

# 智能电网与电子式互感器及 电力一次设备在线监测

◆ 徐立子<sup>1</sup> 万启发<sup>2</sup>

(1. 中国电力科学研究院, 北京 100192; 2. 国网电力科学研究院, 武汉 430074)

## 1 智能电网的发展

### 1.1 《美国复苏与再投资法案》

2009年2月17日美国总统奥巴马签署了2009年《美国复苏与再投资法案》(American Recovery and Reinvestment Act—ARRA)。此法案规定拨款给美国能源部(Department of Energy—DOE)来支持研发智能电网(smart grid)的经费和示范工程。美国能源部即于2009年4月19日公布了《基金机遇通告》(FOA, (Funding Opportunity Announcement)), 将智能电网示范工程规定如下: ①地区示范——核实智能电网技术生存能力和确认智能电网的商务模型。②电力公司电能储存示范——测试费用和收益, 检验各种电能储存方法的技术性能, 如新型电池、特殊电容器、飞轮、风与光电组合以及压缩空气能量系统等。③同步相量测量示范——建立广域信息网络(即相量测量装置(PMU)/广域测量系统(WAMS)来调度和规划电力系统。

据美国能源部统计, 通过对美国电网的智能化改造, 预计未来20年内可节省投资近千亿美元。智能电网技术革新将打开整合电信、电网、电视网等的通道, 为全球电力、电信产业、通信产业、电视媒体等的改革提供独特的机遇。

### 1.2 中国智能电网的研发

2009年5月21日举行的“2009特高压输电技术国际会议”上, 国家电网公司总经理刘振亚表示, 积极发展智能电网已成为世界电力发展的新趋势, 到2020年, 中国将全面建成统一的坚强智能电网。我国国家电网结合基本国情和特高压实践,

确立了加快建设坚强智能电网的发展目标, 即加快建设以特高压电网为骨干网架, 各级电网协调发展, 具有信息化、数字化、自动化、互动化特征的统一的坚强智能电网。国网公司将按照统筹规划、统一标准、试点先行、整体推进的原则, 在加快建设由1000kV交流和 $\pm 800\text{kV}$ 、 $\pm 1000\text{kV}$ 直流构成的特高压骨干网架, 实现各级电网协调发展的同时, 分阶段推进坚强智能电网发展。

按照规划, 国家电网公司的智能电网建设将分3个阶段: 在2010年之前完成规划与试点工作; 2010~2015年进行大面积推开; 到2020年, 全面建成统一的坚强智能电网。

## 2 坚强智能电网与电子式互感器及电力一次设备在线监测

### 2.1 自愈性智能电网(Self-Healing Smart Grid)

目前各大国都逐步建立了特大电网, 为保证电网的安全运行, 美国、欧盟、俄罗斯、日本、巴西等国先后都在进行智能电网的研究。

我国特高压骨干网架将由1000kV级交流输电网络和 $\pm 800\text{kV}$ 、 $\pm 1000\text{kV}$ 直流输电系统构成。我国地域辽阔, 各大区电网互联, 大量的西电东送, 使国家大电网跨越了几个时区。为保证电网的安全、稳定、可靠运行, 对智能电网的研发, 则是急迫和至关重要的任务。由于这种跨越几个时区的特大电网存在大面积停电的危险性, 而这种危险性大多涉及调度员处理是否得当的人为因素, 如2003年“8.14”美加大停电事故。为解决此问题, 美国电力研究院(EPRI)最先提出了以相量测量装置(PMU, Phasor Measurement Unit)/广域测量系

统(WAMS, Wide Area Measurement System)为基础的突出自愈功能的智能电网概念。它要求对电网节点的电压相角的测量快速而准确。20世纪80年代同步相量测量的研究在美国已经开始,并成为广域测量系统的一部分。1996年夏季美国两次大停电事故中,WAMS进行了较为全面准确的记录。1997年法国电力公司(EDF, Electric de France)也建设了基于PMU的协调防御控制系统。但是系统动作响应时间却很长,达到1.03s。2003年“8.14”美加大停电事故更推进了WAMS的建设。只要在全网PMU合理化布点的基础上(满足可观测性),就可对现代化大电网进行静态功角稳定裕度监视;在线扰动识别;分析电网的短路故障、机组振荡与失步和系统电压失稳等;利用实时联络线功率和相对相角等参量的频谱特性(特征频率以及对应的衰减因子)识别系统低频振荡;在系统发生扰动时,实时监视机组间相对功角的暂态过程;进行发电机组进相运行监测;电压动态过程监测与动态稳定预报,以及实现暂态稳定监控等。

