

电力线载波通信技术

杜 琼,周一届

(江南大学 FREESCALE 驻中国电能表实验室,江苏 无锡 214000)

摘 要:对电力载波通信技术进行了阐述,并对其进行了分析。介绍了其基本的通信原理,传输方式,硬件结构,软件设计,及其在实践中的应用情况。

关键词:通信;载波;采集;处理;接收;发送

中图分类号:TN916.52

文献标识码:B

文章编号:1003-9171(2005)02-0043-05

Power-line Carrier Communication

Du Qiong,Zhou Yijie

(FREESCALE Electric Energy Instrument Laboratory in China

Southern of Yangtze University,Wuxi,Jiangsu 214000,china)

Abstract: This paper describes and analyzes the power line carrier wave technology, introduces the basic principle, ways of transmission, design of hardware and software as well as practical utilization.

Key words: communication, carrier wave, disposal, collection, receive, transfer

随着科学技术日新月异的发展,通信已经成为电子电路设计中不可或缺的一个重要的方面,通信技术和通信产业是 20 世纪 80 年代以来发展最快的领域之一。通信技术是克服空间限制的主要手段,它可以短时间传送大量的信息。伴随着电子元器件集成度的提高,模块化的产品越来越多,随之而来的是设计开发效率的大大提高;一些比较先进的通信技术也逐渐得到应用,并且形成了一定的规模产品。在电力系统当中,电力线载波通信技术已经有了比较广泛的应用,低压载波、高压载波、超窄带载波、宽带电力线载波、扩频技术等应用于电力线载波通信中,形成了多样化的载波通信产品与技术。每一先进的技术都有其自身的优缺点和传输特性,并且在一定的领域得到应用。本文对载波通信技术的发展以及方向进行详尽的阐述,并提出一些更新型的载波通信技术。

线载波通信技术出现于 20 世纪 20 年代初期。而电力线载波则以电力线路为传输通道,通过载波的方式将模拟信号或者数字信号进行高速传输,具有通道可靠性高,路由合理,可同时复用远动信号的优点,是唯一不需要线路投资的有线通信方式。

低压电力线是为传输 50 Hz 的工频电能而铺

设的,是一种分布非常广泛的线路资源,长久以来,人们一直试图通过它传输数据或者语音信号。由于不是为通信铺设的,故其特性往往较难直接满足载波通信的要求,主要体现在两个方面:

(1) 电力网络的阻抗特性及其衰减制约了信号的传输距离,这与通信信道的物理长度和低压电网的阻抗匹配相关。

(2) 低压电力线上的噪声干扰制约了信号的传输质量。噪声干扰主要来自与低压电网相连的负载,以及无线电的干扰。在这样的恶劣的电力线通信环境下,很难保证数据传输的质量,并且电力线通信的噪声和信号衰减是随时间而变化的,很难找到其变化的规律,所以在利用电力线进行信号的传输时,必须对信号进行一定的处理,并贯穿从信号发送到接收的全过程,这正是电力线载波通信技术所涉及的重点和难点。

