# 低压电器的网络化技术

赵建利<sup>1</sup>, 刘教民<sup>1</sup>, 王震洲<sup>2</sup> (1. 河北工业大学 电气工程学院,天津 300130; 2. 河北科技大学 信息工程学院,河北 石家庄 050018)

摘 要: 从可通信的智能低压电器、低压电器网络化控制系统、多总线融合技术和基于智能低压电器通信网的低压配电监控系统四方面介绍了低压电器网络化技术研究的内容和国内外研究,分析了为适应智能电网对低压供配电网的要求、低压电器网络化技术在各层次上面临的主要问题及解决思路。

关键词:智能低压电器;网络化控制系统;低压配电监控系统;智能电网中图分类号:TN 711.1 文献标志码:B 文章编号:1001-5531(2011)07-0001-06



赵建利(1980—), 女,博士研究生,研 究方向为智能电器 与机电一体化。

### **Network Technology for Low Voltage Electrical Apparatus**

ZHAO Jianli<sup>1</sup>, LIU Jiaomin<sup>1</sup>, WANG Zhenzhou<sup>2</sup>

(1. School of Electrical Engineering, Hebei University of Technology, Tianjin 300130, China;

 School of Information Engineering, Hebei University of Science and Technology, Shijiazhuang 050018, China)

Abstract: The contents and recent progresses worldwide of the network technology for low voltage electrical apparatus were introduced, including the intelligent low voltage electrical apparatus with communication model, the networked control system of low voltage electrical apparatus, fieldbus fusion, and the intelligent low voltage distribution monitoring system. The key issues and solutions of the development of network technology for low voltage electrical apparatus to satisfy the requirements of smart grid were analyzed.

Key words: intelligent low voltage electrical apparatus; networked control system; low voltage distribution monitoring system; smart grid

### 0 引 言

低压电器是配电系统中重要的保护和控制类元件,智能型低压电器在传统低压电器基础上增加了智能控制功能和简单通信接口,能够向工控机传递现场数据。由此,从最初仅包含简单的通信接口到建立起来的基于低压电器通信网络智能低压配电监控系统,低压电器的网络化技术经历了重大变革。随着计算机通信技术在电气控制系统中的应用及工业控制网络化的进一步发展,迫切需要对现场智能低压电器的信息管理实现网络化,包括基于异构网络间设备的互操作、各种控制和运行信息的远程管理[1]。智能电网[2]的提出,

以及其互动、自愈、优化、集成、兼容等特征为新一代智能低压电器及其网络化技术带来了新的发展 契机。本文从可通信的智能低压电器、低压电器 网络化控制系统、多总线融合技术和基于智能低 压电器通信网络的低压配电监控系统四方面系统 介绍了低压电器网络化技术的研究内容、国内外研究进展、面临的主要问题及解决思路。

### 1 可通信的智能低压电器

新一代智能低压电器都有内置或外围通信接口与工业现场总线相连接,能实现远程控制。生产企业还为用户提供整套的通信系统集成解决方案。由于带通信功能的低压电器容易实现自动化

刘教民(1958一),男,教授,博士,研究方向为智能电器与机电一体化。

王震洲(1978一),男,讲师,博士,研究方向为电器网络化。

控制与管理系统的集成,故模块化的体系结构可满足不同应用场合的需要,且支持多种总线协议; 在难以安装通信电缆或网络拓展不便的场合,还可采用无线通信。

3WL 系列万能式断路器<sup>[3]</sup>内部具有通信总线 Cubiclebus,用于连接断路器内部及外部附加的智能化部件,通过通信协议模块 Com15Profibus,断路器可直接连接到 Profibus 或Modbus。利用一些必要的附件机构,通过微型开关在通信协议模块上采集和传输断路器的位置,Sentronwl 可实现遥控分/合闸及参数修改等功能。新 3WT 系列万能式断路器<sup>[4]</sup>的通信功能是通过与 ET200 及多功能仪表 PAC3200 相配合实现。PAC3200 提供一系列的通信选件,使用集成的以太网接口,或选用 Modbus RTU或 Profibus 的扩展模块集成到上层监控系统中,ET200 负责状态量的采集、传输和控制命令的下达和传输。

