

智能变电站功能架构及设计原则

李瑞生^{1,2}, 李燕斌^{1,2}, 周逢权¹

(1. 许继电气股份有限公司, 河南 许昌 461000; 2. 中原工学院, 河南 郑州 450007)

摘要: 根据数字化变电站在国内外的的发展、研究及应用现状, 以数字化变电站的技术变革为前提, 在数字化变电站四点关键技术的基础上, 提出了智能电网体系中智能变电站应具备的“智能”特点并搭建了智能变电站功能架构, 从多角度体现了智能变电站的信息化、数字化、自动化和互动化。提出了当前智能变电站研究和建设中所面临的问题, 并对由此产生的研究课题进行了分析。在以上研究的基础上, 确定了智能变电站在智能电网体系中的设计原则和方向以及坚强智能电网中智能变电站的发展路线。

关键词: 智能电网; 智能变电站; IEC61850; 功能架构; 设计原则

The functional frame and design principles of smart substation

LI Rui-sheng^{1,2}, LI Yan-bin^{1,2}, ZHOU Feng-quan¹

(1. XJ Electric Co., LTD, Xuchang 461000, China; 2. Zhongyuan University of Technology, Zhengzhou 450007, China)

Abstract: According to the description of the development, research and application status quo of digital substation at home and abroad, on the premise of technological revolution of digital substation, based on the four key technologies of digital substation, the characteristics which smart substation should possess in smart grid infrastructure are put forward and the functional frame of smart substation is established, and the informatization, digitalization, automatization and interactivity of smart substation are indicated from multi-perspectives. Furthermore, the facing problems in researching and constructing smart substation are proposed, the resulting research projects are analyzed. Finally, the design principle and direction of smart substation in smart grid infrastructure are confirmed, and the development route of smart substation in strong smart grid is summarized and predicted.

Key words: smart grid; smart substation; IEC61850; function frame; design principles

中图分类号: TM64 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)21-0024-04

0 引言

智能电网是当今世界电力系统发展变革的最新动向, 并被认为是21世纪电力系统的重大科技创新和发展趋势。世界各国在智能化变电站建设中都提出了不同的设计方案和构想, 在中国, 国家电网公司拟在2009~2020年建成统一坚强的智能电网。智能电网到目前为止并没有统一的定义。它是指一个完全自动化的供电网络, 其中的每一个用户和节点都得到了实时监控, 并保证了从发电厂到用户端电器之间的每一点上的电流和信息的双向流动。通过广泛应用的分布式智能和宽带通信及自动控制系统的集成, 它能保证市场交易的实时进行和电网上各成员之间的无缝连接及实时互动^[1]。简单来说, 就是通过传感器把各种设备、资产连接到一起, 形成一个客户服务总线, 从而对信息进行整合分析, 以此来降低成本, 提高效率 and 整个电网的可靠性, 使

运行和管理达到最优化。

智能电网的核心内容之一是智能变电站, 智能变电站与传统的变电站相比, 在技术先进性、安全性、占地少、成本低、少维护、环境友好等方面具有无可比拟的优势。智能变电站既是下一代变电站的发展方向, 又是建设智能电网的物理基础和要求。为了实现智能化电网的目标, 智能变电站的研究和建设具有重要的意义。本文探讨了在智能电网建设中, 智能变电站的发展和应用情况; 提出了在智能电网体系中, 智能变电站应具备的特点和功能, 以及目前研究、建设中所面临的问题。总结了智能变电站的设计原则、方向以及发展路线。

1 数字化变电站的国内外研究及应用现状

1.1 国外研究及应用现状

国际上, 随着微电子技术、电子式电流互感器技术、网络通信技术、智能断路器技术的发展成熟

以及 IEC65850 通信标准体系的颁布, 德国 SIEMENS 公司推出的 SICAM WCC 系统开发出可以支持基于以太网的 IEC61850-8 变电站总线以及 IEC61850-9 过程总线技术, 从而实现过程层网络化, 使 SICAM WCC 进入符合标准的智能化变电站自动化系统产品行列中来; ABB、ALSTOM 和 GE 等国外的电力装备厂家公司都已在 SCADA 系统实现 IEC61850^[2-3]。

1.2 国内研究及应用现状

目前国内一些主流厂商都在积极地推进智能化变电站的相关工作, 满足 IEC61850 标准的智能变电站自动化系统等应用于数字化变电站的产品国内厂商都已开发完毕。如采用光电互感器、合并器、智能接口、网络方式 (IEC61850-9-2) 与间隔层设备通信的全数字化变电站已经于 2008 年 12 月在河南郑州蝶彩变投入运行, 标志着智能化变电站关键技术已经成熟。