1 载波模型

为了更好地理解载波通信的传输与发送的特性,首先要了解载波通信的基本原理,以载波接收发送实验为例,以便提供比较感性的实验材料。图1为实验电路图。

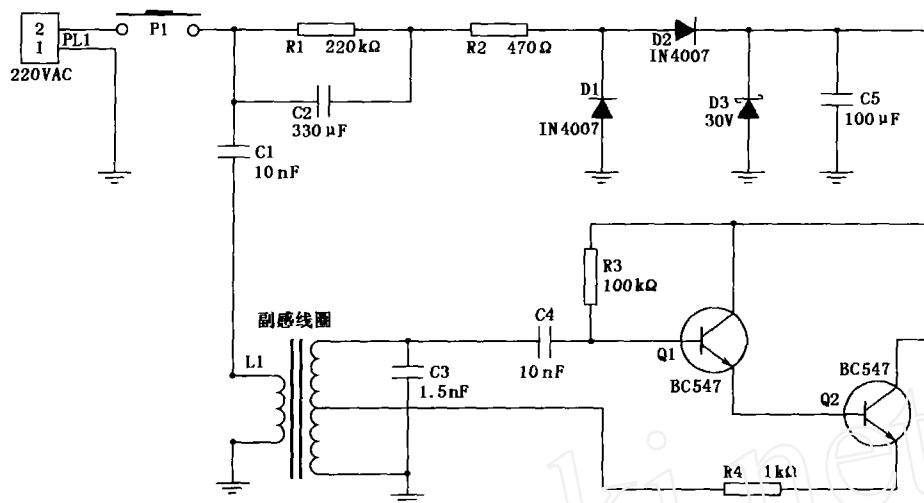


图1 实验电路图

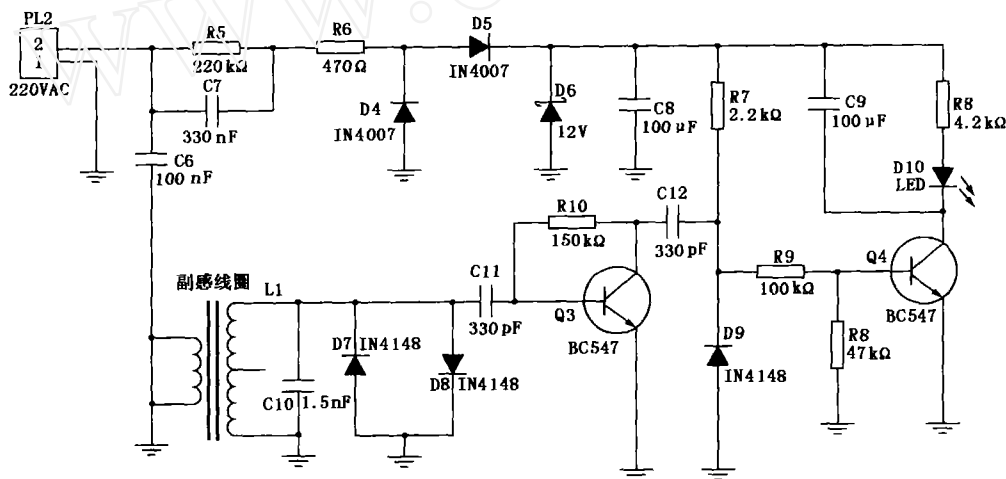


图2 发射接收部分电路图

1.1 发射部分

发射部分(见图2),由Q1、Q2接成复合管的形式,组成频率为135 kHz的哈特利振荡器。由C2、D1、D2、D3、C5等构成电压为30 V的电源部分。当按下发射按钮P1时,在L1的副变感应出的135 kHz的振荡信号通过C1注入电力线路网络。

1.2 接收部分

由发射部分过来的135 kHz的正弦波通过电力线路传播至接收部分(见图2),通过C1(图1)并由L1、C10构成的选频电路取出135 kHz信号。该信号Q3放大并整形至幅度为12 V的方波信号。D7、D8构成限幅电路,保证Q1(图1)的基极峰值电压小于1 V,以防止电力线路网络中各种异常干扰脉冲损坏Q3。D9的作用是过滤掉信号中的负极性部分,并由Q4驱动发光二极管工作。C9是用来保持输出部分的平稳,过滤掉信号中的残余部分。

由上述电力线载波模型可以看出,无论在电力载波的发射部分还是在接收部分,都使用了耦合电路来对信号进行处理。实验模型采用阻容耦合与电磁耦合相结合的复合耦合技术。对耦合电路模型分析,可以得到如下式的双口网络的电压转移函数:

$$|H(\omega)| = \frac{U_0}{U_1} = \frac{\omega RC}{\sqrt{4(1 - \omega^2 LC)^2 + (\omega RC)^2}}$$

根据电压转移函数,可对端口网络进行计算机仿真分析。着重分析在不同的低压电力线阻抗条件下的频率特性,这也是评价接口电路耦合性能的重要指标。仿真显示了当电力线电阻逐步增加时的频率响应曲线,如图3所示。

由分析结果可以看出:电力线阻抗越大,接口电路的通频带越宽,对信号的耦合性能就越好,但是选择性较差;电力线阻抗越小,接口电路通频带越窄,对信号的耦合性能越差,但是选择性较好。选

