

目 录

结 论	I
第一章 ZDD-5型电力线载波机的整机介绍	10
第一节 概述	10
一、技术性能； 二、方框图及传输过程	
第二节 技术 指标	14
一、通路质量指标； 二、整机主要技术指标	
第三节 方框电平图	24
一、方框电平图的介绍； 二、主要点的电平； 三、输出电平及功率分配； 四、对通路串杂音的考虑	
第二章 主要部件电路原理及分析	36
第一节 差接系统	36
一、差接网络的原理； 二、差接网络的对端衰耗和平衡网络	
第二节 滤波器	46
一、低通滤波器； 二、高通滤波器； 三、高、低通滤波器的并联； 四、带通滤波器；	
五、滤波器谐振回路的调谐方法； 六、滤波器的特性测量； 七、滤波器的故障分析和维修	
第三节 晶体管放大器	70
一、放大电路基础； 二、RC耦合放大器的频率特性； 三、负反馈放大器； 四、混合负反馈放大器； 五、深负反馈放大器的稳定问题	
第四节 正弦波振荡器	122
一、振荡器的基本原理； 二、LC振荡器； 三、振荡频率的稳定； 四、石英晶体振荡器； 五、音叉振荡器	
第五节 限幅器	135
一、限幅前低频干扰的抑制； 二、二极管限幅器； 三、限幅器特性的讨论	
第六节 调制器和反调制器	143
一、环形调制器； 二、环形反调制器； 三、平衡调制器； 四、平衡反调制器；	
五、实际电路	
第七节 压缩器和扩张器	160
一、压缩器、扩张器的作用； 二、电路原理； 三、电路及测试	
第八节 自动电平调节系统	178
一、基本工作原理； 二、自动电平调节系统的电路； 三、测试及调整	
第三章 分盘说明和测试调整	189
第一节 音频终端盘	189
第二节 低频发送盘	200
第三节 中频调幅盘	205
第四节 高频调幅盘	210
第五节 高频发送盘	217

第六节 线路放大器盘	227
第七节 方向发送盘	232
第八节 方向接收、高频接收盘	237
第九节 高频反调幅盘	238
第十节 导频系统盘	242
第十一节 中频反调盘	245
第十二节 远动盘	252
第十三节 收铃盘	255
第十四节 电源Ⅰ盘	258
第十五节 电源Ⅱ盘	261
第十六节 通话告警盘	270
第十七节 测量盘	273
第四章 自动交换系统(自动盘)	278
第一节 自动交换系统的基本组成原理	278
一、电力线载波的自动交换概念; 二、自动盘的作用; 三、自动盘的基本逻辑任务及框图	
第二节 脉冲单元电路	285
一、门电路; 二、双稳态触发器; 三、单稳态触发器; 四、多谐振荡器(脉冲信号发生器); 五、阻容时延电路	
第三节 自动交换系统的组成电路	329
一、用户电路; 二、塞绳电路; 三、发送电路; 四、接收、计数译码电路; 五、自动盘工作过程中的标志信号时间图; 六、服务信号控制电路和复原电路; 七、音频转接、中频转接和其它用处的逻辑考虑	
第四节 ZDD-5自动交换系统的工作说明	377
一、一般介绍; 二、主要单元的作用和工作情况; 三、自动盘作主叫盘时的工作情况; 四、自动盘作被叫盘时的工作情况; 五、自动盘不空闲时用户摘机的工作情况; 六、音频转接时自动盘的工作情况; 七、中频转接时自动盘的工作情况; 八、直通用户的工作情况	
第五章 整机测试及调整	394
一、单机测试及调整; 二、双机测试及调整	
图形符号	407

绪 论

在电力系统中,为了使系统能稳定和经济地运行,需要传递大量的语言、数据、图象和其他信息。为此,电力系统都有独立的自成体系的通信系统。目前,所采用的通信方式很多,但最基本的通信方式是电力线载波通信。电力线载波机就是实现这种通信方式的设备。

一、载 波 通 信

我们把装在两个不同地点的电话机,用通信线路连接起来,就能实现最简单的有线通信,称为音频通信。在这种音频通信中,传输的仅是话音信号。我们知道,话音信号的频率范围一般在80~8000赫之间,如果能保证传输300~2300赫之间的各个频率分量,音频通信就可以得到较为满意的结果。

一般通信线路传输信号的频率范围,将远远超过话音信号的频率范围,如架空明线传输信号的频率可高达150千赫。若在同一条通信线路上,进行一路音频电话通信的话,只占用了300~2300赫的传输频带,尚有很大的空闲频带可以用作传输其他信号。如何利用这个空闲频带呢?实际上,我们采用了调制的方法,将另外一路话音信号进行调制,使其变为高频信号,频率为 f 、 $f \pm (0.3 \sim 2.3)$ 千赫,然后利用通信线路的空闲频带来传输高频信号。在接收端用滤波器将高频信号和通信线路上同时传输的音频信号区分出来,高频信号再经过反调制恢复成话音信号。这样就在一条通信线路上实现了两路电话通信,其中一路为音频通信,另一路为高频通信,如图0-1中所示。

从上面可以看出,高频通信中的高频仅起到运载话音信号的作用,我们称此高频波为载波,其频率为载频。高频通信亦常称为载波通信。

如果我们将多路话音信号,分别采用不同频率的载波进行调制后,经同一条通信线路传输到对方,然后用滤波器加以区分,再经反调制恢复成话音信号,这样就可实现多路通信。这种方法称为频率分割,或称在通信线路上实现频率复用。

图0-2中画出了一路音频通信和一路载波通信的原理方框图和频谱图。载波通信的过程是: A端的话音信号(频率为0.3~2.3千赫),经差接系统送入调幅器,加入调幅器的载波频率为 f_1 。在调幅后,输出的高频信号频率为 f_1 和 $f_1 \pm (0.3 \sim 2.3)$ 千赫,经功率放大,由中心频率为 f_1 的发信带通滤波器滤除其谐波后,送至通信线路上去。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 $f_1 \pm (0.3 \sim 2.3)$ 千赫的高频信号,经放大和反调制,恢复出A端的话音信号,经差接系统送到用户话机。同样, B端发出的话音信号以相同的方式,利用频率为 f_2 的载波,通过调幅变成频率为 f_2 和 $f_2 \pm (0.3 \sim 2.3)$ 千赫的高频信号送到A端。音频通信电路中,两端都加设一个低通滤波器,以防止音频信号和高频信号相互干扰。这里可以看出,在通信线路上来往传输的是 f_1 和 $f_1 \pm (0.3 \sim 2.3)$ 千赫、 f_2 和 $f_2 \pm (0.3 \sim 2.3)$ 千赫的高频信号,以及音频通信的0.3~2.3千赫的音频信

