



国际信息工程先进技术译丛

# 电力线通信 技术与实践

**Power Line  
Communications in  
Practice**

(法) Xavier Carcelle 著  
刘 斌 崔晓曼  
方 箭 刘 颖 李长春 译

 **机械工业出版社**  
CHINA MACHINE PRESS



国际信息工程先进技术译丛

# 电力线通信技术与实践

(法) Xavier Carcelle 著

刘 斌 崔晓曼 方 箭 刘 颖 李长春 译  
赵 媛 郑 娜 校



机械工业出版社

本书首先深入浅出地介绍了电力线通信技术的基本原理,包括电力线通信技术的结构、功能、安全性、帧结构等内容。然后图文并茂地从电力线应用实践的角度进行了全方位的阐述,包括电力线通信技术的设备情况、安装步骤、配置方法等内容。随后循循善诱地剖析了家庭环境、商业环境、社区环境下的电力线通信系统的拓扑结构、接入方法、应用方式以及有关注意事项和成本简析等方面的问题。最后介绍了混合 PLC 技术等内容。

本书特别适合电力线通信系统的研究开发、实验分析以及布设施工人员阅读参考,也适合无线电通信管理与标准政策制定人员进行有关电力线通信技术规范化、标准化时进行参考,同时也可以作为相关院校师生的参考读物。

Réseau CPL par la pratique by Xavier Carcelle © 2006 Groupe Eyrolles, Paris, France.

All rights reserved.

本书中文简体字版由 Groupe Eyrolles 授权机械工业出版社独家翻译出版,并限定在中国大陆地区销售,未经出版者书面许可,不得以任何方式复制或发行本书的任何部分。

本书版权登记号:图字 01-2009-7837

## 图书在版编目(CIP)数据

电力线通信技术与实践/(法)卡塞勒著;刘斌等译. —北京:机械工业出版社,2011.3

(国际信息工程先进技术译丛)

ISBN 978-7-111-33601-3

I. ①电… II. ①卡…②刘… III. ①电力线载波通信系统 IV. ①TM73

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 033569 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:朱林 责任编辑:朱林 版式设计:霍永明

责任校对:樊钟英 封面设计:马精明 责任印制:杨曦

北京中兴印刷有限公司印刷

2011 年 6 月第 1 版第 1 次印刷

169mm×239mm·19 印张·381 千字

0 001—3 000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-33601-3

定价:88.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010)68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010)88379649

读者购书热线:(010)88379203 封面无防伪标均为盗版

# 序 言

电力线通信 (Power Line Communication) 技术距离我们并不久远, 早在 20 世纪 50 年代就有在 10kV 线路上使用窄带载波技术的先例。20 世纪 80 年代末期, 我国也曾使用小型化的集成电路农电载波机实现点对点的通信。随着通信技术的不断发展, 高速宽带电力线通信技术的应用正在悄然兴起。一时间, 电力线通信技术出现了多个不同的名字, 例如 BPL (Broadband over Power Line)、PLT (Power Line Telecommunication) 技术等。进入 21 世纪, 人们再一次将目光集中到电力线通信技术, 不断提升电力线通信技术的物理层传输速率, 加强抗干扰性能的研究工作等。

近几年来, 人们在研究电力线通信技术的同时, 也发现了电力线通信系统可能辐射出不同频段的电磁波, 因此国际电信联盟无线电通信部门研究了 80MHz 以下的高速宽带电力线通信的辐射对其他无线电通信系统可能产生的影响, 并正在着手研究可能工作在 VHF 频段的电力线通信系统的辐射影响情况。

更好地从包括监管角度在内的多个方面研究电力线通信技术需要更多地了解电力线通信系统的实际应用情况。不过, 目前国内关于这方面的书籍相对较少, 特别是关于电力线在不同场景的拓扑结构、接入方式、设备配置等方面的书籍和公开文献也不大容易找到。相信本书的出版对我国有关领域的技术人员和相关院校师生进一步多角度研究电力线通信技术、对有关标准化研究人员科学合理地研究和制定相应的技术和管理标准等将起到十分积极的作用。

薛永刚

2011 年仲春于北京

## 译者序

近年来电力线通信 (Power Line Communications, PLC) 技术发展迅速, 特别是新一代高速电力线通信技术的异军突起, 使得家庭高速数据传输等需求通过电力线得以实现。由于电力线通信技术不仅涉及通信技术本身, 还受到电力网络系统的组成和系统特点等方面因素的限制和影响, 因此在研究、开发以及布设电力线通信系统的过程中, 技术人员、管理人员以及标准政策制定人员等都亟需一本集电力线通信技术基础、系统安装、相关标准以及在家庭、商业、社区等环境下的系统调试指导于一体的技术参考书。

