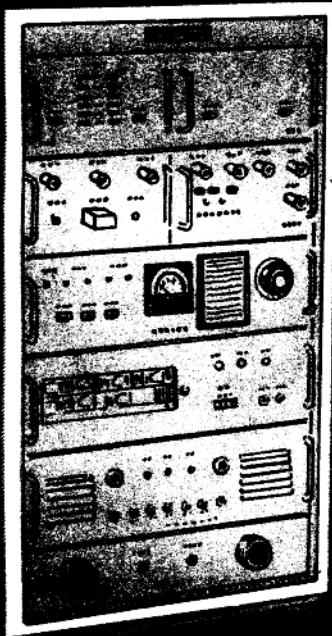
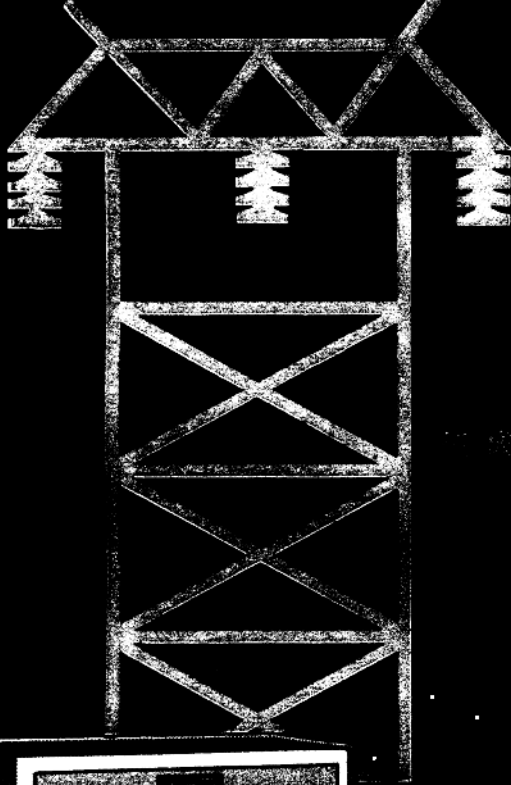


双边带电力线载波通信

王成华 编



江苏科学技术出版社

前 言

随着电力工业的发展,电力线载波通信技术已在各种电压等级的电网上广泛应用。近几年来,由于我国工农业生产的迅速发展,用电量大幅度上升,110、35千伏电压等级的电网已伸展到城乡各地,为实现这些电网内的调度和行政的通信,普遍采用双边带电力线载波通信。目前,ZS-3型电力线载波机是双边带载波通信中的主要设备,它以维护简便、性能稳定、运行可靠、价格便宜而赢得了广大用户的欢迎,不但在电力部门,而且在其他工农业部门也获得应用。

ZS-3型电力线载波机生产以来,已有大量设备在110、35千伏的电力线路上运行。为提高载波通信人员维护双边带载波设备的水平,曾举办过多次训练班,本书在训练班教材基础上,又作了修改和补充,以适应广大电力载波通信人员自学和培训的需要。

全书共分八章。绪言、第一、六章由秦国屏编写,第二章由施育华编写,第三、四章由胡宴如编写,第五章由秦国屏、施育华、胡宴如合编,第七章由杨志忠编写,第八章由徐善新编写,并经集体审定。编写时,扬州电讯仪器厂提供了ZS-3型电力线载波机的全部资料和图纸,并对编写工作给予热情的鼓励,在此谨向扬州电讯仪器厂致以衷心的感谢。

编者 1984年9月

绪 言

通信在电力系统中占有重要的地位。随着电力工业的发展,为了经济安全地生产电能和输送电能,总是将很多发电厂通过电力线及变电站联结成一个电力系统。电力系统只有在统一的管理和指挥下才能充分发挥其作用,因此在电力系统中必须具有完善和可靠的通信系统。

电力系统的通信根据具体情况,可以采用架空明线或通信电缆通信、电力线载波通信和微波通信等多种通信方式。对于电力系统来说,为输送电力和向用户供电架设了大量的输电线路和配电线路,统称为电力线。利用电力线实现的载波通信称为电力线载波通信。这种通信方式已在电力系统中广泛应用。

电力线载波通信是电力系统通信中得天独厚的通信方式,它有高度的可靠性和经济性。由于电力线的导线截面大、传输损耗小、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。特别是高频通道设计的进展,可以认为电力线载波通信和电缆通信具有相同的可靠性。同时,采用这种通信方式,不必单独架设线路和维护线路,这就不仅设备投资和运行费用经济得多,而且还可缩短基建时间。因此,电力线载波通信在电力系统中是被广泛采用的主要通信方式。现在还在国民经济的其他工业部门中开始被采用。

电力线载波通信可以采用双边带制,亦可采用单边带制。通常在110千伏以上高压电网中,电力线载波通信都用单边带制,而在110千伏或35千伏以下的地区电力网中,电力线载波通信大多采用双边带制。目前,面广量大的地区电力网中所用的电力载波终端设备,主要是ZS-3型载波机。水利电力部扬州电讯仪器厂生产的ZS-3型电力线载波机电路及结构比较简单,在使用及维护上较为方便,因此本书在介绍双边带电力线载波通信原理后,在电路原理的分析、测试调整等方面,都结合ZS-3型电力线载波机进行。这样不仅对双边带电力线载波通信,而且对ZS-3型电力线载波机都有较详细的了解。

目 录

绪 言

第一章 电力线载波通信原理

§ 1-1 通信原理	(1)
1-1-1 音频电话通信原理	(1)
1-1-2 载波电话通信原理	(3)
1-1-3 电力线载波通信原理	(4)
§ 1-2 调幅及其分析	(5)
1-2-1 调制的概念	(5)
1-2-2 调幅及其分析	(6)
1-2-3 调幅的几种形式	(8)
§ 1-3 电力线载波机的组成	(9)
1-3-1 双边带载波机的框图	(9)
1-3-2 电力线载波的通信方式	(10)
1-3-3 电力线载波的音频转接	(12)