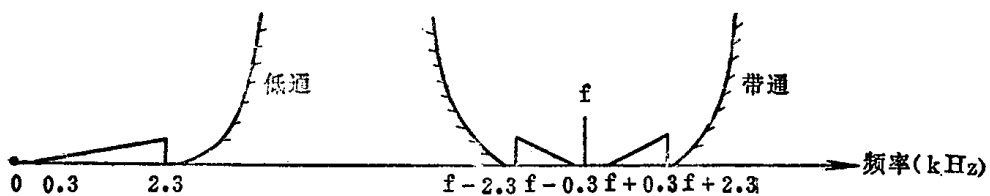
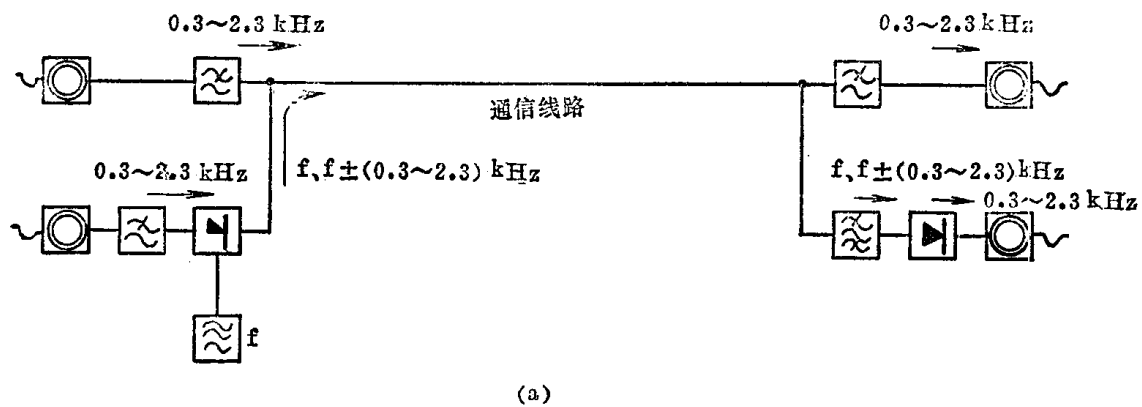


图 0-1 单方向有线载波通信原理
(a)方框图; (b)在通信线路上传输的信号频谱图

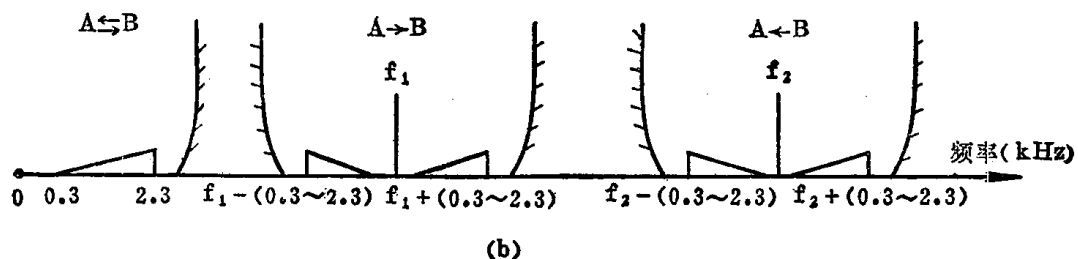
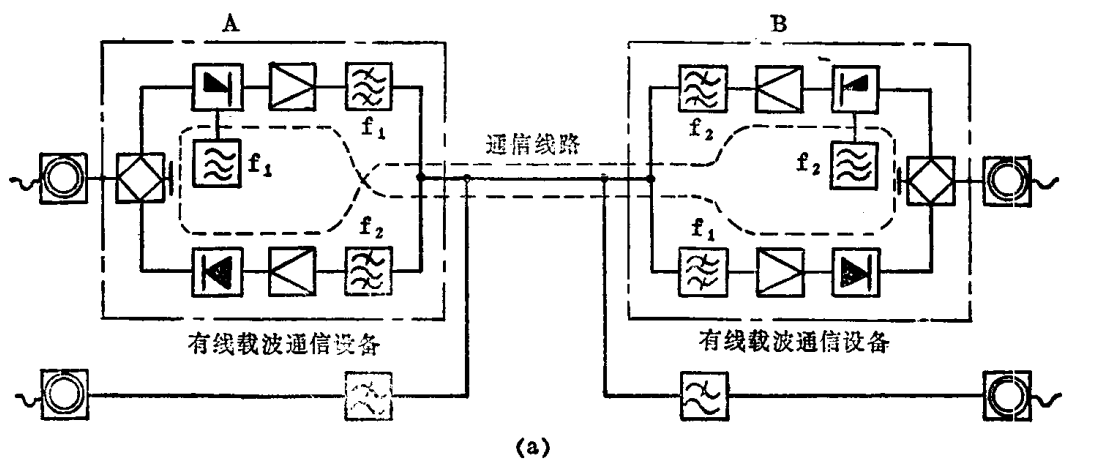


图 0-2 一路音频和一路载波的有线通信原理
(a)方框图; (b)在通信线路上传输的信号频谱图

号,如图0-2(b)中所示。在接收端由于带通滤波器和低通滤波器的作用,将它们彼此分开,互不干扰。

图0-2(a)采用了差接系统。差接系统的特性是相对的两端具有很大的衰耗,相邻的两端衰耗较小。插入差接系统后,使图中虚线所示的回路里,增加很大的衰耗,以防止回

路由自激而产生振鸣，而对双向传输的话音信号所增加的衰耗很小，保持畅通。图中点划线框内是一对在通信线上实现载波通信的有线载波通信设备。

二、电力线载波通信

在电力系统中，为了输送强大的50赫工频电流，架设有很多电力线。我们希望利用电力线同时传送一路300~2300赫的话音信号来实现通信。由于工频电流对微弱的话音信号干扰很严重，要直接区分50赫的工频电流和300~2300赫的话音信号是极其困难的。所以，在电力线上进行音频通信是不可能的。

实践证明，将话音信号进行调制变为高频信号，当高频信号的频率选在30千赫以上时，就比较容易用滤波器来区分出高频信号和工频干扰。这样一来，在电力线上进行载波通信就成为可能。利用电力线来实现载波通信，就称为电力线载波通信。

图0-3是电力线载波通信的简单原理图。图中发电厂A经电力线输送工频电流给变电站B，变电站B再经变压器降压送给电力用户。图中A、B之间通信的过程是：A端的话音信号通过调制，频率变换为 f_1 、 $f_1 \pm (0.3 \sim 2.3)$ 千赫的高频信号，经结合滤波器、耦合电容器送至电力线上，高频信号沿电力线传输到B端，再经耦合电容器、结合滤波器，由中心频率为 f_1 的收信滤波器滤取 f_1 、 $f_1 \pm (0.3 \sim 2.3)$ 千赫的高频信号，通过反调制即得到了A端的话音信号。按同样方式我们可以将B端的话音信号传输到A端。这样就实现了电力线载波通信。