本书介绍了电力线通信技术的基本原理, 展示了电力线通信系统的主要设备, 给出了典型应用环境下 (家庭、商业、社区等) 的电力线系统配置与布设的技术要求和注意事项等。读者阅读本书之后, 可以清楚地理解电力线通信技术的基本原理、设备构成及其配置要求, 并对其研究、开发以及标准规定的编写等工作有所指导与帮助。

本书由刘斌、崔晓曼、方箭、刘颖、李长春承担主要翻译工作, 参加翻译工作的还有赵媛、郑娜等。李长春、赵媛、郑娜还对本书的第一译稿进行了数次校对和补遗。此外, 陈怡、王爱举等完成了本书部分文字和图表的翻译等工作。全书由刘斌负责统稿审定。

需要说明的是, 本书是译者在尽量忠实于原书的基础上翻译的, 为保持原书特色, 书中部分图形符号和文字符号并未按国家标准做修改, 请读者注意。本书的内容仅代表了作者个人的观点和见解, 并不代表机械工业出版社和译者的观点。

本书的出版得到了各位译校者、机械工业出版社有关同志的大力支持。国家无线电监测中心薛永刚副主任也在百忙之中欣然为本书致序。在此鸣谢为本书付出辛勤劳动的各位译校者, 同时对为本书提供过帮助的人员一并表示诚挚的谢意。

由于译者水平有限, 在翻译、整理本书的过程中一定还有很多不足, 如有不准确之处, 恳请读者批评指正。

译者

2011年4月

## 中文版前言

自第一台 PLC (Power Line Communications, 即电力线通信) 设备于 2000 年问世以来, PLC 技术以提供最佳的性能为宗旨, 一直在稳步发展、前进。如今, PLC 技术已经成熟, 可以与其他相应的局域网技术相媲美, 并且部署起来更加便捷。众多通信专家的观点以及本人 2006 年以来的实践都充分表明, PLC 技术已经从鲜为人知转变为广为人知, 得到了极大的重视, 并在众多普通的家庭中得以应用。

PLC 可以更为便利地整个楼宇中传输任何类型的数据, 其中也包括众多 ISP 新近提供的基于 IP 服务的视频信息数据。作为 ISP 而言, 他们更乐于通过使用以太网的接口与其他网络终端实现通信, 从而达到服务最大 IP 用户数量的目的。

当前, IEEE 已经通过了 IEEE 1901 系列下的标准, 并且逾 4000 万台 PLC 设备使用了这一专门标准。这一标准包含网络和安全架构方面所应遵守的规定, 并且包含了家庭环境下的电磁兼容 (EMC) 方面的要求。该技术与业余无线电的干扰问题, 在共同使用一部分子带频段技术后已得到解决。PLC 与业余无线电技术之间的干扰问题正在通过一种对普通子载波频率上进行“开槽”的智能技术来解决。

相信在不远的将来, 随着 PLC 接口更为广泛的集成化 (集成到 Wi-Fi、以太网、有线电视线缆之中等), PLC 设备市场将会继续向前发展, 从而实现网络工程师和电信公司目标, 即大型的 PLC 公司融合至 Wi-Fi 公司之中。

Xavier Carcelle

2010 年 12 月

# 原 书 前 言

自从2000年初出现第一个电力线通信（PLC）设备，电力线通信技术便一直稳步发展，其发展目标就是实现最佳的性能。如今 PLC 技术已经成熟，其性能已经可以与其他局域网技术相提并论，不过 PLC 技术的另一个优势便是其开发与部署更加简单。

PLC 技术可以使得在整栋楼里广播各类格式的数据变得更为简单，这其中便包括通过近年来 ISP 所提供的基于 IP 的视频数据业务（Video over IP）。ISP 期望其终端能够通过以太网接口与其他终端和因特网相连接，并期望能够容纳最大 IP 应用数量。

当前 IEEE 关于 PLC 的标准不多，因此人们往往将 Home Plug 技术作为实际的技术标准，因为当本书出版时，世界上正在使用的 PLC 设备的数量已经达到了1500 万台左右。IEEE 的一个工作组即将完成第一个高性能的电力线通信技术标准草案，该草案能够确保并且符合家庭环境下的电磁兼容的要求。PLC 系统对业余无线电系统（Ham Radio）的干扰问题已经得到了解决，解决方案是在两个系统共享的频段中对 PLC 系统的信号进行智能的开槽（Notching）。

电力线通信技术的设备及其集成接口（与 Wi-Fi、以太网、有线电视等的接口）市场将来会不断增长，从而既满足网络工程师的需求也满足电信公司的目标。

## 本书的结构

本书从理论到实际应用展示了 PLC 技术的各个方面，此外，本书还可以作为个人、专业人员以及有关企业使用 PLC 网络时的安装指导资料。

作者以及本书的其他撰写者在本书的编写过程中将最富教学意义的内容融入其中，这样做是为了使得未来的安装者和用户能够对与电力网络和计算机网络相关的 PLC 技术驾轻就熟。本书通过大量图表对不同的研究情况进行了说明，展示了工程师们在部署 PLC 网络时出现的问题和解决方法等。

