

基于 IEC 61850 的高级配电自动化开放式通信体系

韩国政¹, 徐丙垠²

(1. 山东大学 电气工程学院, 山东省 济南市 250061; 2. 山东理工大学, 山东省 淄博市 255012)

IEC 61850-Based Open Communication System of Advanced Distribution Automation

HAN Guozheng¹, XU Bingyin²

(1. School of Electrical Engineering, Shandong University, Jinan 250061, Shandong Province, China;

2. Shandong University of Technology, Zibo 255012, Shandong Province, China)

ABSTRACT: Based on IEC 61850 and combining with IEC 60870-5-101/104, the issue of constructing an open communication system for advanced distribution automation (ADA) is researched to solve the problem that a lot of distribution terminals are connected in. On the basis of analyzing communication requirements of ADA, the information model of ADA is divided into three layers, i.e., the main station layer, the feeder layer and the terminal layer; the communication network and information exchange model used between the main station and distribution terminals and those used among distribution terminals are expounded. Finally, key technologies adopted in ADA communication are analyzed.

KEY WORDS: smart distribution grid (SDG); distribution automation (DA); IEC 61850; communication system

摘要: 以 IEC 61850 标准为基础, 结合 IEC 60870-5-101/104, 探讨为高级配电自动化(advanced distribution automation, ADA)建立一套开放式的通信体系, 以解决大量配电终端接入的问题。在分析 ADA 通信需求的基础上, 将 ADA 的信息模型划分为 3 层, 即主站层、馈线层、终端层; 阐述了主站与配电终端之间、配电终端与配电终端之间采用的通信网络和信息交换模型。最后分析了 ADA 通信中用到的关键技术。

关键词: 智能配电网; 配电自动化; IEC 61850; 通信体系

0 引言

配电网的一个重要特点是终端设备点多面广, 目前采用的通信规约如 IEC 60870-5-101/104, DNP3.0、DL451-91 等^[1-2], 接入和维护成本都很高。如何实现大量配电自动化设备的有效接入和减少维护的工作量, 一直是困扰配电自动化发展的一个难题。

IEC 61850 为变电站自动化提供了统一的标准, 实现了不同智能设备间的无缝接入^[3]。随着 IEC 61850 逐渐完善^[4-5], 其技术和方法逐渐推广至变电站自动化以外的其它应用领域, 包括水力发电(IEC 61850-7-410)、分布式能源(IEC 61850-7-420)、风力发电(IEC 61400-25)以及配电自动化等等, 并将成为

智能电网信息通信体系的重要组成部分^[6-8]。本文将讨论 IEC 61850 在配电自动化中的应用, 力图解决配电终端之间、配电终端与主站之间的通信问题。

1 高级配电自动化

1.1 高级配电自动化的定义

美国电力科学研究院(Electric Power Research Institute, EPRI)在智能电网体系报告中提出了高级配电自动化(advanced distribution automation, ADA)的概念^[9]: “配电网革命性的管理与控制方法, 它实现了接有分布式电源的配电系统的全面控制与自动化, 使系统的性能得到了优化。”文献^[10]结合我国实际情况对智能配电网和配电自动化中的相关概念进行了进一步明确阐述, 认为 ADA 包括高级配电网运行自动化(advance distribution operation automation, ADOA)和高级配电网管理自动化(advanced distribution management automation, ADMA)。

1.2 ADA 与 IEC 61850

《IEC 61850 变电站通信网络和系统》是由国际电工委员会制定的, 世界上第一个基于通用通信网络平台的变电站自动化系统的全球性标准。它采用分层分布式的体系结构和面向对象的建模技术, 实现了数据对象的自我描述, 为不同厂商的智能电子设备(intelligent electronic device, IED)实现互操作和系统无缝集成提供了有效的途径。

配电网数据采集与监控(DSCADA)系统是 ADOA、ADA 的基础, 通过接入大量的配电终端等现场装置完成对配电网的监控功能。长期以来, 由于缺乏一种有效的自动接入机制, 配电终端接入和维护的工作量都很大。本文将 IEC 61850 应用到 ADA 中, 并结合 ADA 的特点进行相应的扩展, 建立适合 ADA 的通信体系, 采用统一的模型、统一