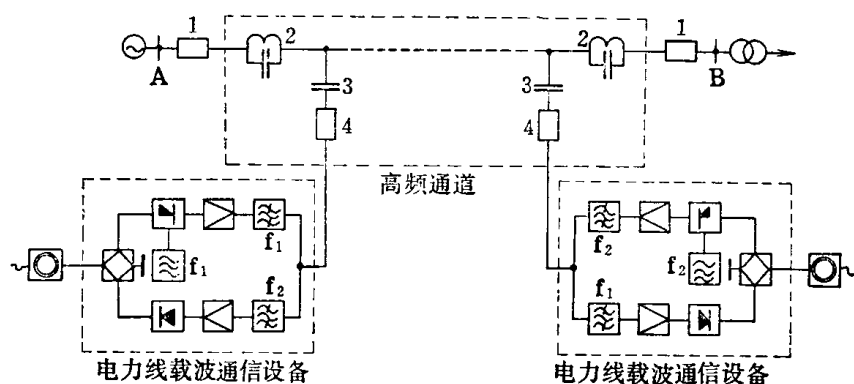


图 0-3 电力线载波通信的原理图

1—线路开关；2—阻波器；3—耦合电容器；4—结合滤波器

比较图0-2(a)和图0-3，可以看出，电力线载波通信设备和有线载波通信设备原理上没有区别，但由于电力线载波设备与电力线相连接，因而必须安装结合加工设备。结合加工设备包括：阻波器、耦合电容器和结合滤波器。阻波器用来阻止高频信号流入发电厂或变电站，以削弱电力设备对高频信号的旁路作用，从而减少高频信号在传输中的衰耗。耦合电容器和结合滤波器组成一个带通滤波器，以防止工频电流进入载波设备并使高频信号能顺利通过。

三、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）的某一个参数（振幅、频率或相位）的过程。因此，经过调制后的高频波，其某一个参数是按照音频

信号的变化规律而变化, 这样就将音频信号记载在高频波的某一个参数上, 从而实现高频波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), 所以连续波的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着密切的关系。在电力线载波通信设备中, 最普遍采用的调制方式是调幅。

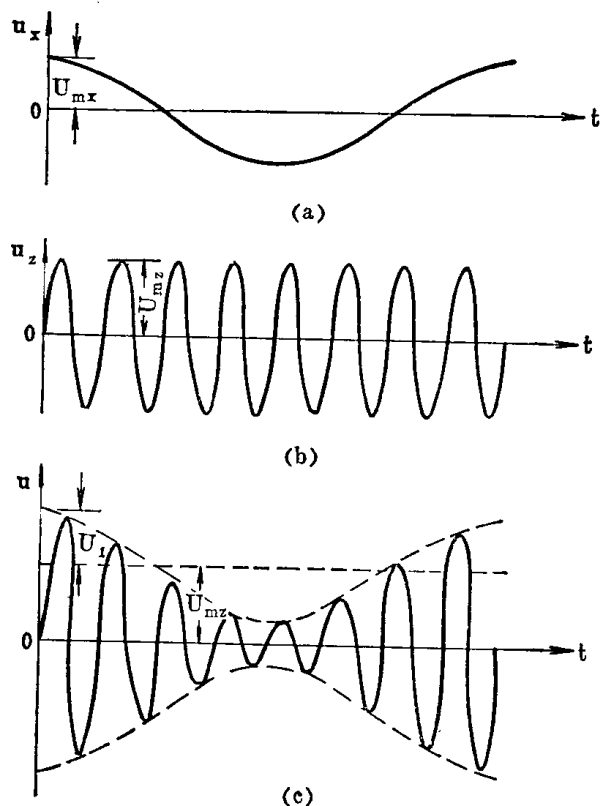


图 0-4 调幅波波形

(a) 音频调制信号; (b) 载波; (c) 调幅波

调幅是以音频信号来控制载波的幅度。设载波电压 $u_z = U_{mz} \sin \omega t$, 音频信号电压 $u_x = U_{mx} \cos \Omega t$, 它们的波形分别如图 0-4 (a)、(b) 所示。经调幅之后, 理想的调幅波形如图 0-4 (c) 中所示, 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

$$u = U_m \sin \omega t \quad (0-1)$$

由图 0-4 (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

$$U_m = U_{mz} + U_1 \cos \Omega t \quad (0-2)$$

式 (0-2) 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, 即

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

由图 0-4 (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。

将式 (0-2) 代入式 (0-1) 可得调幅波

$$\begin{aligned} u &= (U_{mz} + U_1 \cos \Omega t) \sin \omega t \\ &= (U_{mz} + m U_{mz} \cos \Omega t) \sin \omega t \\ &= U_{mz} \sin \omega t + \frac{m U_{mz}}{2} \sin(\omega + \Omega) t + \frac{m U_{mz}}{2} \sin(\omega - \Omega) t \\ &= u_z + u_{\pm} + u_{\mp} \end{aligned} \quad (0-3)$$

由式 (0-3) 可见, 一个经正弦信号调幅后的调幅波是由三个不同频率的正弦分量所组成, 其中

$$\begin{aligned} u_z &= U_{mz} \sin \omega t \quad \text{称为载频分量;} \\ u_{\pm} &= \frac{m U_{mz}}{2} \sin(\omega + \Omega) t \quad \text{称为上边频分量;} \\ u_{\mp} &= \frac{m U_{mz}}{2} \sin(\omega - \Omega) t \quad \text{称为下边频分量。} \end{aligned}$$

这样,调幅波就可由三个正弦分量之和来表达。调幅波、载波和音频信号的幅度与频率的关系,可用图0-5(a)所示的频谱图来表示。由图可见,调幅波占据了一个宽度为 $2F$ 的频带。

通常的音频信号是一个复杂的非正弦波,可以看成由许多频率不同、幅度不同的正弦分量所组成,它占有一定的频带范围 $F_1 \sim F_2$ (如话音信号可为300~2300赫)。每一个正弦信号调幅后,调幅波除载频分量外,出现一对上、下边频分量。一个复杂的非正弦波调幅后,调幅波中除载频分量外,出现许多频率为 $f + F_1 \sim f + F_2$ 的上边频分量和频率为 $f - F_2 \sim f - F_1$ 的下边频分量,它们组成上边带和下边带,如图0-5(b)所示。

在载波通信中,频谱图习惯上画成图0-5(c)。图中用三角形表示音频信号和边带的频谱,在频率坐标轴上,三角形锐角的顶点代表音频信号的低频 F_1 ,三角形直角的顶点代表音频信号的高频 F_2 。这样,可以很形象地看到上边带的频率与音频信号频率有顺置的相对关系,而下边带的频率与音频信号频率则有倒置的相对关系。

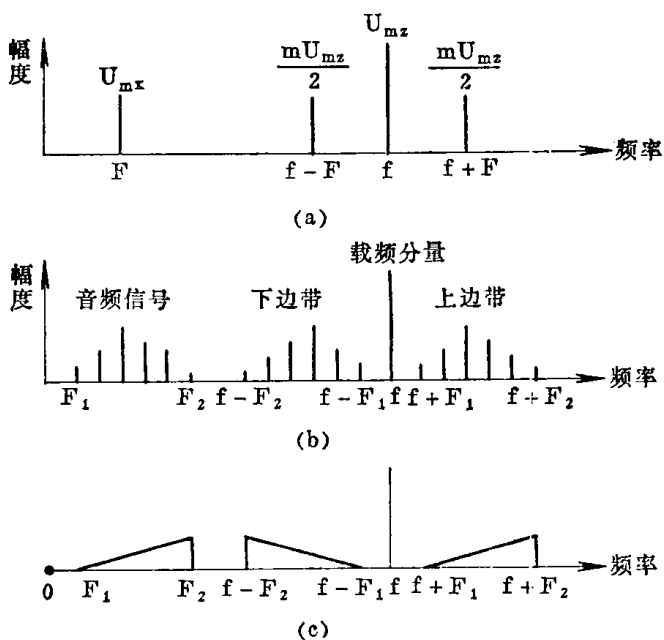


图 0-5 调幅波的频谱

四、单边带制

由上可知,调幅波是由载频分量和上、下边带所组成。所以,传输调幅波时应将其载频分量和两个边带同时发送出去。仔细分析式(0-3)可以发现,调幅波中的载频分量与音频信号的幅度、频率都无关,而上、下边频的幅度与音频信号的幅度成正比,其频率也随音频信号频率的变化而变化。因此,载频分量仅起到运载信息的作用,在上、下边带中才包含着所传送信号的全部信息。从传送信息的角度来看,只要发送一个边带就可以传送出全部信息。这种抑止载频分量只发送一个边带的办法,称为单边带制。为了区别于单边带制,将载频分量和两个边带都发送的调幅制称为双边带制。