智能化一次设备是数字变电站的基础, 国内对高压智能断路器的研究已全面展开。除了智能化的一次断路器以外, 国内很多厂商已经开始进行相关的诸如变压器、电抗器、电容器等一次设备智能化的研究。主要体现在都能为这些一次设备提供数字接口, 满足 IEC61850 GOOSE 协议, 能够实现状态监测、自适应合闸等自动化功能。

智能化一次设备的研究及应用为在线监测、监测信息的传递、处理和储存, 故障特征的提取, 故障机理的分析, 故障诊断的方法和理论的分析提供了基础。

2 智能变电站业务变化所需技术变革

变电站业务需求的变化和技术的进步驱动了变电站一二次设备技术的融合以及变电站运行方式的变革, 由此产生了数字化变电站。数字化变电站是实现变电站智能化的技术前提和基础, 只有实现数字化, 才能实现智能化。但数字化变电站是为了数字化而数字化, 而智能化变电站是为了智能化而数字化, 充分地利用数字信息来完成智能化的功能, 是智能化变电站要完成的工作。

数字化变电站的关键技术为以下四点^[4-6]: 1) 非常规传感器; 2) IEC61850 标准; 3) 网络通信技术; 4) 智能断路器技术。

在此基础上全方位的变电站自动化系统集成是解决变电站智能化及多套系统共存的根本解决办法, 而高速以太网技术的出现和数字化变电站的变革为实现全方位的智能变电站自动化系统集成提供了技术保障。

3 智能变电站的特点及功能

随着智能电网的提出和建立, 变电站将由数字化演变为智能化, 更突出“智能”的特点。智能化变电站在数字化变电站的基础之上, 赋予了以下十二个“智能特征”或“智能化功能”。

3.1 一次设备智能化

与数字化变电站描述的一次设备智能化相比, 智能变电站加大了一次设备信息化, 可监测更多自身状态信息, 也可通过网络获知系统及其他设备的运行状态等信息。自动化程度更高, 具有比常规自动化设备更多、更复杂的自动化功能。具备互动化能力, 与上级监控设备、系统及相关设备、调度及用户等及时交换信息, 分布协同操作。

3.2 信息建模统一化

除了基于 IEC61850 标准的建模外, 智能变电站能实时监测辖区电网的运行状态, 自动辨识设备和网络模型, 从而为控制中心提供决策依据。

3.3 数据采集全景化

智能变电站利用对时系统, 同步区域和站内时钟, 完善和标准化站内设备的静态和动态信息模型, 向智能电网提供统一断面的全景数据。

采用新型传感技术、同步测量技术、状态检测技术等逐步提高数字化程度, 逐步实现潮流数据的精确时标, 实时信息共享、支撑电网实时控制和智能调节, 支撑各级电网的安全稳定运行和各类高级应用。

3.4 设备检修状态化

全面采集能够反映系统主设备运行的电脉冲、气体生成物、局部过热等各种特征量。智能变电站配置用于监测系统主设备的传感器, 或者由智能一次设备直接提供其功能。利用 DL/T860 提供的建模方法, 建立设备状态检修的信息模型, 构建具备较为可靠实用的状态监测预警算法和机制、支撑状态检修实践的专家系统。

3.5 控制操作自动化

程序化操作。智能变电站具备程序化操作功能, 除站内的一键触发, 还可接收和执行监控中心、调度中心和当地后台系统发出的操作指令, 自动完成相关运行方式变化要求的设备操作。程序化操作具备直观的图形界面, 在站层和远端均可实现可视化的闭环控制和安全校验, 且能适应不同的主接线和不同的运行方式, 满足无人值班及区域监控中心站管理模式的要求。

3.6 事故处理智能化

(1) 智能告警及分析决策。对全站告警信息进

行综合分类, 实现全站信息的分类告警功能。

(2) 智能告警策略。包含信号的过滤及报警显示方案、告警信号的逻辑关联、推理技术和事故及异常处理方案。预告信号以故障常态为信号触发状态, 瞬时中间信号做过滤处理。正常操作引起的预告信号做过滤处理。