的接口，从而实现配电终端的自描述、即插即用，减少维护的工作量。

2 通信系统的概念模型

ADA 中配电主站与配电终端的通信，如图 1 所示，包括：配电终端与配电主站的通信(①)；配电终端与配电终端之间的通信(②)。

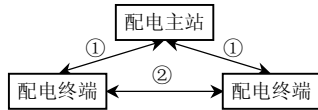


图 1 DSCADA 与配电终端的通信模型
Fig. 1 Communication between main station and distribution unit

在 ADA 中需要监控的配电终端包括：1) 变电站内的远方终端单元(remote terminal unit, RTU)和 IED，用于监测变电站内中压(10kV、20kV)馈线的状态。2) 中压馈线沿线的馈线终端单元(feeder terminal unit, FTU)、配变终端单元(transformer terminal unit, TTU)，用于监测馈线的状态。3) 配电站的监测和运行状态。4) 分布式能源(distributed energy resource, DER)电源运行状态监测。

3 通信系统的要求

1) 通信接口。对通信接口的要求主要是通信方式和通信模式的要求，根据不同应用场合分类见表 1。

表 1 通信接口需求

Tab. 1 Interface requirements

分类号	说明	应用环境
1	点对点通信	终端之间
2a	少量客户对应大量服务器	终端与主站
2b	大量客户对应少量服务器	终端与主站
2c	一般的客户/服务器	终端之间
3	组播、广播	对时

2) 通信性能。对通信性能的要求主要是对报文传递时间的要求。报文的传递时间，包括报文在网络上传输的时间和收发两端所需的处理时间。根据应用的环境和报文类型的不同，性能要求见表 2。

3) 数据刷新周期。不同类型设备、不同类型数据，对数据刷新周期的要求也不尽相同，见表 3。

表 2 报文传输时间

Tab. 2 Message transfer time

报文类型	分类号	时间要求
快速报文	1	≤ 20 ms
中速报文	2a	≤ 100 ms
	2b	≤ 500 ms
低速报文	3a	≤ 1 s
	3b	≤ 10 s
命令报文	4	与快速报文或低速报文相同
时间同步	5	—

表 3 数据刷新周期

Tab. 3 Data refresh time

报文类型	分类号	时间要求
快速刷新	1	≤ 100 ms
中速刷新	2a	≤ 1 s
	2b	≤ 5 s
低速刷新	3a	≤ 30 s
	3b	≤ 60 s
	3c	≤ 180 s

4 信息模型

按照信息分层的方法，从逻辑上将 ADA 划分为 3 层，即主站层、馈线层、终端层，如图 2 所示。

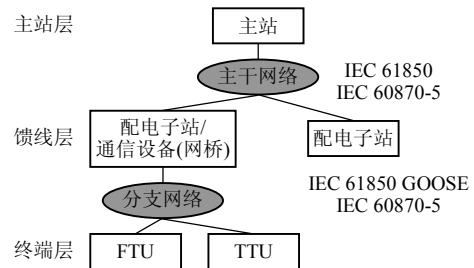


图 2 ADA 通信网络的分层结构

Fig. 2 Structure of ADA communication network

1) 主站层。主站层位于控制中心，从整体上实现配电网的监视和控制、故障定位、隔离与恢复供电，是整个配电网监控和管理系统的核心。主站层通过前置机实现对大量 IED 的数据接入和管理。

2) 馈线层。配电网由很多馈线组成，馈线与馈线之间通过联络开关连接，同一馈线内部存在着一定的拓扑关系，连接比较紧密。馈线层从整体上实现了对一条馈线的逻辑处理功能，往往需要多个配电终端的相互配合。

配电子站属于馈线层设备，在 ADA 通信中存在 2 种配电子站：1) A 型子站。接入子站的配电终端都符合 IEC 61850 标准，子站的作用是连接分支网络与主干网络，限制分支网络的广播信息进入主干网络。2) B 型子站。对于部分不符合 IEC 61850 标准的配电终端采用网关的方式，由子站完成模型的转换，然后接入主干网络。

