

配电网自动化中的载波通信技术

陈麟书¹, 曹海燕², 张宏敏³

(1. 许继昌南通信公司, 河南 许昌 461000; 2. 珠海明源机电工程有限公司, 广东 珠海 519000

3. 新乡供电公司, 河南 新乡 453002)

摘要: 利用配电网传输配电自动化数据, 一直是人们追求的目标。配电网载波通信与传统的载波通信有很大不同。在分析配电网载波通道及配电网通信机的特殊性之后, 介绍了 OFDM 调制技术、令牌环技术在配电网通信中的应用, 指出新的通信技术与网络技术结合是解决配电网数据传输的有效途径之一。

关键词: 配电网自动化; OFDM; 令牌环总线

中图分类号: TN913.6

文献标识码: A

文章编号: 1003-4897(2002)02-0025-04

1 引言

配电网自动化是对配电网上的设备进行远方实时监控、控制及协调的一种自动化系统。基于信息技术的配电网自动化关键在于以下三点: 大量的智能终端、通信技术和丰富的后台软件^[1]。通信技术系统是其中的三大关键技术之一, 配电网自动化系统需要有效可靠的通信环节将后台控制中心的命令传递到为数众多的智能终端, 同时将智能终端的实时数据回送到后台控制中心。

具体说来, 通信系统在配电网自动化中分为两大层次: 第一层次是主站—子站之间的主干网通信, 在这一层中, 可采用光纤、微波、扩频等通信手段, 通过 SDH 光纤环网、专用数据网等传输配电信息。如果在主站—子站之间已存在通信网络, 则可以借助各种专用通信接入设备完成主站—子站之间的数据传输。第二层是子站—FTU、DTU 之间的分支网通信, 这是本文讨论的主要内容, 在这一层面上, 可供选择的主要通信媒介有: 双绞线、光纤、载波。双绞线数据传输速率不高, 能保证一定的传输质量(误码率特性满足要求), 但需要敷设电缆通道, 有一定的施工量; 光纤传输数据速率高, 误码率低、性能好, 是一种高质量的传输媒介, 光纤代替双绞线, 成为子站—FTU、DTU 之间的优选传输媒介, 已成为大家的一种共识。只是光纤传输系统在实用中需要铺设光缆, 除工程技术要求高之外, 工程施工量较大。关于载波传输, 电力输电线是传输配电自动化数据的天然网络, 利用载波调制技术完成 FTU、DTU—配电站之间的通信联络, 首先解决了传输通道问题, 10kV 配电线路遭人为破坏的概率会低于双绞线和光纤, 从这方面讲, 载波通道的可靠性和安全性要高于双绞线和光纤。同时载波通信在 35kV 以上的电力系

统得到了广泛的应用, 积累了大量的技术经验, 可作为配电网载波通信的有益借鉴。配电网自动化的最终通信方式将是多种通信方式的混合应用, 尤其以光纤、载波为主^[1]。

同时, 我们还应当看到配电系统的载波通信与以往的载波通信有很多不同, 以下首先说明配电网载波通信中存在的技术问题, 然后介绍相应的解决方法。

2 配电网载波通信要解决的问题

载波通信在电力系统的通信中有过很长的发展历史, 在 35kV 以上的电力系统中有非常成熟的使用经验。然而配电网载波通信与以往的载波通信又有很大不同, 这表现在:

(1) 通信方式不同。现有的 35kV 以上的电力系统的载波通信实行的是点—点的通信方式, 在通道两侧加装阻波器, 载波通道有相对的独立性, 而配电网中的载波通信要完成配电站—FTU、DTU 之间的数据传输, 出于通信成本的考虑, 不会在配电网中加装阻波器, 只能采用点—多点的通信方式, 这样如果仍然采用传统载波通信中的 SSB (单边带抑制载波)、FSK (频移键控) 调制技术, 其输出功率要增大许多, 通信成本及设备体积也会相应地增大许多, 这样在工程实施中是很难接受的。

(2) 通道衰耗特性不同。实践证明, 通道衰耗与负荷有关, 35kV 以上的电力系统用电负荷相对稳定, 因此通道衰耗的变化量不是太剧烈, 基本上可以视为不随时间变化, 而配电网中用电负荷在一天之中有很大的变化, 这样引起通道的衰耗值也会有较为剧烈的变化, 这就要求通信设备有较宽的自动增益控制能力。