单边带制不论在经济利用频带上或在抗干扰能力上都比双边带制优越,所以单边带制在电力线载波通信设备中被广泛地采用。但是,双边带制由于设备简单、经济,在线路杂音电平不高及线路频谱安排亦不紧张的情况下,也被采用。

五、单边带电力线载波设备

(一) 组成

电力线载波通信设备一般都有发信支路、收信支路、差接系统、自动电平调节系统、

自动交换系统等五部分组成。

发信支路：将话音信号对载波进行调制，并放大后送到高频通道上去。

收信支路：从高频通道上选出高频信号，进行反调制，恢复出对方话音信号。

差接系统：连接收、发信支路和用户话机线路。

自动电平调节系统：电力线上高频信号的传输特性是不稳定的，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，应该使收信端的话音音量稳定，这就要在收信端随时调节收信支路中放大器的放大量，如用人工调节是达不到要求的，因此都采用自动电平调节系统。

自动交换系统：电力系统中的通信，主要是为电力调度服务，一般用户数量不多，每端通常只接有几个用户话机。为了使主叫用户能和被叫用户迅速地接通，就必须在载波设备中附有自动交换系统，来完成这种自动接续任务。

(二) 方框图

采用不同调制方式的电力线载波设备，其具体方框图是不同的。单边带电力线载波机的原理方框图如图0-6所示。

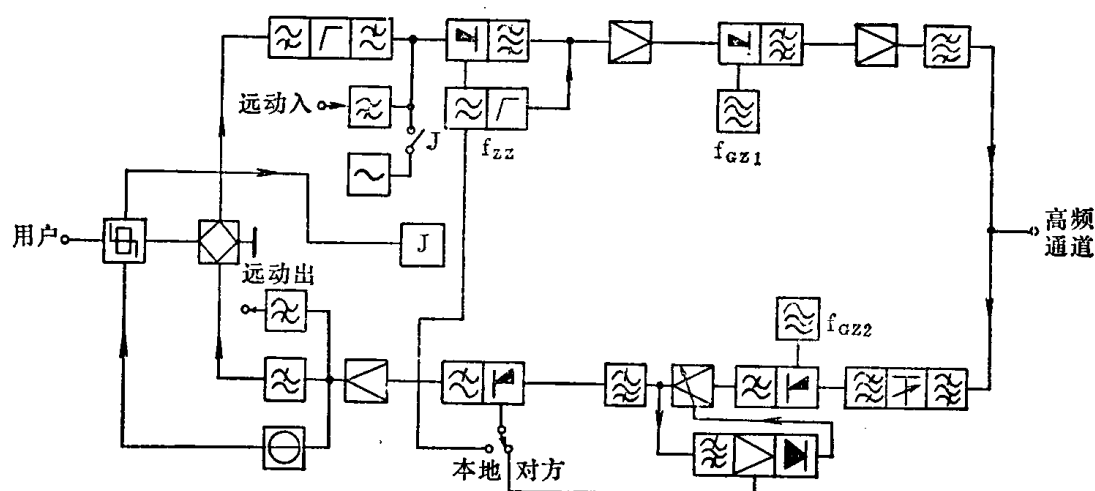


图 0-6 单边带电力线载波机原理方框图

单边带制的通信设备，在技术上必须解决两个问题，一是要能很好地滤去相邻的无用频率成分和无用边带，二是在接收端要求高度准确地重复设置载波。为此，单边带电力线载波机采取两级调制的方法来解决滤除相邻无用频率分量，用最终同步法来解决复置载波的准确性问题。另外，在单边带调制的电力线载波机中，为了实现自动电平调节和自动交换，引入了导频信号和呼叫信号；为了同时传送远动信号，还必须考虑远动复用的问题。下面将分别加以介绍。

(1) 两级调制：从图0-6中可见，采用了两级调制。其主要原因是电力线载波通信的工作频率较高，如果采用一级调制，直接将话音信号变为高频，那么有用边带和无用频率分量相差的相对值很小，对高频带通滤波器的防卫度要求就太高。例如在图0-7(a)中，载波频率为100千赫，话音频带是0.3~2.3千赫，经调制后取其上边带，所得边带频率为100.3~102.3千赫，它与无用边带相差0.6千赫，与无用的载频分量仅相差0.3千赫。为了

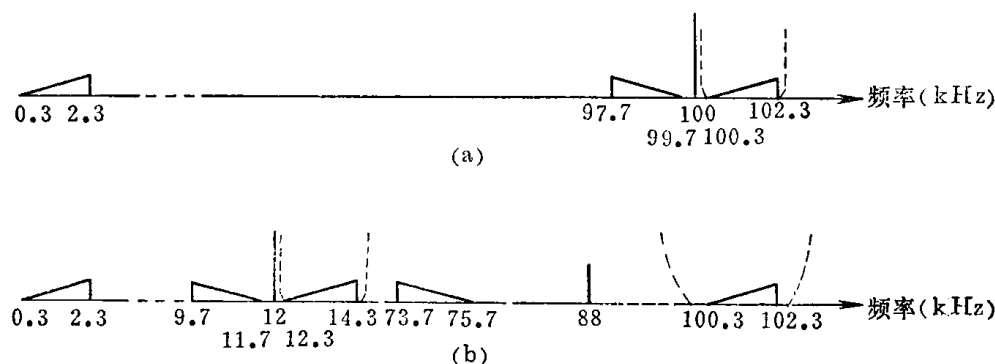


图 0-7 调制频谱图
(a)一级调制；(b)两级调制

滤除无用边带和载频分量，高频带通滤波器的制造因数 α 为

$$\alpha = \frac{\text{相邻通路频率间隔}}{\text{载波频率}} = \frac{0.3}{100} = 0.003$$

这样小的制造因数，用LC元件制作的滤波器，目前无法实现。

如果采用两级调制，首先将话音频带对12千赫中频载波进行调制，取其上边带，再对88千赫高频载波进行调制取其上边带，所得边带频率也为100.3~102.3千赫，其频谱图见图0-7(b)。这样，对中频带通滤波器的要求是取出12.3~14.3千赫的上边带，滤除与12.3千赫相差0.3千赫以外的中载频分量和无用边带，其制造因数 $\alpha = \frac{0.3}{12} = 0.025$ 。而对高频带通滤波器的要求是滤除100.3千赫以外的高载频分量和无用边带，其制造因数 $\alpha = \frac{12.3}{88} = 0.14$ 。显然，对带通滤波器防卫度的要求降低了，用LC元件制作所需的滤波器成为可能。因此，目前单边带电力载波机无例外地采用两级调制。