本书共 13 章，分为两大部分。

- 第 1 章：概述。第 1 章介绍了 PLC 技术的历史以及当前当今不同组织（联盟和工业组织等）所开展的引导 PLC 技术向前发展的工作。

- 第 1 部分：PLC 原理。这一部分将集中分析与 PLC 相关的电力和计算机网络技术的特征，以及与 PLC 技术相关的不同功能，这些技术和功能使得 PLC 能够将数据流通过各种不同的方式传输给最终用户。

● 第2章：PLC的结构。本章通过着重分析电力网络与电信领域通用模型之间的关系，描述了电力网络的属性。

● 第3章：PLC的功能。本章列举了在电力网络中实现最佳数据交互的一整套功能。

● 第4章：PLC的安全。虽然PLC不用面临与Wi-Fi网络类似的安全问题，但是PLC必须建立一些安全标准。

● 第5章：PLC的数据帧结构。本章介绍了在电力网络中传输的完整的数据帧结构。

● 第2部分：PLC的实际应用。这一部分内容涵盖了所有的PLC实际应用，即从家庭用户或专业用户场景，到满足城市需要的因特网接入场景。

● 第6章：PLC的应用。当前，ISP所提供的因特网接入囊括了越来越多的应用（例如声音、数据、图像、高清视频流等），这些应用在数据吞吐量和安全等方面有着较好的表现。本章说明了PLC网络如何满足这些需求。

● 第7章：PLC的设备。PLC设备的正确选择需要对不同PLC所使用设备的功能有较好的了解，比如网关、过滤器、中继器、注入器以及其他网络配件。本章介绍了不同安装条件下不同功能所对应的标准的选取等内容。

● 第8章：PLC的安装。在安装前正确地设置PLC设备是非常重要的。本章介绍通过对电力网络中PLC设备位置的优化，解决经常出现的安装问题。

● 第9章：PLC的配置。本章描述了在不同平台下（Windows、Linux和FreeBSD）以及不同类型的PLC技术条件下的配置步骤。

● 第10章：PLC在家庭中的应用。想在家中安装PLC网络的人们在本章中可以找到他们所需要的所有信息，这些信息将指引他们做出正确的选择。另外，本章还提供了配置和安装等方面的建议。

● 第11章：PLC在商业中的应用。从SOHO到大型的多个厂房的工业公司，专业人士在本章中都能够找到详尽的内容，指导其采用不同的步骤来优化电力网络，使其作为局域网（LAN）的骨干网。

● 第12章：PLC在社区中的应用。本章重点分析了偏远地区的社区所面临的因特网接入问题，并给出了通过使用公共电力网络接入因特网这一项目的管理中所需要遵循的构架原则和解决方案。

● 第13章：混合PLC。这是本书的最后一章。本章描述了PLC与其他网络技术不同，并展示了在局域网中将PLC、Wi-Fi、以太网、有线电视和PSTN来建立一个混合结构的优点所在。

谨以此献给 *Yves, Françoise*

## 致 谢

我想首先感谢 Artech 的人们，即我的主编：Simon Pluntre 以及 Judi Stone，他们一直陪伴并支持着本书的编写。

非常感谢 Michel Goldberg，我认为他是在 PLC 网络标准化领域的最好的专家之一。Michel 审查了全书的内容，确保了第 1 部分的质量，为完成这样一本书贡献了很多的专业知识。

同样感谢 Florian Fainelli 和 Nicolas Thill，他们是我所认识的最好的 Linux 开发者。是他们在 OpenWRT 项目中 Wi-Fi 的专业知识帮助我了解 PLC 网络的结构控制。

毫无疑问，我也要感谢 PLC 设备供应商的同事，即 DEVOLO 的 Werner Fehn、Intellon 的 Andy Barnes、Current 的 Terry Bernstein 以及 LEA 的 Frederic Guiot。

图例的制作应当归功于 Marie-Helene Phuong，基于我的原图，她的图形设计是令人难以置信的。她的工作将绝对能够帮助读者完全理解 PLC 网络的原理。

# 目 录

## 序言

## 译者序

## 中文版前言

## 原书前言

## 致谢

|                   |    |
|-------------------|----|
| 第1章 概述            | 1  |
| 1.1 PLC 技术        | 1  |
| 1.1.1 标准化组织       | 2  |
| 1.1.2 有哪些类型的标准    | 4  |
| 1.1.3 联盟与协会(学会)   | 7  |
| 1.2 走向标准化的 PLC 技术 | 9  |
| 1.2.1 IEEE 未来标准   | 9  |
| 1.2.2 未来互操作性标准    | 10 |
| 1.3 PLC 的优势和劣势    | 10 |