第二章 衰耗器和滤波器

§ 2-1 四端网络及其传输方程式	(15)
2-1-1 四端网络	(15)
2-1-2 四端网络的传输方程式	(15)
§ 2-2 四端网络的输入阻抗和特性阻抗	(19)
2-2-1 四端网络的输入阻抗	(19)
2-2-2 四端网络的特性阻抗	(19)
§ 2-3 四端网络的固有传输常数	(23)
2-3-1 四端网络的固有传输常数	(23)
2-3-2 四端网络匹配链接的固有传输常数	(24)
§ 2-4 等效四端网络	(28)
2-4-1 对称T型和桥型四端网络的等效变换	(28)
2-4-2 利用理想变量的等效变换	(30)
2-4-3 线圈带中心抽头的等效变换	(33)
§ 2-5 四端网络的工作衰耗、反射衰耗和介入衰耗	(34)

2-5-1 工作衰耗	(34)
2-5-2 反射衰耗(回波衰耗)	(35)
2-5-3 介入衰耗	(36)
§ 2-6 四端网络衰耗的测量	(36)
2-6-1 固有衰耗的测量	(36)
2-6-2 工作衰耗的测量	(37)
2-6-3 反射衰耗的测量	(38)
2-6-4 介入衰耗的测量	(39)
§ 2-7 衰耗器及其计算	(39)
2-7-1 对称T型衰耗器	(39)
2-7-2 对称 Π 型衰耗器	(40)
2-7-3 桥T型(可变)衰耗器	(41)
§ 2-8 二端网络	(42)
2-8-1 纯电抗二端网络及其频率特性	(42)
2-8-2 纯电抗二端网络电抗频率特性的一般规律	(45)
2-8-3 等效二端网络	(46)
2-8-4 倒量二端网络	(48)
§ 2-9 滤波器	(50)
2-9-1 梯形滤波器的传递条件	(50)
2-9-2 K型滤波器	(52)
§ 2-10 m型滤波器	(56)
2-10-1 m型滤波器的组成及其特点	(56)
2-10-2 串联导出m型滤波器	(58)
2-10-3 并联导出m型滤波器	(58)
2-10-4 m型滤波器的特性阻抗	(59)
2-10-5 m型滤波器的衰耗特性	(60)
2-10-6 m型低通滤波器	(61)
§ 2-11 格型滤波器	(63)
2-11-1 格型滤波器的传递条件	(63)
2-11-2 格型滤波器的结构特点	(64)
§ 2-12 差接格型滤波器	(65)
2-12-1 差接格型滤波器的电路	(65)
2-12-2 四元件差接格型带通滤波器	(66)

2-12-3六元件差接格型带通滤波器	(63)
--------------------	------

第三章 电子管及其电路

§ 3-1 电子管的工作原理	(71)
3-1-1真空二极管	(71)
3-1-2稳压二极管	(72)
3-1-3三极管	(73)
3-1-4多极管	(76)
3-1-5电子管的使用常识	(80)
§ 3-2 电子管放大器的基本分析方法	(81)
3-2-1简单放大器及其工作原理	(81)
3-2-2放大器的图解分析方法	(83)
3-2-3放大器的等效电路分析方法	(85)
§ 3-3 电子管电压放大器	(87)
3-3-1三极管阻容耦合放大器	(87)
3-3-2五极管阻容耦合放大器	(89)
3-3-3变压器耦合放大器	(90)
§ 3-4 电子管功率放大器	(91)
3-4-1单管甲类功率放大器	(91)
3-4-2乙类推挽功率放大器	(93)
§ 3-5 负反馈放大器	(95)
3-5-1负反馈放大器的基本关系式	(95)
3-5-2负反馈对放大器性能的影响	(96)
3-5-3基本负反馈放大器	(98)
3-5-4阴极输出器	(99)
§ 3-6 正弦波振荡器	(101)
3-6-1振荡器的基本工作原理	(101)
3-6-2LC振荡器	(103)

第四章 晶体管放大电路

§ 4-1 晶体管的特性和参数	(107)
4-1-1晶体管的电流放大作用	(107)
4-1-2晶体管的特性曲线	(108)
4-1-3晶体管的主要参数	(110)
§ 4-2 晶体管放大器的基本工作原理	(112)
4-2-1基本工作原理	(112)
4-2-2放大器的静态工作点	(113)
4-2-3放大器的交流等效电路	(114)

§ 4-3 晶体管放大器的图解分析	(116)
4-3-1直流负载线及静态工作点	(116)
4-3-2交流负载线	(117)
4-3-3放大器电流、电压波形	(118)
4-3-4放大器的饱和失真和截止失真	(118)
§ 4-4 晶体管放大器的分析计算	(121)
4-4-1晶体管 h 参数等效电路	(121)
4-4-2放大器的分析计算	(122)
§ 4-5 射极输出器	(125)
4-5-1射极输出器的分析计算	(125)
4-5-2复合管及复合管射极输出器	(128)
§ 4-6 直流稳压电源	(129)
4-6-1半导体二极管的特性和参数	(129)
4-6-2整流和滤波	(130)
4-6-3硅稳压管稳压电路	(133)
4-6-4串联型晶体管稳压电路	(135)
4-6-5并联型晶体管稳压电路	(136)

第五章 ZS-3机的框图及分盘电路原理

§ 5-1 ZS-3 机的方框电平图	(138)
5-1-1技术性能	(138)
5-1-2方框图及传输过程	(138)
5-1-3电平图	(140)
§ 5-2 控制测量盘(K盘)	(140)
5-2-1差接系统	(141)
5-2-2限幅器	(143)
5-2-3测量表计	(145)
5-2-4信号发生器	(145)
5-2-5总告警电路	(147)
5-2-6测试和调整	(147)
5-2-7附录	(148)
§ 5-3 发信盘(F盘)	(148)
5-3-1载频振荡器	(149)
5-3-2调幅器	(149)
5-3-3发信滤波器	(151)
5-3-4功率放大器	(151)
5-3-5测试和调整	(152)