Compact NSX 系列塑壳式断路器<sup>[5]</sup>包含断路器状态控制模块,可向上位机发送断路器状态、带通信的电动操作机构的控制指令等信息,实现遥测、遥控功能;其 Modbus 通信模块,能实现断路器与上位机之间的数据传输,如图 1 所示。利用RJ-45 通用接线技术,连接所有的 FDM121、Modbus 通信模块等附件,"即插即用"的便捷网络架构技术,使得搭建复杂通信网络更加容易,整套的通信系统解决方案如图 2 所示。

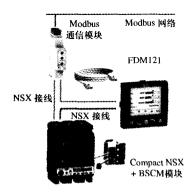


图 1 Compact NSX BSCM 模块接线方式

大部分产品支持 Modbus RTU 通信协议, Emax 电子脱扣器系列包含通信模块 PR120/ D-M,可使断路器方便地集成在 Modbus 网络中, 模块 BT030 可连接到脱扣器测试连接口上,以实 现保护脱扣器与笔记本电脑之间通过蓝牙进行通

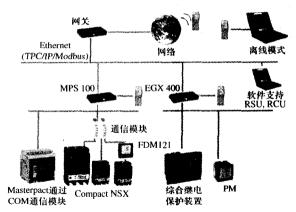


图 2 Compact NSX 系列塑壳断路器通信系统解决方案

信。模块 EP010-FBP 是用于连接保护脱扣器与 Fieldbus plug 系统的一个总线插接件,可使 Emax 断路器连接到 Profibus、DeviceNet 或 AS-I 总线网络中;通过 SD-Pocket 脱扣器还可实现无线通信。

20 世纪 90 年代,以 DW45、M 系列为代表的 国内电器行业各厂家分别推出了带通信功能的智 能电器。HSW1 系列断路器<sup>[6]</sup>就具有串行通信接 口 RS-485,与其他可通信元件和计算机主站组成 的局域网系统双向的串行数据传递方式严格遵从 主从方式,产品可提供多种通信协议方式: Profibus-DP 和 Modbus 等,其结构如图 3 所示。

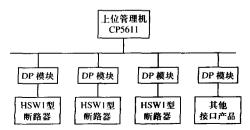


图 3 HSW1 系列万能式断路器通信局域网系统结构

CW2 万能式断路器<sup>[7]</sup>是基于 RS-485 通信接口和 Modbus RTU 协议,通过其自行开发的CN1DP-MP、CN1DP-MD、CN1DP-MC、CN1EG/10适配器,分别实现 Modbus 与 Profibus、DeviceNet、CAN 及 TCP 协议的转换,能使断路器在各种现场总线上实现"四遥"功能,断路器通信系统连接示意图如图 4 所示。FDM3 短消息通知模块用于监视设备运行状态,当设备发生预先设置的事件时,发送短消息到一部或多部手机,提示用户及时处理。

## 2 低压电器网络化控制系统

智能电网最主要的目标就是要保证供电的连

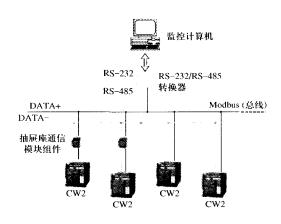


图 4 CW2 型万能式断路器通信系统结构

续性与可靠性,对低压配电系统来说,实现这一目标的重要手段就是保证稳定的低压电器网络化控制系统的选择性保护、上下级断路器的选择性匹配等功能。因此,网络化控制系统的性能直接影响了智能电网在供配电环节的性能。网络化控制系统是控制领域中的一个研究热点,近年来广泛应用于工业控制系统中:现场总线控制系统 FCS、工业以太网控制系统 IECS、基于 Internet 的远程控制系统及无线网络化控制系统<sup>[8]</sup>。