## 第1部分 PLC 原理 13

|                  |    |
|------------------|----|
| 第2章 结构           | 14 |
| 2.1 电力网络结构       | 14 |
| 2.1.1 电力线特点      | 16 |
| 2.1.2 电力网络建模     | 20 |
| 2.2 共享介质结构       | 21 |
| 2.2.1 公共网络       | 21 |
| 2.2.2 私人网络       | 22 |
| 2.2.3 与网络集线器类比   | 23 |
| 2.2.4 PLC 中继器的概念 | 24 |
| 2.3 分层结构         | 24 |
| 2.3.1 物理层        | 24 |

|          |    |
|----------|----|
| 2.3.2 频带 | 25 |
|----------|----|

## 第3章 功能 27

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| 3.1 网络模式功能                  | 27 |
| 3.1.1 主-从模式                 | 28 |
| 3.1.2 对等模式                  | 29 |
| 3.1.3 集中模式                  | 32 |
| 3.2 传输通道功能                  | 33 |
| 3.2.1 使用 CSMA/CA 技术<br>接入媒介 | 33 |
| 3.2.2 ARQ 进程                | 41 |
| 3.2.3 同步和帧控制                | 44 |
| 3.2.4 帧优先级管理                | 46 |
| 3.2.5 频道(载波列表)管理            | 47 |
| 3.2.6 突发片段和无竞争接入            | 48 |
| 3.3 帧等级功能                   | 49 |
| 3.3.1 MAC 封装                | 50 |
| 3.3.2 分包重组                  | 51 |
| 3.4 其他功能                    | 52 |
| 3.4.1 比特率的动态适应              | 52 |
| 3.4.2 单播、广播、组播              | 53 |
| 3.4.3 服务质量                  | 53 |

## 第4章 安全 55

|              |    |
|--------------|----|
| 4.1 网络安全概述   | 55 |
| 4.1.1 加密     | 55 |
| 4.1.2 公共密钥算法 | 60 |
| 4.1.3 混合密钥算法 | 61 |
| 4.1.4 电子签名   | 62 |
| 4.1.5 公钥的用法  | 62 |

|                                              |     |                                            |     |
|----------------------------------------------|-----|--------------------------------------------|-----|
| 4.1.6 哈希函数 .....                             | 62  | 6.2.3 音频广播 .....                           | 106 |
| 4.2 PLC 网络安全 .....                           | 65  | 6.2.4 娱乐应用 .....                           | 107 |
| 4.2.1 访问物理介质 .....                           | 66  | 6.2.5 视频监控 .....                           | 107 |
| 4.2.2 访问物理帧 .....                            | 67  | 6.2.6 作为 Wi-Fi 网络的<br>骨干 .....             | 107 |
| 4.2.3 鉴权 .....                               | 68  | 6.3 网际网络资讯接收器<br>(InternetBox) 和 PLC ..... | 109 |
| 4.2.4 网络密钥 .....                             | 69  | 6.4 PLC 的新应用 .....                         | 110 |
| 4.2.5 攻击 .....                               | 71  | 6.4.1 PLC 的工业应用 .....                      | 110 |
| 4.3 IEEE 802.1x 和 PLC 网络<br>安全的改进 .....      | 72  | 6.4.2 PLC 在公共领域的应用 .....                   | 110 |
| <b>第5章 帧</b> .....                           | 78  | 6.4.3 同轴电缆 PLC .....                       | 111 |
| 5.1 物理层帧 .....                               | 79  | 6.4.4 PLC 在机动车中的应用 .....                   | 111 |
| 5.2 OFDM 接口帧 .....                           | 81  | 6.5 经济效益 .....                             | 111 |
| 5.2.1 OFDM 符号 .....                          | 82  | <b>第7章 设备</b> .....                        | 113 |
| 5.2.2 HomePlug AV 设备的<br>频带 .....            | 84  | 7.1 PLC 技术 .....                           | 113 |
| 5.2.3 功能模块 .....                             | 85  | 7.1.1 主-从模式 .....                          | 114 |
| 5.2.4 HomePlug 帧和 IEEE 802.11b<br>帧的区别 ..... | 85  | 7.1.2 点对点模式 .....                          | 117 |
| 5.2.5 PLC 物理帧 .....                          | 87  | 7.1.3 中心模式 .....                           | 118 |
| 5.3 MAC 层帧 .....                             | 91  | 7.2 PLC 调制解调器 .....                        | 118 |
| 5.3.1 MAC HomePlug 1.0 帧 .....               | 91  | 7.2.1 USB 接口的 PLC 调制<br>解调器 .....          | 120 |
| 5.3.2 MAC 帧头格式 .....                         | 91  | 7.2.2 PLC 以太网调制解调器 .....                   | 121 |
| 5.3.3 加密的 MAC 帧的格式 .....                     | 93  | 7.2.3 PLC 有线电视调制<br>解调器 .....              | 122 |
| 5.3.4 控制和管理帧格式 .....                         | 93  | 7.2.4 电源插座集成式 PLC 调制<br>解调器 .....          | 123 |
| <b>第2部分 PLC 的实际应用</b> .....                  | 95  | 7.2.5 PLC/Wi-Fi 调制解调器 .....                | 124 |
| <b>第6章 应用</b> .....                          | 97  | 7.2.6 多功能 PLC 调制解调器 .....                  | 125 |
| 6.1 声音、视频和多媒体 .....                          | 97  | 7.2.7 PLC 音频和电话调制<br>解调器 .....             | 125 |
| 6.1.1 PLC 电话 .....                           | 97  | 7.3 介质接入方法 .....                           | 126 |
| 6.1.2 图像会议与视频会议 .....                        | 103 | 7.4 变压器和电能表 .....                          | 130 |
| 6.1.3 多媒体 .....                              | 104 | 7.4.1 变压器 .....                            | 130 |
| 6.2 PLC 局域网 .....                            | 105 | 7.4.2 电能表 .....                            | 130 |
| 6.2.1 网络连接共享 .....                           | 105 |                                            |     |
| 6.2.2 文件和打印机共享 .....                         | 106 |                                            |     |

