声干扰。声频范围内的噪声对电话传输的质量影响是很大的，噪声的存在一方面将掩盖语音中的微弱部分使信号无法辨别，另一方面噪声还将分散人们的注意力，降低语音的清晰度甚至使语音变得难以理解。

从图1-2听觉的频率特性可见，人耳对各频率声音的灵敏度是不相同的，因此各种频率的噪声对通话产生的干扰程度也是不同的。为了根据听觉的特性客观地评定噪声的影响，在测量噪声时，必须对实际的噪声按照听觉特性进行校正即对噪声加权。符合加权特性的电压表称为杂音计，用杂音计测出的杂音电压叫做杂音计电压，其读数可以用电压也可以用电平表示。杂音计的频率特性如图1-4所示。横坐标以Hz为单位表示频率 f ，纵坐标以dB数表示权重因数，即对不同频率的噪声所加的修正系数。例如300Hz的权重因数为-20dB，1000Hz的权重因数为0dB，即用杂音计测量噪声时，如果输入杂音计的300Hz和1000Hz两种噪声的电平都相同时，300Hz噪声的杂音计电平指示数比1000Hz噪声的电平指示数低20dB。根据相对电平的定义 $p = 10 \lg \frac{P_2}{P_1}$ ，两种噪

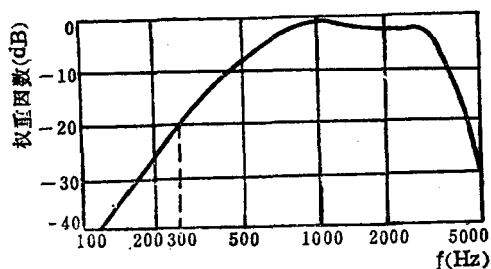


图 1-4 杂音计的频率特性

声的电平指示差为20dB,即两者的噪声功率之比 $\frac{P_2}{P_1}=100$ 。

这就是说,虽然实际上300Hz和1000Hz两种频率的噪声输入功率是相同的,但由于人耳对300Hz的灵敏度低,对1000Hz的灵敏度高,经加权后所测出的300Hz噪声的功率仅为1000Hz噪声的百分之一,这样就使得噪声对听觉的影响符合实际的客观效果。

第二节 载波通信原理

安装在不同地点的两台电话机用导线直接相连,音频电流通过传输线从发送端送往接收端就能实现最简单的音频通信。在这种通信方式中,线路上传送的是音频信号。这种通信方式虽然很简单,但是在一对线路上只能传送一路电话。为了提高通信线路的利用率,使得一对线路上同时进行多路通信就要采用载波通信的方式。为避免各路信号互相混淆,应将相同频率范围的各个话音信号进行频率变换,把它们搬移到各个不同的频率位置,然后再用同一对线路传输。由于各路信号的传输频率不同,在同一线路上传输就互不干扰,在接收端可以用滤波器将不同频率位置的信号区分出来再进行频率变换,还原出原始的各个话音信号。

在一条通信线路上除音频电话外能实现几对用户同时通话的载波设备就叫做几路载波机,常见的有单路载波机,三路、十二路、六十路、三百路、一千八百路及更多路数的载波机。在载波通信中,频率变换及分割是最基本的问题。

一、音频电话通信

图1-5是最简单的音频电话通信电路, A、B两台电话机

之间用一对导线相连构成话路。现在使用的电话机其送话器的发送功率 P_1 都以 1mW 计算，受话器的灵敏度 P_2 以 $1\mu\text{W}$ 计算，所以两台电话机之间的最大允许衰耗

$$b_{\text{允}} = 10\lg \frac{P_1}{P_2} = 10\lg \frac{1}{1 \times 10^{-6}} = 10\lg 10^6 = 30\lg 10 = 30\text{dB}$$

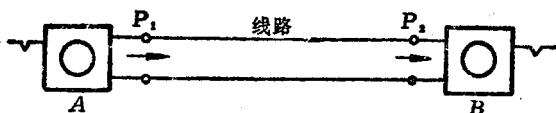


图 1-5 音频电话通信

为了保证接收端有足够的响度，接收端的最低收信电平 $P_{2\text{最小}} = P_{\text{发}} - b_{\text{允}} = 0 - 30 = -30\text{dB}$ 。由于实际通信中两话机之间还有一些附属设备，所以分配在线路上的允许衰耗为 12dB 。对应于不同的线路就有相应的最大通信距离，例如线距为 200mm ，直径为 4.0mm 的架空铜线线路，每公里衰耗为 0.024dB ，它的最大通信距离为 500km ，相同线距和线径的铜包钢线，最大通信距离只有 140km 。

当需要增加通信距离时，除了减少线路本身的衰耗外，还可以在线路中接入放大器，由于一只放大器只能放大单方向的信号，而电话通信是需要二个方向进行传输，因此可以用两个放大器按相反方向如图1-6连接实现双向放大。由图可见A发B收的话音信号由放大器 K_1 进行放大，B发A收的话音信号由放大器 K_2 放大。但是这样连接后，在放大器 K_1 、 K_2 所形成的环路中将造成如图虚线所示的正反馈，一个放大器放大后的输出信号将直接加到另一个放大器的输入端继续放大。这样信号越放越大，在受话器中发生啸叫声使电路无法通话，这种现象称为振鸣。为了消除振鸣，在两个放大

器和线路的连接处接入差分器，如图 1-7 所示。差分器是一种由电阻或线圈组成的无源网络，它具有对端传输衰耗很大，邻端传输衰耗较小的特性。接入差分器以后，在 K_1 、 K_2 所形成的正反馈环路中增加了两个差分器的对端衰耗，使环路的总衰耗大于总增益，因此可以防止振鸣现象的产生。而双向传输信号分别由 K_1 、 K_2 进行放大，因而延长了通信距离。

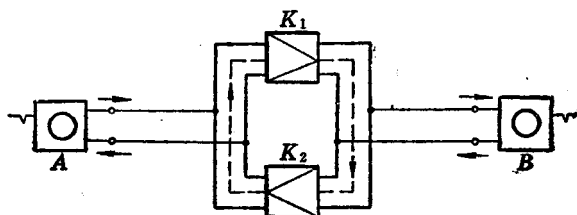


图 1-6 双向放大器的连接

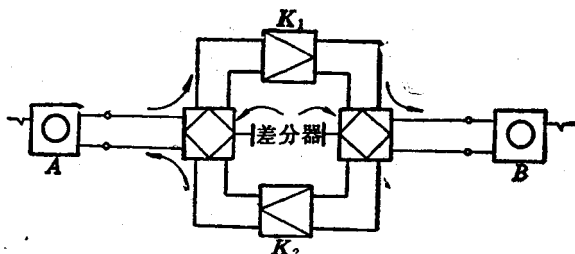


图 1-7 音频增音机的连接

将放大器和差分器组合以后，可以补偿音频信号在线路中的传输衰耗增加通信的距离，因此将它们称为音频增音机。

二、频率变换

载波通信是通过频率搬移实现多路通信的。频率搬移实际上就是改变原始信号的频率，它是利用非线性元件的变频