(3) 故障分析与辅助决策。

(4) 电能质量评估与决策。基于变电站电能质量监测系统, 实现电能质量分析与决策的功能, 为电能质量的评估和治理提供依据与决策。

3.7 保护控制协同化

(1) 站域保护

在变电站内基本的控制与保护手段保留的前提下, 建设站域保护, 其要求是:

保证继电保护的“四性”原则、主/后备原则、近/远后备原则。站域保护宜全方位地综合利用全站信息来提高保护性能, 且适应变电站的各种运行方式和变电站分阶段建设的模式。

站域保护实现全站的快速且有选择性的后备保护。既可以综合利用变电站内各侧的电压和/或电流关系对各侧的故障进行定位以实现全站的快速后备保护, 也可以在原有后备保护的基础上根据与之配合的主保护或者后备保护的動作情况来缩短该后备保护的延时。

(2) 电网运行状态自适应

智能变电站应具有与相关变电站之间实时传送继电保护、备用电源自动投入装置等信息, 实现智能电网的协调运行。

根据站内收集和站间交换的信息以及调度中心的指令, 识别并自适应电网的运行状态。

在电网正常运行状态下, 综合利用 FACTS、变压器调压、无功补偿设备投切等手段, 控制和优化潮流分配, 提高输送能力和运行效率。

在电网紧急运行状态下, 与相邻变电站和调度中心协调配合, 动态改变继电保护和稳定控制的策略和参数, 适应电网拓扑和潮流分布的改变, 扩展运行边界, 提高实际可用稳定裕度, 保障电网稳定运行。

3.8 变电站运行管理安全经济化

(1) 具有站内状态估计功能。宜具有辨识变电站内拓扑错误(数字量)和坏数据(模拟量)的功能, 将拓扑错误和坏数据解决在变电站内, 获得高可靠的拓扑结构、高精度的母线复电压和支路复电流数据, 保证基础数据的正确性及满足智能电网快速状态估计的要求。

(2) 经济运行与优化控制。在站内配置无功电

压控制设备, 配合自动电压控制系统, 利用智能变电站先进的通信手段采集多方数据, 监视电网的无功状态, 运用先进的数学模型、信息模型, 从基于电网的角度对广域分散的电网无功装置进行协调优化控制。实现降低网损、提高电压合格率、改善电能质量, 达到系统安全经济运行和优化控制的目的。

(3) 安全状态评估/预警/控制。智能变电站为不同调度层面在线安全稳定防御系统提供信息交互接口, 为在线安全状态评估系统提供实时可靠的信息, 以便其进行实时在线评估、预警和控制, 实现智能电网预防控制和紧急控制的协调。

(4) 资产(设备)全寿命周期管理。智能变电站支持设备信息和运行维护策略与调度中心实现全面互动, 实现基于状态的全寿命周期管理。通过建立精益化的评估体系, 从资产全寿命周期的安全、效能和成本角度, 逐步建立全寿命周期综合优化管理体系, 提供综合最优的资产投资、运行维护和资产处置方案, 提高变电站运行的安全性, 为规划、生产、管理等一系列工作提供智能辅助决策支持。

(5) 在数据源头维护, 实现数据的唯一性及维护的方便性。

3.9 大规模可再生能源接入即插即用化

智能变电站支持电源与调度中心全面互动, 实现电源与电网的高度协调。

3.10 用户管理互动化

智能变电站具有向大用户实时传送电价、电量、电能质量及电网负荷信息的功能, 支持电力交易的有效开展, 实现资源的优化配置; 激励电力市场主体参与电网安全管理, 从而实现智能电网各环节的协调运行。

3.11 防灾减灾安全化

智能变电站配置灾害防范、安全防范子系统, 留有与“电网防灾减灾与应急指挥信息系统”的通信接口, 为各种自然灾害和突发事件的监测、预测、预警提供有效信息和判据, 为指挥相关部门的应急联动提供决策依据。

3.12 通信网络安全化

在数字化变电站工程实践中, 站内实现通信网络安全措施。而在智能化变电站中, 能够实现站内、站间的通信网络安全措施管理。

4 智能变电站面临的问题及研究课题分析

智能变电站实现以上功能在技术上还有赖于以下关键问题的解决。

4.1 动态数据处理

动态数据处理系统是变电站的运行神经枢纽。

数字化带来了丰富的数据源, 为监控变电站的运行工况, 保证系统安全运行和快速处理故障提供了更多的依据。因此, 如何对变电站数据进行实时有效动态处理, 关系到监控管理系统的智能化决策机制, 是保证电网安全稳定运行重要依据。