|                                             |     |                                          |     |
|---------------------------------------------|-----|------------------------------------------|-----|
| 7.5 中继器 .....                               | 131 | 9.7 配置 DS2 网络 .....                      | 193 |
| 7.6 滤波器 .....                               | 133 | 9.8 配置网络参数 .....                         | 199 |
| 7.7 PLC 的成本 .....                           | 136 | 9.8.1 网络参数回顾 .....                       | 199 |
| <b>第 8 章 安装</b> .....                       | 137 | 9.8.2 在 WindowsXP 环境中配置<br>网络参数 .....    | 201 |
| 8.1 频段 .....                                | 137 | 9.8.3 在 Linux/BSD 环境中配置<br>网络参数 .....    | 202 |
| 8.1.1 无线电频率管理 .....                         | 138 | <b>第 10 章 PLC 在家庭中的应用</b> ...            | 203 |
| 8.1.2 电磁兼容性和频段 .....                        | 143 | 10.1 电力安全 .....                          | 204 |
| 8.2 电网拓扑结构 .....                            | 147 | 10.2 选择 PLC 技术 .....                     | 204 |
| 8.2.1 单相连接 .....                            | 148 | 10.3 选择设备 .....                          | 205 |
| 8.2.2 三相连接 .....                            | 149 | 10.4 电力网络中的设备<br>安装 .....                | 205 |
| 8.2.3 电力网络的布线 .....                         | 150 | 10.5 配置安全参数 .....                        | 211 |
| 8.2.4 断路器面板 .....                           | 151 | 10.5.1 配置 PLC 网关 .....                   | 211 |
| 8.2.5 电力网络的衰减作用 .....                       | 151 | 10.5.2 配置 PLC 安全参数 .....                 | 214 |
| 8.2.6 选择 PLC 网络拓扑 .....                     | 153 | 10.5.3 同一个网络中最多可以配置<br>的 PLC 设备的数量 ..... | 216 |
| 8.3 PLC 信号的传播 .....                         | 154 | 10.5.4 PLC 网络运行测试 .....                  | 217 |
| 8.4 干扰 .....                                | 155 | 10.5.5 防火墙 .....                         | 217 |
| 8.5 网络的数据传输速率 .....                         | 157 | 10.5.6 VPN 和 PPPoE .....                 | 219 |
| 8.5.1 有用数据吞吐量的计算 ...                        | 157 | 10.6 配置因特网网关 .....                       | 221 |
| 8.5.2 PLC 实际数据传输速率的<br>最大值 .....            | 161 | 10.6.1 网络共享连接 .....                      | 222 |
| 8.5.3 数据传输速率的变动 .....                       | 163 | 10.6.2 设置 NAT 和 DHC .....                | 223 |
| 8.5.4 安全性 .....                             | 164 | <b>第 11 章 PLC 在商业中的应用</b> ...            | 232 |
| <b>第 9 章 配置</b> .....                       | 165 | 11.1 网络结构 .....                          | 232 |
| 9.1 HomePlug1.0 或 Turbo<br>网络的配置 .....      | 165 | 11.2 选择标准 .....                          | 235 |
| 9.2 配置 HomePlugAV 网络 ...                    | 173 | 11.3 选择网络和电力设备 .....                     | 236 |
| 9.3 在 Linux 下配置 HomePlug<br>1.0PLC 网络 ..... | 179 | 11.3.1 服务质量 .....                        | 237 |
| 9.4 在 Linux 下配置 HomePlug<br>AV PLC 网络 ..... | 187 | 11.3.2 接入电力媒介 .....                      | 239 |
| 9.5 在 FreeBSD 下配置 PLC<br>网络 .....           | 192 | 11.3.3 安放设备 .....                        | 241 |
| 9.6 配置 HD-PLC 网络 .....                      | 193 | 11.4 选择网络结构 .....                        | 242 |
|                                             |     | 11.5 安全参数 .....                          | 242 |

