

低压配电网电力线载波通信与新技术

作者：刘晓胜 胡永军 张胜友

内容摘要

低压配电网是一个用户多、分布广、用户必不可少的动力能源传输网络，同时也是一个日益被看好的、将来可以随时使用的高速数字通信网络。低压配电网被认为是不久的将来"最后一公里"互联网接人的理想解决方案。

文章详细阐述了低压配电网作为数据网所固有的特点、技术分类与概况、实际应用与开发现状，同时探讨了低压配电网电力线载波通信的专展。

引言

近年来，电力线载波通信（PowerLineCommunication，PLC）技术已经成为通信系统中新的研究热点，它被看成一种未来重要的现场设备总线通信技术。然而，作为一种具有光明前景的通信方式，电力载波通信由于具有时变性、频率选择性等固有特点，使其在具体应用中还存在很多问题等待解决。

电力载波通信特点

1 电力线载波通信技术概况

电力线载波通信（PLC）是指利用专用调制解调器对信号进行调制，然后把信号加载到现有电力线中进行通信的技术。早在 20 世纪 20 年代电力载波通信就开始应用到 10kV 配电网线路通信中，利用电力载波机和阻波器，在中高压配电网中传输语音、控制指令和系统状态等信息，并形成了相关国际和国家标准。对于低压配电网来说，许多新兴的数字技术，例如扩频通信技术、数字信号处理技术和计算机控制技术等，大大提高和改善了低压配电网电力载波通信的可用性和可靠性，使电力载波通信技术具有更加诱人的应用前景。为此，美国联邦通信委员会 FCC 规定了电力线频带宽度为 100~450kHz；欧洲电气标准委员会（CENELEC）的 EN50065-1 规定电力载波频带为 3~148.5kHz。这些标准的建立为电力载波技术的发展做出了显著贡献。尽管如此，低压配电网电力线载波通信中的很多问题仍没有得到很好解决。同时，随着电力载波应用领域的推广和扩大，低压配电网电力载波通信成本问题、协议（标准）问题、安全问题等一系列问题也开始浮出水面。低压配电网电力线载波通信的实用化还面临着许多考验。

2 电力线载波通信特点

就低压配电网来说，电力线载波通信一般具有以下特点：

（1）通信信道的时变性对载波信号来说，低压电力线是一根非均匀分布的传输线，各种不同性质的电力负载在低压配电网的任意位置随机地投入和断开，使信道表现出很强的时变性。

(2) 通信信道的频率选择性正是由于低压配电网中存在负荷情况非常复杂、负载变化幅度大、噪声种类多且强等特点,各节点阻抗不匹配,信号很容易产生反射、驻波、谐振等现象,使信号的衰减变得极其复杂,造成电力载波通信信道具有很强的频率选择性。

(3) 噪声干扰强而信号衰减大一般来说,影响电力通信噪声主要有以下三种,即背景噪声、周期性噪声和突发性噪声。背景噪声一般分布在整个通信频带;周期性噪声包括周期性的连续干扰和周期性的脉冲干扰;突发性噪声一般是由用电设备的随机投入或断开而产生的。研究表明,脉冲干扰对低压电力线载波通信的质量影响最大,信号衰减可达 40dB。

正是因为具有上述特点,使得电力载波通信在实际应用过程中一直面临着可用性与可靠性的考验。

电力线载波通信种类与新技术

1 电力线载波通信种类

从使用的带宽角度来说,电力线载波通信分为宽带电力线载波通信和窄带电力线载波通信。所谓电力线宽带(BroadbandoverPowerLine, BPL)通信技术就是指带宽限定在 2~30MHz 之间、通信速率通常在 1Mbit/s 以上的电力线载波通信技术,它多采用各种扩频通信技术,是目前研究“四网(宽带数据网、电话网、有线电视网和低压配电网)融合”的关键技术之一。所谓窄带电力线载波通信技术就是指带宽限定在 3~500kHz、通信速率小于 1Mbit/s 的电力线载波通信技术,它多采用普通的 PSK 技术、DSSS 技术和线性调频 Chirp 技术等。

