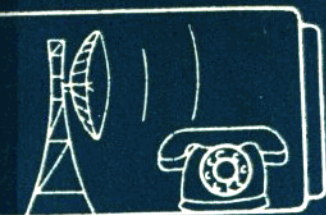


供电类学徒工初级工培训教材



# 电力载波通讯

(试用本)



水电部教育司培训教材编写组

# 电力线载波通信

( 试 用 本 )

水利电力部教育司培训教材编写组

供电类学徒工初级工培训教材

**电力线载波通信**

(试用本)

水利电力部教育司培训教材编写组

水利电力部武汉高压研究所印刷厂印刷

(地址: 武昌鲁巷)

## 编 者 的 话

我们受水利电力部委托,编写这本教材。该教材只是“电力线载波通信”的一部分——电力线载波机原理部分。

根据水电部要求,教材应适合具有初中文化的电力载波通信人员学习。因此,我们力求浅显,着重物理概念的阐述,尽量避免数学推导。

晶体管放大、振荡、电源、脉冲技术等基础知识,本教材不加讨论。要求读者首先具备这些基础知识。滤波器、衰减器等网络,理论较深,也不予探讨。

对载波机自动交换系统,我们希望单独讲述。本教材只讲述电力线载波机的特殊部件。全书共分七章。

第一章介绍电力线载波电话通信的概念,扼要地介绍了双边带及单边带电力线载波机的组成,给读者以整机的概念。

按照单边带电力线载波机的结构,从第二章至第七章,分别介绍了差接网络,限幅器、压扩器、调制器及反调制器、自动电平调节系统、呼叫系统等基本原理。并结合国产ZDD—5、ZJ—3、ZDD—12三种用得较普遍的电力线载波机进行了分析。

第一章、第五章及第七章由莫开显同志执笔;第二章及第三章由董平同志执笔;第四章及第六章分别由章舜臣同志和刘俊英同志写出。由莫开显同志负责主编与校核。参加编写与校对工作的还有张小苹、崔兰、高键、施叶兰等同志。

我们的水平低,加之时间仓促,错误不当之处一定不少,恳切希望批评指导。

(注:本书封面应改为“电力线载波通信”)

全体编写工作人员

一九八三年八月

# 目 录

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| 第一章 电力线载波电话通信的概念..... | 1   |
| 第一节 电话的基本知识.....      | 1   |
| 第二节 利用电力线传输载波电话.....  | 2   |
| 第三节 电力线载波机的组成.....    | 7   |
| 第四节 双边带电力线载波机概述.....  | 10  |
| 第五节 单边带电力线载波机概述.....  | 21  |
| 第六节 电平的概念.....        | 28  |
| 第二章 差接网络.....         | 39  |
| 第一节 电阻差接网络.....       | 41  |
| 第二节 变量器差接网络.....      | 46  |
| 第三章 限幅器.....          | 60  |
| 第一节 限幅器的作用及要求.....    | 60  |
| 第二节 二极管限幅器.....       | 61  |
| 第三节 三极管限幅器.....       | 74  |
| 第四章 压缩器和扩张器.....      | 79  |
| 第一节 压扩器的作用.....       | 79  |
| 第二节 电路原理.....         | 89  |
| 第三节 实际电路.....         | 98  |
| 第五章 调制器和反调制器.....     | 113 |
| 第一节 开关函数.....         | 114 |
| 第二节 双向开关平衡调制器.....    | 118 |
| 第三节 单向开关平衡调制器.....    | 134 |
| 第四节 反调制器.....         | 143 |

|     |                   |     |
|-----|-------------------|-----|
| 第六章 | 自动电平调节系统          | 148 |
| 第一节 | 自动电平调节系统的基本原理     | 149 |
| 第二节 | 自动电平调节系统的特性及技术要求  | 151 |
| 第三节 | ZDD—5 型机自动电平调节系统  | 160 |
| 第四节 | ZDD—12 型机自动电平调节系统 | 169 |
| 第五节 | ZJ—3 型机自动电平调节系统   | 180 |
| 第七章 | 铃频呼叫系统            | 191 |
| 第一节 | 铃频间断制呼叫系统         | 192 |
| 第二节 | 铃频移频制呼叫系统         | 202 |