为此,在PMU/WAMS的基础上就能实现包括暂态稳定性、电压稳定性和频率稳定性在内的动态安全评估。当电网出现危机之前就能立即提出网络重构、调整保护定值和稳定补救等安全对策。<sup>[1]</sup>

文献[1]指出,电网自愈功能的目标是:“实时评价电力系统行为,应对电力系统可能发生的各种事件组合、防止大面积停电,并快速从紧急状态恢复到正常状态。其实现方法,可概括为快速仿真决策、协调/自适应控制和分布能源(DER, Distributed Energy Resource)集成等3个方面。”

## 2.2 电子式互感器

### (1) 自愈性智能电网对电子式互感器的要求

自愈性智能电网要求高速和高准确度的PMU,这样才能高准确度地测量电网运行参数(如 $I$ 、 $\delta I$ 、 $U$ 、 $\delta U$ 、 $\cos\phi$ 、 $f$ 、 $P$ 、 $Q$ ),监控电网的运行。目前常规电磁式电流互感器在电力系统故障状态下的铁芯饱和及磁滞回线,会使电流测量极其不准确,从而使PMU/WAMS的测量也不准确,严重威胁现代化电网的安全稳定运行,增加了继电保护装置的复杂性;抗电磁干扰能力减弱;绝缘技术、体积、质量和价格都随电压等级的升高而越来越大;运输、安装和维护造成困难;测量受频率影响较大;变电站占地大,成本高等。为此,有必要研发能克服上述缺点并满足智能电网要求的新型电

子式电流互感器。

这种新型电子式电流互感器要求既快速又高度准确,并将为现代化大电网的安全可靠和经济运行提供关键的基础。它也是电力一次、二次设备的完美结合,解决了电网自动化发展的“瓶颈”问题。现代化大电网的安全稳定控制技术也急需能满足要求的电子式互感器的出现。因此电子式互感器不是一般的对电磁式互感器的升级换代,而是现代化大电网安全稳定运行的需求。

电网的安全运行要求电力设备安全可靠。而据统计,电网中的电力设备平均每年有1/3的事故都是因为互感器所致,如雷电季节,打雷或闪电都有可能引起互感器爆炸或燃烧。电子式互感器的使用将大大减少这方面的事故。

电子式互感器是电网一次的重要设备,它们担负着电网的精确“测量和计量”,以及故障“监测”的作用。要求量测的电网运行参数高度精确;装置本身应具有相当的可靠性。它是为智能电网、数字化继电保护、电网实时PMU、WAMS、电网快速状态估计、电网暂态稳定监控、特高压输电线路的电晕测量、电网实时经济调度、谐波在电网中的应用、电网输电阻塞的缓解(美国)、解决输电走廊的分相输电技术问题、实现准确的故障测距和紧凑型一次智能设备等提供可靠保证,对现代电网运行和设备革命发挥重要的作用。因此,要求它必须具有准确性高、数据传输快速等的高性能。

### (2) 电子式互感器的国际标准和国家标准

国际电工委员会和国内标准化组织近年来也相应地颁布了有关协议和标准以作为指导。IEC61850协议是变电站自动化系统建设的依据。完全符合IEC61850协议的一次和二次数字化设备的研制和产品化是建设智能电网的坚实基础。IEC61850-5-13规定了变电站内智能电子设备(IED, Intelligent Electronic Device)的同步标准以及电力系统有关参数值的指标,这是变电站自动化系统的设计,电子式互感器及IED的性能研制和生产以及电力部门招标必须依据的标准。IEC60044-7/8标准也是电子式互感器制造检测和招标应遵循的标准。我国于2007年1月正式颁布等同于IEC60044-7/8的国家标准GT20840-7/8,并于2007年8月1日起实施。<sup>[3]</sup>

