

智能配电终端技术现状分析与市场前景探讨

聂光辉

(黄河水利职业技术学院, 开封 475000)

摘要: 智能配电终端是分布于智能配电网的各个测量点的智能化的底层设备, 可完成电网运行状态数据的采集、故障检测、故障定位与诊断、故障区域隔离及非故障区域恢复供电、与高级配电自动化系统进行信息交互等功能, 是智能配电网的重要组成部分。分析了智能配电终端的技术现状, 为技术人员扩展研发思路提供技术出发点, 并探讨了智能配电终端的市场前景, 为企业投资智能配电终端设备的研发与生产提供参考依据。

关键词: 智能配电终端; 智能配电网; 技术现状; 市场前景

中图分类号: TM773

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2016)S1-0088-05

Analysis of Technology Situation and Discussion on Market Potential for Intelligent Power Distribution Terminal

NIE Guanghui

(Yellow River Conservancy Technical Institute, Kaifeng 475000, China)

Abstract: The intelligent power distribution terminal is the intelligent devices that distributed in the intelligent power distribution network, which can achieve the date acquisition of power grid, fault detection, fault location and diagnosis, fault isolation and help the healthy area to restore power as well as accomplish the information exchange with advanced distribution automation system, it is an important part of intelligent power distribution network. This paper analyze the technology situation of intelligent power distribution terminal and aims to go further the technical personnel' research point, besides, this paper also discussed its market potential, providing a reference basis for the enterprises in the investment of intelligent power distribution terminanl.

Key words: intelligent power distribution terminal; intelligent power distribution network; technology situation; market potential

中发(2015)9号文《关于进一步深化电力体制改革的若干意见》的发布正式拉开电力改革序幕, 其中合理管控电力系统输配电环节, 有序放开发电、售电环节、建立电价市场化新机制的趋势明显, 电力系统输配电环节利润向供需两侧释放, 未来的电力市场多元化竞争格局将逐步形成, 而电力改革的愿景得以实现的关键仍在于智能电网建设。智能电网涵盖发电、输电、配电、部分电力用户的用电设备, 而电力系统是不涵盖电力用户的用电设备的^[1]。智能电网要比电力系统涵盖的器件设备更加丰富, 也因此, 发展好作为建设智能电网的重要

组成部分智能配电网, 有利于推动我国智能电网建设, 有利于电力体制改革和电力市场的经济化运营。

我国配电网建设规模在不断扩大, 分布式能源、微电网、储能装置等将会大量的接入到未来的配网系统中, 未来电力系统对于接入设备的稳定性、安全性、可靠性将会有更高的要求。配电终端设备作为配电网自动化系统中的底层终端设备, 在配网系统管理中的角色扮演中针对管理部门和用户起到了信息桥梁作用^[2]。配电终端智能化一定程度上决定了未来配电网的自动化水平。

1 国内外技术现状

缘于欧美发达国家以及日本、韩国等电力系统技术水平, 其配网自动化技术发展迅速, 已经形成

了一套较为完善的配电网管理系统(DMS),该系统由配电自动化、馈线分段开关测控、电容器组调节控制、用户负荷控制和远方抄表等系统组成,其配电终端的智能化水平已经能够满足其电力系统的发展需求。

目前,国内在配电自动化领域研制配电设备产品的公司有很多,包括南自、南瑞、北京时代集团、深圳合众达等,南瑞、许继、四方股份等在配电网自动化领域曾有较强竞争力的产品进入市场^[2-3],除了功能上讲各有侧重以外,主要市场仍然集中在传统的配电网市场。

我国配电自动化技术近年来取得不少研究成果,逐步缩小了与国外的差距,并逐步在实践中得到应用,但整体的配电自动化系统覆盖范围比较小,定位于智能配电网运行、调度、智能控制等领域的产品设备有着较为广阔的市场空间。我国的配电网信息化技术的应用然后处于一个探索阶段,一方面,早期应用于配网中的产品缺乏统一的标准,技术兼容性可能不够好,另一方面,原有的电力体制的制约,对于分布式能源、微电网、储能设置等接入具有排斥性。