(2) 最终同步法：单边带制的已调波是一个调频—调幅波，不能采用振幅检波电路来实现反调制，而要在接收端供给一个与发信端载波频率完全一致的载频振荡来实现反调制。这就要求发信和收信两端的中频载波频率和高频载波频率保持严格相等，否则，反调制后所得的音频信号，将出现频率的偏差。大量实践工作表明，对于通话，偏差应小于10赫，对于传送远动信号，要求偏差小于2赫。这样的要求单靠振荡器的频率稳定度来保证，往往是很困难的，而采用最终同步法可以得到很好的解决。

最终同步法就是在发信端，发送一个中频载波信号（12千赫），而在收信端收信支路中用中频窄带滤波器，将对方送来的中频（12千赫）滤出，供给第二次反调制，如图0-6所示。只要窄带滤波器是稳定的，收、发信支路的高频载波振荡器频率偏差小于窄带滤波器的通带约10赫，就能保证稳定工作，消除反调后所得音频信号的偏差，实现最终同步。

为了讨论方便，将最终同步系统用图0-8表示。图0-8(a)中，发信支路送入的音频信号频率为 F ，中频载波频率为 f_{zz} ，如取用上边带，则1点的信号频率和中载频分别为 $f_{zz} + F$ 和 f_{zz} 。高频载波频率为 f_{GZ} ，经两次调制后，取上边带，在输出端得到频率为 $f_{GZ} + (f_{zz} + F)$ 和 $f_{GZ} + f_{zz}$ 的信号。

图0-8(b)中，收信支路2点接收到的信号频率有 $f_{GZ} + (f_{zz} + F)$ 和 $f_{GZ} + f_{zz}$ 。如收

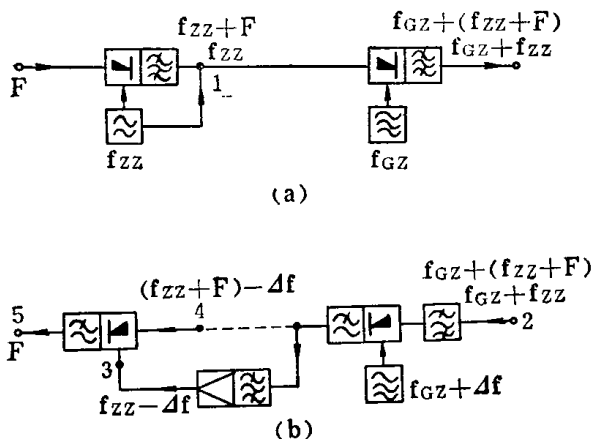


图 0-8 最终同步系统
(a)发信支路; (b)收信支路

信支路高频载波频率与发信支路的高频载波频率偏差为 Δf , 则经一次反调和中频窄带滤波器之后, 在 3 点得到的中频载波频率为

$$(f_{GZ} + f_{ZZ}) - (f_{GZ} + \Delta f) = f_{ZZ} - \Delta f$$

同时, 在 4 点得到一次反调的信号频率为

$$\begin{aligned} f_{GZ} + (f_{ZZ} + F) - (f_{GZ} + \Delta f) \\ = (f_{ZZ} + F) - \Delta f \end{aligned}$$

可见, 由于收信支路高载频偏差 Δf , 反调出的中载频偏差也为 Δf , 则经一次反调

得出的信号频率亦偏差 Δf 。将 3 点所得的对方中频载波对 4 点的信号进行二次反调, 得 5 点的信号频率为

$$(f_{ZZ} + F) - \Delta f - (f_{ZZ} - \Delta f) = F$$

显然, 频率的偏差被对消, 5 点所得的信号和原音频信号频率一致, 达到了最终同步。

(3) 导频、呼叫信号的作用: 单边带载波机中, 为了实现自动电平调节, 在发信端送出一个稳定的导频信号, 对方收信支路用窄带滤波器选出导频信号。当通道衰减变化时, 对方收到的导频信号大小也随着发生变化, 将这一导频信号放大、整流, 控制收信支路中调节放大器的放大倍数, 使输出的话音信号维持不变, 达到自动调节的目的。实际上, 为简单起见, 往往采用中频载波经稳幅后作为导频信号, 如图 0-6 中所示。

单边带载波机中, 为了完成自动交换, 在发信端还要送出一个呼叫信号, 对方收信支路由收铃器选出呼叫信号, 如图 0-6。当主叫用户拿起电话机的送受话器并拨号时, 经本侧自动盘控制呼叫信号的发送和断续; 对方收信支路收铃器选出呼叫信号, 使对方自动盘工作, 向所呼叫的用户振铃, 沟通双方用户。

(4) 复用远动信号: 在电力系统中, 往往不仅需要传输调度电话信号, 而且还要利用载波通信来连续地传输远动信号, 使调度员能对发电厂和变电站实现遥测、遥信和遥控等。为此, 一般在设计电力线载波机时, 都考虑了这种需要, 在话音信号频带以上安排一个远动信号频带, 供多路远动信号传输。如图 0-6 中所示, 在发信支路中用高、低通滤波器将远动信号和话音信号汇集, 然后送入中频调制器; 收信端在收信支路中从二次反调后用高、低通滤波器将其分开。这种能同时传输话音信号和远动信号的载波机, 称复合式电力载波机。

(三) 发信和收信过程 (见图 0-6)

(1) 发信过程: 用户送来的话音信号, 经自动盘、差接系统进入发信支路, 通过高通滤波器抑制话音信号中的工频干扰, 经限幅再经低通滤波器滤除其高次谐波后送入中频调制器。中频调制器输入的信号, 除话音信号外, 还有呼叫信号、远动信号。对这一信号实现中频调制后, 由中频带通滤波器取其上边带, 然后与稳幅的导频信号汇集一起送入放

大器。放大后的中频信号再经高频调制，用高频带通滤波器取出其有用边带，进行功率放大，并用线路滤波器抑制谐波后送入高频通道。

(2) 收信过程：由收信滤波器从高频通道选出对方发送的高频信号，经可变衰减器调节收信电平后送入高频反调制器。反调输出的中频信号再经有自动电平调节作用的调节放大器，输出为一稳定的信号，用中频带通滤出有用边带，进入中频反调制器。中频反调的载频，可由接收对方发送的中频载波（在这里即为导频信号）来供给，亦可由本机（本地）中载频振荡器供给。中频反调后的音频信号，其中包括话音信号、呼叫信号和远动信号，由低通滤波器滤出，经话音放大器放大后，收铃器内的窄带滤波器滤出呼叫信号，高通滤波器滤出远动信号，低通滤波器滤出话音信号。话音信号经差接系统、自动盘送到用户话机。

