

# 低压电力线载波通信技术的应用

陈凤<sup>1,2</sup>, 郑文刚<sup>2</sup>, 申长军<sup>2</sup>, 周平<sup>2</sup>, 吴文彪<sup>2</sup>

(1. 首都师范大学, 北京 100037; 2. 国家农业信息化工程技术研究中心, 北京 100097)

**摘要:** 针对农业节水灌溉监测与控制的技术需求, 论文介绍国内外低压电力载波通信技术的发展历程和现状, 重点讨论了低压电力载波通信的基本原理、通信信道特性和建模、低压电力载波通信系统的网络组网, 对比分析了各种关键技术和各类载波芯片及模块。同时从三个领域对该技术在我国的具体应用做了分析和总结。最后从四个方面指出了我国未来5—10年内该技术的重点和应用方向。

**关键词:** 电力载波通信; 干扰和噪声; 扩频技术; 载波芯片

## Low-voltage power line carrier communication technology and its application

CHEN Feng<sup>1,2</sup>, ZHENG Wen-gang<sup>2</sup>, SHEN Chang-jun<sup>2</sup>, ZHOU Ping<sup>2</sup>, WU Wen-biao<sup>2</sup>

(1. Capital Normal University, Beijing 100037, China; 2. National Engineering Research Center for Information Technology in Agriculture, Beijing 100097, China)

**Abstract:** In accordance with the technical requirement of water-saving irrigation monitoring and control in agriculture, the paper introduces the development course and current situation of low-voltage power line carrier communication technology. Then it focuses on discussing the basic principles of low-voltage power line carrier communication, communication channel characteristics and modelling, and establishment of the system network. It also makes a comparative analysis of various key technologies, carrier chip and module. Then it summaries the specific application of this technology from three fields in China. Finally, the paper points out its focus of future research and direction of application from four aspects.

**Key words:** power line carrier communication system; interference and noise; spread spectrum technology; carrier chip

中图分类号: TM73 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2009)22-0188-08

## 0 引言

低压电力线载波PLC (Power Line Carrier)通信是以低压配电网(380 V/220 V电力线)作为信息传输媒介进行数据或语音等传输的一种特殊通信方式<sup>[1]</sup>。电力线网络是目前覆盖范围最广的网络,有着巨大的潜在利用价值<sup>[2]</sup>。国外对此研究已有近百年的历史,在理论和技术上有着绝对的优势。我国电力网比较独特,直接利用国外先进技术和产品并不能取得令人满意的效果。目前国内参与低压电力载波通信研究的公司、高校及研究机构日益增多,已

经在通信信道的特性分析和建模、关键的调制技术的研究、通信芯片及相应产品的研制和应用、市场化运营及相关法规制定等方面取得了一定的成果。在此形势下,本文对低压电力载波通信技术的各个方面进行了分析和总结,旨在阐明其发展历程、关键技术以及发展趋势,为进一步研究提供参考。

## 1 发展历程及现状

### 1.1 国外的发展情况

国外利用电力线传输信号已经有一百多年的历史。如早在1838年,埃德华戴维就提出了用遥控电表来监测伦敦利物浦无人地点的电压等级。直到20世纪20年代,国外一些著名的公司和研究机构才开始对低压电力载波通信技术进行研究。1930年西门子公司在德国波茨坦建立了用于低压配电网和传输媒介的波纹载波系统(RCS系统)。该系统能够以最小的损耗通过低压配电网实现对终端设备的管

**基金项目:** 北京市科技攻关项目, 农业节水灌溉监测与控制设备研制与开发(D0706007040191); 国家“十一五”科技支撑计划 农产品流通过程信息化关键技术与系统研发(2006BAD10A04); 国家“十一五”科技支撑计划, 灌区地下水开发利用关键技术(2006BAD11B05)

理<sup>[3]</sup>。1958至1959年间,美国德克萨斯元件公司的Jack Kilby和Fairchild半导体公司的Robert Noyce最早发明了电力线载波通信集成电路。1971年Intel公司的Ted Hoff发明了低功耗的电力线通信微处理器。Intellon公司在2000年2月7日召开的DEM200会议上展示了其高速达1Mbps的Power Packet<sup>TM</sup>住宅网络技术芯片。德国RWE Plug公司于2001年春季推出了RWE PowerNet(电力线通讯上网)、RWE PowerSchool(电力线通讯学校上网)、RWE eHome(智能家庭自动化)三项业务及相应产品。国外各大公司及研究机构的研究工作主要包括:电力载波通信原理、电力通信信道特性分析和建模<sup>[4]</sup>、电力载波调制技术、通信协议的研究和创新、电力载波通信芯片的研制、现场试验和测试、电力载波通信技术的推广和商业化以及相关组织和标准的建立等。