5-3-6附录	(152)
§ 5-4 线路滤波器盘(X盘)	
.....	(155)
5-4-1电路说明	(156)
5-4-2测试和调整	(158)
5-4-3附录	(159)
§ 5-5 收信滤波器盘(L盘)	
.....	(160)
5-5-1电路说明	(161)
5-5-2测试和调整	(165)
5-5-3附录	(165)
§ 5-6 收信盘(S盘)	(165)
5-6-1高频放大器	(166)
5-6-2载频放大器	(166)
5-6-3收铃电路	(166)
5-6-4自动电平调节系统	(167)
5-6-5检波和语音放大	(168)
5-6-6测试和调整	(168)
5-6-7附录	(169)
§ 5-7 电源盘(D盘)	(169)
5-7-1电路说明	(170)
5-7-2测试和调整	(170)
5-7-3附录	(171)
第六章 整机测试和调整	
§ 6-1 电力线载波通路的质量	
指标	(172)
6-1-1传输电平和净损耗	(172)
6-1-2通路净损耗频率特性	(173)
6-1-3通路稳定度	(174)
6-1-4通路振幅特性	(175)
6-1-5通路的杂音和串扰	(175)
§ 6-2 ZS-3机的技术指标	(176)
§ 6-3 测试和调整	(177)
6-3-1单机测试	(177)
6-3-2双机测试	(179)
第七章 晶体管脉冲电路	
§ 7-1 脉冲电路的基本知识	(181)
7-1-1RC电路	(181)
7-1-2微分电路	(184)
7-1-3积分电路	(185)
7-1-4晶体管的开关特性	(186)
§ 7-2 门电路	(189)

7-2-1二极管门电路	(189)
7-2-2“非”门(反相器)	(193)
7-2-3“与非”门和“或非”门电路	(201)
§ 7-3 双稳态触发器	(203)
7-3-1电路引入	(203)
7-3-2工作原理	(204)
7-3-3两个稳定状态的分析	(206)
7-3-4触发方式	(209)
7-3-5计数器和译码器	(212)
§ 7-4 单稳态触发器	(220)
§ 7-5 自激多谐振荡器	(223)
§ 7-6 阻容时延电路	(228)

第八章 自动交换系统

§ 8-1 自动交换系统的基本原理	(230)
8-1-1自动交换系统的基本作用	(230)
8-1-2自动交换系统的基本组成	(231)
8-1-3自动交换系统动作简述	(232)
§ 8-2 用户电路	(232)
8-2-1基本要求	(233)
8-2-2普通用户的用户电路	(233)
8-2-3优先用户的用户电路	(234)
§ 8-3 绳路	(235)
8-3-1基本要求	(236)
8-3-2工作原理	(236)
§ 8-4 发送电路	(238)
8-4-1基本要求	(238)
8-4-2工作原理	(238)
§ 8-5 接收电路	(240)
8-5-1基本要求	(240)
8-5-2工作原理	(240)
§ 8-6 信号音控制电路	(242)
8-6-1基本要求	(242)
8-6-2工作原理	(243)
§ 8-7 复原电路	(244)
8-7-1基本要求	(244)
8-7-2工作原理	(244)
§ 8-8 ZS-3机自动交换系统	
工作说明	(245)
8-8-1概述	(245)
8-8-2主叫盘的工作	(247)

8-8-3被叫盘的工作	(251)
8-8-4音频转接	(253)
8-8-5中央通信	(258)

§ 8-9 全机电式自动盘	(258)
8-9-1主叫盘的工作	(258)
8-9-2被叫盘的工作	(261)

第一章 电力线载波通信原理

电力线载波通信是有线载波通信技术的一个分支，它是在有线载波通信技术的基础上发展起来的。本章首先介绍音频通信和载波通信的基本概念，然后介绍电力线载波通信原理、设备组成、常用通信方式和转接方式，以便对电力线载波通信有个较全面的了解。

§ 1-1 通信原理

1-1-1 音频电话通信原理

音频通信通常主要作电话通信。音频电话通信的原理接线如图1-1-1(a)所示。它由某地的送话器、变量器经通信线路与另一地的受话器联接而成。其中送话器和受话器的原理结构，分别如图1-1-1(b)(c)所示。

当发话者对送话器讲话时，讲话的声波将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，使送话器的内阻随声波压力的大小而变化，于是在送话器电路中产生了脉动电流。脉动电流可以分解为一个直流成分和一个交变成分，这个交变成分称为话音电流。它由变量器感应到通信线路侧，经通信线路流到对方的受话器。在受话器中由话音电流产生了交变磁通，使受话器的铁质膜片发生相应的振动，从而推动周围空气形成了声波。这样受话者便听到了发话者的讲话，实现了单向音频电话通信。

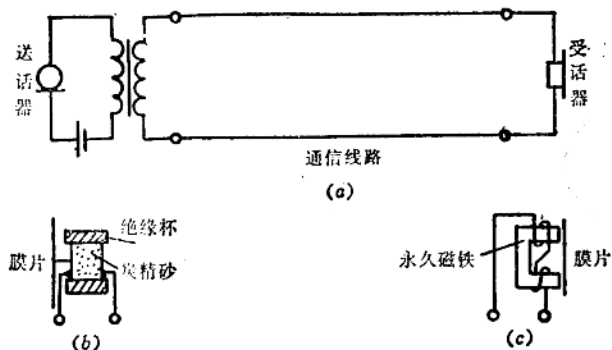


图1-1-1 音频电话通信原理

电话通信总是双向进行的，图1-1-2是双向电话通信的原理电路。当A端发话者对送话器讲话时，在送话器电路中将产生话音电流，经变量器感应到副方，电流方向如图1-1-2所示，它通过通信线路流到B端的受话器，使B端听到了发话者的讲话，实现A端向B端的电话通信。同样，当B端发话者对送话器讲话时，也经过通信线路将话音电流传送到A端，从而实现了实际使用的双向电话通信。在图1-1-2中如果没有平衡电阻 R_N ，变量器副方感应的语音