#### 2.1 基于各总线的网络控制系统体系结构

低压电器领域应用比较广泛的现场总线有DeviceNet、Modbus、Profibus等。基于 Modbus 总线的低压电器控制系统,是一种主/从结构的控制模式,即主设备初始化传输、查询,从设备根据主设备查询提供的数据作出反应<sup>[9]</sup>,协议简单、且投资少,其体系结构如图 5 所示。

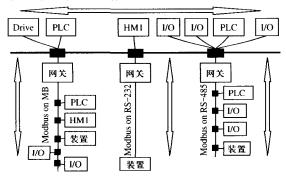


图 5 基于 Modbus 总线的低压电器控制系统体系结构

在基于 Profibus 总线的低压电器控制系统中,智能电器通过 Profibus-DP 网关与 Profibus-DP 相连实现与上位机的通信。控制信号与低压电器外围的有效数据通过一根两芯电缆或光纤电缆,

与具有 Profibus-DP 控制能力的自动化级进行传输,省去了不必要的常规数据电缆布线,其体系结构如图 6 所示。

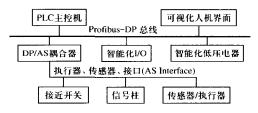


图 6 基于 Profibus 总线的低压电器控制系统体系结构

DeviceNet 在沿用 CAN 协议中的物理层和数据链路层的基础上,构建了应用层协议。基于DeviceNet 总线的低压电器控制系统主要由 DeviceNet 总线、上位机(主机)和智能电器节点(从站)组成<sup>[10]</sup>。上位机(包括 DeviceNet 接口卡)实现智能电器与主机的高速数据交换,负责对整个智能电器控制网络系统的管理和调度;智能电器节点主要完成对现场信号检测、参数显示和控制任务,用于连接工业控制系统中的按钮、开关、电磁阀等现场设备,如图 7 所示。

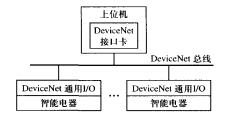


图 7 基于 DeviceNet 总线的低压电器控制系统体系结构

低压电器在以上控制系统里有不同程度的应用。由中国机械工业联合会提出、上海电器科学研究所(集团)有限责任公司负责起草的 JB/T 10542—2006《低压电器通信规约》[11]于 2006年5月6日首次发布,2006年10月1日实施。这是中国低压电器行业通用的开放通讯协议,旨在用分层技术打破现场总线的技术壁垒,采用该标准的低压电器可直接或通过适配器与 Modbus、DeviceNet、Profibus-PD 等现场总线系统通信。

目前,各国在低压配电与控制系统中均采用多总线方案。3S-Net<sup>[12]</sup>是一个运行多总线的智能网络配电和控制系统,包括上位机组态软件、可接人系统的智能设备和系统附件。组态软件可方便地集成 DeviceNet、Profibus-DP、Modbus 总线或

组成混合总线系统,可接人系统的设备有低压断路器、真空断路器、塑壳式断路器、软起动器和电量仪表等。系统附件有 DeviceNet 适配器、Profibus-DP 适配器、DeviceNet 适配器等。该系统可广泛用于变电站自动化、企业智能配电和控制系统等多种场合。

为进一步提高通信效率,简化网络结构,各国都在探索将低压电器直接与工业以太网连接。中国于2006年5月发布了现场总线国家标准 GB/T 2017 1—2006《用于工业测量与控制系统的 EPA 系统结构与通信规范》<sup>[13]</sup>,定义了工业以太网现场总线控制系统(Ethernet Plant Automation, EPA)模型。以 EPA 网络通信实体为基础,将若干个分散在现场的设备、小系统以及控制或监视设备连接起来,所有设备协调工作,完成现场 I/O 数据采集和工业生产过程控制。如图 8 所示。由于以太网的全双工性、高传输率及高可靠性,同一网络上可以运行不同的应用层协议,以及能通过 Internet 实现工业过程的远程控制,使成为低压电器网络化控制系统的主流技术。