国内早期的产品采用MCU+MCU结构,其微控制器大部分还是51系列单片机,计算能力有限,不利于大量的数字信号的处理。目前,市场上出现了DSP+MCU结构和ARM+DSP结构的产品^[2]。DSP用于测量数据的采集和运算,单片机或者ARM负责其他所有功能,性能上均能够满足要求,但在设计上增加了难度,电路较为复杂,可靠性不易保证。在产品研发与应用过程中,所选芯片性能的优劣,在对输入信号处理上,采样点数的多少,计算结果误差大小,都是制约配网系统的最终自动化有多高的关键因素。

2 智能配电终端概念

根据配电自动化的复杂程度,一般可分为简易型、实用标准型、集成智能型等配电自动化管理系统。简易型严格意义上算不上配网自动化管理系统,只是一种适用于单辐射配网线路的基于就地检测和控制技术。传统的配电网自动化改造以及未来可以售电的产业技术园区可能成为实用标准型配电网自动化系统的主要市场,要求具有遥信、遥测、馈线自动化功能。集成智能型是在实用标准型配

电自动化系统基础上扩展了对于分布式电源、微电网、储能装置等设备的接入功能,能够实现故障后智能自愈、与输电网的协同调度、能量管理分析与电力用户良好的信息交互等。

智能配电终端是一种集各种保护、信息参数测量与采集、智能控制和通信等多功能一体化的要求在配电自动化管理系统中处于底层的设备,可完成电网运行状态数据的采集、故障检测、故障定位与诊断、故障区域隔离及非故障区域恢复供电、与高级配电自动化系统进行信息交互等^[4],同时应当具有可靠性高、实时性高、多种通讯方式兼容性好、可扩展、模块单元化等特点。根据安装位置和作用不同可分为SFTU、SDTU、STTU。SFTU(Smart Feeder Terminal Unit)主要安装在配电网馈线回路的柱上和开关柜等处,SDTU(Smart Distribution Terminal Unit)主要安装在配电网馈线回路的开闭所和配电所等处,SDTU的功能一般比SFTU功能要丰富一些,STTU(Smart Transformer Terminal Unit)主要适用配电变压器的监测及无功补偿控制。

3 智能配电终端的关键技术

未来智能电网的结构应当是现在电网结构的扩展和延伸,同时会在功能上具备两个基本要求:其一,在配电控制过程中要同时考虑配电终端和总体配电系统,使得系统的安全性、可靠性和电能质量都能达到社会需求;其二,在大量的分布式发电接入配电网的情况下,系统仍然需要保持原来的灵活性和安全性^[5]。比如,当大量分布式发电供能系统以微电网形式接入到外部配电网后,微电网与外部配电系统间的相互作用将十分复杂,微电网对外部配电系统运行特性产生重要影响^[6]。智能配电终端需要针对未来配电网结构及其运行参数差异化的情况下满足安全、可靠的要求,一般情况下并不能孤立的工作,智能配电终端仍需要配合主站系统或其他终端设备的通信来实现一定的功能,从技术归类划分的角度,智能配电终端的关键技术主要集中在以下几个方面。

3.1 配电网故障定位技术

在电力系统运行过程中,为了有效保证电力系统的安全运行,广泛应用的监测技术用来采集系统运行中的各种参数,电力系统故障诊断技术就是通

通过对故障过程中采集到的故障信息进行分析并判断出故障区域及故障性质,以便技术人员及时准确的采取有效措施,预防或预防电力事故的发生。在电力系统故障诊断技术中,故障点定位技术一直是其中的关键技术,也是重要的技术难点之一。电力系统的安全、稳定运行要求诊断系统能够快速、准确地分析故障原因并定位故障点^[7]。由于我国电力系统规模不断扩大,尤其在配电网系统中,多种分布式能源、微网、储能装置等的接入,使得原有的系统运行机制与机构更加复杂,这就为故障点的准确定位增加了难度。

智能配电网终端设备应当具备应对这一变化的能力和技术前瞻性,能否进行故障点的准确及时定位对于设备本身而言,是该终端设备是否具有市场竞争力关键所在。我国配电网覆盖面积大、结构复杂,且普遍采用小电流接地的形式,当其发生单相接地故障时,存在故障电流幅值小、间歇性电弧不稳定等问题,造成包括故障选线与定位的故障检测较为困难^[8]。随着配网技术的成熟,目前小电流接地系统故障选线的准确率达到95%以上,但故障定位问题仍然没有得到很好的解决,其次加上未来高渗透率下接入的分布式电源系统,如何在现有的技术条件下,通过有效的处理不确定的及不完整的故障信息来定位故障点,准确的故障定位是智能配电网终端后续功能能够实现的技术基础,就成为了智能配电网终端设备绕不开的技术难点。