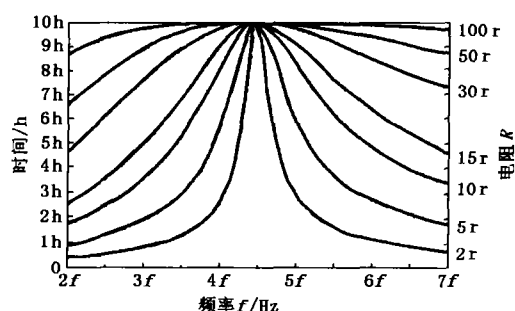
4.5 f 处为耦合电路中心频率

图3 电力线电阻增加时的频率响应曲线

择低压电力线通信接口电路的中心频率可以兼顾耦合性和频率选择性两个方面的要求,并且满足载波发射高阻抗的要求,提高系统的抗干扰能力。使电路既有较高的载波信号的加载效率,又能够完全隔离电网 50 Hz 的工频信号。

由此可以对载波的通信原理有一个了解,载波通信通过发送端发送调制信号经由通信信道至接收端解调出信号完成一次通信。遵从香农模型以及通信的基本理论,通过载波传送模拟的信号,需要通过正弦形载波调制将低通的模拟信号变换为频带信号,其频带是在中心频率 f_c 附近,载波信号 $C(t)$ 的表达式为:

$$C(t) = A_c \cos(2\pi f_c t + \phi_i)$$

式中 A_c —— 载波的幅度;

f_c —— 载波的频率;

ϕ_i —— 初始的相位。

模拟基带信号 $m(t)$ 对载波 $C(t)$ 进行调制是按照 $m(t)$ 的变化规律去控制载波的幅度、频率或者相位,分别称为幅度调制(AM)、频率调制(FM)、相位调制(PM)。

如上所述,由于电力线本身所固有特性,因此,要利用电力线进行较为理想的通信,必须从几方面进行考虑:

(1) 要有较高的频谱利用率,以适应电力线信道有效带宽窄的特点。

(2) 有好的功率利用率,能把功率集中在有效的频带中,降低功率损失。

(3) 载波频率的选取,尽可能使电力线呈现较高的输入阻抗,以减小对载波信号的衰减。

(4) 有很强的噪声抑制能力,并能在信噪比很低的情况下正常工作。

2 载波调制解调技术

为排除电力线干扰,电力线主要采用窄带载波

FM 和扩频通信的方式。由于数据信号信噪比决定数据传输距离的远近,目前电力线载波通信依靠功能强大的载波模块,其所要完成的基本功能是调制和解调信号,也就相当于 1 个 MODEM。这些模块所采用的技术有:FSK 方式的调制解调;扩频(Chrip 方式)调制解调;现代 DSP 技术;CSMA 技术。其最根本的环节就是调制与解调信号,难点是信号的有效传输与信号的真实还原解调。

FSK 广泛应用于中低速的远程数据通信,FSK 信号由频率调制器产生不同的频率,常用的是 f_1 和 f_2 2 种频率,其中 f_1 代表码元 0(又称空号), f_2 代表码元 1(又称传号)。调制数据的码元决定频率调制器的输出频率。实现 FSK 的方法有:选择法、调频法、数字调频法,其中数字调频法是最先进的方法,其原理框图见图 4。

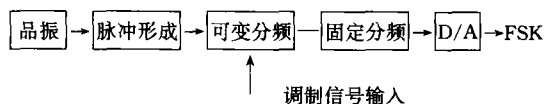


图4 数字调频法原理框图

FSK 解调就是从 FSK 载波信号中恢复调制码元,其常用方法是非相干解调,其原理见图 5。

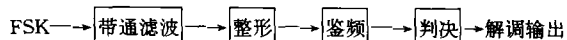


图5 非相干解调原理框图

扩频通信技术利用与传输数据无关的码,对被传输信号扩展频谱,使其占有远远超过传送信息所必须的最小带宽,在接收机中利用同一码对接收信号进行同步相关处理,以解扩和恢复数据。扩频通信属于宽带通信技术,通常的扩频信号带宽与信息带宽之比将高达几百甚至几千倍。根据香农(C. E. Shannon)信息论,其信道容量公式(即香农公式)为:

$$C = W \times \log_2(1 + S/N)$$

式中 C —— 信息传输速率;

S —— 有用信号功率;

W —— 频带宽度;

N —— 噪声功率。

由香农公式可以看出,为了提高信息传输速率 C ,可以从两种途径实现,即加大带宽 W 或提高信噪比 S/N 。换言之,当信号的传输速率 C 一定时,信号带宽 W 和信噪比 S/N 可以互换,即增加信号带宽可以降低对信噪比的要求,当带宽增加到一定程度时,允许信噪比进一步降低,有用信号功率接近噪声功率,甚至淹没在噪声之下也是可能的。