# 第一章 电力线载波电话通信的概念

## 第一节 电话的基本知识

### 一、电话通信的基本原理

电话通信的任务，就是将人们的话音变成电能，从甲地传向乙地。图 1—1—1 表示电话传输的主要过程。

当发话者在送话器前讲话时，声波作用于送话器上，在送话器电路内产生相应的电流变动，沿线路传送到远地的受话器。

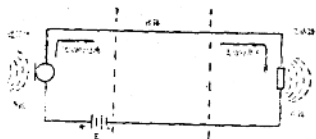


图1—1—1 电话传输过程示意图

受话器接收到此变动的电流后，就把它转变为声波传播于空气中，并作用于听者的耳膜上，于是听者听到了发话者的声音。

在发送端通过送话器，将声波变为变动的电流，而在接收端通过受话器，将变动的电流转换成声波，这就是电话传输的基本原理。

### 二、电话的传输频带

人类话音频带在 80 赫~8000 赫范围内。

传输电话与传输音乐的要求不一样，前者只要求受话人能清晰地听懂发话人讲话的内容就行了，而传输音乐则要求十分逼真。因此，传输电话时，可以只传输话音中的一部分频率，这样可以使电话设备大大简化。

话音的清晰度以及话音声波的能量与频率有关。分析证

明，高频部分对清晰度影响较大。因此，要使电话听得清楚，必须传送 1000 赫以上的频率，不过要保留 2500 赫以上的频率，意义就不大了。其次，对能量而言，低频部分包含的能量较多，如果把低频部分去掉，虽然清晰度还符合要求，但所传输的声波能量就不够了。所以电话通信的传输频率，要从清晰度和能量两方面来考虑。

实践证明，电话传输频率一般在 300—2500 赫即可。通常把 800 赫规定为平均计算频率，用 800 赫的正弦波作为音频的代表，对通信设备进行测量。

我国现行的几种电力线载波机所取的话音频带如下：

ZDD—5 型与 ZJ—3 型电力线载波机的话音频带为 300—2300 赫。

ZDD—12 型电力线载波机的话音频带为 300—2000 赫。

## 第二节 利用电力线传输载波电话

### 一、什么叫载波电话

前面已经讲了普通电话的简单概念，因为它是把人说话的声音通过送话器变成音频电流，经过线路传送到对方，对方话机的受话器把音频电流还原成声音而实现通话的，所以这种电话也叫音频电话。这种通话方式在一对通信线路上，同一时间内只允许一对用户讲话，线路的利用率太低。同时，直接传输音频信号，由于其频率低，通过电容器等元件时，损耗很大，不能作远距离传输。

人们设想，把音频信号变成高频信号，利用传输不同频率的高频信号，避免了频率互相干扰，实现了在一条线路上同时传输几路电话。由于传输的是高频信号，容易通过电容器等耦合元件，因而大大延长了通信距离。

这种借高频信号来传输低频话音的通话叫载波电话。在这里，高频信号仅起到运载话音信号作用。我们称此高频信号为载波，其频率称为载频。

在电力线载波通信中，规定的载波频率范围为40-500千赫。

## 二、电力线复用通信的加工

在电力系统中，为了输送强大的50赫工频电流，架设许多电力线。我们希望利用电力线复用通信。

然而，在电力线上直接传输300—2300赫的音频信号是极其困难的。强大的50赫工频电流将会掩盖话音，同时，音频信号通过耦合电容器等元件时，损耗很大。因此，必须将音频信号变为高频信号，即采用载波进行传输。这种利用电力线来实现的载波通信就叫做电力线载波通信。

电力线载波通信与邮电系统有线载波通信在原理上没有什么区别，只是用电力线代替了架空明线。不过，在电力线上复用通信，不象架空明线那样简单，必须对电力线进行加工才能实现。

在电力线上复用通信，需要进行哪些加工呢？即要增加

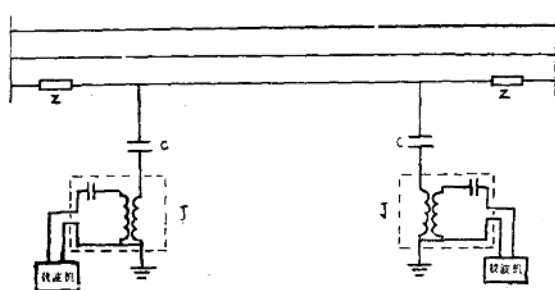


图 1—2—1 电力线载波通道示意图

哪些加工设备呢？如图 1—2—1 所示为一条电力线载波通道。加工设备包括阻波器、耦合电容和结合滤波器等。

### 1. 耦合电容器 $C$ 。

载波机与高压线是不能直接相连的。需要在载波机与高压线之间串接电容器  $C$ ，通过它把载波机输出的高频信号耦合到高压线上传送给对方，同时将对方发送过来的高频信号耦合下来被载波机接收。因此。把电容器  $C$  叫做耦合电容器。