另外，需要多个配电终端之间相互协作的功能(如分布式智能控制等)也属于馈线层的功能。

3) 终端层。终端层是位于具体的配电网线路上的自动化现场设备，包括柱上开关 FTU、环网柜 FTU、配变 TTU 等。配电终端需要完成：①SCADA 测量与控制功能；②谐波测量；③短路故障检测；④小电流接地故障检测；⑤智能充电管理。

5 网络结构与信息交换

5.1 网络结构

ADA 采用分层的 IP 通信网络，主站与变电站

之间为主干网络,变电站与相关的终端设备组成分支网络,见图2。图中,主站与配电终端的通信,主干网络和分支网络需要通过馈线层连接,可以使用的通信规约包括 IEC 61850、IEC 60870-5 等。配电终端与配电终端之间的通信限定在同一分支网络内,使用 IEC 61850、IEC 60870-5 等通信规约。为实现某些快速保护功能,配电终端之间可以采用 IEC 61850 面向通用对象的变电站事件(generic object oriented substation event, GOOSE)服务进行快速通信。

5.2 主站与配电终端之间的通信

1) 通信接口。主站与配电终端的通信一般采用客户/服务器模式,主站作为客户,配电终端作为服务器。一台或几台主站前置机要与大量的配电终端进行通信,主站需要具备大容量配电终端的接入能力,要求支持表1中的通信接口2a、2b、2c。另外还需要支持通信接口3,支持组播、广播命令。

2) 通信网络。主干网络用于连接变电站与控制中心,目前我国大部分地区这部分网络已经建成,一般采用光纤网络,带宽在100 Mbit/s以上。

对于分支网络的建设,城区负荷比较集中的区域可采用光纤组建IP网络,常用的组网技术有光纤工业以太网和以太无源光网络(Ethernet passive optical network, EPON),带宽要求10 Mbit/s以上。对于比较偏远的区域也可以采用GPRS作为补充,带宽要求20 kbit/s以上。

馈线层位于主干网络和分支网络之间,起到网关的作用,一方面保证通信的无缝连接,另一方面隔离了主干网络和分支网络,避免因分支网络内的广播信息进入主干网络而造成主干网络性能下降。

3) 通信性能。通信性能与采用的通信网络有关,对于采用光纤组网的区域,要求支持表2中的低速报文(3a以上),对于采用GPRS或者其他方式组网的区域,要求支持3b以上。

4) 数据刷新周期。数据的刷新周期与采用的网络和配电终端的重要性有关,对于重要负荷区域的配电终端满足表3中的中速刷新,对于一般负荷区域的配电终端满足慢速刷新即可。

5) 通信规约。IEC 61850将通信技术本身和实现的通信功能分开,对于通信的具体实现需要映射到具体的通信规约上。目前可选的映射方式包括:

① 制造报文规范(manufacturing message specification, MMS)映射。IEC 61850-8-1详细定义了客户/服务器模型映射到MMS的实现方式。MMS

采用TCP/IP网络,编码格式采用ASN.1。这是一种较可行的实现方式,在变电站自动化中得到了广泛应用^[11]。缺点是MMS实现较复杂,且成本较高。

② IEC 60870-5 映射。考虑到目前在主站通信中大量采用的IEC 60870-5-101/104规约,IEC制定了IEC 61850-80-1导则^[12],用于规范IEC 61850到IEC 60870-5的映射。缺点是IEC 60870-5无法实现信息模型的自描述。