4.2 高精度时钟同步技术

为了保证信息数据的完整性和实时性、可靠性, 实现各个采集控制单元的同步采样, 实时输出同步的相量数据, 传统变电站的对时模式及原理已经不适应和不能满足智能变电站对时钟精度的要求。基于 IEEE1588 对时系统的开发迫在眉睫。

4.3 智能化一次设备的研究

智能化一次设备是智能变电站的重要组成部分, 开发满足智能变电站的一次设备是实现智能变电站的关键所在。国内研究智能化一次设备的厂家起步较晚, 基础薄弱。国内大部分电力设备供应商还不具备提供智能化一次设备的技术和能力, 产业链的构造还需要一定的周期, 给智能化一次设备的发展带来了桎梏。

4.4 实时网络通信技术

智能变电站大量采用以太网网络通信技术。如何减少数据碰撞, 提高数据传输的实时性、可靠性、安全性等是需要进一步研究的内容。

5 智能变电站设计原则和方向

智能变电站从规划、设计、建设到运行管理这个全寿命周期中, 设计遵循“两型一化”的原则, 即, 资源节约型、环境友好型和工业化。

资源节约型指的是在土地、能源、建材和投资方面的节约。大力推行变电站小型化、同塔多回、紧凑型线路、采用智能互感器等先进技术, 节约土地资源; 数字化智能变电站与常规变电站相比, 节约大量建设用电缆, 另外由于数字互感器送出为数字信号, 可以直接为数字装置所用, 省去了这些信号的数字信号变换电路, 从而简化 IED 结构, 节约大量二次电缆; GIS、PASS 等开关的使用节约了一次设备。

环境友好型即将智能变电站建设为整洁、友好、环保的变电站。如 ABB 在瑞士所建最新 345 kV 变电站。

工业化即配置先进的综合自动化设备和多重防误操作闭锁系统等二次设备, 实现全设备远方遥控操作, 所有设备的信号和负荷情况均通过综合自动化进行监视。

综合以上内容, 智能变电站设计建设发展方向为: (1) 选型上为环保定制型; (2) 整体设计为交

钥匙工程; (3) 集成应用上实现即插即用; (4) 运行管理上实现可视化。

6 结语

中国在智能化变电站建设领域目前正处于技术储备期和高速发展期, 智能变电站终将实现全寿命周期综合优化管理, 实现电网运行数据的全面采集和实时共享, 支撑电网实时控制、智能调节和各类高级应用。

若遵循此发展路线及目标, 需要对智能变电站的智能化设备技术体系及相关标准、动态数据处理、系统与设备自动重构、分布协调/自适应控制、广域测量与保护、智能化固态开关等相关技术做深层次的研究, 从而满足智能电网建设的需要, 提高变电站的运行水平和效益。

参考文献

- [1] Research Reports International. Understanding the smart grid[R]. Research Reports International, 2007.
- [2] Kimura S, Rotta A, Abboud R, et al. Applying IEC 61850 to real life: modernization project for 30 electrical substations[S].
- [3] Janssen M C, Apostolov A. IEC 61850 impact on substation design[C]. //Transmission and Distribution Conference and Exposition, 2008. T&D. IEEE/PES. 2008: 1-7.
- [4] 高翔. 数字化变电站应用展望[J]. 华东电力, 2006, 34(8): 51-57.
GAO Xiang. Application prospects of digital substations[J]. East China Electric Power, 2006, 34(8): 51-57.
- [5] 高翔, 张沛超. 数字化变电站的主要特征和关键技术[J]. 电网技术, 2006, 30(23): 71-75, 91.
GAO Xiang, ZHANG Pei-chao. Main features and key technologies of digital substation[J]. Power System Technology, 2006, 30(23): 71-75, 91.
- [6] 王大鹏, 栗俊凯, 晁军征. 浅谈数字化变电站的发展及应用[J]. 山东电力技术, 2007(1): 15-19.
WANG Da-peng, LI Jun-kai, CHAO Jun-zheng. Brief introduction of the development and application of digital transformer substation[J]. Shandong Power Technology, 2007(1): 15-19.

收稿日期: 2010-06-01

作者简介:

李瑞生(1966-), 男, 硕士, 教授级工程师, 从事继电保护方面的研究; E-mail: ruishengl@xjgc.com

李燕斌(1974-), 女, 博士, 副教授, 从事电力系统、电机与电器方面的研究;

周逢权(1969-), 男, 博士, 高级工程师, 从事继电保护方面的研究。