耦合电容器在这里起了两个主要作用：传输高频信号。阻止 50 赫工频电流进入载波机。

电容器为什么能让高频电流通过而阻止低频电流呢？从电工学中我们知道，电容器的容抗与通过它的电信号的频率有关，即

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC}$$

在电容量  $C$  不变的情况下，容抗  $X_C$  与频率  $f$  成反比。频率愈高容抗愈低；频率愈低，容抗愈高。我们的载波频率为 40—500 千赫，也就是说，耦合电容器对 50 赫工频的阻力为对载波频率阻力的 800 倍—10000 倍，这就是电容器能传输高频载波而阻止工频电流的原因。

### 2. 结合滤波器 $J$ 。

载波机能不能直接与耦合电容器相连接呢？千万不能。因为耦合电容器下端在开路的时候，有很高的对地电压（相电压），例如在 220KV 线路上，耦合电容器下端的开路电压为  $\frac{220}{\sqrt{3}}$  千伏。要在这么高的电压上操作连线，是绝对不允许的。能不能在耦合电容器下端挂好接地线再进行操作呢？虽然可以接地操作，但地线拆除后，较大的工频电流就直接进入载波机

内，这也是不允许的。因此，在载波机与耦合电容器之间还要串联一个结合滤波器 $J$ 。如图1—2—2所示。

变压器 $B$ 与 $C_2$ 组成变压器耦合型的结合滤波器。50赫工频电流经耦合电容器 $C_1$ 与结合滤波器的线圈 $L_1$ 入地。由于电感线圈的感抗与通过它的电信号频率有关，即 $X_L = 2\pi fL$ ，当电感量一定时，感抗 $X_L$ 与频率成正比。频率愈高，感抗愈大；频率愈低，感抗愈小。载波的频率比50赫工频高800—10000倍，因此，工频电流很顺利地

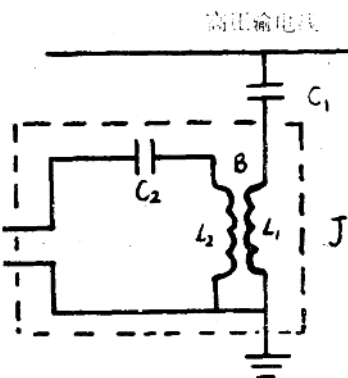


图1—2—2

通过 $L_1$ 线圈入地，在 $L_1$ 两端只产生很小的工频压降（几伏至几十伏），工频电压几乎全部降在耦合电容器 $C_1$ 的两端。通过 $L_1$ 的排流及变压器 $B$ 的阻隔，工频电流也就不会进入载波机了。而高频信号却能通过结合滤波器、耦合电容器传输到远方。

可见，结合滤波器在这里也起双重作用：进一步阻止了工频电流进入载波机，同时，结合滤波器的 $C_2$ 、 $L_2$ 、 $L_1$ 与耦合电容器 $C_1$ 组成一个带通滤波器，允许40~500千赫的载波信号通过。另外，高压线路侧的阻抗为400欧姆左右，而载波机的输出阻抗为75欧姆或100欧姆（ZDD—5机与ZJ—3机的输出阻抗为100欧姆，ZDD—12机的输出阻抗为75欧姆），通过结合滤波器使这两种不同的阻抗得以匹配的联接。

载波机房至结合滤波器之间往往有数十公尺至数千公尺

的距离,这中间是用高频电缆来连接的。高频电缆的特性阻抗视载波机的输出阻抗而定。

### 3. 高频阻抗器 $Z$ 。

高频信号在耦合电容器上端有两条通路：一条传送给接受端，另一条流入本端的变电站。显然，流入变电站的高频信号是无谓的损耗。为了阻止这一分流影响，需要加设一个能阻止高频信号通过的高频阻波器，它的主要作用是阻止高频信号分流，保证工频电流畅通。阻波器是利用足够线径作成的电感线圈与电容组成谐振回路，达到阻止高频信号的目的，对工频电流可以畅通无阻。

耦合电容器、结合滤波器、高频阻波器、高频电缆等结合加工设备都安装于室外，因此，又叫室外加工设备。它们的构造、特性、工作原理、维护使用方法在“高频通道”一书中有详细的论述。

### 4. 高频桥路与分支。

如果甲地与丁地之间要沟通电力线载波电话，中间经过乙地  $T$  接的变电站，还要经过丙地  $\pi$  接变电站，这时需要在乙地的  $T$  接点加装高频阻波器，以免高频信号分流至乙地变电站。在  $\pi$  接变电站要加工高频桥路，如图 1—2—3 所示。