六、电力线载波通信设备的特点

电力线载波通信是利用电力线进行载波通信，这就不需要单独架设线路和维护线路，而且电力线结构坚固，所以这种通信方式既经济又可靠，在电力系统通信中是一种基本的通信方式。由于电力线载波通信是为电力调度服务的，所用的高频通道又较复杂，因而实现电力线载波通信的设备具有一定的特点。

电力线上存在着强大的工频电流，为了免受严重的工频谐波干扰和便于结合设备的制造，同时为了避免进入广播频段和防止线路衰耗过大，目前电力线载波通信的工作频段选在40~500千赫范围内。

电力线和电气设备在运行和操作中，存在着电晕、电弧和火花放电等现象，造成电力线高频通道的杂音较高，一般为-2.5~-5奈。从保证通话清晰度出发，电力线载波通信设备的发信功率都较大。

电力系统在操作和故障时，高频通道的衰耗会发生较大的突然变化，为保证在电力系统操作和故障时能维持调度通信不中断，电力线载波设备具有较快的自动电平调节系统。

另外，电力调度要求载波通信设备接通用户迅速并能同时传输远动等其他信号，因而电力线载波通信设备都设有自动交换系统并一般都能复用远动。

第一章 ZDD-5型电力线载波机的整机介绍

ZDD-5 型电力线载波机是根据我国电力系统的实际情况，自行设计、自行制造的单路复合电力线载波机。它专供在高压电力线上开放电话和远动通路用，能满足电力系统中发电厂、变电站、调度所之间调度和业务通信的要求。目前，已在电力系统中广泛使用。

第一节 概 述

ZDD-5电力线载波机在设计时，考虑了国内 220 千伏及以下高压电力线通信的特点和电力线在运行、维护时对调度通信的特殊要求，吸取了ZDD-2、ZDD-3电力线载波机的运行经验，尽量采用了目前较为成熟的技术，对关键元件采取了必要的工艺措施，从而保证了设备功能比较完善，在运行中设备性能较为稳定。

测 量 SL2·135·123		铭 牌	
通话告警 SL2·135·104		线路放大 SL2·133·218	
方向接收 $SL2·140·566 - \frac{1}{115}$		方向发送 $SL2·140·565 - \frac{1}{115}$	
自动 I SL2·148·054		自动 II SL2·148·055	
高频接收 $SL2·140·575 - \frac{1}{115}$	远 动 SL2·148·057	收 铃 SL2·142·031	自动 III SL2·148·056
高频反调 $SL2·081·075 - \frac{1}{115}$	导频系统 SL2·135·105	中频反调 SL2·081·077	音频终端 SL2·142·030
高频发送 $SL2·148·053 - \frac{1}{115}$	高频调幅 $SL2·081·074 - \frac{1}{115}$	中频调幅 SL2·081·076	低频发送 SL2·135·107
电 源 I SL2·136·110			
电 源 II SL2·136·111			

图 1-1-1 ZDD-5机盘排列图

ZDD-5电力线载波机的结构，采用单面箱柜后接插型式。整机电路除保安器外，全部装在机盘中。根据电路的繁简，机盘分别采用整盘、二分之一盘和四分之一盘三种。盘内绝大部分元件，装在印刷电路板上。机盘面板上装有调节元件、指示仪表和测试端子等，便于日常维护。机盘面板上还设有拉手，供机盘的插拔。盘后设有30线插头，用作分盘电路和机柜总布线之间的电气连接。机柜底部有四个安装孔，可以用来将设备固定于机房地面，防止振动。为日常维护方便起见，机柜后面有两扇门，可以随时开启进行测试和检查，门上装有门把专供开关和锁定。考虑机房走线情况的不同，本设备的顶部和底部均有进线孔，可以任意选用顶部或底部进线。进出线端子板设在机柜的右上角，卸下端子板正面的面板后，就可将进出线焊接在端子板的接线柱上，也可打开柜后机门直接固定在端子板后面接线柱的螺丝上。

整个机盘的排列情况如图1-1-1所示。机柜的高度为1310毫米、宽647毫米、深350毫米，重量约为150公斤。在机柜的两侧装有白色的“工作”灯和红色的“总告警”灯。左侧还附有送受话器的挂钩，在运输过程中挂钩缩在里面，安装时应松开支头螺丝，拔出来固定后使用。

一、技 术 性 能

ZDD-5电力线载波机专供在220千伏及以下高压电力线上，开放电话和远动通路用，可提供一个电话通路及四个50波特的远动信号通路。

它采用载频抑制单边带两次调制方式。话音通路频带为300~2300赫，远动通路频带为2650~3400赫，呼叫信号频率为2500赫，基本载波频带为4千赫，如图1-1-2(a)所示。中频载波频率为12千赫，调制后取上边带。高频载波频率随工作频带不同而定，可选用

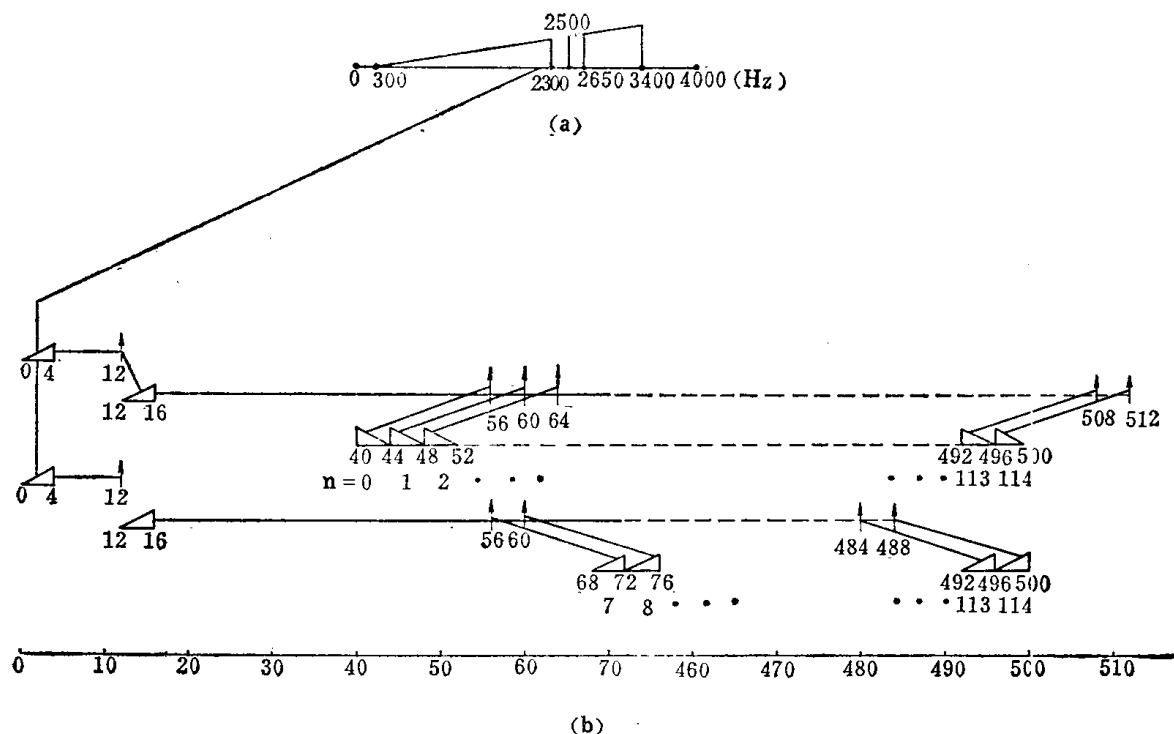


图 1-1-2 ZDD-5的音频频谱和调制过程

115种不同的高载频 $(56+4n)$ 千赫 $(n=0,1,2,\dots,114)$ ，其调制方式如图1-1-2(b)中所示，经调制后任意选取上边带或下边带，共可提供40~44、44~48、……496~500千赫等115种不同的频带。在线路频谱安排时，并机运行的频谱间隔应保证8%以上，但不得小于8千赫。它采用定周式^①通信方式，在220千伏线路上运行时，正常允许通道衰耗为4奈，在110千伏线路上运行时，正常允许通道衰耗为5奈。它可以实现自动音频转接和中频转接，以组织电力系统的通信网，满足电力调度通信及远动设备的需要。