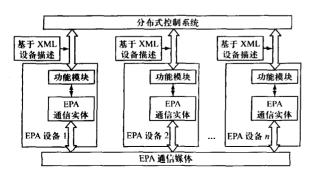


图 8 EPA 系统控制模型

当前,智能低压电器产品中尚未有成熟的工业以太网技术,国内外低压电器生锄商相继提出了通过协议转换,将低压电器接入以太网的解决方案,主要有<sup>[1]</sup>:①将现场总线通信卡置人工控机 PCI 插槽内,在工控机内完成信息交换,并上传到以太网层的计算机;②采用专用网关来完成不同通信协议的转换,把现场总线网段的设备连接到以太网上;③将 Web 服务器直接置入 PLC 或现场控制设备内,借助 Web 服务器和通用浏览工具,与客户机实现数据信息的动态交互。

#### 2.2 低压电器网络化控制系统的关键问题

由于系统的现场控制、监测信息、故障诊断信

息、上层的决策与协调信息都要通过相应总线的通信网络传输,必然会产生传输延时问题。而延时是影响控制系统性能 QoP 的主要因素之一。网络接入协议不同,网络延时的性质就不同,可以是常数延时、时变延时甚至是随机延时,如 DeviceNet 和 Ethernet 的接入协议是随机的,传输延时的不确定性较周期服务网络的要大。常见的随机时延数学模型有 Markov、流体模型及 ARMA 模型等[14]。系统延时必然导致控制系统的相位滞后,从而对系统的控制性能和稳定性造成影响[15]。研究基于 EPA 的低压电器网络化控制系统不确定延迟的数学模型及其对 QoP 的影响,对 EPA 技术在低压电器领域中的推广及应用具有重要意义。

可靠的数据采样是整个控制系统的基础,而 网络控制系统中信号的采样频率通常是非周期 的,且时变的。根据网络的现行状态,且在保证控 制系统苛刻的实时应用需求下及时调整采样频 率,以缓解网络传输压力及保证网络环境的良好 状态,是一个重要的研究课题。

网络化控制系统的性能很大程度上依赖于网络结构及相关参数的选择,包括传输率、接入协议 MAC、数据包长度、数据量化参数等。此外,任何通信网络单位时间内所能传输的信息量都是有限的,信道带宽的限制对整个网络控制系统的运行有很大影响。在有限带宽的限制下基于不同类型的网络时延设计有效的控制策略,对保证整个系统的动态性能意义重大。

### 3 多总线融合技术

智能电网通信信息技术研究是 2009 年中国第一批科技计划已安排的智能电网相关项目之一,体现在低压配电系统上,可理解为建设高效、稳定的智能低压电器通信网络。在低压电器领域所采用的通信协议和标准差异很大,多总线标准从一定程度上阻碍了现场设备的互联和信息化水平的发展,也促成多总线融合技术的应运而生。所谓总线融合,是指在一个总线系统中实现不同协议下的信息共享与互操作,包括协议融合和信息融合。

现场总线网络中的信息包括控制现场水平传递的实时信息(设备状态、故障诊断、报警信息

等)和向决策层垂直传递的历史信息。现场总线信息融合被称作系统级集成,目前主要采用自动控制(OLE for Process Control,OPC)<sup>16]</sup>技术实现,包括现场控制系统、OPC Server、OPC Client 和上层的管理信息系统,其实质是采用 OPC DA 规范,开发针对低压电器网络控制系统的 OPC Client 过程数据采集系统,按照不同应用需求对数据进行分类存储,并在数据库端完成数据的整合和发布,从而实现异构控制网络的互联。

多总线协议融合主要通过设计协议网关实现,也被称作多总线的设备级集成,由网关将不同的电气信号进行隔离,转换不同的报文格式,匹配不同总线的数据传输速率,并对不同的应用层服务进行翻译,以期为不同总线上的设备提供透明的数据传输服务。