3.2 预判、自愈控制技术

电力系统故障诊断技术包括故障选相、故障诊断两个基本内容,故障选相是故障类别的识别,故障诊断是对故障件的识别^[7-8],电力系统故障诊断的目的是为了实现电力系统故障后的自愈性。电力系统的自愈性就是指电力系统发生故障后,通过快速诊断故障点,隔离故障并且实现系统自我恢复的能力。自治和自愈能力是指电网维持自身稳定运行、评估薄弱环节和应对紧急状态的能力^[9]。在配电网系统中,电网的自愈能力除了配电结构的优化设计外,还应具有智能配电网终端设备,设备在其主要功能中应当具有 SOE (Sequence of Event) 功能,并通过录波技术实时分析电网运行状态,预测电网可能出现的故障状态,计算机生成故障预防方案以及故障发生后的处理方案,实现最优化的切断最小范围的供电,使配电网停电范围降到最低程度。

故障预判以及故障后的自愈控制是智能配电网终端设备的神经中枢。目前配电网的安全稳定的运行计算仍然以离线数据为主,分析结果与实际运行有不少偏差,未来配电网系统将有大量的受环境因素影响较大的分布式电源接入,整个电力系统的中低层结构也将发生重大变化,在这种情况下,如何能够实时的进行电网运行数据的采集与分析,并快速的在故障后发出最有效的重合闸或切除故障区域等指令实现配电网的自愈控制,是智能配电网的内在要求。

3.3 极端条件下的电磁兼容适应能力

电力系统自动化程度的不断提高,电子产品在电力系统中得到了广泛应用,随着电子产品集成度的提高,其工作电压也在逐渐降低,由原来的几十伏降低到几伏,信号电压也变得更小,而运行速度却越来越快,电磁耦合越来越紧密,使得电子设备对外界的干扰变得更加敏感,相应的导致其损坏或误动所需要的干扰信号的幅值和能量越来越低。智能配电网终端设备在设计之中就应当考虑在极端环境下电磁兼容性以及抗电磁干扰能力。现有的技术水平下,目前电磁干扰的抑制措施主要有屏蔽、接地、限幅、滤波、隔离等^[10],在设备研发设计过程中不仅要考虑到 PCB 板走线问题,元器件的选择上也要尽量选择高耐压、温度工作范围大的器件,并且要在不断的电磁兼容性试验过程中逐步改进产品的设计。

保障设备在极端条件下的具有良好的电磁兼容适应性的技术难点主要在于理论和实践的差异化造成的,如雷击、过电压等极端条件下 PT、CT 在电磁暂态过程中精确的数学模型难以确立,难以进行电磁干扰源的量化分析,难以进行电磁干扰途径场路耦合建模分析等,这些不仅是智能配电网终端设备研发设计过程中的技术难点,也是目前其他集中度较高的配电网终端设备的研发设计难点所在。

3.4 网络通信协议的兼容性和标准化建设

与我国电力系统自动化的发展相伴随的是我国电力系统通信技术的飞速发展,由于电力系统发展过程中的历史原因和技术条件限制等因素的存在,使得目前电力通信规约众多、多个厂家的 IED 设备接口和数据传输不兼容等的现状成为了事实存在,作为服务于配电网系统中的智能配电网终端设备的研发设计必须切实的做好通信协议的兼容性研究和标

标准化建设，应支持 IEC60870、IEC61850、Modbus 等多种通信规约，可以方便的与其他厂家的智能化设备实现信息的对接、传输、共享等功能^[11-12]。

随着我国电力体制改革的深入，在电网建设方面，设备通信协议的标准化建设必然有一个规范，通信协议规约也可能作为产品进入市场的竞争力的部分内涵得到体现。目前基于 IEC61850 面对对象、分层分布的思想，提出的配电自动化终端设备即插即用体系，符合智能配电网的体系结构发展需求，目前存在的技术问题是在智能配电网中特有的设备的逻辑节点如何描述还需要进一步探讨。但通信协议的兼容性和标准化建设是一种更加开放的信息共享，有利于高级配电自动化的实现，因此在产品研发设计过程中就应当以信息共享的开放姿态加以规范。