目前在电力载波通信领域比较有影响力的公司有美国的Intellon<sup>[5]</sup>、Thomson、Atmel、TI公司、以色列的ITRAN、Main.Net公司、韩国的Xeline公司<sup>[6]</sup>、瑞士的ASCOM公司、德国的Polytrax公司和西班牙的Ds2<sup>[7]</sup>公司等。这些公司和机构在低压电力载波通信技术的研究和设备的研制上取得了丰硕的成果,产品的传输速率从1 Mbps发展到45 Mbps。包括这些公司在内的90多家公司组成的HomePlug电力线联盟已经参与并制定了第一个标准草案(HomePlug 1.0 Spec),这个组织正在研究PLC技术标准、市场推进和政府管制政策等问题<sup>[8]</sup>。

## 1.2 国内的发展情况

相比国外而言,我国的电力载波通信起步较晚,但发展迅速。最早展开研究的是1997年由我国电力科学研究院进行的对我国低压配电网传输特性和参数的测试和分析。90年代末期,针对国内电网特性而设计的载波处理方案的制定使得早期产品在稳定性上逐步接近实用。2000年我国开始引进国外的PLC芯片,研制了2 Mbps样机。2000年末,国家电力总公司颁布了关于利用电力线载波集中抄表技术的若干技术条件。国家电力公司国电通信中心于2001年初成立了电力线通信推广办公室。2001年底,福建电力实验研究院开发成功了“电力线高速数据通信”技术的核心产品—电力调制解调器及多个相关产品,其传输速率可以达到10 Mbps。2002年初,国家电力公司在北京广华轩小区进行了通过电力线上网的试验,小区用户反映良好。2003年我国成功研制出了EPLC-45M和EPL-14M系统。2006年以中电飞华公司为代表,已在北京开通了5个以上的电力线上网实验小区,用户反映非常满意,只是网速

会在特定的时候突然衰减。

近十年来,包括清华大学、西安交通大学和华中科技大学在内的高校和科研单位及国内相关公司对低压电力载波通信进行了大量研究,并取得了一定的成果<sup>[9]</sup>。国内前期的研究主要侧重于利用国外已有的固化PLC调制技术和芯片进行扩展开发。近几年针对国内配电网的信道特性所进行的调制技术的研究及载波芯片研制取得了突破。但是目前国内相关的法律法规及政策还不健全,如何充分开发和利用宝贵的电力网络资源,实现低压电力载波通信高速、安全和大规模的应用,仍需要很长一段时间的研究和摸索。

## 2 低压电力载波通信技术的研究内容

### 2.1 低压电力网络的信道特性分析和建模

低压电力线是一种非均匀分布的传输线,起初只是用来传输电能的,不同于传统的通信传输介质如双绞线、同轴电缆、光纤等。与国外相比,我国的低压电力网络的信道特性十分复杂,通信环境也相当恶劣<sup>[10]</sup>。主要体现在:

(1) 该信道是时变系统,而且存在多径效应。由于信道是时变系统,信道的传输函数随时间变化而变化,会引起接收端信道的频率弥散性和时间选择性衰落。而多径效应的存在将导致信道的时延弥散性和频率选择性衰落。

(2) 存在各种干扰和噪声。电力线信道的噪声多干扰强不能简单地归结为加性高斯白噪声。下面表1是各种噪声的比较。

(3) 电力线路的阻抗小而且阻抗随着信号频率和时间的变化而变化,这对载波信号的衰减非常严重。

(4) 信号的衰减与传输距离和信号的频率有关。信号传输的距离越远,信号的频率越高,则信号的衰减就越大,但具体关系也无法确定。

为了克服各种噪声和干扰、降低信号的衰减,对低压电力通信信道的分析和建模就显得尤为重要。但由于其频率、时间和地理位置等的不确定性,很难建立一个精确的数学模型<sup>[11~14]</sup>,但是建立一个能反映通道基本特征的近似模型却是可能的<sup>[15]</sup>。文献[16]通过将噪声状态分组,并引入过渡状态,建立了基于分群马尔可夫链的脉冲噪声统计模型。文献[10]提出可以用带加性干扰噪声的时变线性滤波电路作为低压电力线的信道特性参考模型。文献[17]提出可以从调制方式上用扩频调制技术来提高系统的抗干扰和抗噪能力。

表 1 低压电力线上的干扰和噪声分析

Tab.1 Analysis of interference and noise of low-voltage power line

噪声名称	噪声来源	特点和影响
有色背景噪声	来自电力网上各种低功率的噪声源	其功率谱密度变化缓慢,随频率增加而减小,多为高斯白噪声;
窄带噪声	来自电力线驻波、谐振和中短波广播	其功率谱密度随时间发生变化,白天低晚上高,而在特定频段内几乎不变;
与工频同步周期性噪声	来自开关器件、电机和可控硅整流器等	脉冲时间短,频率宽,功率大,频率为工频或其整数倍;
与工频异步周期性噪声	来自电视屏或电脑显示屏辐射	重复频率为 50~200 Hz,在频率空间上离散分布,且与电视或电脑的显示扫描频同步;
突发性脉冲噪声	由雷电、电器突然开关、电力线短路等引起	能量大且集中、随机出现,持续时间短、频段很宽,会造成电压电流的剧烈变化;