(3) 线路情况不同。35kV 以上的电力系统采

用架空线的方式居多,地理电缆的方式比较少,配电网系统中,既有架空线又有地理电缆,还存在有架空线和地理电缆混合敷设的情况,在架空线与地理电缆的连接处,由于特性阻抗不一致,形成明显的回波反射,这样一是降低了传输效率,信号损失较大;二是回波反射在通道中形成驻波,给收信机的正确接收带来很大的困难。

(4) 耦合方式不一样。如图 1 所示,35kV 系统以上的载波通信通常采用单端耦合方式,即相-地耦合方式。而在图 2 所示的在配电网载波通信中,如果联络开关 S3 或分段开关 S1、S2 断开,仍然要保持各 FIU 与配电子站之间的数据传输,应采用图 2 所示的双端耦合方式,并且为保证在线路接地故障情况下,FIU—配电子站之间的正常通信,应采用相-相耦合方式。在故障发生时,将相-相耦合转为相-地耦合,虽然传输损耗有所增加,但仍能保证耦合通道畅通,或者采用后文中说到的采用网络技术解决。

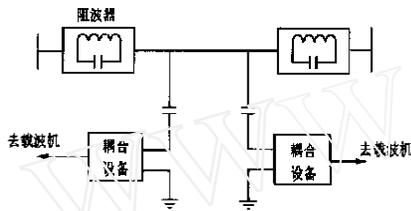


图 1 35kV 以上电力系统的单端耦合方式

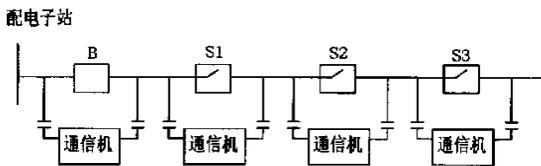


图 2 配电网系统中通信机的双端耦合方式

(5) 噪声电平及干扰不一样

配电网载波通道中背景噪声实测为 $-50 \sim -40$ dBm。在 35kV 以上的载波通道中,其背景噪声依据《单边带电力线载波系统设计导则》(GB/T 14430-93) 中推荐的噪声电平建议值为^[3]:

表 1 噪声电平建议值

线路电压等级 (kV)	噪声电平范围 (dBm)
35	< -45
110	$-40 \sim -30$
220	$-30 \sim -22$

可见,配电网载波通道中的噪声与 35kV 系统相差不多。但配电网载波通道中的脉冲干扰比 35kV

系统要频繁,数值要高,原因是配电网系统接有高压电动机、中压变频器还有其它种类各异的用电设备,高压电动机、中压变频器在工作时,会产生很高的干扰脉冲,这些是设计配电网载波设备时要认真考虑的。

综上所述,配电网载波通道的特点是:a) 背景噪声电平与 35kV 系统相差不多,脉冲干扰的频繁次数及幅度值要高于 35kV 及以上的电力系统;b) 传输距离不远,一般不超过 10km,但通道分支多,与 35kV 以上的系统相比,同样的传输距离,传输衰耗要高出很多,而且随时间变化的特性比较明显、通道衰落大;c) 要考虑在通道故障情况下,信息的传输问题。下面我们结合 Siemens 公司新开发的配电网载波通信单元 DCS-3000,介绍相关的技术及解决方案。

3 配电网载波通信技术

3.1 调制技术

如前所述,配电网载波通道中各种尖脉冲的干扰较多,是影响数据正确接收的主要因素之一,现有的载波通信技术采用 SSB(单边带抑制载波)调制技术,FSK(频移键控)调制技术,对尖脉冲的抑制能力有限。因此,近年来国内外许多厂商都在研究采用新的载波通信技术,以抑制尖脉冲的干扰。扩频调制和 OFDM(正交频分复用)就是其中有代表性的技术,扩频调制技术是将较低的数据调制到较宽的频带上,这样它对尖脉冲有很好的抑制作用,虽然尖脉冲幅度大,但把它调制较宽的频带后,其所占的相对份量较小,在接收端很容易把它滤除掉,扩频调制方式对尖脉冲有较好的抑制能力,不足的是,配电网载波通道的高频特性较差,可利用的有效频带限制在 500kHz 以下,这样数据传输速率不可能太高,否则对尖脉冲的抑制能力也要相应减弱。Siemens 公司新研制的配电网通信单元 DCS-3000 采用 OFDM(正交频分复用)调制技术。它既能抑制尖脉冲的干扰,又有较高的数据传输速率。OFDM 系统的基本原理如图 3 所示,将高速的串行数据 f_s 转变为 N 个并行的低速子数据流,用 N 个子载波 (f_0, f_1, \dots, f_{N-1}) 去调制 (f_0, f_1, \dots, f_{N-1}) 这些低速的子数据流, f_0, f_1, \dots, f_{N-1} 是相互正交的。允许子载波的频谱可以有部分重叠,这样能有效地利用频带。