|                                   |     |                                       |     |
|-----------------------------------|-----|---------------------------------------|-----|
| 11.5.1 安全拓扑 .....                 | 243 | GPS 定位 .....                          | 270 |
| 11.5.2 虚拟 LAN .....               | 245 | 12.2.9 小型、中型以及大型 PLC<br>网络举例 .....    | 271 |
| 11.5.3 虚拟专用网 .....                | 245 | 12.2.10 小型的 PLC 网络 .....              | 272 |
| 11.6 安装和配置 PLC 中<br>继电器 (桥) ..... | 246 | 12.2.11 中型的 PLC 网络 .....              | 272 |
| 11.7 PLC 下的 VoIP .....            | 247 | 12.2.12 大型的 PLC 网络 .....              | 273 |
| 11.8 PLC 在酒店中的应用<br>范例 .....      | 248 | 12.2.13 PLC 网络应用的例子 ...               | 273 |
| 11.9 Linux 下配置 DHCP<br>客户端 .....  | 254 | <b>第 13 章 混合 PLC</b> .....            | 276 |
| 11.9.1 配置 DHCP/NAT<br>服务器 .....   | 254 | 13.1 多网络共存 .....                      | 276 |
| 11.9.2 NAT .....                  | 255 | 13.1.1 各种 PLC 技术 .....                | 276 |
| <b>第 12 章 PLC 在社区中的应用</b> ...     | 257 | 13.1.2 CEPCA 以及 PLC 技术的<br>互操作性 ..... | 277 |
| 12.1 社区的电力网络 .....                | 257 | 13.1.3 PLC 和 Wi-Fi 的共存 .....          | 279 |
| 12.1.1 电力网络运营商 .....              | 258 | 13.1.4 PLC 和有线以太网的<br>共存 .....        | 285 |
| 12.1.2 电力网络的拓扑结构 .....            | 259 | 13.2 网络技术的优点和<br>缺点 .....             | 285 |
| 12.1.3 中压网络的拓扑 .....              | 260 | 13.3 优化网络结构 .....                     | 286 |
| 12.1.4 低压网络的拓扑 .....              | 261 | 13.3.1 优化结构实例 .....                   | 287 |
| 12.2 社区范畴的 PLC 网络的<br>建设 .....    | 262 | 13.3.2 PLC 和 Wi-Fi 的最佳<br>组合 .....    | 288 |
| 12.2.1 PLC 在网络结构中的<br>位置 .....    | 263 | <b>参考资料</b> .....                     | 290 |
| 12.2.2 电力网络对电力线结构的<br>制约 .....    | 263 | 有关网站 .....                            | 290 |
| 12.2.3 PLC 的结构 .....              | 264 | 标准组织 .....                            | 290 |
| 12.2.4 电力网络方面的问题 .....            | 266 | PLC 技术 .....                          | 290 |
| 12.2.5 选择设备和技术 .....              | 267 | PLC 概要介绍 .....                        | 290 |
| 12.2.6 PLC 配电网络的监管 .....          | 268 | 产品 .....                              | 290 |
| 12.2.7 网络配置 .....                 | 269 | 低传输速率 PLC 技术 .....                    | 292 |
| 12.2.8 PLC 设备在配电网络中的              |     | 有关书籍和论文 .....                         | 292 |

# 第 1 章 概 述

电力线通信 (Power Line Communications, PLC), 是一种通过中低电压电力网络来提供通信服务的技术。

尽管 PLC 在它首次应用时, 是从一个频率范围较低级别开始, 然而如今的 PLC 也越来越多地在高频段中得以应用, 这一应用也常被称作宽带电力线 (Broadband Power Line, BPL)。

很长一段时间以来, 电力网络也用于发电和配电领域低速的网络监控和远程控制。

如今, 发电和配电都不能忽视标准化的问题。非常有趣的是, 电力网络的部署、它们之间的互连以及不断增长的电器数量已经造就了第一个网络标准化实体, 这就是国际电工委员会 (International Electrotechnical Commission, IEC)。

## 1.1 PLC 技术

PLC 技术背后的原理并不是最近才出现的。早在 1838 年, 英国人 Edward Davy 就提出了一套解决方案, 通过伦敦和利物浦之间有线电报系统远程测量电池的电压。1897 年, 他提交了第一个专利 (不列颠专利第 24833 号), 专利的内容就是通过电力线的通信, 实现电力网络电能表远程测量的技术。