## 2.2 关键技术分析

为了提高通信的可靠性和有效性,一方面可以辅助性地采取一些措施,如增加发射信号功率、提高接收设备灵敏度以及采用合适的耦合电路及新的信号检测方法<sup>[18]</sup>。另一方面是采用合适的调制技术或中继技术<sup>[19]</sup>。而从调制技术来看,目前流行的扩频通信技术主要有直接序列扩频、线性调制、OFDM、跳频、跳时以及上述各种方式的组合扩频技术<sup>[20]</sup>。

下面是对目前流行的电力载波通信技术的比较分析:

1) 直接序列扩频(DSSS)技术,就是用高速率的扩频序列在发射端扩展信号的频谱,而在接收端用相同的扩频码序列进行解扩,把展开的扩频信号还原成原来的信号。它具有抗干扰能力强、能抵抗多径干扰、对其它电台干扰小、不易被截获、可以同频工作和便于实现多址通信的优点,而且是目前在我国应用最为广泛的一种低压电力载波技术。

2) OFDM技术,是先把一组高速传输的串行数据流转化为低速的并行数据流,再将这些并行数据调制在相互正交的子载波上,实现并行数据传输。在接收端对并行数据流分别进行解调,再进行并串转化,从而得到原来的串行数据流<sup>[21]</sup>。它可以有效地克服电力线信道多径效应和频率选择性衰落的影响,

减少线性失真和码间串扰<sup>[22]</sup>。但是由于子载波中心频带之间分隔较开,子载波数少,带宽利用率不高,继续增多载波数量的潜力也受到了限制。此外,OFDM子载波采用不同调制方式(例如QPSK、QAM)对系统的误码率产生的影响也不一样,其中QPSK具有更好的可靠性<sup>[23]</sup>。文献[24]提出了采用Altera公司的APEX20K系列可编程逻辑器件PLD的OFDM基带硬件解决方案。若将混沌跳频技术引入OFDM系统的编码中,构造出混沌跳频正交频分复用系统(CFH-OFDM系统),可以提高系统抗信道噪声的能力,并能改进通信系统的安全性<sup>[25-27]</sup>。

3) 多载波码分复用(MC-CDMA)技术,就是将OFDM技术应用于CDMA技术<sup>[28]</sup>,先将每个信息符号先经过扩频,再将扩频后的每个chip调制到一个子载波上,然后通过信道进行传输。在接收端需要先后进行OFDM解调、解扩以及并串变换,从而检测出原始信号。该技术具有较强的抗干扰能力和极高的频带利用率,能有效地避免时延扩展所带来的负作用,相比OFDM技术更能有效地克服子载波受深衰落的影响。

4) 链码自适用调制技术,是将需要发送的数据经信号变换形成以“能量密度”表示的链节模板,经窄带调频(FM)载波发送出去。接收方若能在接收模板的指引下顺利识别该模板的“形状”,则进行数据复制、还原出原来的数据。若不成功,原发送方会尝试重发,直到接收成功。该技术能够以较低的成本实现远距离的窄带双工数据通信,而且可在高干扰、高畸变的环境中准确无误地传输数据信息。

5) 自动中继技术,是指在通信距离太长或某一段通信不畅时,利用通信中继器为中继转发节点,将需要中继的数据包接收下来并解码后存储在中继器的内存中,等发送方将数据发送完并且总线空闲后再将该数据包重新编码发送到接收方以完成通信。它可以尽可能地避免总线冲突,还可以提高中继信号的质量,降低误码率。由于低压电力线载波通信网络的拓扑结构具有强烈的不确定性和时变性,所以在通信的过程中,要不断地根据当前的网络状况进行路由更新。

## 2.3 电力载波通信芯片和模块的研制

国外许多公司和研发机构很早就开始了针对其本国电网的专用电力载波通信芯片的研制。国内市场上进口电力载波modem(调制/解调)芯片(如美国Intellon公司的SSCP300芯片和Echelon公司的PLT-22芯片等)并不适宜我国电网的复杂性和时变性,因而难以达到预期的使用效果。目前国内可以使用的芯片主要是国外进口的通用电力载波芯片

(如SGS-THOMSON公司的ST7538、ST7540等系列芯片、美国Intellon公司的INT5200芯片、弥亚微电子公司的MT200E芯片等)和国内自主研发的专用电力载波芯片(如北京智源利和微电子技术有限公司的SC1128芯片、北京福星晓程电子科技股份有限公司的PL2101芯片、深圳瑞斯康公司的RISE3201芯片等)。国内的一部分公司和研发单位利用这些芯片进行二次开发,研制出了各种电力载波通信模块,并已经投入到实际应用中,获得了较好的效果。例如四川科强电子有限责任公司开发的KQ-100、KQ-300系列模块、深圳市必威尔科技有限公司的BWP08、BWP10A系列模块等。下面对国内市场上各种芯片及模块进行分类介绍。