1) 根据国际标准IEC61850-5-13的要求,电子式互感器需为各种智能IED提供高准确度的电

流和电压 $U$ ，其数据采样率必须 $\geq 12000$ 次/s，三相同步时间应为 $\pm 1\mu\text{s}$ 。<sup>[3, 4]</sup>

2) PMU与WAMS的连接应满足IEEE 37.118的准确性标准(1级)并对数据传输使用IEEE 37.118标准。要求PMU的数据采样率 $\geq 12000$ 次/s，测量频率的绝对准确度为 $\pm 1\text{mHz}$ ，绝对相角准确度为 $\pm 0.02^\circ$ ，时间准确度为 $\pm 1\mu\text{s}$ 。数据传输率为50/60Hz。要达到此要求，提供给PMU和WAMS原始数据的电子式互感器对 $I$ 、 $U$ 的测量准确度应小于0.2%，三相同步时间为 $\pm 1\mu\text{s}$ ，相位移应满足IEC60044-7/8的要求。<sup>[3]</sup>

3) IEC61850-9-1对以太网物理层传输速率的要求

电子式互感器的综合单元对保护、测量等IED的输出传输速率应与IED的采样率相匹配。根据IEC61850-5-13的规定：保护装置IED的采样率为480、960和1920次/s；测量仪表的IED采样率为1500、4000和12000次/s。

IEC61850-9-1规定：电子式电流/电压互感器的综合单元对保护、测量等IED的输出传输速率应与IED的采样率相匹配。<sup>[3, 5]</sup>

### 2.3 电力一次设备在线监测对坚强智能电网的作用

目前，大电网的安全防护已与涉及自然和社会因素的灾害防护紧密相连，因此大电网的安全防护受到了美国白宫科技政策办公室和美国国内安全部的重视。美国政府已于2007年通过了《能源独立和安全法规(Energy Independence and Security Act)》，其中智能电网就是专门一章。<sup>[2]</sup>

文献[2]在解释智能电网的具体内容时指出：“在输电的每个元件(如开关、变压器等)、每个变电站和发电厂中皆设置一个具有坚强的操作系



统独立的处理器(processor)，也可用作独立的代理器(agent)，在这些处理器或代理器之间能进行双向快速通信，从而形成一个巨大的分布式平台。每个代理器必须与相应元部件的传感器连接，以评估其运行状况，并用高速宽带光纤通信系统将传感器的数据传送到其它处理器(代理器)，各处的代理器既是独立动作的，又是彼此通信互连的，可以进行协调控制。”

智能电网的自愈控制是在事故影响电网之前就本地或局部地区对事故进行处理，从而达到自愈的效果。由此可见，电力一次设备的在线安全监测装置就是智能电网实现自愈控制的智能代理器最基础部分。电力一次设备的在线安全监测装置最初是为了对一次设备进行常规诊断，后来实现状态检修，以代替传统的计划检修。当然，目前的在线安全监测，还不是实时的在线监测。在此基础上，若状态监测的可信度大大提高，并加快对设备状态的监测频率，就可逐步成为自愈智能电网的智能代理器。这样，当新型的传感器、在线监测装置和执行机构研制出来后即可形成智能代理器，从而加强电网的自适应和重组控制能力。

智能电网的智能代理器要求新型传感器对电网运行参数的测量速度和高准确度与对电子式互感器的要求应是一致的，甚至对某些数据的测量准确度的要求更高，如对电晕损失的测量，其采样率最好采用250k次/s，相当于每周期(50Hz)采样5000次。

在线监测装置主要是监测电容型设备的介质损耗，电容及其变化量，泄漏电流及其变化量，不平衡电压，避雷器的全电流和阻性电流，变压器套管的介损和油中氢气含量，变压器的局部放电、油中色谱，少油开关的泄漏电流及其他设备(如发电机放电)等。对变电站关键电力设备的电气绝缘综合在线监测进行研究具有重要的意义，并要加强在线监测装置的防干扰措施。