1950 年, 第一个 PLC 系统问世, 它被部署在中压和低压的电网中, 这个系统也常被称作 Ripple Control, 载波频率在 100Hz ~ 1kHz 之间。当时非常需要通过控制信号建立单向通信, 从而实现远程控制公共路灯或者调整价目表。第一个工业化 PLC 系统于 1960 年在法国问世, 被称作 Pulsadis, 该系统涉及的电力能量接近 100kVA。

随后, 第一个 CENELEC<sup>⊙</sup>频段的 PLC 系统就问世了, 该系统的工作频率覆盖了 3 ~ 148.5kHz, 并且可以在低压电网中双向通信。例如对远程电表读取以及一大批和家庭自动化领域有关的应用 (入侵报警、火警检测、气体泄漏检测) 等。由于该系统涉及的电力能量已经降低至大约 100mW 这一数量级, 因此, PLC 系统所需要注入的功率相应地减少了许多。

1945 年, 第二次世界大战结束之后, 电力线载波 (Power Line Carriers) 一词

---

⊙ CENELEC 是欧洲电工技术标准化委员会的法文名称。——译者注

经常被缩写为 PLC。在那个年代，众多电话线和电力线已遭损坏，但是残存的电力线数量要比电话线多出许多。出于通信的目的，系统往往设计成通过高压或中压电力线进行数据传输，传输的方式就是模仿已经在电力线上付诸使用的远程电表读数抄写系统的工作原理。

图 1.1 说明了自 20 世纪 90 年代以来 PLC 发展变化的情况。

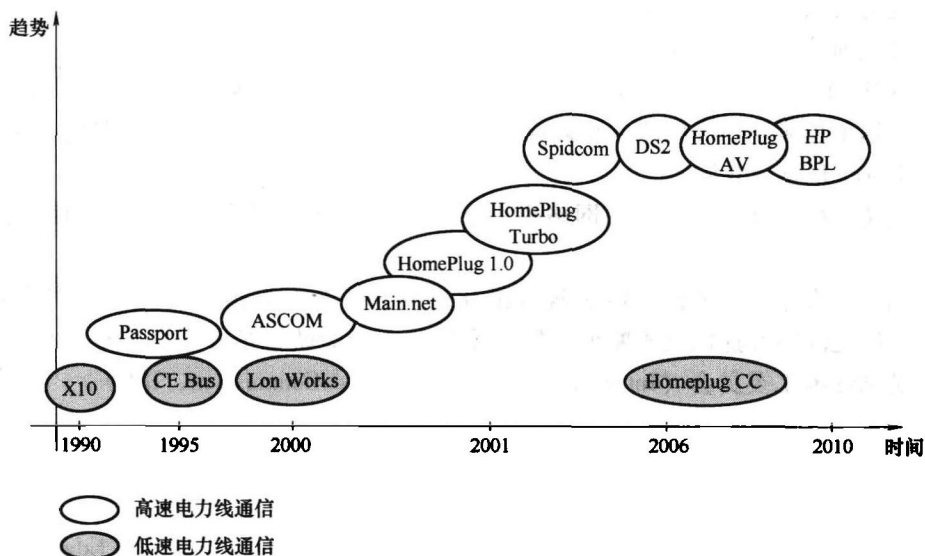


图 1.1 低速和高速 PLC 技术

### 1.1.1 标准化组织

本节将展示大量的标准化机构，同时我们也将会澄清“标准”和“规范”的概念。

“标准”一词涵盖了若干种类型的文件。

尽管在英文中，人们大都将“准则（norm）”和“标准（standard）”统称为“标准”，但是它们两者之间是不尽相同的。“准则”是来自国际化机构的一个文件，譬如说 ISO（国际标准化组织）。有时“准则”也被称作“法定标准（standard de jure）”。在接下来的章节中，我们称这些准则为“标准”。

“标准”是源自于国家级机构的文件，比如美国的 IEEE，或者源自于国家间的团体组织，比如欧洲的 ETSI（欧洲电信标准协会）。为了能够区别，我们有时将其称作“事实标准（de facto standard）”。我们将此类标准称作“规范（specification）”。

为了能够简要地描述一个“标准”能够完成的内容，我们这里不妨引用 ISO

的定义：“标准是任何一个为重复性活动设计的、经由普遍被认可的一个标准化机构所批准并由各方共同遵守的文件。”这是大多数人意见的体现。

考虑到地域范围的不同，标准化工作可能是国际化的，或者首先从一个区域化的层面开始实施。

在欧洲，标准化工作在欧洲国家内部、欧洲和国际3个层面展开。每一个标准化委员会分别负责一个或者几个标准化领域。

目前，有3个不同的组织涵盖了全部学科领域，分别是国际电工委员会（IEC）、国际标准化组织（ISO）和国际电信联盟（ITU）。

国际电工委员会（IEC）和欧洲电工技术标准化委员会（CENELEC）负责电子工程领域，欧洲电信标准协会（ETSI）负责通信领域。

国际标准化组织（ISO）和欧洲标准化委员会（CEN）负责其他领域的标准化活动。

在欧洲，协调一致的国际标准的条款将在所谓新方式的大背景下得以应用，这种新的方式为：按照欧盟委员会与相关标准机构之间达成的一般性方法，在欧盟委员会授权的框架下与成员国协商后，使用欧洲指令的形式明确欧洲的国际性标准的应用。