在接收端因为这些子载波是相互正交的,它们之间的影响最小,因此子通道之间串扰引起的误码也最小,OFDM 把串行的码元转成并行的码元经正交调制后再在通道中并行传输,同 SSB、FSK 等单载波调制系统相比,在相同的传输速率 f_s 下,子通道

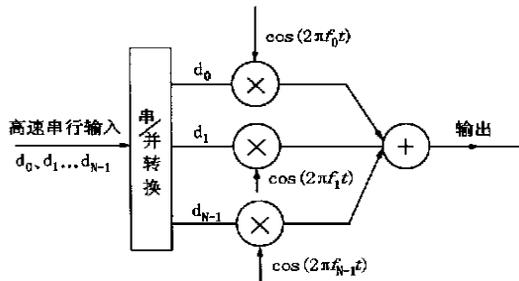


图3 OFDM发送原理

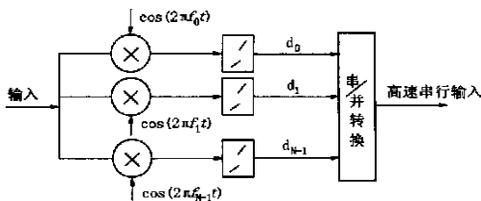


图4 OFDM接收原理

上因为传输速率只有 f_s/N , 每个码元所占时间增大 N 倍, 这样可以很好地抑制尖脉冲干扰。因为尖脉冲虽然幅度大, 但其所占频谱宽, 单位频带内所占有的能量少, 相对于每个子信道 f_0, f_1, \dots, f_{N-1} 其所具有的能量减小, 这样也就减小对解调输出的影响; 对窄带脉冲干扰, 它只能影响 f_0, f_1, \dots, f_{N-1} 中的几个子信道, 不足以影响全部子信道, 系统可以在这些受干扰的子通道上降低传输速率, 或者暂时关闭这些子信道, 可以克服窄带脉冲干扰的影响。

同扩频调制相比, OFDM 同样具有抗尖脉冲及窄带脉冲干扰的能力, 并且在相同的传输速率下, OFDM 所占用的带宽比扩频调制要窄, 这对频带资源只有 500kHz 的配电网载波通道而言是十分可贵的。但是 OFDM 的调制解调技术比较复杂, 用 DSP 技术实现有一定的困难, Siemens 公司采用 ASIC 技术制成专用芯片, 同时还具有通道特性测试功能, 通过测试分析指出哪些频段适宣传输, 这些都给技术实施带来极大的方便。

3.2 网络技术

配电网的载波通道分支较多, 接入的设备也较多, 阻抗不匹配严重, 驻波情况明显, 通道衰耗、通道衰落较大。早期的配电网载波通信设备的研制, 仅注重采用新的调制原理, 以降低对信噪比的要求, 增大输出功率, 以解决通道衰耗大的问题, 但实际的应用效果并不好。配电网通信网络化, 将通信技术与网络技术结合在一起, 给问题的解决提出了一种新的途径。

如图 2 所示, 如果配电子站的通信机与开关 S3 的通信机距离较远, 直接通信有困难, 可以采用分段接力的方式, 将传给 S3 的信息。经由 S1、S2 中继后, 再传递给 S3 处的通信机, 这样, 既能有效地降低通信机的输出功率, 又能克服通道衰耗大、通道衰落带来影响, 实现数据的有效传输, 这种设想可通过网络技术中令牌环局域网或令牌总线局域网技术实现。显然, 使用令牌环或令牌总线技术, 要求通信机应有足够高的传输速率, 否则, 中继环节多时, 整个通信时间会加大, 会超过允许的时延范围, 满足不了实时性的要求。Siemens DC - 3000 配电网载波通信单元, 在占用同样带宽的情况下, 具有较高的传输速率, 具备了使用令牌环或令牌总线网络协议的技术基础。