## 3 结论

(1) 随着特高压、大容量、超大规模电网的逐步形成，为保证电网的安全、稳定、可靠运行，研发智能电网和进行示范工程是急迫而至关重要的任务。

(2) 为保证智能电网实现自愈性，要求研制和生产高速及高准确度的电子式互感器。

(3) 研制新型的传感器、在线监测装置是实现智能电网所需的智能代理器的基础。☑

### 参考文献

- [1] 王明俊. 突出自愈功能的智能电网. 动力与电气工程, 2007, 2(2): 12~16.
- [2] 何大愚. 应用智能网络技术构建未来自愈型输电网. 动力与电气工程, 2008, 3(6): 12~16.
- [3] 徐立子, 万启发. 现代化电网与国际标准对电子式互感器的要求. 电子式互感器. 技术研讨会交流文集, 中国电力企业联合会成果鉴定办公室, 2007, 10: 54~66.
- [4] IEC 61850-5 Communication Network and Systems in Substations. Part 5-13: Message performance requirements. 2003-07.
- [5] IEC 61850-9-1 Communication Network and System in Substation-Part 9-1: Specific communication service mapping (SCSM)—Sampled values over serial unidirectional multi-drop point to point link 2003-05.



### 作者简介:

徐立子(1937-)男, 研究生毕业, 教授级高级工程师, 从事电力系统自动化、能量管理系统(EMS)、远方终端装置(RTU)、高级应用软件(如负荷预测、经济调度等)和电力信息管理系统(MIS)等的研究开发工作。著作有:《电网调度计算机系统控制》(陕西科学技术出版社)、《仪表及自动装置用电机》(四川人民出版社)等, 发表论文40余篇。

退休后, 致力于对变电站自动化系统的研究和我国实施国际标准的考察, 以及光电电子式互感器的研制工作。并结合我国具体情况提出有关建议。《国际标准与电网调度自动化》在《中国专家学术成果通鉴》上被评为中国科学发展优秀学术成果一等奖;《IEC 61850对变电站自动化系统报文性能的要求》一文作为优秀论文入选《中国当代思想宝库》并获优秀学术成果一等奖。



万启发(1951-)男, 教授级高级工程师, 主要从事高压输电技术的研究工作。

邮件地址: wanqifa\_2006@126.com

工作单位: 国网电力科学研究院

地址: 武汉市洪山区珞喻路143号

邮编: 430074

## 简讯

# 《中国电机工程学会志》出版发行



中国电机工程学会的前身中国电机工程师学会创建于1934年, 至今已有75年的历史。为记载中国电机工程学会创建、成长、发展的历程, 第八届理事会决定编纂《中国电机工程学会志》(以下简称《会志》), 现已正式出版发行。

《会志》在挖掘学会历史、尊重历史事实的基础上编纂而成。其正文共分八个章节, 第一章为学会的创建时期, 第二章为学会重建和恢复时期, 包括学会的第一届理事会和第二届理事会。从第三章开始, 以每一届为一章。正文后, 附各专委会和省级学会有关内容, 以及学会章程和大事记。

《会志》集中反映了各个历史时期的学会活动。其内容涉及学会的组织建设、国内外学术交流、科学技术普及、科技咨询服务、建设科技人员之家等各方面, 并随着历史的变革, 不断扩展和丰富。

《会志》收录了学会建会初期珍贵的历史资料, 收录了新中国建国以来党和国家领导人关心和参与学会工作的珍贵照片和题词, 收录了反映学会各个发展时期反映我国电力工业发展的关键技术项目和富有时代特点的相关资料和照片。内容客观真实, 力争图文并茂, 全面记录学会发展的历史。

在《会志》编写的过程中, 得到了学会老领导、老同志及社会各界的关心、支持和帮助; 在查阅学会历史档案的过程中, 得到了天津市电力学会, 上海市、重庆市、广东省、江苏省等电机工程学会, 上海市档案馆和图书馆、重庆市档案馆和重庆大学图书馆, 以及《电世界》杂志社的大力支持和协助。☑