3.5 馈线自动化功能

目前，市场上存在的馈线自动化产品其主要功能集中于三段式过流检测、零流检测、过负荷告警、失压告警、故障录波、故障在线仿真等^[12-15]。我国的馈线自动化多数是通过断路器(或重合器)与分段器相配合来实现的^[15]。我国传统的配电网系统多数属于单辐射供电系统，由于多种分布式电源的接入，能流的双向流动改变了传统的配电网系统结构，使得原有的配电网潮流和短路电流分布发生了一定改变，就会导致原有的馈线自动化系统不能够正确做出判断，不但不能快速准确地隔离故障，甚至可能会发出的错误指令导致扩大故障范围。

因此智能配电终端设备在设计过程中应当考虑配电网结构上的改变带来的对装置本身技术要求的变化，其技术难点就在于原有的传统的单辐射配电网结构能流的单向性转变为了双辐射状能流的双向流动。比如，在新的配电网结构下，单相接地故障过程中，依据零序分量是否还有效，相间短路的情况下终端设备的保护值如果整定，都是值得进一步研究的技术内容。

4 市场前景探讨

市场上存在的类似于智能配电终端设备的产品主要有柱上终端(FTU)和开闭所终端(DTU)两种，部分厂家一方面为了节约研发设计的成本，另一方面也是出于对市场需求现状的考虑，采用了同一种硬件电路的设计方案，通过软件的编程方式的差异

实现功能上的差别。这种方案不能较好的对配电网各个区间有针对性的开发设计产品，但是利于配电终端设备的标准化建设，产品本身硬件结构的差异化越小，越有利于快速引发设备生产厂家将其产品快速投入市场，形成市场的竞争局面。目前 FTU、DTU 的智能化水平虽然比较低，而且多数应用在传统的单辐射配电网中，但是随着国家加快配电自动化覆盖率建设，配电终端设备市场前景可观。

但随着电力体制改革的深入，国家在电力方面的管住输配电中间环节、放开发电售电两端的意图明显，配电系统也就可能随之发生一定的变化，智能配电终端未来市场将会出现新的格局，对设备智能化程度要求更高。其一，多种电源的接入配电网系统改变原有的配电网系统结构，作为发电售电企业出于对自身利益的考虑，对智能终端设备的需求将会形成内在的推动力；其二，逐步形成的以收过网费为业务的电网公司出于对自身输配电网安全的考虑也必然更加在意以新能源形式接入的电源以及负荷的安全、可靠，通过智能配电终端设备将其可能产生的危害降低到可以接受的程度；其三，智能配电终端实际上是实现配网自动化的底层设备，能源互联网概念在电力系统中的落地、实现电力用户有选择的使用电能等，都离不开可靠的、安全的、智能化的配电终端设备；其四，目前在电力产品市场上，更加公平合理的竞争机制正在逐步形成，有利于具备技术实力的企业快速的进入到市场竞争中去。

智能配电终端设备市场将会呈现以下几个特点：

1)产品的同质化竞争不可避免。目前市场上出现的类似于智能配电终端的设备在硬件设计上具有一定的雷同，差异化主要体现在软件编程上。随着市场的形成，电网产品逐步走向公平化的竞争必然导致资本市场趋向于类似产品的研发设计，再加上招标过程中设备标准化的建立，进一步驱动产品走向同质化竞争的局面。对于生产厂家而言，同质化的竞争产生的服务的差异化，因此在产品进入市场之初除了考虑产品本身的技术优势之外还应该考虑企业本身在产品服务方面的优势所在。

2)产品生命周期严重依赖未来配电网系统结构的变化。随着电力体制改革的深入，配电网系统结构发生改变电力体制改革的必然产物，多种以新能

源为主的发电企业寻求自己的利益空间是配电网系统结构发生改变的外在推动力。我国能源结构的变化,对于电力系统的供给侧、需求侧的影响在逐步凸显,而应用于配电网系统中的智能配电终端设备的产品生命周期也将伴随着这一诉求进行有必要的升级换代、衍生与淘汰。

3)产品的研发投入、市场准入与收益需要考虑现有的与未来的市场空间。智能配电终端设备的研发投入在技术上需要考量产品成型后的技术水平以及市场准入难度,国家电网公司在重点技术推广目录(2014版)中称,按照推广计划,2017—2019年, A^+ 、 A 、 B 、 C 类供电区域配电自动化覆盖率要达到100%, D 类区域逐步推广故障指示器为主的配电自动化。因此,从企业的角度应当着眼于现有市场的需求考虑研发投入的产品具有的技术水平,尽快实现产品进入市场与收益,但也需面对未来市场的变化早做准备。