5.3 配电终端与配电终端之间的通信

1) 通信接口。利用配电终端与配电终端之间的相互通信,可以实现不依赖主站的分布式智能功能,加快对配电线路故障的处理,需要能够实现表1中的通信接口1、3。

2) 通信网络。如图2,相互通信的配电终端一般位于同一子网或者虚拟子网络,实现快速通信。

3) 通信性能。为了实现快速智能功能,需要支持表2中的中速报文(2a和2b)。

4) 数据刷新周期。为了实现快速故障判断,一般要求满足表3中的快速数据刷新(1以上)。

5) 通信规约。通信规约除了可以采用5.2中介绍的规约以外,为了实现快速功能,根据性能需要可以选择IEC 61850 GOOSE服务。

6 关键技术分析

6.1 IEC 61850 映射到 MMS

MMS+TCP/IP+以太网,是目前IEC 61850的一种通用的映射方式。MMS编码格式采用ASN.1,底层采用TCP/IP。在TCP/IP与会话层之间采用RFC1006作为适配层,将MMS、关联控制服务元素(association control service element, ACSE)、表示层和会话层运行在TCP/IP之上。对于MMS的实现,目前主要有2种方式:

1) 采用SISCO的MMS-EASE和MMS-EASE Lite^[13]。SISCO提供了较完备的MMS映射解决方案。AX-S4 MMS是MMS的C语言应用编程接口,实现了MMS核心服务,支持各种流行的网络环境。MMS-EASE Lite是MMS在嵌入式环境中的解决方案。

2) 采用ISODE。文献[14-16]提出一种采用ISO开发环境(ISO development environment, ISODE)来实现MMS的方式。ISODE是开发OSI高层协议和网络通信程序的工具,实现了在TCP/IP之上的OSI传输服务,是MMS实现的基础。

方式1)的成本比较高,不利于在配电自动化中大面积推广。方式2)的成本相对较低,并可以

通过裁剪 ISODE, 使其更适合在终端设备中应用。

6.2 IEC 61850 映射到 IEC 60870-5

为规范 IEC 61850 和 IEC 60870-5-101/104 之间的数据转换, IEC 制定了信息交换导则 IEC 61850-80-1。IEC 61850-80-1 详细定义了 IEC 61850 信息模型向 IEC 60870-5-101/104 映射的方法和采用的数据类型, 信息对象采用面向对象的数据描述方法, 并遵循统一的数据命名规范, 使用变电站配置描述语言 (substation configuration language, SCL) 进行描述。

IEC 61850-80-1 对于信息模型能够很好地进行映射, 但对服务模型支持得不够好, 比如 Server(服务器)的 GetServerDirectory、LogicalDevice(逻辑设备)的 GetLogicalDeviceDirectory 等偏重于信息模型自描述的部分在 IEC 60870-5-101/104 中没有相应的实现。这主要由于 2 种标准所采用的模型不一致造成的, 对于这些不能映射的部分可以采用 WebServices、文件传输, 或者对 IEC 60870-5 进行扩展, 添加相关的应用来实现。

6.3 IEC 61850 轻量版

IEC 61850 是一个比较完善和庞大的体系^[17], 应用在配电自动化(尤其是大量的配电终端)中, 需要根据配电自动化的要求, 进行必要的裁剪和扩展。主要包括: 1) 为减少报文发送的数量, 可采用事件驱动的报文发送机制, 减少对通信带宽的要求; 2) 简化 MMS 报文的传输, 使其适合应用于配电自动化; 3) 简化 IEC 61850 的映射; 4) GOOSE 服务的实现。

7 结语

IEC 61850 定义的信息模型、信息交换模型、通信服务映射方法都可以适用于配电自动化通信。IEC 61850 应用于配电自动化领域可以实现终端设备的互插互联、即插即用, 能够减少通信配置、安装调试工作量。IEC 61850 在配电自动化领域的应用, 对于推动配电自动化、智能电网的建设都具有十分重要的意义。

参考文献

- [1] 李天友, 金文龙, 徐丙垠. 配电技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2008: 292-298.
- [2] 徐丙垠, 李天友. 配电自动化若干问题的探讨[J]. 电力系统自动化, 2010, 34(9): 81-86.
Xu Bingyin, Li Tianyou. Investigations to some distribution automation issues[J]. Automation of Electric Power Systems, 2010, 34(9): 81-86(in Chinese).
- [3] IEC 61850 Communication networks and systems in substations [S]. 2004.
- [4] 李兰欣, 苗培青, 王俊芳. 基于 IEC 61850 的数字化变电站系统

解决方案的研究[J]. 电网技术, 2006, 30(S1): 321-324.