多总线协议转换有两种方案:①一对一,在任意两种协议间进行转换,开发成本极高;②多对一,将多种协议转换为一种作为公共对象的总线协议,不仅可节约成本,还可使系统具有统一的外貌,是当前协议融合的主流技术。早期的公共对象总线协议以 Modbus 为主,国内外各大厂商都有成熟的由 Modbus 到其他协议转换的适配器产品。随着工业以太网技术的逐渐成熟及与Internet的无缝集成等特点,工业以太网成为当前公共转换对象的最佳选择。传统工业以太网的CSMA/CD访问控制方式在网络负载较重时不能满足控制系统准确定时通信的实时性要求,快速以太网和交换式以太网技术为工业以太网通信的非确定性带来新的解决方案。

# 4 基于智能低压电器通信网的低压 配电监控系统

智能低压配电系统是对传统低压配电网的现场开关设备或元件配置相应的智能监控元件,与监控主机通过数字通信网络进行数据交换,从而完成智能化管理的一种电力监控系统,包括控制网络和信息网络两部分。控制网络部分通过现场总线构成的网络控制方式对可通信元件进行检测,识别电压、电流、功率因数、有功功率、报警状态等参数,实现信息回馈。信息网络部分借助以太网,将各种现场总线互联,并基于 TCP/IP 协议,实现支持不同通信协议的智能设备构成的异

质控制网的信息交换和互操作,从而进行能量管理,包括功率因素、谐波分量电网质量监控等功能。

配电网智能监控系统在通信方面的开放性,使其很容易与楼宇自动化系统(Building Automation System, BAS)通过以下三种方法进行连接:① 提供标准的 Modbus-RTU 协议,直接接入 BAS 的DDC 装置,适用于小规模的 BAS;②提供符合 IEC标准的 OPC Server 给 BAS,适用于中规模 BAS;③直接在 Ethernet 上通过 Web 或 TCP/IP 与 BAS 互连,适用于大规模 BAS。

在低压配电系统中,利用 Modbus/TCP 协议组成的 Powerlogic 电力监控系统<sup>[17]</sup>和车间的制造网络、现场级的仪表、设备网络无缝连接,集监视、控制、测量、故障录波、谐波分析、电能管理、负荷控制为一体,并与 Web 服务相结合,与工厂的电子商务、物资供应链和企业资源计划系统等形成整体,实现配电系统信息的交换和管理,提高用电可靠性、用电质量和运行管理水平,减少电能消耗。

基于 FCX3 智能配电监控器的 Riyear- Power-Net 配电监控系统<sup>[18]</sup>,是一个完整的电力监控解决方案。整个系统分为 3 层:系统软件层、通信网络层和智能元件层,如图 9 所示。系统软件层包括 Riyear- PowerNet 系统软件、监控主机、打印机、不间断电源等组成,提供系统组态、数据存储管理、报警提示、故障录波等功能,是整个系统的核心。通信网络层提供底层智能元件和上位监控主机间的连接,进行数据传输及协议。系统提供现场总线、工业以太网等多种解决方案,实现底层设备和监控主机间的无缝连接。各类智能元件负责采集底层信息和现场智能控制,数据通信和通信总信线由监控主机管理。FCX3智能配电控制器

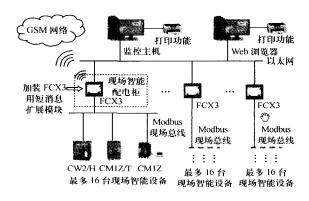


图 9 Riyear-PowerNet 配电监控系统体系结构

加装专用的短消息扩展模块,也可实现短消息通知功能。该系统可实现配电系统的"五遥"及无人值守,通过完善的数据采集、现场总线及管理技术实现配电系统一体化综合管理。

为实现智能电网要求的资源管理层、监控执行层和现场设备层的互联与兼容,为将管理决策与生产控制整合为一有机整体,能够与电力市场和用户进行交互和实时响应、提升服务水平、提供优质电力,控制网络与信息网络的无缝集成是发展方向。