从技术发展的角度来说,电力线载波通信分为传统的频带传输技术和目前流行的扩频通信(SpreadSpectrumCommunication, SSC)技术:所谓频带传输就是用载波调制的方法将携带信息的数字信号的频谱搬移到较高的载波频率上。其基本的调制方式分为幅值键控(ASK)、频率键控(FSK)和相位键控(PSK)以及相关派生调制技术。传统的载波通信原理的最大的弱点就是去噪能力有限;所谓扩展频谱通信是一种信息传输方式,其信号所占有的频带宽度远大于所传信息必需的最小带宽,频带的展宽是通过编码及调制的方法来实现的,并与所传信息数据无关;在接收端则用相同的扩频码进行相关解调来解扩及恢复所传信息数据。目前电力线载波通信常用的扩频技术主要有:直接序列扩频(DirectSequenceSpreadSpectrum, DSSS)、线性调频(Chirp)和正交频分复用(OrthogonalFrequencyDivisionMultiplexing, OFDM)等。此外,跳频(FrequencyHopping, FH),跳时(TimeHopping, TH)以及上述各种方式的组合扩频技术也较为常用。

2 电力线载波通信新技术

实现低压配电网电力线载波可靠通信,需要很多新技术来支撑。这里仅列举了作者认为重要的几项技术:

2.1 正交频分复用(OFDM)

正交频分复用 (OFDM) 是一种被电力载波通信行业普遍看好的高效多载波宽带数字调制技术, 采用一组相互正交的子载波构成信道来传输数据流, 这些载波在频率上等间隔地分布, 载波间隔一般取码元周期的倒数。它采用并行调制技术、长码元周期、FET / IFFF 调制与解调技术, 使 OFDM 具有频带利用率高、抗 ISI 干扰能力强、抗信道衰落好、抗噪声干扰强、易实现等一系列优点; 由于 OFDM 通过动态选择子载波。可以减少窄带干扰和频率谷点的影响; 即便是在配电网受到严重干扰的情况下, OFDM 也可提供高带宽并且保证带宽传输效率, 而且通过适当的纠错技术可以确保数据可靠传输[2]。OFDM 是目前电力载波宽带通信的首选技术, 跳频 OFDM 方式在无线通信中被选作 IEEE802.15.3a 标准的另一个方案。尽管 OFDM 具有很多优点, 但是, 它也存在一定的缺点: ①对频偏和相位噪声比较敏感, 1%的频偏会使信噪比下降 30dB。②功率峰值与均值比 (PAPR) 大, 降低了驱动放大电路的效率。③接收机结构复杂, 成本高, 同时对瞬间干扰敏感。此外, 对于电力线载波通信的安全性方面没有任何措施。

2.2 跳频 (FH)

跳频 (FH) 是一种无线通信中最常用的扩频方式。工作原理是收发双方传输信号的载波频率按照预定规律 (一组伪随机码 PN, Pseudo-Noise) 进行离散变化, 通信中使用的载波频率受伪随机码的控制而随机跳变。从通信技术的实现方式来说, 跳频是一种用码序列进行多频频移键控的通信方式; 从时域上来看, 跳频信号是一个多频率的频移键控信号; 从频域上来看, 跳频信号是一个在很宽频带上以不等间隔随机跳变的信号。因此, 跳频通信在某一特定频点上仍为普通调制技术。跳频系统根据频率变化的快慢, 通常分为快跳频和慢跳频。目前在军事领域广泛应用了快跳频通信技术。随着电子对抗的加剧, 在快跳频的基础上产生了自适应跳频, 进一步提高抗截获和抗干扰目的。慢跳频则主要应用于民用领域。