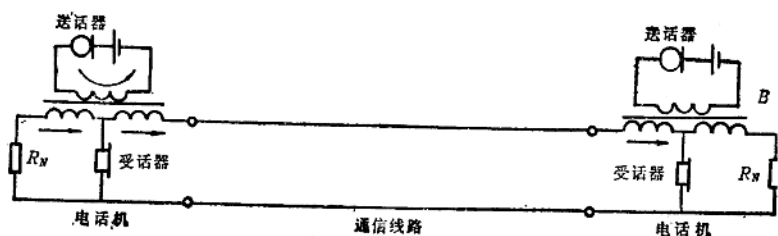


图1-1-2 双向电话通信原理

电流将流经本侧受话器，发话者将在受话器中听到自己的讲话声音，这称为侧音；如果适当地选择平衡电阻 R_N 的数值，可以使流经本侧受话器中的两个电流分量相互抵消，在自己的受话器里，不致听到自己的讲话声音，达到抵消侧音的目的。图1-1-2也可用图1-1-3来表示，这就是最简单的有线通信，称为音频电话通信。

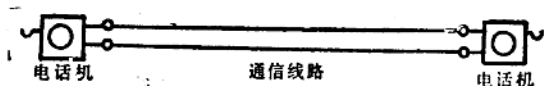


图1-1-3 音频电话通信

现在所用的电话机，一般发出的语音电流功率为1毫瓦时，能正常通话的接收功率约需1微瓦，通信线路能允许的最大衰耗是受到限制的，也就是说通信的距离是有限的。为了延长通信的距离，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，而电话通信的语音电流信号（简称语音信号）总是两个方向传输的，因此只有用两只放大器按相反方向联接，才能实现双向放大。如图1-1-4所示，简单地将两只放大器和通信线路直接联接，在两只放大器的环路里，构成一个正反馈电路。放大器I放大了的信号，将直接加到放大器II的输入端，而放大器II放大后的信号也将直接加到放大器I的输入端。那末信号越放越大，直到电路产生振荡，话机的受话器中会发生啸叫声，使通信无法正常进行，这种现象称为振鸣。

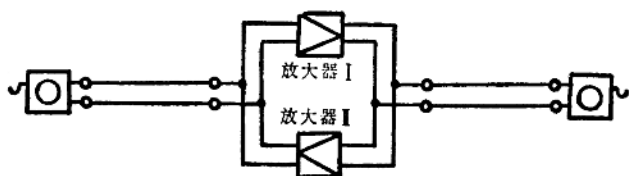


图1-1-4 不正确的双向放大通信电路

为了防止振鸣，在两只放大器和通信线路联接处，均插入一个差接系统如图1-1-5所示。差接系统的特性是在相对面的两端具有很大的衰耗，而相邻的两端之间具有较小的衰耗。可见插入差接系统后，使两只放大器的环路中，增加了很大的衰耗，消除了振鸣。而对双向传输的语音信号分别得到放大，达到了延长通信距离的目的。图1-1-5中虚线框内，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插入增音机就可以延长通信距离。

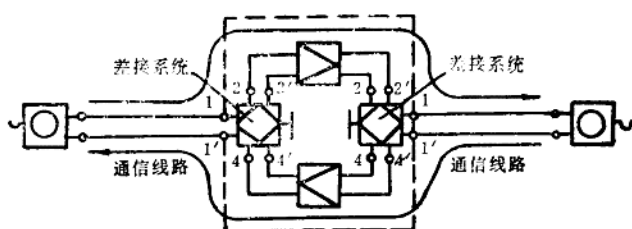


图1-1-5 采用音频增音机的通信电路

1-1-2 载波电话通信原理

有线通信中的另一个问题是如何利用一条通信线路，能同时进行多路通信。在电话通信中，话音信号是具有随机间隔和随机持续时间的能量突峰组成的复杂波形，它的能量集中在200~7000赫之间。实践证明，对于电话通信来说，如保证传输话音信号中的300~2400赫之间的各个频率分量，就可以满足通话清晰的要求。通常用来传输话音信号的架空明线，传输信号的频率范围可达150千赫以上。这样在一条通信线路上进行一路音频电话通信的话，只占用300~2400赫的传输频带，尚有大量空闲频带可以作为传输其他信号用。如果采用调制技术，将另外一路话音信号调制到高频频率上，使原在音频频段的话音信号变为高频信号，就能利用通信线路的空闲频带来传输，如图1-1-6(a)所示。在发送端，一路话音信号用低通滤波器将其频率分量限制在2.4千赫内；另一路话音信号对频率为 f 的高频进行调幅，而成为频率是 f 、 $f \pm (0.3 \sim 2.4)$ 千赫的高频信号。它们通过通信线路传输到对方，如图1-1-6(b)。在话音信号接收端，用带通滤波器和低通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开来，高频信号再经过反调制恢复成话音信号。这样就实现了在一条通信线路上进行两路电话通信，一路为音频通信，另一路为高频通信。

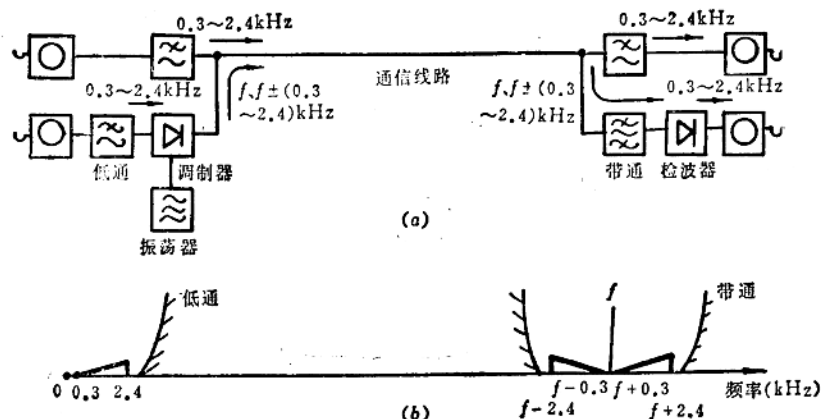


图1-1-6 载波通信原理

(a)原理方框图 (b)在通信线路上传输信号的频谱图

由此可见，高频通信中的高频 f 仅起到运载话音信号的作用，故此 f 称为载波，高频通信亦常称为载波通信。如果将多路话音信号，分别采用不同频率的载波进行调制，在一条通