扩频通信就是用宽带传输技术来换取信噪比的好处,这是扩频通信的基本思想和理论依据。扩频技术是已经广泛应用,较为成熟的抗干扰技术,采用高速率的扩谱码对原始数据或者已调制的载波进行二次调制,大大扩展原信号的频谱。扩频有着自身的独特优点:抗干扰能力强;具有多址能力,易于实现码分多址(CDMA)技术;可抗多径干扰;可抗频率选择性衰落;频谱利用率高,容量大。

频谱扩展用数字化方式实现,在一个二进制码位的时段内,用一组新的多位长的码型置换原码,新码型的码速率远远高出原码的码速率。由傅里叶分析可知,新码型的带宽远远高出原码的带宽,从而扩展信号的带宽,这些新的码型也叫伪随机(PN)码,码位越长系统性能越好。最新的“链码”调制窄带载波技术,采用链式的转发电力网传输结构,把需要传递的数据分解成以“能量密度”表示的链接模板,调制发出。如果接收方能以模糊查询的方式识别数据,就将数据复制,并且还原,这一原理类似于DNA的基因克隆。倘若接收方无法识别,则把接收到的畸变形状反发给发送方,发送方依据接收到的畸变的形状,推知信道畸变特性,重新发送,直到接收方接收成功,构成一个高度智能化的系统。

另外一款载波系统,设计采用数字载波调制和直接序列扩频技术,即利用高码率的扩频码序列在发送端直接去扩展信号频谱,在接收端直接用相同的扩频码序列对扩展的信号进行解扩,还原出原始信号。其实现过程如图6所示。

(1) 在发送端,信息码经码率较高的PN码调制以后,频谱被扩展,如图6(a)、6(b)所示。

(2) 待传信号的频谱被扩展以后,能量均匀分布在较宽的频带上,功率谱密度下降,如图6(b)所示。

(3) 在信号传输过程中加入噪声,如图6(c)所示。

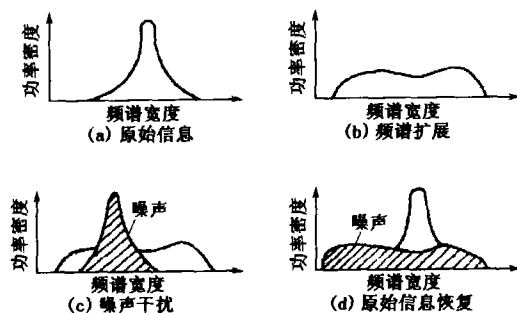


图6 载波通信系统实现过程

(4) 在接收端,扩频信号经过同样的PN码解扩后,其宽带信号恢复成窄带信号,功率谱密度上升,如图6(d)所示。

(5) 相对于有用信号,噪声只经过一次与PN码的调制过程,频谱被扩展,功率谱密度下降,从而在噪声干扰中提取出有用信息。

3 电力线载波技术的发展方向

近年来,随着人类文明水平的不断提高,载波技术也在不断的更新与发展,其发展的新技术与方向,有下述几点。

3.1 语音压缩技术

采用码本激励线性预测编码(CELP)技术,矢量和激励线性预测编码(VSELP)技术,可进一步压缩语音信号的带宽。

3.2 宽带电力线载波

可以极大地发挥电力线网络的通信潜能,依据奈奎斯特准则,任意信号通过带宽为 b 的理想低通滤波器时,能够完全重建的信号最大速率为每秒 $2b$ 个抽样,若为 M 元信号,则信号的最大速率为每秒 $2b \times \log_2 M$ 个抽样,若采用纠错编码和多进制限制相结合的TCM技术(网络编码调制),与传统电力线载波相比,带宽提高了近百倍。为保证已调信号和工频信号的同传,需要在相应的节点上安装三出口的定向耦合单元(CU),形成网络出口(NP),通信分配出口(DCP),和电力分配出口(EDP),一定数目的CU构成高频调制电力网络(HFCPN)。耦合的信号频率大于1MHz,可为远端用户提供6~10MHz的带宽。这种技术实际上是把低压配电网变成局域网。