图1.2说明了每一个标准化委员会所负责的PLC技术的活动内容。

必须指出，图1.2中的区域性标准的各个层面（这里指欧洲）在世界其他地区似乎并不是那样明确存在（亚洲、东方等）。

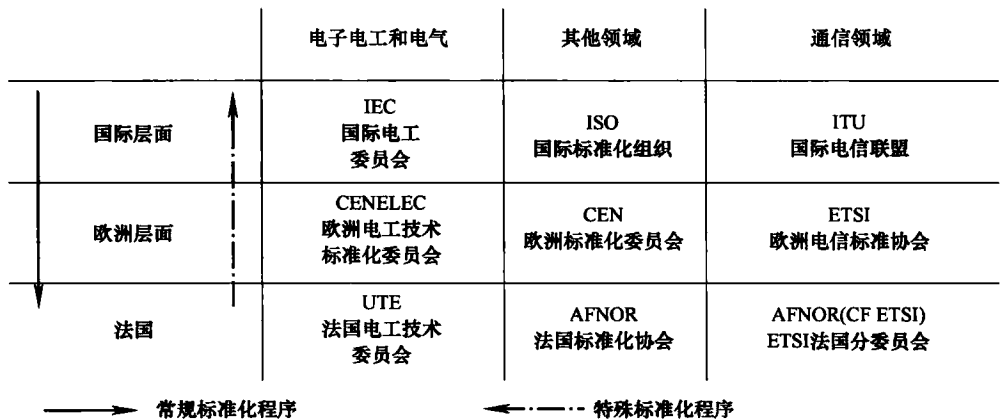


图1.2 负责PLC技术的标准化组织

在欧洲国家，自从欧盟委员会将国际标准、规范定为CE标识的参考后，这一基本的标准化层面结构就显得尤为重要了。

为了在广义上更好地理解国际标准实施的机制，这里将欧洲标准化组织的情况

与美国标准化组织的情况进行比较。

如果我们看一下《美国标准系统概览》(美国国家标准学会,第2版,2007年7月),就会知道美国标准化机制的与众不同。一般地,一个国家会指定一个组织为主要的标准研究与开发单位,并且这个组织(如果不是政府的某个部分)和政府关系很密切,但是在美国,大量的组织(政府的或是非政府的)便构成了美国标准化体系。

在美国,标准以及规定主要分为两个大类,分别是强制性标准和自愿性标准。强制性标准是由政府设立的,它们可以是关于政府采购的标准,也可以是关于政府监管的标准。采购标准列出了政府供应商必须满足的要求;监管标准可以就健康、安全、环境以及其他判定准则等作出规范。

对于自愿性标准,在美国,自愿性标准研制体系之所以被称作“自愿”是出于两个理由:第一,参与这个体系是自愿的;第二,标准通常是为了主动使用而研制的。自愿性标准由感兴趣的利益相关者参与制定并达成一致,这些利益相关者包括生产者、使用者、消费者、政府和学术界代表。

在美国,自愿性和强制性的区别不是非常明确。通常政府标准的制定者会在其规定中引用由私人开发的标准,这样做也就相当于由政府给这个私人标准予以官方支持。以建筑法规为例,它里面就参考了由自愿性标准组织开发的数以百计的标准。建筑法规是属于政府范畴的,因此所参考的这些标准具有法律效力,并且相关管理机构必须遵守,这些机构有联邦航空管理局、环境保护局、食品药品管理局等。住房和城市发展部门也会参考至少数以百计的被一致认可的自愿性标准作为自己有关规范的替代标准。这些用来参考的若干标准,一旦在政府管理规定中使用,它们也同样会具有法律效力。《美国国家技术转移与进步的法案》(公共法 104-113)提倡政府机构只要条件允许就可以使用私人研制的标准。这一做法正在不断增加,并且为纳税人节约了原来的标准研制体系中重复劳动所导致的数百万美元的开支。

### 1.1.2 有哪些类型的标准

根据研制和使用所需要达成共识的程度不同,标准至少可以分为4种。《标准化手册》(美国实验材料学会 ASTM,2006年4月出版)里对标准进行了如下分类:

公司标准(Company Standard):一个组织机构中员工之间的共识。

联盟标准(Consortium Standard):一小群组织机构之间的共识。由具有相同意向的公司组成一个联盟,这个联盟所从事的活动将超过任何单一成员公司的资源能力范围。美国汽车研究委员会的战略标准董事会就是联盟标准的一个例子。该董事会反映出美国汽车研究委员会所承担的与竞争力相关的标准管理