信线路上传输，到对方后用滤波器加以区分，分别经过反调制恢复成语音信号，这就实现了各路互不干扰的多路电话通信，这种方法称为频率分隔，或称为通信线路上实现频率复用。

图1-1-6所画出的仅是说明载波通信原理的单向通信框图。实际上，电话通信总是双向的，图1-1-7(a)画出了一路音频通信和一路实际载波通信的原理方框图。图中载波通信的过程是：A端的话音信号(频率为0.3~2.4千赫)，经差接系统送入调幅器，加入调幅器的载波频率为 f_1 。调幅后，输出的高频信号频率为 f_1 和 $f_1 \pm (0.3 \sim 2.4)$ 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，送至通信线路。B端由中心频率为 f_1 的受信带通滤波器，从通信线路上滤取频率为 f_1 和 $f_1 \pm (0.3 \sim 2.4)$ 千赫的高频信号，经放大和反调制，恢复出A端的话音信号，再经差接系统送到用户话机。B端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 $f_2 \pm (0.3 \sim 2.4)$ 千赫的高频信号，送到A端，这样实现了双向通信。图1-1-7(a)音频通信电路中，两端各加设一个低通滤波器，以防止高频信号和音频信号之间相互串扰。这里可以看出，在通信线路上来往传输的信号有 f_1 、 $f_1 \pm (0.3 \sim 2.4)$ 千赫和 f_2 、 $f_2 \pm (0.3 \sim 2.4)$ 千赫的高频信号，以及0.3~2.4千赫的音频信号，如图1-1-7(b)所示。在接收端由带通滤波器和低通滤波器将它们彼此分开互不干扰。在图1-1-7(a)中的差接系统是为了防止在A、B两端大环路内(如图中点划线所示)引起了振鸣。图中虚线框内实际上就是一台有线载波机的原理方框图。

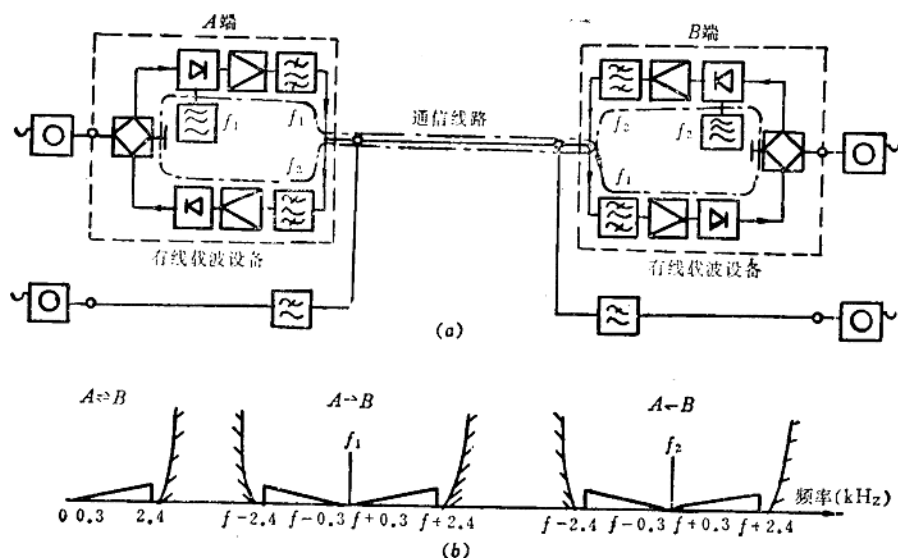


图1-1-7 一路音频和一路载波通信原理

(a)原理方框图；(b)在通信线路上传输信号的频谱图

由上可见，采用载波通信就能在一条通信线路上实现多路通信。另外，实际上也只有采用载波通信，才能更好地解决延长通信距离的问题。因此，载波通信得到广泛的应用。

1-1-3 电力线载波通信原理

在电力系统中，各地的发电厂和变电站之间有大量的电力线相互联结，利用这些电力

线，实现它们之间的通信，既经济又可靠。电力线是为输送和分配50赫交流电而架设的，它们都具有很高的电压和传输很大的电流。如果将一路0.3~2.4千赫的语音信号直接送到电力线上进行传输，会受到强大的50赫谐波的干扰，在接收端难以选出语音信号，而无法实现通信。所以，要在电力线上进行音频通信是不可能的。实践证明，把一路0.3~2.4千赫的语音信号通过调制，变成40千赫以上的高频信号在电力线上传送，就比较容易用滤波器来选出高频信号。所以，在电力线上进行载波通信是完全可能的。如将多路语音信号分别采用不同频率的载波进行调制时，在电力线上就可以进行多路载波电话通信。这种利用电力线来实现的载波通信，称为电力线载波通信。

实现电力线载波通信的原理如图1-1-8所示。要实现电力线载波通信，最重要的问题是如何把高频信号耦合到电力线上，最常用的是图1-1-8中所示的相地耦合方式，实现耦合的线路设备由耦合电容器 C 、结合滤波器 F 和高频阻波器 T 组成。耦合电容器和结合滤波器构成一只高通滤波器，使高频信号能顺利地通过，对50赫工频交流具有极大的衰耗，防止工频高压进入载波设备。这从图1-1-8可见，电力线上很高的对地工频电压，由于频率低几乎都降落在耐压很高的高压耦合电容器两端，在结合滤波器的变量器线卷上所剩无几，所以这样的耦合是非常安全的。阻波器是一个调谐电路，其电感线圈部分是能通过很大工频电流的强流线圈，以保证工频电流的输送；整个调谐电路谐振在高频信号的频率附近，阻止高频信号流通，防止发电厂或变电所的母线对高频信号起旁路作用。显然，利用这些线路设备耦合问题得到了解决。