表2 国内市场上各种电力载波芯片及模块的分类

Tab.2 Classification of various power line carrier chip and module on the domestic market

芯片特点	应用情况	代表芯片型号或模块
窄带通信技术 (如FSK、BPSK)	在我国使用的比较早,使用效果也不错	LM1893、ST7536、ST7537、AT9301、PTL-22、SN8810、RISE3201、MTC-30585及四川科强公司的KQ-100等模块;
直接序列扩频技术	在我国使用的比较晚,但应用最广	SSCP300、SSCP200、PL2000、PL2101、SC1128;
OFDM技术	最近几年也开始应用并且反映效果良好	INT5130、INT5200、MAX2986、ITM10;
正交多载波 (OMCM)技术	近三年出现,应用较少	LME2200;
链路自适应技术	出现较晚,应用很少	WF-PLC300A模块;

## 2.4 电力载波通信网络组网研究

低压配电网具有物理拓扑和一定的时变性特点,且逻辑拓扑随信道质量而变化,这将严重影响低压电力线载波通信的可靠性。目前许多学者提出从高速电力线通信的组网方式、网络模型等角度展开研究,寻求合适的算法来优化电力线通信网络路由,从而提高通信的可靠性<sup>[29-33]</sup>。文献[34]对低压配电网窄带电力线通信数据逻辑链路的选择、建立和自动路由等做了研究和探讨,并提出了一种基于非交叠分簇的动态路由算法和网络重构算法,来保证通信网络的有效性。文献[35]提出在低压配电网电力线载波通信中采用网络自组与重构技术,可以自动侦测可通信逻辑节点和最佳中继节点、动态调整路由和配置中继信息以及自动识别节点的投入或切除,从而实现低压配电网中

点到点、点到多点的可靠通信。

## 3 低压电力载波通信技术的应用

### 3.1 系统基本原理

低压电力线载波通信系统的原理框图如图1所示。该系统由三个部分组成:终端设备部分、管理中心部分和低压电力线部分。

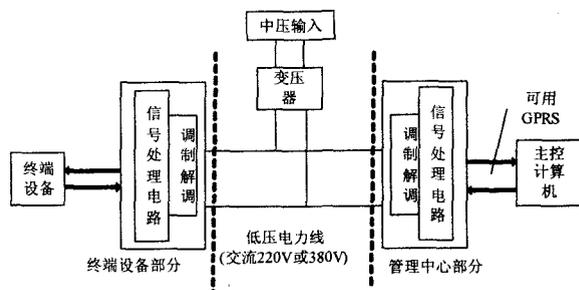


图1 低压电力线载波通信系统原理图

Fig.1 Principle diagram of low-voltage power line carrier communication system

系统以低压电力线作为信号传输的媒介,实现终端设备和主控计算机之间的双向或单向通信。终端设备的信号经过采集等处理后再调制成适合电力线上传输的电力信号,通过耦合电路耦合到电力线上传输。由于衰减太大,该电力信号不能直接跨越变压器进行远距离传输,一定程度上限制了系统的通信距离<sup>[36]</sup>。所以管理中心部分和终端设备部分通常处在同一变电站范围内。管理中心有专门的接收设备,对接收的电力信号先进行解调及其它处理,再通过GPRS或者串口方式将其送到主控计算机。主控计算机通过程序做进一步的分析 and 处理,从而实现了主控计算机对终端设备的监测。同样,主控计算机也可以通过逆向路径实现对终端设备的控制。

### 3.2 在国内的具体应用

低压电力线载波通信技术利用了四通八达的电力供电网络来进行数据通信,具有不占用无线频道资源、无需布线、省工省钱、维护简单的优点。随着社会的发展和电力网络的开放,低压电力线载波通信技术在我国的的应用也越来越广泛。目前其典型的应用包括家居智能化领域、自动抄表领域以及新型智能化小区领域等等。

#### 3.2.1 家居智能化

随着经济和社会的进步,人们需要构建一个全新的智能化的家居网络,即把分布在住宅各个地方的微控制器、家用电器和PC机连成一个家庭网络,来实现对各种设备的智能化、自动化的管理和使用,

同时达到只要有插座的地方就可以接入因特网的目的。由于无需布设信号线，在组网的时候不会破坏住宅内的装饰及美观，也不会改变人们对原有家电的使用习惯。同时系统稳定、成本低廉，因而构建现有基础上的家庭智能化网络成为研究机构和人员首选的组网方式<sup>[37,38]</sup>。

目前电力宽带上网系统就是家居智能化的一个典型应用。从图 2 可以看出，电力宽带上网系统由电力调制解调器(电力猫)、PLC 设备、PC 机、交换机及路由设备等组成。利用低压电力线上网时，先通过专业的电力调制解调器，采用正交频分复用 (OFDM) 或高斯滤波最小频移键控 (GMSK) 调制方式将 PC 机信号调制成特殊的电力信号，然后