3.3 超窄带载波技术

应用于电力线传输中,可以无需任何中继,在低功耗的情况下,穿透多级变压器。传输距离在不大于200km的范围内,超窄带载波技术是使低功耗信号集中在1个非常狭窄的频带内传送。超窄带的每个独立发送源被分配1个介于5~9.5Hz之间的频率,每个频道的带宽为0.0015Hz,这就是其名称的来历,真正的数据都包含在每个载波模块的双边频带里。例如,对于1个被设定在6.0015Hz的载波模块,它的每个数据单位代表如下:

(1) 低频带频率=6.001Hz,代表位1;

(2) 中心频率=6.0015Hz,代表位0;

(3) 高频带频率=6.002Hz,代表同步位。

数据以二进制的方式写出来再加上同步位,

然后依据电力线的频率和分配的频带发送不同频率的电流信号。由于电流信号频率是在电力线工频的基础上通过变压器的,所以穿透力很强。超窄带载波技术传输速率比较低,这是由它本身的特性所决定的。

3.4 扩频技术

本文前面已经有所介绍,在此不再赘述。

4 综述

2004年夏季,伴随着持续的高温天气,我国大部特别是华东地区,电力资源出现较为紧张的局面。提倡合理用电以及节约用电等一系列措施,势必带动电力部门一系列新举措的出台。电网监控、电力系统自动化也是必然的趋势。电力载波在这些领域都会得到最为广泛的应用。2002年前后,江苏、辽宁、浙江及上海等地相继推出复费率电能表,两年来已经形成一定的规模,这也为电力集抄打下了基础。载波抄表更是比较合理的集抄方式,如何更快、更准确、更便捷地通过电力载波技术来获取有效数据,更是载波技术的研发目标。

(上接第40页)

表2 2号机组左侧高压主汽门(MSV1)的一组活动试验数据

℃

试验工况	MSV1	1号瓦1点温度	1号瓦2点温度	2号瓦1点温度	2号瓦2点温度
负荷236 MW 汽压15.5 MPa	试验前	46.3	63.7	57.8	66.2
	试验时	57.5	69.9	73.4	60.6
	温升	11.2	6.2	15.2	4.4
负荷235 MW 汽压14.6 MPa	试验前	45.9	63.0	57.2	65.8
	试验时	56.2	68.8	71.6	69.7
	温升	10.3	5.8	14.4	3.9
负荷214 MW 汽压15.3 MPa	试验前	45.6	62.3	57.1	65.5
	试验时	55.2	67.3	69.9	68.9
	温升	9.6	5.0	12.8	3.4
负荷214 MW 汽压14.4 MPa	试验前	45.7	62.5	57.4	65.4
	试验时	53.6	66.8	69.5	68.7
	温升	7.9	4.3	12.1	3.2

表2为该厂2号机组左侧高压主汽门(MSV1)的一组活动试验数据。

对比表2中的数据可以发现,采用低负荷和低压力参数蒸汽进行的汽轮机主汽门活动试验可以降低1、2号瓦的温升幅度,提高汽轮机运行安全系数。

4 结论

三河电厂350 MW机组主汽门活动试验对1、

参考文献

- [1] 杨帮文. 新型集成器件实用电路. 电子工业出版社, 2002
- [2] 电能计量技术基础. 中国计量出版社, 2002
- [3] 邵贝贝. Motorola DSP 16位单片机原理. 北京航空航天大学出版社, 2002
- [4] Song M K, Sakong S C, Tchah K H. Realization of power line modem using a direct sequence spread spectrum technique. IEEE, Transaction on Consumer Electronics, 1993, 39(2)
- [5] Ferreira H, Grove H, Hooijen O, et al. Power line communications. Webster J. Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering. New York: Wiley, 1999
- [6] Proakis JG. Digital communications. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2001
- [7] Dostert M. All-digital spread spectrum modems for power line communications. European Transaction on Telecommunications, 1996, 7(6)

收稿日期: 2004-08-02

作者简介: 杜琼(1981—)男, 江南大学, 研究生, 研究方向为机电电子工程。

2号瓦金属温度、机组负荷、主汽压力、汽包水位和锅炉燃烧的影响很大。实践证明, 通过采用适当降低机组试验负荷和主汽压力参数以及汽机基础、锅炉手动调节的协调方式进行试验会降低对机组安全运行的影响。

收稿日期: 2004-12-14

作者简介: 张宝林等(1971—), 男, 工程师, 华北电力大学热电厂热能动力工程专业毕业, 从事电力生产工作。