5 结论

智能配电系统是智能电网的重要组成部分,智能配电终端是实现配电网智能化的关键底层设备,智能配电终端在配电网系统中的故障定位、故障预判、自愈控制、馈线自动化等领域面临着传统配电网结构改变所带来的技术挑战,尤其是在以分布式能源、微电网、储能装置等高渗透率下单辐射的配电网逐步转向能流双向流动的新型配电网情况下,对配电终端的智能化程度要求会更高。电磁兼容性与通信协议兼容、标准化建设仍然是智能配电终端的技术难点。

智能配电终端设备像其他产品一样具有一定的生命周期,从目前电力体制改革的成效看,电网局面改变是一个循序渐进的过程,电力系统对于接入的多种类型的电源容量的规模不会太大,一方面是出于电网本身安全、可靠的考虑,另一方面也是多方博弈的一个外在表现。配网结构改变的不确定性伴随着的是产品升级换代的成本存在不确定性。随着我国电力体制改革的深入,智能配电终端设备的市场前景广阔,但产品同质化竞争不可避免,对于智能配电终端设备的技术研发投入、市场定位、成本风险控制等都应做好充分的调研和应对措施。

参考文献:

[1] 胡兆光. 电力经济学引论 [M]. 北京: 清华大学出版社,

2013: 19-21.

- [2] 邓盛翔. 新型智能配电终端研究与设计 [D]. 北京: 华北电力大学, 2014.
- [3] 王海燕, 曾江, 刘刚. 国外配网自动化建设模式对我国配网建设的启示 [J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(11): 125-134.
- WANG H Y, ZENG J, LIU G. Enlightenment of DAS construction mode in foreign countries to china [J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(11): 125-134.
- [4] 丛伟, 路庆东, 田崇稳, 等. 智能配电终端及其标准化建模 [J]. 电力系统自动化, 2013, 37(10): 6-12.
- CONG W, LU Q D, TIAN C W, et al. Smart distribution terminal unit and its standardized modeling [J]. Automation of Electric Systems, 2013, 37(10): 6-12.
- [5] 张彬. 适用于智能配电网的智能配电终端研究 [D]. 山东: 山东大学, 2014.
- [6] 王成山. 微电网分析与仿真实验 [M]. 北京: 科学出版社, 2013: 8-11.
- [7] 赵熙临. 基于信息融合的电力系统故障诊断技术研究 [D]. 武汉: 华中科技大学, 2009.
- [8] 唐华. 小电流接地系统故障定位技术研究 [D]. 北京: 北京交通大学, 2014.
- [9] 高翔. 智能配电网自愈控制的理论与技术研究 [D]. 北京: 华东电力大学, 2011.
- [10] 文武, 贾俊, 阮江军. 电力系统电磁兼容问题综述 [J]. 长沙电力学院学报(自然科学版), 2003, 18(3): 42-46.
- WEN W, JIA J, RUAN J J. Overview of electromagnetic compatibility in electric power system [J]. Journal of Changsha University of Electric Power (Natural Science), 2003, 18(3): 42-46.
- [11] 史志鸿, 刘伟, 廖泽友, 等. 继电保护故障信息系统的通信协议探讨 [J]. 继电器, 2004, 32(9): 40-56.
- SHI Z H, LIU W, LIAO Z Y, et al. Application of IEC 60870-5-103 and IEC 60870-5-104 transmission protocols in substation automation [J]. Relay, 2004, 32(9): 40-56.
- [12] 杜艳. 基于 IEC61850 协议实现馈线终端自动装置 (FTU) 即插即用的研究 [D]. 武汉: 华中科技大学, 2011.
- [13] 樊俊言. 馈线自动化终端设备的信息模型及接入方法研究 [D]. 重庆: 重庆大学, 2013.
- [14] 汪治国. 配电网馈线自动化装置的研究 [D]. 长沙: 中南大学, 2005.
- [15] 赵拥华, 方永毅, 王娜, 等. 逆变型分布式电源接入配电网对馈线自动化的影响研究 [J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(24): 117-122.
- ZHAO Y H, FANG Y Y, WANG N, et al. Research on the impacts on feeder automation by inverter-based distribution generation connected to the distribution network [J]. Power System Protection and Control, 2013, 41(24): 117-122.

(责任编辑 郑文棠)