### 5 结 语

工业现场总线的发展注重其开放性,不仅可以实现不同厂商的设备互联及信息交换,还提供非标第三方设备的接入,随之而来就是供配电网络的安全问题(开放的同时会有非法人侵)。NIST 1108 指出,网络安全机制是保护电网基础设施和保证信息、服务稳定性的重要因素,包括智能电网系统中的电子信息、通信系统及服务的安全性。当发生网络攻击时,智能电网要有较好的预防、较快的反应和恢复机制,需要实现网络整体的安全风险评估过程。智能终端的安全接入、信息传输过程中的安全保障(传输协议应用层的安全控制)、构建供配电网通信网络的安全与风险分析模型,都是今后低压电器网络化技术研究的热点问题。

工业以太网不断提高的性能和迅速降低的成本,使其有可能成为下一代低压电器设备通信和控制的主流技术。当前主要的工业以太网协议有: EtherNet IP、Profinet、Modbus-TCP/IDA等,但由于各协议在实时性、开放性、完成功能上有很大差异,很长一段时间还无法实现工业以太网协议的统一<sup>[19]</sup>,从某种程度上阻碍了工业以太网技术在低压电器领域的推广应用。充分利用网络协议的开放性、网络化控制系统领域研究的现有成果及工业环境方面的共性,研制、应用及推广工业以太网技术在智能低压电器中的应用及配套产品的研究,实现信息网络与控制网络的无缝集成将是中国配电自动化发展的新起点,也是中国智能电网发展的需要。

#### 【参考文献】

- [1] 范通让,刘教民,林涛,等. 低压断路器网络化技术 [J]. 低压电器,2005(5); 36-39.
- [2] 陈树勇,宋书芳,李兰欣,等. 智能电网技术综述 [J]. 电网技术,2009,33(8);1-6.
- [3] 王海婴,杨小泉,张杰,等. 西门子 3WL 智能断路 器特性及其应用[J]. 兰州工业高等专科学院学报,2006,13(3): 29-32.
- [4] 何友林. 西门子新 3WT 系列框架断路器[J]. 智能建筑电气技术,2009,3(4):74-76.
- [5] Compact NSX 塑壳断路器 100~630A Modbus 用户手册[G].
- [6] 胡雪松. DW45 系列智能型万能式低压断路器的 选型、设计及使用要点[J]. 机电工程,2001,18 (6):70-75.
- [7] CW2系列智能型万能式断路器用户手册[G].
- [8] IEC 61588 Ed. Digital data communication for measurement and control-fieldbus for use industrial control system [S],2003.
- [9] 任春梅, 贺春, 张冉. Modbus 协议在低压电器中的 应用[J]. 电器制造,2007(1); 76-78.
- [10] 李国洪,王景芹,武壮,等. DeviceNet 在智能电器 控制网络中的应用[J]. 电测与仪表,2006(7): 55-59.
- [11] JB/T 10542—2006《低压电器通信规约》介绍[J]. 机械工业标准化与质量,2006(5): 13-15, 17.
- [12] 尹天文,阮于东. 总线技术在低压电器领域应用 与发展[C]//第十二届学术年会论文集. 2005:48-52
- [13] 仲崇权. 工业现场数据采集与工业以太网若干关键技术[D]. 大连:大连理工大学,2006.
- [14] 岳东,彭晨,Qinglong Han. 网络控制系统的分析与 综合[M]. 北京:科学出版社,2007.
- [15] TIPSUWAN YODYIUM, CHOW M Y. Control methodologies in networked control systems [J]. Control Engineering Practice, 2003, 11(10): 1099-1111.
- [16] 董超. OPC 技术在异构控制网络互联中的研究与应用[J]. 自动化仪表,2009,30(12): 55-57.
- [17] 施耐德电气公司透明工厂-开放的自动化世界 [G].
- [18] Riyear-PowerNet 配电监控系统说明书[G].
- [19] 尹天文,周积刚. 低压电器最新发展动向(续) [J]. 低压电器,2007(3):1-6.

收稿日期: 2010-08-10