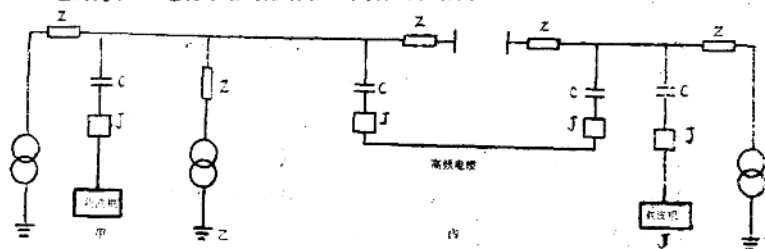


图1-2-3

高频桥路实际上是两套加工设备。两个结合滤波器之间可用高频电缆连接。

在更复杂的通道中，就要加装更多的分支阻波器与几个高频桥路。但高频桥路不能多，否则通道损耗过大，通话困难。三个以上的高频桥路就很少见了。

### 第三节 电力线载波机的组成

电力线载波机的主要任务是将低频话音信号变为高频信号，并以适当的功率发给对方；同时，又能将对方高频信号还原为音频信号，达到互相通话的目的。

一台电力线载波机主要应由哪几部分组成呢？

一、发信支路。要把本方的话音发出去传给对方，就必须有发信支路。它的主要任务是将低频话音变成高频信号，这个过程叫做调制。完成调制的部件叫调制器。调制器必须有一个产生载频信号的载频振荡器。为了把那些无用而有害的杂波滤掉，发信支路还要设置滤波器。要把微弱的话音信号及载波信号幅度提高，发信支路必须设置放大器。由于调制器、放大器对输入信号的幅度都有一定的要求，输入信号过高就会过负荷，产生失真，因此在发信支路还要设置限幅器、衰减器等等。电力线载波机的发信支路基本方框图如图 1—3—1 所示。

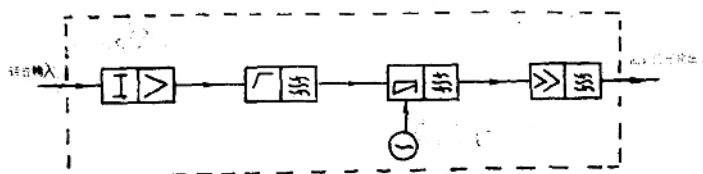
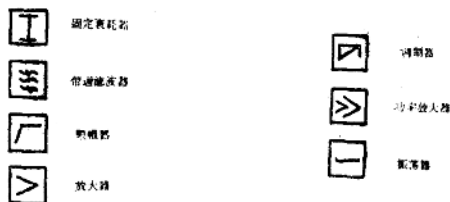


图 1—3—1 电力线载波机发信支路



方框图中各部件的原理、特性、作用在有关章节中介绍。

2. 收信支路。对方送来的高频信号，需要接收下来，就必须有收信支路。收信支路的主要任务是将接收到的高频信号还原成原始信号。这个还原过程叫反调制，又叫解调。完成反调制的部件叫反调制器，又叫解调器。接受到的微弱信号需要用放大器进行放大。选择所需信号，滤除无用杂波，必须用滤波器。为了适应各种不同衰耗的通道及反调制器、放大器等部件对输入信号幅度的要求，收信支路要设置衰耗器。如图 1—3—2 所示为电力线载波机收信支路基本方框图。

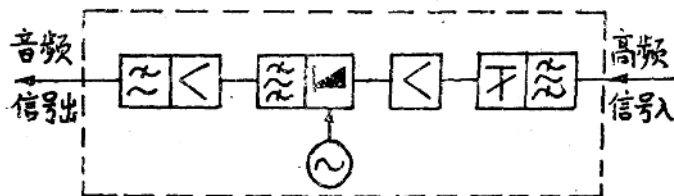
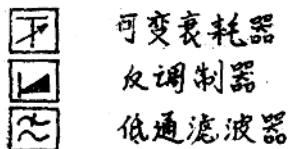