跳频通信在电力载波通信中立用具有很强的适用性: ①适应电力线的强干扰环境。低压配电网噪声干扰强, 并且噪声不是分布在所有频段内, 可用信道是变化的, 跳频技术恰好可以满足这一需要。②适应低压配电网频率选择性衰减。低压配电网负载复杂, 且具有时变性, 各种干扰和信道特性均无法"长期"预测。跳频系统则可以根据预设跳频图案, 自动切换载波频率, 避开干扰源频点, 同时也可以根据信道估计的结果, 通过自适应跳频, 选择适宜信道, 实现可靠通信。

可以看出, 相对 FSK、OFDM、Chirp 等通信系统, 跳频系统具有以下优点: ①普通跳频系统只需在常规调制方式中增加载频跳力, 实现设备相对简单。②跳频系统具有很强的抗干扰能力, 并对频率性衰减有抑制作用。③可以多址工作, 无 ICI 和 ISI 干扰。④跳频序列的扩频码跳变速率较低, 易于实现。跳频技术在低压配电网电力线载波通信中的应用不仅是新的技术增长点, 而且在网络安全日益重要的今天, 该技术将起到不可替代的作用。

2.3 混沌 (Chaos)

混沌有很多种定义, 其本质特征在于描述事物对"初始条件高度敏感 (蝴蝶效应)"的高度非线性特性, 它揭示了"在看似无序的事物中蕴含着有序"的道理。

由于初始值间任意小的差别在迭代中将被指数放大, 使得混沌序列具有很强的多址性能。同时, 混沌的长期行为还表现出明显的随机性和不可预测性, 它的引入为改善跳频通信

系统性能提供了一个新的途径。由于混沌系统对初始条件和混沌参数非常敏感，能够产生大量、非相关、类随机但为确定性和可再生的非周期性信号等特点，使其非常适合用作抗干扰和保密通信的伪随机码序列。此外，混沌同步驱动也将大大改进通信的安全性。目前混沌序列是保密通信中的研究热点。

2.4 网络自组与重构

由于低压配电网物理网络拓扑结构会经常发生变化，且逻辑拓扑随信道质量而变化，因此，电力载波通信在多点组成网络时，具有与无线移动通信相类似的特征。

自组（ADHoc）网是一种不需要固定路由器就能够实现自治运行的无线多跳网络。在无线 Ad-Hoc 网中，每个节点既是主机，又可以是路由器。因此，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，具有以下优点：①可以根据电力线信道质量变化，自动侦测可通信逻辑节点，动态调整路由配置，在网络链路层保持可靠连接。②自动探测最佳中继节点，动态配置中继信息，自动识别节点投入或切除。可见，采用这种网络自组与重构技术，可以实现低压配电网中点到点、点到多点的可靠通信。当然，该技术对底层硬件平台要求较高。

结束语

毫无疑问，电力载波通信具有诱人的发展前景。但是，由于低压配电网本身的特点，目前在大规模使用电力载波通信时还会遇到很多问题。现仅就以下几个问题阐述一下作者的观点。

（1）抗干扰问题与对策尽管 OFDM 是一种被电力载波通信行业普遍看好的高效调制技术，然而，在电力线信带有限的情况下，紧紧依靠 OFDM 技术还具有一定的局限性。为此，一方面采用 OFDM 与跳频相结合技术将进一步改善电力载波通信的可靠性；另一方面还可以考虑采用混沌理论，提高抗通信介质开放的低压配电网中的恶意干扰能力。

（2）路由组网问题与对策电力线载波通信物理网络是由低压配电网和当时线路负载组成的。物理网络是动态的，信道特性也是动态的，这种特殊性，决定了组网的困难性。为解决这一问题，有两种方法：第一种是根据实地经验和现场试验，通过某一中心载波通信节点，进行人工本地 / 远程配置中继路由信息，来保证一定范围内电力载波节点的可靠通信；第二种方法是以图论为基础、以 ADHoc 理论为指导，通过某一中心载波通信节点，自动建立电力载波通信