将该电力信号通过电力线传送到 PLC 设备中，利用该设备将电力信号转换(解调等处理)成原来的数据信号，然后通过交换机、路由器等设备直接进入 Internet，从而实现电力上网的功能。同样，从网上下载资料就是一个逆向的过程。目前电力宽带上网的速度在 5~45 Mbps 之间。

### 3.2.2 自动抄表系统

在我国自动抄表行业开始于上世纪80年代，在 1998年前后进行了大量的研究。1998~2003年处于试点阶段，发展相对较慢。2003年后逐渐发展到应用推广阶段。到2006年后需求迅速增长，目前处于电力载波抄表发展的高峰期。基于低压电力线载波通信的自动抄表技术已经基本上走向实用阶段<sup>[39]</sup>。

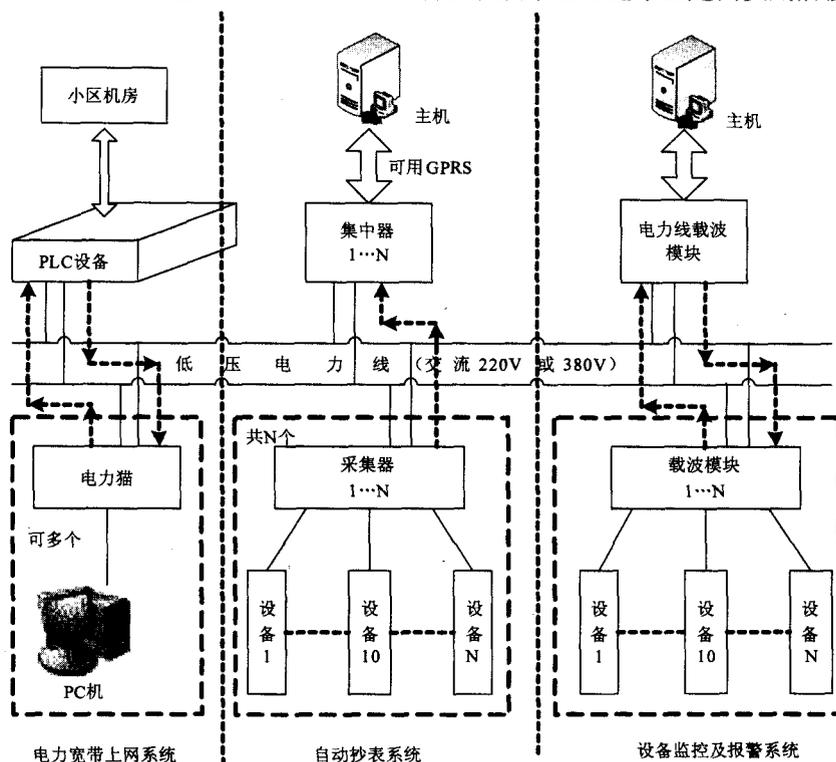


图 2 几种常见的低压电力线载波通信系统

Fig.2 Several common systems of low-voltage power line carrier communication

由图 2 所示，自动抄表系统主要由终端水表(或电表、气表等)、终端采集器、集中器以及中央主控计算机组成<sup>[40]</sup>。终端采集器分别通过采集器采集终端表数据，做相应处理后利用直接序列扩频或 OFDM 调制技术将其调制成适合在电力线上传输的电力信号。在接收端的集中器会实时侦测并接收电力信号，对其进行解调及其他处理后再通过 RS-232 或 RS-485 串口方式或 GPRS 方式上传到中央主控计算机中。主控计算机将根据程序对数据进

行分析处理，最终实现远程抄表。

目前该系统广泛应用那些不需要远程停电功能、月用电量少、电表特别分散、工程施工难度很大的乡镇、农村地区。而且国内已经推出应用于电表行业需求的电力线载波通信芯片。作为最热门的应用之一，基于低压载波技术的自动抄表系统将会向加强低压用户集中抄表芯片物理层通信能力和提高数据传输的安全性方向发展。

### 3.2.3 新型智能化小区

在现代社会,随着城镇居民数量的不断增加,各个居民小区的数量也大幅增加。如何实现小区的管理自动化、通信自动化和安全自动化,是实现现代化智能小区的主要内容和目的。由于低压电力载波通信技术无可比拟的优越性,各大公司及机构竞相利用该技术设计出各种系统,如水、电、气的远程抄表及供应管理系统、停车场管理系统、公共信息显示系统、小区各种防盗及消防报警系统、室外监控系统、出入口控制系统等等。

如图2所示,设备监控或报警系统和自动抄表系统很相似,唯一的区别在于系统的核心设备是电力载波模块,而且该系统能实现实时的双向通信。在上行通信时,电力载波模块负责监视各个终端设备(如传感器、控制器等),并将其状态信号进行调制处理后耦合到低压电力线上。在远处的接收端,同样有一个载波模块,负责接收来自下面各个载波模块的信号并分别对其进行解调等处理后上传至主控计算机中。如果发生异常或紧急情况,主控计算机立即发出控制信号,通过相同的路径向下传输,最终实现对终端设备的控制或报警功能。