图 1-3-2 电力线载波机收信支路



3. 差接系统。电力线载波机有了发信支路与收信支路是否就可以实现通话呢？不能。我们参看图 1—3—3 来说明这个问题。

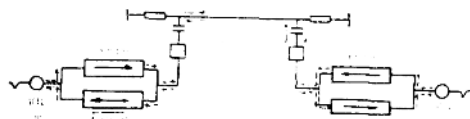


图 1—3—3

例如，甲地用户发话时，话音经甲地载波机发信支路调制成高频信号发出，经高频通道送往乙地，乙地载波机的收信支路接收后解调成话音送至音频二线端时，一部分送给乙地话机，另一部分经乙地载波机发信支路反送给甲地载波机，整个过程如虚线箭头所示。于是甲地发话人又能收到自己的话音。同理，乙地发话人也将听到自己的话音。这种现象叫回授。即使不讲话时，通道上任何部位产生的杂音信号都能在整个通道中来回传输，形成所谓振鸣现象。这样双方实际上不能通话。

如何克服这一现象呢？关键是不能让接受到的音频信号在音频二线端进入发信支路。于是我们在收信支路与发信支路的音频连接处插入一个差接系统部件，把收、发信支路隔开。如图 1—3—4 所示。

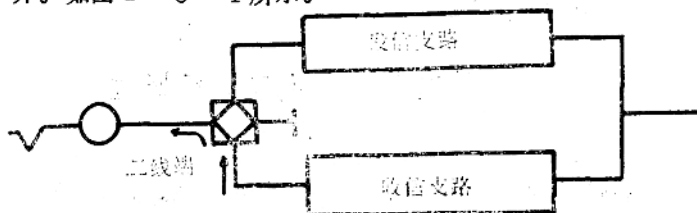


图 1—3—4

差接系统用符号  $1 \overset{2}{\underset{4}{\diamond}} 3$  表示。1、3 端，2、4 端互

为对端，1、2 端，1、4 端，3、2 端，3、4 端互为邻端。

要使接收的话音不进入发信支路而又进入话机，则要求差接系统的对端衰耗越大越好，邻端的衰耗越小越好。差接系统的工作原理，将在后面作详细分析

4. 自动电平调节系统。电力线上高频信号的传输是不稳定的。它的衰耗随天气条件、电力设备的操作和故障等情况的变化而有很大的变化。为了保证通话清晰，收信端的话音量不随通道的变化而变化，这就要在收信端根据通道的变化而调节收信支路中放大器的放大量。这种调节工作靠人工调节是不能达到要求的。只有利用通道变化引起传输信号的变化量来自动控制收信放大器的增益或衰耗器的衰耗值，实现传输信号电平的自动调节。

5. 自动交换系统。电力系统载波通信，主要是为电力生产调度服务的，一般用户数量不多。国产电力线载波机一般只安排 3~4 个用户。所安排的几个用户都要求能自动接通，而不由人工插接。这样，载波机中必须附有自动交换系统，来完成这种自动接续任务。

## 第四节 双边带电力线载波机概述

### 一、调幅

调制是载波通信的基础。所谓调制是以音频信号控制连续高频波(载波)的某一参数(振幅、频率或相位)的过程。

因此，经过调制后的高频波，其某一参数是按照音频信号的变化规律而变化，这样就将音频信号记在高频波的某一个参数上，从而实现高频运载音频信号的载波通信。

连续高频波有三个参数（幅值、频率、相位），所以调制方式也可有调幅、调频和调相三种。电力线载波通信设备是实现调制、反调制和区分信号的设备，它的组成必然和调制方式有密切的关系。在电力线载波通信设备中，最普遍采用的调制方式是调幅。

调幅是以音频信号来控制载波的幅度。设音频信号电压  $u_x = U_{mx} \cos \Omega t$ ，载波电压  $u_z = U_{mz} \sin \omega t$ ，它们的波形分别如图 1—4—1 (a)、(b) 所示。经调幅之后，理想的调幅波形如图 1—4—1 (c) 所示，其幅度是随音频信号的变化而线性变化的。调幅波可表示为

$$u = U_m \sin \omega t \quad (1-1)$$

由图 1—4—1 (c) 中可见，调幅波的幅值  $U_m$  是由载波幅值  $U_{mz}$  和受音频信号控制而产生的变化量  $U_1 \cos \Omega t$  所组成，即

$$U_m = U_{mz} + U_1 \cos \Omega t \quad (1-2)$$

式 (1-2) 中  $U_1$  是变化量的幅值，它与音频信号的幅值成正比。通常将变化量的幅值和载波幅值之比称为调幅系数，用  $m$  表示，

$$m = \frac{U_1}{U_{mz}}$$

由图 1—4—1 (c) 中可见，调幅系数  $m$  愈大， $U_1$  占  $U_{mz}$  的比例愈大，音频信号就记载得愈深刻。但是，调幅系数  $m$  不能大于 1，否则会丢失信号而造成失真。