ZDD-5电力线载波机设有自动交换系统，可提供四门用户。用户Ⅰ、用户Ⅱ可作音频转接用户，以供自动音频转接用。用户Ⅳ可作优先用户，能进行协商延时强拆，以保证调度优先使用的需要。用户Ⅲ是一般用户。它设有测量设备，可进行电源电压和各点电平的测试、检查；并设有通话监听设备，它除供值班人员维护通话监听之外，还能对自动交换系统的工作进行自环检查。它设有自动告警系统，协助值班人员进行日常维护。当设备发生电源消失、电源故障、载频振荡器停振、导频电平偏离太大等情况时，均能发出可见可闻的告警信号。ZDD-5电力线载波机采用交流50赫、220伏供电，耗电功率不大于200瓦。

二、方框图及传输过程

ZDD-5型电力线载波机的电平方框图如图1-1-3所示。现按信号传输过程将发信和收信支路分述如下：

(一) 发信支路

用户话机送来的话音信号，由用户线接至用户端子，如Ⅰ3、4（或Ⅱ13、14，Ⅲ23、24，Ⅳ33、34），经自动交换系统中的绳路，将话音信号送到音频终端盘中音频二线端，再经0.4奈缓冲衰耗器，由差接网络将二线转换为收、发信支路的四线，信号进入发信支路。

发信支路入口的话音信号由二、四线转换继电器的接点，将信号送至0.6奈衰耗器（如在音频转接时，二、四线转换继电器切换，转接的话音信号由一转或二转的转接端子，经二、四线转换继电器的另一接点，将信号送至0.6奈衰耗器）。衰耗器输出的话音信号电平太低，用1奈增益的放大器将信号电平提高到限幅器所需要的数值，由限幅器削去话音信号的瞬时过幅，输出的信号再经0.8奈衰耗器，使音频终端盘出口电平为要求的-1.5奈。

低频发送盘输入的话音信号，首先经过压缩器，将话音信号的动态范围进行压缩，然后经0~0.5奈的衰耗器和2.3千赫低通滤波器与远动信号汇集。这里的衰耗器是在复用远动信号时，压低话音信号用的；低通滤波器是将话音信号限制在2.3千赫以下，防止串扰其他信号。低频发送盘的远动信号是由远动盘送入的。远动信号从远入端子7.8进入远动盘，经转换变量器、0~4.3奈调节衰耗器送入低频发送盘。它在低频发送盘内由远动带通滤波器抑制掉在远动通道上串入的杂音，再由2.65千赫高通滤波器将远动信号限制在2.65千赫以上，以便和话音信号相汇集。呼叫信号由通话告警盘中的2.5千赫振荡器产生，经自动盘

① 电力线载波通信中，通信设备的收、发信频率固定不变的通信方式称定周式，而收、发信频率在主叫时会相互变换的称变周式。

控制后，送入低频发送盘。高、低通滤波器将话音和远动信号相汇集，电阻差接网络再将它们和呼叫信号相汇集，输出的音频信号（频带为0.3~3.4千赫）送至中频调幅盘。

音频信号在中频调幅盘中，经中频调制后，用中频带通滤波器滤取其上边带（12.3~15.4千赫）。这里用 0.3 ± 0.2 奈衰耗器调节电平，保证输出边带的电平为-3.6奈。如果采用中频转接，中转信号（12.3~15.4千赫）从中转发端子27、28输入，可经差接网络汇集到通路上来。输出的边带信号再经另一差接网络，将中频振荡器提供的12千赫导频信号也汇集在一起，将12~15.4千赫的中频信号输入高频调幅盘。

中频信号进入高频调幅盘后，为了改善高频载漏和固有杂音的影响，由2.7奈放大器将信号电平提高，再进行高频调制。调制输出的高频信号经高频发送盘两个高频带通滤波器滤出所需的边带，再由5.4奈前置放大器放大到足够的电平，送到线路放大盘将电平提高到+4.2奈，以保证外线端发信电平为+4奈。高频发送盘中，1.4~1.9奈衰耗器是补偿高频带通滤波器通带衰耗的不一致性， 0.3 ± 0.2 奈衰耗器是调节电平用。

线路放大盘输出的高频信号经方向发送滤波器，将线路放大器所产生的谐波加以滤除后，经外线端1、2送到高频通道。

（二）收信支路

对方送来的高频信号经外线1、2端，首先经方向接收滤波器以保证收发信支路并接及并机分流衰耗，同时亦改善收信支路的选择性，然后由 2 ± 2 奈衰耗器和高频接收盘中 0.4 ± 0.4 奈衰耗器调节接收高频信号电平为标称值。调整后的高频信号经两个高频带通滤波器抑制干扰，保证收信支路的高频选择性，由高频带通滤波器输出的高频信号电平很低，经2.7奈放大器送到高频反调盘。这里的0.9~1.4奈衰耗器的作用和发信支路1.4~1.9奈衰耗器作用相同。

高频信号在高频反调盘中实现反调，经15.4千赫低通滤波器滤出12~15.4千赫的中频信号。中频信号经导频系统盘中调节放大器的调节后，输出是稳定的中频信号，电平为0奈。调节放大器输出端跨接一个12千赫窄带滤波器，把中频信号中的12千赫导频信号选出，经导频放大、整流为控制信号，再经扩张后送进调节放大器控制其增益，使输出电平达到稳定。整流后的导频信号，还接入电表作导频指示。

稳定的中频信号送入中频反调盘，经1.3奈阻抗缓冲衰耗器后，用均衡器来均衡收、发信支路和中转电路中二个中频带通滤波器的频率特性。中频带通滤波器滤除中频信号的带外干扰，保证收信支路良好的选择性，同时亦能部分抑制导频信号，由中频带通滤波器输出的中频信号频带为12.3~15.4千赫。0.3和1.8奈衰耗器实际上是一个电阻六端网络，它将中频信号分成两路，一路经中转通路的中频带通滤波器进一步抑制导频信号后，中转信号从中转收端子37、38输出；另一路经0.8奈缓冲衰耗器进入中频反调制器。中频反调制器的载波的供给有两个来源：主要靠导频系统接收对方12千赫导频信号，经过稳幅供给反调作载波，这样可以实现最终同步，也可以将插头置于“本地”位置，由本机中频调幅盘中12千赫振荡器供给中频反调作载波。中频信号经中频反调幅器反调后输出，再经3.4千赫低通滤波器滤出0.3~3.4千赫的音频信号，经过 4.0 ± 0.5 奈话音放大器放大后送入音频终端盘的收信支路。