其实,对于各种商用大厦、办公大厦、酒店和宾馆等,低压电力载波通信技术同样具有广泛应用前景。

#### 4 结论

低压电力载波通信技术已经逐渐成为国内外通信领域的研究热点,具有巨大的市场潜力和广阔的应用前景。由于我国低压电力网十分独特,通信环境相当恶劣,不利于通信信道的分析和建模,更不能直接利用国外的技术和产品。研究表明,通过建立等效的参考模型、采用合适的调制技术、采取耦合方式和抗干扰措施、优化组网方式和利用自动中继技术等可以有效地降低信道环境恶劣带来的影响。随着国内越来越多的研究机构和公司的参与,我国的低压电力载波通信出现论文方兴未艾的局面。自主电力载波芯片的研制标志着我国在这一领域迈出了实质性的一大步。目前,国外不少重量级公司(例如Microsoft、Intellon、3COM、AMD等)都不惜高昂的研发费用,致力于高速、可靠、安全的低压电力载波通信系统的研发。考虑到与国外的差距和发展现状,我国低压电力载波通信在未来5~10年内的研究重点将包括四个方面:(1)低压电力线通信信道的分析和建模;(2)载波通信关键技术的研究和创新;(3)高速、安全且低功耗的电力载波芯片和模块的研制;(4)相关组织、技术标准和法律法规的建设。其具体的应用方向除了远程自动

抄表及监控管理系统、家居智能化以及新型智能化小区外,在农业节水灌溉监测与控制 and 农产品流通过程信息化方面也将有着广阔的应用前景。

#### 参考文献

- [1] Majumder A, Caffery J. Power Line Communications[J]. IEEE Potentials, 2004, 23(4): 4-8.
- [2] 舒辉. 低压电力线载波通信技术综述[J]. 湘电培训与教学, 2006, (3): 34-37.  
SHU Hui. Overview of Low Voltage Power Line Carrier Communication Technology[J]. Hunan Power Training and Teaching, 2006, (3): 34-37.
- [3] 张智勇, 周国正. 电力线载波通信数字化进程级标准[J]. 电力系统通信, 2001, (5): 5-11.  
ZHANG Zhi-yong, ZHOU Guo-zheng. Power Line Communication Digitize Proceeding and Standard[J]. Telecommunication for Electric Power System, 2001, (5): 5-11.
- [4] Katayama M, Yamazato T, Okada H. A Mathematical Model of Noise in Narrowband Power Line Communication Systems[J]. IEEE Journal Selected Area in Communication, 2006, 24(7): 1267-1276.
- [5] Intellon. [http://www.intellon.com/\[EB/OL\]](http://www.intellon.com/[EB/OL]). 2006.
- [6] Xeline. [http://www.xeline.com/\[EB/OL\]](http://www.xeline.com/[EB/OL]). 2006.
- [7] DS2. [http://www.ds2.es/\[EB/OL\]](http://www.ds2.es/[EB/OL]). 2006.
- [8] Lee M K, Newman R E, Latchman H A, et al. Power Line Communication LANs-protocol Description and Performance Results[J]. International Journal of Communication System, 2003, 16: 447-473.
- [9] 张有兵, 程时杰, 曹一家. 低压电力线多载波通信系统及其相关技术研究[A]. 中国高等学校电力系统及其自动化专业第19届学术年会论文集[C]. 成都: 2003.  
ZHANG You-bing, CHENG Shi-jie, CAO Yi-jia. Low Voltage Power Line Multi-carrier Communication System and Related Technology Research[A]. in: The Symposium on the 19<sup>th</sup> Academic Annual Meeting about Power System and Automation[C]. Chengdu: 2003.
- [10] 张丹彤, 辛国强. 低压电力线载波通信系统的研究及应用[J]. 吉林工程技术师范学院学报, 2007, 23(9): 44-46.  
ZHANG Dan-tong, XIN Guo-qiang. Research and Application on Low Electric Line Force Carried Communication[J]. Journal of Jilin Teachers Institute of Engineering and Technology, 2007, 23(9): 44-46.
- [11] Katsis P L, Papadopoulos G D, Pavlidoun F N. Comparison of Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing and Multicarrier Code Division Multiple Access Systems for Power Line Communications[J]. International Journal of Communication Systems, 2004, 17: 889-909.