- Li Lanxin, Miao Peiqing, Wang Junfang. Analyze and implementation of substation automation system base on IEC 61850 standard[J]. Power System Technology, 2006, 30(S1): 321-324(in Chinese).
- [5] 张沛超, 高翔. 数字化变电站系统结构[J]. 电网技术, 2006, 30(24): 73-77.
Zhang Peichao, Gao Xiang. System architecture of digitized substation[J]. Power System Technology, 2006, 30(24): 73-77(in Chinese).
- [6] NIST. NIST framework and roadmap for smart grid interoperability standards release 1.0[R/OL]. [2010-01-30]. http://www.nist.gov/public_affairs/releases/smartgrid_interoperability.pdf.
- [7] 赵江河, 王立岩. 智能配电网的信息构架[J]. 电网技术, 2009, 33(15): 26-29.
Zhao Jianghe, Wang Liyan. Information structure of smart distribution network[J]. Power System Technology, 2009, 33(15): 26-29(in Chinese).
- [8] 李永亮, 李刚. IEC 61850 第 2 版简介及其在智能电网中的应用展望[J]. 电网技术, 2010, 34(4): 11-16.
Li Yongliang, Li Gang. An Introduction to 2nd edition of IEC 61850 and prospects of its application in smart grid[J]. Power System Technology, 2010, 34(4): 11-16(in Chinese).
- [9] McGranaghan M, Goodman F. Technical and system requirements for advanced distribution automation[C]//18th International Conference on Electricity Distribution (CIRED). Turin, Italy: CIRED, 2005.
- [10] 徐丙垠, 李天友, 薛永端. 智能配电网与配电自动化[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(17): 38-41.
Xu Bingyin, Li Tianyou, Xue Yongduan. Smart distribution grid and distribution automation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(17): 38-41(in Chinese).
- [11] 高翔. 数字化变电站应用技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2008: 80-82.
- [12] IEC 61850 Communication networks and systems for power utility automation, part 80-1: guideline to exchanging information from a CDC-based data model using IEC 60870-5-101 or IEC 60870-5-104 [S]. 2008.
- [13] SISCO. MS-EASE Lite reference manual[Z]. 2004.
- [14] 王德文, 朱永利, 邸剑, 等. 面向电力系统实时通信的 MMS 协议[J]. 电力自动化设备, 2009, 29(7): 101-104.
Wang Dewen, Zhu Yongli, Di Jian, et al. MMS protocol for real time communication in power system[J]. Electrical Power Automation Equipment, 2009, 29(7): 101-104(in Chinese).
- [15] 王德文, 朱永利, 邸剑. 基于 IEC61850/MMS 的电力远动通信的研究[J]. 中国电机工程学报, 2008, 28(1): 65-70.
Wang Dewen, Zhu Yongli, Di Jian. The study on data communication of a power telemonitoring system based on IEC 61850/MMS[J]. Proceeding of the CSEE, 2008, 28(1): 65-70(in Chinese).
- [16] 王德文. 基于 IEC61850 和 MMS 的网络化电力远动通信的研究[D]. 保定: 华北电力大学, 2009.
- [17] Frances Cleveland. Gap analysis of power system "smart grid" information standards[R/OL]. [2009-03-12]. http://collaborate.nist.gov/twiki-sggrid/pub/SmartGrid/TnD/Gap_Analysis_of_Smart_Grid_Information_Standards.doc.



韩国政

收稿日期: 2010-11-08.

作者简介:

韩国政(1976), 男, 通信作者, 博士研究生, 高级工程师, 主要研究方向为配电自动化, E-mail: han_guozheng@163.com;

徐丙垠(1961), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 科汇电力自动化公司董事长, 主要研究方向为电力系统故障检测、配电自动化、智能电网。

(责任编辑 李兰欣)