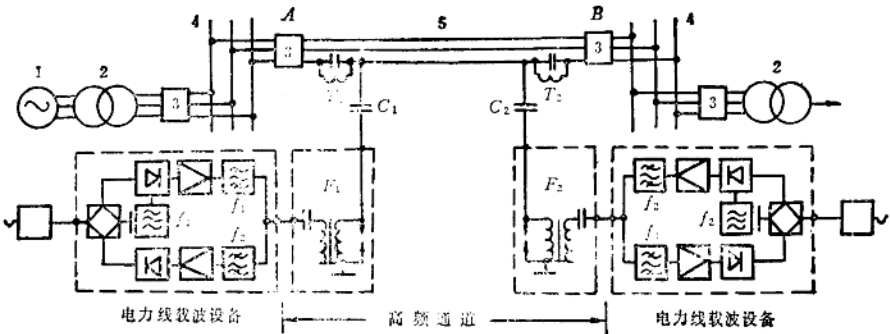


图1-1-8 电力线载波通信原理
1-发电机 2-变压器 3-断路器 4-母线 5-电力线

图1-1-8中电力线载波通信的信号传输过程是：A端的话音信号由A端载波设备通过调幅，变为频率 f_1 和 $f_1 \pm (0.3 \sim 2.4)$ 千赫的高频信号，经过结合滤波器 F_1 、耦合电容器 C_1 送到电力线上。由于阻波器 T_1 的存在，高频信号只沿电力线传输到B端，经耦合电容器 C_2 、结合滤波器 F_2 ，进入B端载波设备。在B端由中心频率为 f_1 的收信带通滤波器滤出 f_1 和 $f_1 \pm (0.3 \sim 2.4)$ 千赫的高频信号，反调后得到了A端的话音信号。按相同的方式，将B端的话音信号传输到A端，这样就实现了双向电力线载波通信。

§ 1-2 调幅及其分析

1-2-1 调制的概念

调制是载波通信的基础。调制是将被传输的低频信号去控制连续高频载波的某一个参数

的过程。因此，调制后的连续高频波对应参数的变化规律同被传输的低频信号的变化规律可以是一样。这样就利用载波来运载低频信号，从而实现载波通信。

未经调制的连续高频载波仅起运载信号的作用，控制载波的低频信号称为调制信号。载波的参数被调制信号控制的过程称为调制过程或通常称为调制。载波的参数被调制信号调制后的高频波，称为已调波。连续高频载波 u_z 为

$$u_z = U_m z \sin(\omega t + \varphi_0)$$

式中 $U_m z$ 、 ω 和 φ_0 分别为高频载波的振幅、频率和初相角，它们是高频载波三个参数。所以控制高频载波有三种方法，即调幅、调频和调相。已调波分别称为调幅波、调频波和调相波。无论那一种已调波，它们在波形上和频谱上都将区别于载波，因此调制过程必须是波形变化的过程，也就是频谱变化的过程。

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。设备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，最常用的调制方式是调幅。

1-2-2 调幅及分析

调幅是以低频调制信号来控制载波的幅度。如载波电压为 $u_z = U_m z \sin \omega t$ ，其中 $\omega = 2\pi f$ ， f 为载波的频率简称载频。载波电压的波形如图 1-2-1(a) 所示。为讨论方便，设低频调制信号电压为 $u_x = U_m x \sin \Omega t$ ，其中 $\Omega = 2\pi F$ ， F 为低频调制信号的频率。调制信号电压的波形如图 1-2-1(b) 所示。经过调幅以后，理想的调幅波的波形如图 1-2-1(c)，其幅度是随着低频调制信号的变化而线性变化。通常将经过调幅波正峰值的变化和负峰值的变化曲线叫做包络线，如图 1-2-1(c) 中虚线所示。则包络线和低频调制信号的波形应该完全一致。

为了便于分析，可将调幅波用下式来表示：

$$u = U_m \sin \omega t \quad (1-2-1)$$

由图 1-2-1(c) 中可见，调幅波的频率和载波相同，而其幅度由载波幅值 $U_m z$ 和随低频调制信号变化的部分 $K U_m x \sin \Omega t$ 所组成，即 $U_m = U_m z + K U_m x \sin \Omega t$ 。图中 $K U_m x$ 为调幅波偏离载波幅值的最大幅度变化， K 为一个常数。最大幅度变化与低频调制信号的幅值成正比，它与载波幅值之比称为调幅系数，用 m 表示，即

$$m = \frac{K U_m x}{U_m z} \quad (1-2-2)$$

显然，调幅系数 m 愈大，最大幅度变化 $K U_m x$ 占 $U_m z$ 的比例愈大，从图 1-2-1 的调幅波形图上可看出，低频调制信号在载波上记载得愈深刻，或者说调制得愈深。但是，调幅系数 m 不能大于 1，否则会因过调幅造成调幅波的包络线与调制信号不再是线性关系，如图 1-2-2 所示会引起信号失真。

将 $U_m = U_m z + K U_m x \sin \Omega t$ 代入式 (1-2-1)，可得调幅波

$$u = (U_m z + K U_m x \sin \Omega t) \sin \omega t$$

$$= (U_m z + m U_m z \sin \Omega t) \sin \omega t$$

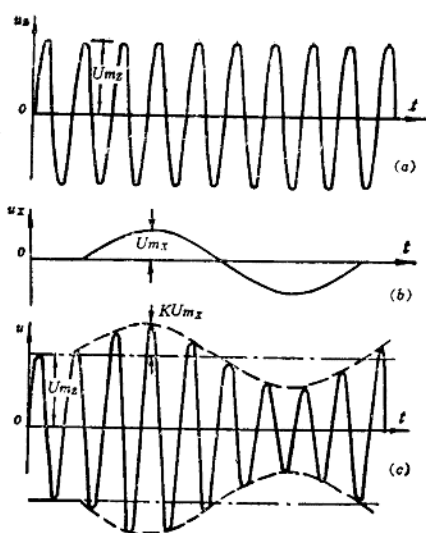


图1-2-1 调幅波波形
(a)载波 (b)低频调制信号 (c)调幅波

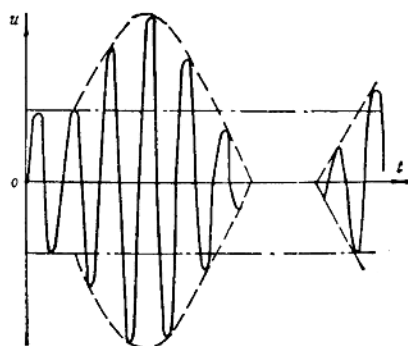


图1-2-2 过调幅造成失真

$$= U_{mz} \sin \omega t - \frac{mU_{mz}}{2} \cos(\omega + \Omega)t + \frac{mU_{mz}}{2} \cos(\omega - \Omega)t$$