音频信号在音频终端盘中,由高、低通滤波器将话音信号和远动信号分别滤出,用窄带滤波器取出音频信号中的呼叫信号。2.5千赫呼叫信号,由收铃盘中2.5千赫窄带滤波器从低通滤波器内的导纳补偿网络上选取。为了减小窄带滤波器对通路的跨接影响,插入了高阻抗衰耗器。选出的呼叫信号经射极输出器、收铃放大器放大,再经整流去控制自动交换系统,实现自动交换。2.65~3.4千赫远动信号被2.65千赫高通滤波器滤出,经转换变量器和远动盘中的调节衰耗器、调节放大器在远动输出端17、18输出。远动盘中的可变衰耗器和可调放大器可根据需要调节输出远动信号的电平。0.3~2.3千赫话音信号用2.3千赫低通滤波器滤出,经0.5~0.8奈远动衰耗器来补偿复用远动时由于发信支路压低的电平,再经扩张器恢复话音信号的动态范围。这时话音信号经差接网络送到音频二线端。自动交换系统中的绳路将话音信号接到通话的用户端如I 3、4(或II 13、14, III 23、24, IV 33、34),再经用户线送到用户话机。

第二节 技 术 指 标

电力线载波通信的质量决定于通路的质量。电力线载波通路是由电力线高频通道和电力线载波设备所组成,显然通信质量是与高频通道和载波设备的质量有关,当然还与运行时是否正确调整有关。从运行角度来看,良好的维护和正确的调整可以提高通信质量。从载波设备来看,它的技术指标和通路质量指标的优劣密切相关。所以,不论是鉴别载波通路维护运行的水平,还是评价载波设备的品质,了解通路的质量指标是极为重要的。

一、通路质量指标

(一) 传输电平和阻抗

传输电平是指载波通路上各主要点的电平,它的数值是和各项质量指标有关,它的稳定反映载波通路工作的稳定。因此传输电平是载波通路传输质量的最基本的指标。

传输电平过高,会造成设备中某些部件或元件过负荷,使振幅特性变坏,更严重的是产生非线性失真,引起本设备收、发信支路间的串音、对相邻设备的串音及通路电平不稳定。传输电平太低时,在一定的杂音情况下,信杂比大大下降,加剧了杂音的影响,降低了通信质量,同时,缩小了振铃边沿,降低了呼通率。因此,在载波通路上各主要点的电平经合理确定和安排后,在图纸上用功率电平明确地标出,在运行中应保持规定数值。

在实际运行中,常有电路转接,为使转接电路能正确衔接,对转接点的电平应有严格的要求,对阻抗也有一定的要求,即要求反射系数不能过大。我们知道当阻抗不匹配时,会引起反射,且各频率的反射不同。反射系数过大会增加频率特性的失真,会造成在该点测量电平的误差,这是不允许的。考虑这些原因,载波设备转接点的电平和阻抗,均采用国际统一推荐值或国内统一规定值。

(二) 通路净衰耗

通路净衰耗是指载波通路始端的输入电平和终端的输出电平的差值。显然,载波通路始端和终端的电平确定后,通路净衰耗也就确定了,它是从属于传输电平的一个重要指

标。图 1-2-1 是通路净衰耗的示意图。由图可见，通路净衰耗是一个传输方向的全程总衰耗减去总增益所净余的衰耗。若总衰耗 $\Sigma b = b$ ，总增益 $\Sigma S = S_1 + S_2$ ，则净衰耗 $b_r = b - (S_1 + S_2)$ 。

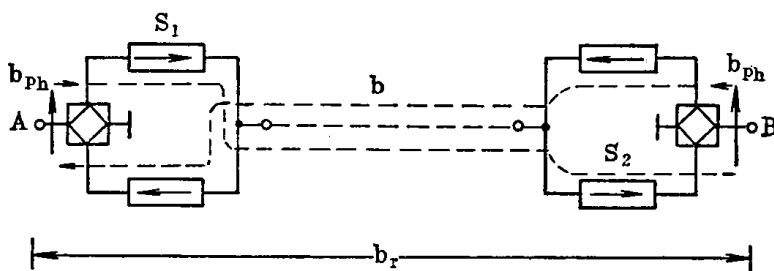


图 1-2-1 通路净衰耗的示意图

通路净衰耗 b_r 的大小，表明了通路衰耗的大小，也即反映了通话时收信音量的大小。从收信音量来看，净衰耗愈小，可以得到较大的音量，但是这样将使环路中衰耗减小，当通路两端开路时，很容易引起振鸣^①。因此，从电路稳定来看，净衰耗应大一些。所以，通路净衰耗应根据用户话机的灵敏度和电路的稳定度，综合考虑确定一个适当数值作为净衰耗的标准。

通路净衰耗通常指以 800 赫信号为准的衰耗。这是因为测量时用单一频率较为方便，并考虑到人耳听觉对于 800 赫信号较为灵敏的缘故。

电力线载波设备的话音二线端电平，国际推荐为发信电平 0 奈、收信电平 -0.8 奈，则通路净衰耗值为 0.8 奈。

(三) 通路净衰耗频率特性

我们已经知道通路净衰耗是以 800 赫为标准来衡量的。实际上通路传输的信号是由许多频率成分组成，为了得到较好的通信质量，各个频率成分在通路传输中净衰耗不应有过大的偏差，这就需要考虑通路净衰耗的频率特性。不同频率通路净衰耗变化的特性就是通路净衰耗频率特性。

话音信号的频率约从 80~8000 赫，频带较宽。如要求载波电话传输这样宽的话音频带，既不经济也没有必要。实践证明只要话音信号中主要的频带得到传输，就能保持通话的清晰和逼真。这一频带通常称为有效传输频带。目前采用的有效传输频带有三种：宽频带（300~3400 赫），一般频带（300~2600 赫），窄频带（400~2000 赫）。在电力线载波通信中，电话主要是供电力调度使用，主要要求话音清晰，而对话音是否逼真没有过高的要求。其次，电力线载波通信还要求适当压缩话音频带的宽度，留出部分频带复用传输远动信号。因此，电力线载波的有效话音传输频带通常采用 300~2300（或 2400）赫。

按照理想情况，在有效话音传输频带内，所有频率的净衰耗都应和频率为 800 赫的净衰耗相同，这样才没有传输失真。实际上，话音信号传输过程中，要经过许多部件，如滤波器、放大器等，使得在传输频带中边缘频率的净衰耗往往比中间的要大，中间频率的净

① 图 1-2-1 中虚线所示的环路，其环路衰耗为 $2(b_r + b_{ph})$ ，通路两端开路时 $b_{ph} = 0$ ，如净衰耗 b_r 很小达到负值时，环路中出现增益，只要相位合适，就会产生振荡造成振鸣。