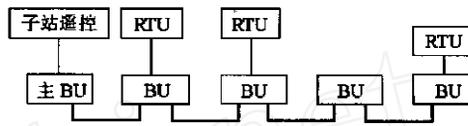


图5 DCS-3000 链形组网方案

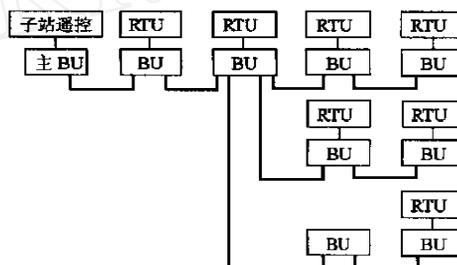


图6 DCS-3000 树形组网方案

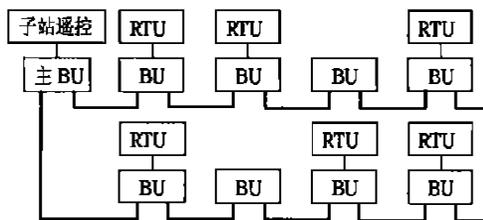


图7 DCS-3000 环形组网方案

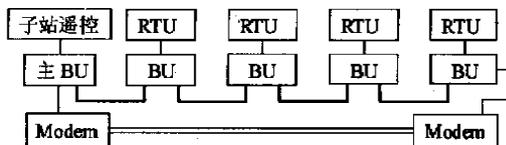


图8 DCS-3000 带 DOME 环形组网方案
前面说过, 配电网载波通信设备解决的主要问

题之一是,在加工相发生接地故障时,如何保证数据通道的畅通有两种方法解决这个问题:a、采用相—相耦合的方式,这样在故障发生时将相—相耦合转为相—地耦合,保证通道畅通。不足的是,在通信节点多,网络规模大时,通信成本会有所提高。b、采用令牌环的方式解决,如果发生通道故障,可通过环路的另半边路径传递信息。Siemens - DCS3000 配电网载波通信单元就采用这种方式。除此之外它还具有多种组网功能,如图 5~8 所示,图中 BU 为 DCS - 3000 配电网载波通信单元。

4 结束语

以上我们分析了配电网载波通道及配电网载波通信机的特殊性,从中可以看出采用新的调制原理,结合网络技术,是解决配电网载波通信的有效途径之一。Internet 技术的快速发展,对“最后一公里接入”

提出了越来越迫切的要求,配电网、低压供电网络是“最后一公里接入”的天然网络,配电网载波技术的发展,不仅为配电网自动化带来了便利,最终将为“最后一公里接入”作出贡献。

参考文献:

- [1] 杨奇逊. 配电网自动化及其实现[J]. 电力自动化设备,2001,(1).
- [2] 姚轶,邵军力. 利用 OFDM 技术在低压电力线上实现高速数据传输[J]. 电力系统自动化,2001,(15).
- [3] GB/T 14430 - 93. 单边带电力线载波系统设计导则[S].

收稿日期: 2001-09-19

作者简介: 陈麟书(1960-),男,高级工程师,从事配电网自动化通信研究; 曹海燕(1973-),女,助理工程师,从事电气设计工作; 张宏敏(1972-),男,工程师,硕士,从事配电网自动化及计算机技术的应用研究。

Carrier communication technology for power distribution system automation

CHEN Lin-shu¹, CAO Hai-yan², ZHANG Hong-min³

- (1. XI Changnan Communication Equipment Co., Ltd., Xuchang 461000, China;
2. Zhuhai Mingyuan Electro - mechanical Engineering Co., Ltd., Zhuhai 519000, China;
3. Xinxiang Power Supply Bureau, Xinxiang 453002, China)

Abstract: It is expected that the power distribution system can be used to transmit the data of power distribution automation. The carrier communication by power distribution system is much different from the traditional ones. Based on the analysis of the specialties of carrier channels and communication machine in the power distribution system, the application of OFDM modulation technology and token ring technology in power distribution system communication is presented. The combination of the new communication technology and network technology is regarded as an effective way for data transmission in power distribution system.

Keywords: automation in power distribution system; OFDM; token ring bus

(上接第 21 页)

收稿日期: 2001-06-14

作者简介: 谭山(1973-),男,硕士,从事智能仪器及信号

处理方面的研究; 熊元新(1962-),男,副教授,长期从事电网络理论与系统群论研究、信号分析与处理教学与科研工作; 刘珠明(1976-),男,硕士,从事电力电子及电力系统继电保护方面的研究。

A measurement method for fraction-harmonic in power system

TAN Shan, XIONG Yuan-xin, LIU Zhu-ming
(Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: This paper analyze the essential reason why the conventional method can not measure the fraction harmonics in power system. A accurate method is presented to measure the fraction harmonics, at the same time it can improve measurement precision for harmonics. The simulating result shows that it is a high accurate measurement method to harmonics and fraction harmonics

Keywords: fraction harmonics; spectral leak; barrier effect; spectral amend