- [12] Zimmermann M, Dostert K. A Multi-path Model for the Powerline Channel[J]. IEEE Trans on Communications, 2002, 50(4): 553-539.
- [13] Banwell T, Galli S. A Novel Approach to the Modeling of the Indoor Power Line Channel—Part II: Transfer Function and its Properties[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 2005, 20(3): 1869-1878.
- [14] Meng H, Chen S, Guan Y L, et al. Modelling of Transfer Characteristics for the Broadband Power Line Communication Channel[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 2004, 19(3): 1057-1064.
- [15] 张有兵, 何海波, 吴昕, 等. 低压电力线载波通信信道模型的研究[J]. 继电器, 2002, 30(5): 20-24.  
ZHANG You-bing, HE Hai-bo, WU Xin, et al. Modelling of the Channel for Low Voltage Power Line Carrier Communication[J]. Relay, 2002, 30(5): 20-24.
- [16] 李平, 赵志辉, 张振仁. 低压电力线信道中脉冲噪声的建模及仿真[J]. 继电器, 2007, 35(5): 58-62.  
LI Ping, ZHANG Zhi-hui, ZHANG Zhen-ren. Modelling and Simulation of the Impulse Noise in Low Voltage Power Line Communication Channel[J]. Relay, 2007, 35(5): 58-62.
- [17] 王思彤, 袁瑞铭, 孙志杰. 低压电力载波技术及其在抄表系统中的应用[J]. 电测与仪表, 2008, (3): 31-34.  
WANG Si-tong, YUAN Rui-ming, SUN Zhi-jie. The Technology of Low-voltage Power Line Carrier and Its Implementation in Automated Meter Reading System[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2008, (3): 31-34.
- [18] 罗卫华, 孙云莲. 基于 EMD 方法的电力载波通信中的信号检测[J]. 继电器, 2006, 34(21): 58-61.  
LUO Wei-hua, SUN Yun-lian. Detection of Power Line Communication Signal Based on Empirical Mode Decomposition[J]. Relay, 2006, 34(21): 58-61.
- [19] 吴易文, 胡北珍. 载波通信技术在低压集抄中的应用[J]. 大众用电, 2008, (4): 41-42.  
WU Yi-wen, HU Bei-zhen. Application of Carrier Communication Technology in Low-voltage Concentrated Ammeter Reading[J]. Popular Utilization of Electricity, 2008,(4): 41-42.
- [20] Ribeiro M V, Duque C A, Romano J M T. An Interconnected Type-1 Fuzzy Algorithm for Impulsive Noise Cancellation in Multicarrier Based Power Line Communication Systems[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2006,24(7): 1364-1376.
- [21] Bahai A R S, Salzberg B R. Multi-carrier Digital Communications: Theory and Application of OFDM[M]. Kluwer Academic Publishers: Dordrecht, Plenum Press: New York, 1999.
- [22] 熊兰, 程时杰, Joseph Nguimbis. OFDM 信号在低压电力线上的传输及其时频分析[J]. 继电器, 2004,32(8): 30-35.  
XIONG Lan, CHENG Shi-jie, Joseph Nguimbis. Transmission and Time-frequency Analysis of the OFDM Signal Over the Low Voltage Power-line[J]. Relay, 2004, 32(8): 30-35.
- [23] 马永涛, 刘开华, 孙春光, 等. 基于 OFDM HomePlug AV 电力线通信系统仿真[J]. 天津大学学报, 2008, 41(1): 52-57.  
MA Yong-tao, LIU Kai-hua, SUN Chun-guang, et al. Simulation of Power Line Based on OFDM Communication System HomePlug AV[J]. Journal of Tianjin University, 2008, 41(1): 52-57.
- [24] 虞华艳, 毛德祥. OFDM 实现低压电力线高速数据通信[J]. 继电器, 2003, 31(12): 23-28.  
YU Hua-yan, MAO De-xiang. Research on Applying OFDM to High Data Rate Communication in Low Voltage Power Line[J]. Relay, 2003, 31(12): 23-28.
- [25] 刘晓胜, 熊四军, 戚佳金. 基于混沌跳频的电力线交织编码技术[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(14): 55-58.  
LIU Xiao-sheng, XIONG Si-jun, QI Jia-jin. Interleaved Technique for Power Line Communication Based on Chaotic Frequency Hopping[J]. Automation of Electric Power Systems, 2008,32(14): 55-58.
- [26] 李文臣, 刘淮, 吉亚平. 高速混沌序列短波宽间隔跳频发射系统研究[J]. 天津通信技术, 2004, 3(1): 17-20.  
LI Wen-cheng, LIU Huai, JI Ya-ping. Research for High Speed Chaotic Sequences Short Wave Given Gap Frequency-Hop Transmitting System[J]. Tianjin Communication Technology, 2004, 3(1): 17-20.
- [27] Tadj Pour L, Tsai S H, Kuo C J. An Approximately MAI-free Multi-access OFDM System in Fast Time-varying Channels[J]. IEEE Trans on Signal Processing, 2007, 55(7): 3787-3799.
- [28] Hara S, Prasad R. Overview of Multicarrier CDMA[J]. IEEE Communications Magazine, 1997, 35: 126-133.
- [29] 戚佳金, 刘晓胜, 徐殿国, 等. 低压电力线通信分簇路由算法及网络重构[J]. 中国电机工程学报, 2008, 28(4): 65-71 .  
WEI Jia-jin, LIU Xiao-sheng, XU Dian-guo, et al. Simulation Study on Cluster-based Routing Algorithm and Reconstruction Method of Power Line Communication Over Lower-voltage Distribution[J]. Proceeding of the CSEE, 2008, 28(4): 65-71.
- [30] 程晓荣, 苑津莎, 侯思祖, 等. 基于移动代理的宽带电力线通信网络管理模型研究[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(9): 74-79.  
CHENG Xiao-rong, YUAN Jin-sha, HOU Si-zu, et al. Research of Management Model Based on Mobile Agent for Broadband Power Line Communication[J].