(1-2-3)

由上式可知, 调幅波已不是正弦波。它可分解为三个不同频率的正弦分量。其中第一个分量 $U_{mz} \sin \omega t$ 的频率和载波频率相同称为载频分量, 第二个分量 $-\frac{mU_{mz}}{2} \cos(\omega + \Omega)t$ 的频率比载波频率高称为上边频分量, 第三个分量 $\frac{mU_{mz}}{2} \cos(\omega - \Omega)t$ 的频率比载波频率低称为下边频分量。这样, 调幅波就可由三个正弦分量之和来表达。调幅波、载波和低频调制信号的幅度与频率的关系, 可用图1-2-3(a)所示的频谱图来表示。

从调幅波的两个频谱分量的幅度可以看到: 在低频调制信号幅度 U_{mx} 为零时, 调幅系数 $m = 0$, 所以上、下边频分量为零, 调幅波只有载频分量, 也就是载波。在低频调制信号幅度 U_{mx} 增大时, 调幅系数 m 随之增大, 上、下边频分量也随之增加, 调幅波除和载波幅度相同的载频分量外, 增加了二个边频分量。当低频调制信号幅度 U_{mx} 增大到 $m = 1$ 时, 边频分量为最大, 是载波幅度之半。我们知道, 一个正弦信号的功率与其振幅的平方成正比, 当调幅系数 $m = 1$ 时, 调幅波中的上、下边频分量的幅度为载频分量的二分之一, 则每个边频分量的功率为载频分量的四分之一。也就是说, 当 $m = 1$ 时在调幅波中载频分量的功率占总功率的 $2/3$, 而上、下边频分量的功率分别占总功率的 $1/6$ 。当 $m < 1$ 时, 则上、下边频分量的功率所以占比例将小于 $1/6$ 。

从调幅波的频谱还可以看出, 调幅波的频谱占用频带宽度为 $2F$ 。如果要无失真地传输调幅波, 必须三个频谱分量同时传输, 传输通路的频带宽度就必须大于 $2F$ 。

以上讨论中, 低频调制信号是正弦信号。而载波通信中, 低频调制信号通常是非正弦的

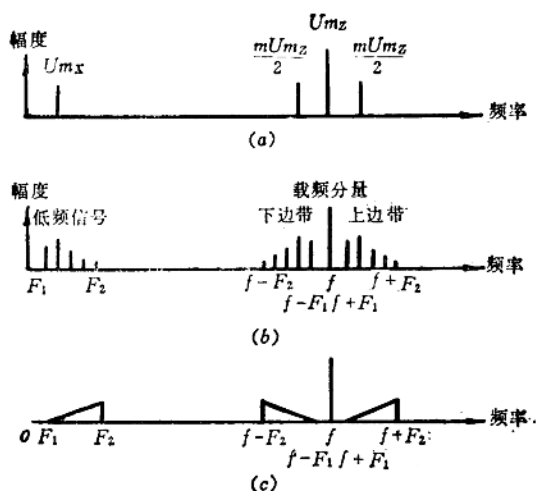


图1-2-3 调幅波的频谱

话音信号。它由许多频率不同、幅度不同的正弦分量所组成，占有一定的频率范围 $F_1 \sim F_2$ （如 $300 \sim 2400$ 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。话音信号调幅后，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1-2-3(b)所示。

在载波通信中，频谱图习惯上画成图1-2-3(c)。图中用三角形表示低频信号和边带的频谱，在频率坐标轴上，三角形的锐角的顶点代表低频信号的低端频率 F_1 ，三角形直角的顶点代表低频调制信号的高端频率 F_2 。这样，可以很形象地看到上边带中的频率与低频调制信号的频率有顺置的相对关系，而下边带中的频率与低频调制信号的频率有倒置的相对关系。

1-2-3 调幅的几种形式

由上分析可知，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二个边带同时发送出去。但进一步分析式(1-2-3)可以发现，调幅波的载频分量与低频调制信号的幅度、频率都无关。而上、下边频的幅度与低频调制信号的幅度成正比，其频率也随低频调制信号的频率而变。由此可见，载频分量仅起到运载信息的作用，而上、下边带中分别包含着所传送信号的全部信息。所以，从传送信息的角度来看，只要发送调幅波中的上、下两个边带或其中一个边带就可以传送全部信息。通常将不传送载频而只传送上、下两个边带的办法称为抑止载频双边带制，将只传送一个边带，如上边带或下边带的办法称为单边带制。另外，为了区别于抑制载频双边带制，将调幅波的载频分量和上、下两个边带都传送的调幅制称为双边带制。

电力线载波通信中，由于电力线路上的杂音干扰很大，为了便于选出高频信号，一般使用频率取在40千赫以上，最高使用频率为避免与无线广播相互影响，一般不超过500千赫，这样电力线载波通信实际使用的频段仅为40~500千赫一段。另外，电力线上的杂音干扰比一般通信线路上的高得多，所以对于电力线载波通信来说，如何经济地利用带宽和提高抗干扰能力是极为重要。单边带制在上述两方面均比双边带制优越，因此在110千伏以上的超高压大电网中电力线载波通信主要采用单边带制。但是，双边带制所用设备简单、经济，在线路杂音