- Proceedings of the CSEE, 2005, 25(9): 74-79(in Chinese).
- [31] 唐爱红, 程时杰. 配电网自动化通信系统的分析与研究[J]. 高电压技术, 2005, 31(5): 73-75, 86.  
TANG Ai-hong, CHENG Shi-jie. Analysis and Study of the Communication System in Distribution Automation System[J]. High Voltage Engineering, 2005, 31(5): 73-75, 86(in Chinese).
- [32] Degardin V, Lienard M, Degauque P. Optimization of Equalization Algorithm for Power Line Communication Channel [J]. Electronics Letters, 2003, 39(5): 483-485.
- [33] 俞天白, 杨将新, 赵玉玺. 楼宇控制系统中的电力线载波通信路由算法[J]. 电网技术, 2006, 30(9): 88-91.  
YU Tian-bai, YANG Jiang-xin, ZHAO Yu-xi. A Routing Algorithm of Edifice Control System Based on Power Line Signal Carrier[J]. Power System Technology, 2006, 30(9): 88-91(in Chinese).
- [34] 舒悦, 陈启美, 李英敏. 跻身未来的电力线通信(七)PLC组网方案及应用[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(12): 90-94.  
SHU Yue, CHEN Qi-mei, LI Ying-min. Predictive Schemes for Future Power Line Communication (Part Seven) Power Line Communication Network Forms and Their Application[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(12): 90-94(in Chinese).
- [35] 刘晓胜, 胡永军, 张胜友. 低压配电网电力线载波通信与新技术[J]. 电气应用, 2006, 25(2): 10-12.  
LIU Xiao-sheng, HU Yong-jun, ZHANG Sheng-you. Low-voltage Distribution Network Power Line Carrier Communication and New Technology[J]. Electrotechnical Application, 2006, 25(2): 10-12.
- [36] 孙海翠, 张孝东. 基于嵌入式的电力线载波数据通信系统的设计[J]. 继电器, 2007, 35(20): 51-54.  
SUN Hai-cui, ZHANG Xiao-dong. A Scheme of Low Voltage Powerline Carrier Communication System Based on Embedded System[J]. Relay, 2007, 35(20): 51-54.
- [37] Assimakopoulos C, Pavlidou F N. Measurements and Modelling of in-house Power Line Installation for Broadband Communications[A]. in: ISPLC 2001, Conference Proceedings[C]. Malmö(Sweden): 2001. 73-78.
- [38] Esmailian T, Kschischang F R, Gulak P G. In-building Power Lines as High-speed Communication Channels: Channel Characterization and a Test Channel Ensemble[J]. International Journal of Communication System, 2003, 16: 381-400.
- [39] 周亚, 王学玲. 低压远程集中抄表系统的组成及其应用前景[J]. 农村电气化, 2008, (5): 28-30.  
ZHOU Ya, WANG Xue-ling. Composition and Application Prospect of Low-voltage Remote Concentrated Ammeter Reading System[J]. Rural Electrification, 2008, (5): 28-30.
- [40] 樊建学, 盛新富. 低压电力线载波集中抄表系统的研究[J]. 继电器, 2005, 33(17): 49-52.  
FAN Jian-xue, SHENG Xin-fu. Research on Automatic Meter Reading System for Low-voltage Customers[J]. Relay, 2005, 33(17): 49-52.

收稿日期: 2008-11-05

作者简介:

陈 凤 (1983-), 男, 硕士研究生, 研究方向为电力载波通信; E-mail: chenfeng7189526@163.com

郑文刚 (1975-), 男, 博士, 副研究员, 研究方向为农业信息化;

申长军 (1980-), 男, 助理研究员, 研究方向为农业灌溉自动控制。

## 特高压交流示范工程入选百项经典暨精品工程

2009年10月26日, 由许继集团参与设计和建设的1000 kV晋东南-南阳-荆门特高压交流试验示范工程入选新中国成立60周年100项经典暨精品工程。

该项评选活动是由中国建筑业协会联合中国水利工程协会、中国电力建设企业协会等11家行业协会共同组织开展的, 经各省市、自治区、直辖市和有关行业建筑业(建设)协会推荐、专家初审、网上公示广泛征求公众意见、院士学者评选, 评选活动指导委员会最终审定而评选出来的。

据了解, 此次评选活动中, 天安门广场建筑群、中国载人航天发射场工程、云南鲁布革水电站、青藏铁路等100项工程入选。