电平不高及线路频谱安排亦不紧张的35千伏以下地区或农村电网中，得到广泛的应用。

§ 1-3 电力线载波机的组成

电力线载波设备一般由发信支路、收信支路、差接系统、自动电平调节系统和自动交换系统等五部分组成。当然，采用不同的调制方式的电力线载波设备，其具体的方框是不同的，同时还与所采用的通信方式、转接方式有关。这里主要介绍双边带电力线载波设备的组成以及电力线载波所采用的通信方式和转接方式。

1-3-1 双边带载波机的框图

图1-3-1是双边带电力线载波机的原理方框图。下面从介绍其工作过程来说明框图。

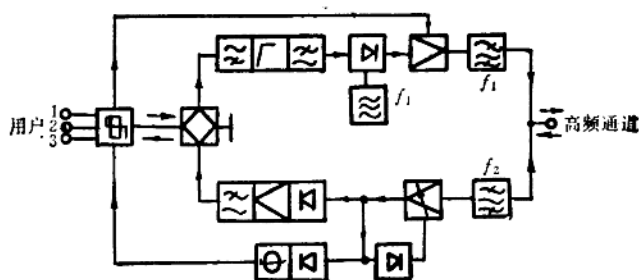


图1-3-1 双边带电力线载波机原理方框图

1. 发信过程

当双方用户接通后，用户话机产生的话音信号由用户线送到载波机的用户端。经自动交换系统、差接系统进入发信支路。高通滤波器滤除话音信号中混入的工频干扰，话音限幅器是去除话音信号的瞬时过幅，然后用低通滤波器滤除限幅后话音信号中的高次谐波，送入调幅器。调幅器的高频载波由载频振荡器供给，调幅后的调幅波经功率放大器提高到发信所需要的电平，由发信滤波器滤去谐波送到高频通道。

2. 收信过程

从高频通道送来的高频调幅信号，由收信带通滤波器选出，经过高频放大、检波恢复出话音信号。再经语音放大，将话音信号提高到所需的话音电平，利用低通滤波器滤除其高频干扰，然后将话音信号通过差接系统、自动交换系统送到通话的用户话机。

3. 呼叫过程

图1-3-1中自动交换系统可接三个用户电话机。在用户未摘机（未拿起电话机的送受话器）时，自动交换系统处于静止状态。这时自动交换系统将发信支路中放大器的入口闭塞，调幅器输出的载频分量因放大器闭塞而送不出去，所以在静止状态发信支路无任何信号送到高频通道上去。如三个用户中任一用户摘机，用户话机送出启动信号经用户线到自动交换系统，将发信支路闭塞开放，向高频通道送出载频分量。用户可以根据需要和对方三个用户中任一用户通话，为此用户应拨号，话机将送出选择信号到自动交换系统，由它控制发信支路中放大器的闭塞次数，使发信支路送出的载频分量按用户所拨号码而断续。对方载波机的收信支路由高频带通滤波器滤出送来的载频分量，经放大、整流送入收铃器，启动自动交换系统并按载

频分量的断续次数呼出和接通所需的用户。

4. 自动电平调节过程

在通话过程中,不管有无语音信号,双边带载波机的载频分量是不断发送的,发送的幅度是恒定的。当高频通道的衰耗发生变化时,收到载频分量的幅度将随之发生变化。双边带电力线载波机利用这一点来实现自动电平调节。如图1-3-1中所示,收信支路中利用高频放大后的调幅信号,经过检波获得与载频分量幅度相对应的直流电压,去控制高频放大器的增益,当通道衰耗增大时,收到的载频分量幅度必然减小,所得直流电压亦相应减少,而控制高频放大器的增益使其增大,从而保证输出语音信号电平不变,达到自动电平调节的目的。

从上述各过程的介绍可见,在双边带电力线载波通信中,调幅波的载频分量不仅起到运载语音信号的作用,而且还被利用来实现自动呼叫和自动电平调节。

1-3-2 电力线载波的通信方式

电力线载波机的组成,主要取决于所采用的调制方式,也与该机所适用的通信方式有密切的关系。所以,当采用的调制方式和适用的通信方式决定后,电力线载波机的制式已基本确定,其组成的框图在原理上亦已基本形成。在电力线载波通信中,常用的通信方式有定周式、变周式等几种。

1. 定周通信方式

电力线载波通信中载波机的发信频率和收信频率固定不变的通信方式称为定周通信方式,简称为定周式。在图1-3-2中, A 机的发信频率为 f_1 、收信频率为 f_2 ,而 B 机的发信频率为 f_2 、收信频率为 f_1 。 AB 两机之间实现了一对一的定周式通信。

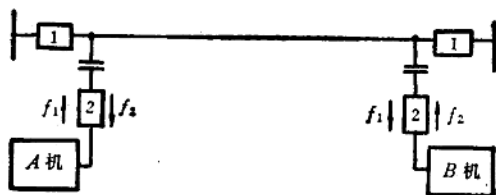


图1-3-2 一对一的定周式通信

1-阻波器 2-结合滤波器

在电力系统的调度通信中,实际上往往不是两站之间的通信问题,而是多站之间的通信。如有 A 、 B 、 C 三站, A 站为调度所所在地的变电站, B 、 C 站分别为发电厂和变电站。为保证调度所能与发电厂和变电站实现调度通信,按定周通信方式来组织通信,可按图1-3-3来构成通信系统。图中 A 机与 B_1 机之间和 B_2 机与 C 机之间实现了一对一的定周式通信。但要满足 A 站和 C 站之间的通信,就必须在 B 站的 B_1 机和 B_2 机之间进行转接,也就是将 B_1 机收到 A 机的信号,转接给 B_2 机再转发给 C 机,同时将 B_2 机收到 C 机的信号转接给 B_1 机,再由它转发给 A 机,来实现 A 站和 C 站之间的通信。由此可见,定周式电力线载波机都必须考虑具有转接的性能,这在自动交换系统的具体电路中予以实现。

定周通信方式的特点是每对机,如 A 和 B_1 机、 B_2 和 C 机之间,可根据它们之间的通道衰耗调整收信电平,使其工作在最佳的状态。而且在 A 站和 C 站之间全通道的衰耗很大时,