

# 高压设备智能化方案及技术特征

刘有为, 邓彦国, 吴立远

(中国电力科学研究院, 北京市 海淀区 100192)

## Technical Characteristics and Solution of Smart High-Voltage Equipment

LIU You-wei, DENG Yan-guo, WU Li-yuan

(China Electric Power Research Institute, Haidian District, Beijing 100192, China)

**ABSTRACT:** This paper proposes a solution of smart high-voltage (HV) equipment. The core of the proposed solution is that an intelligent component is added in which all intelligent electronic devices (IEDs) for measurement, control, monitoring, etc. are congregated and connected to the HV equipment through sensors and controllers, thus HV equipment possess such technical features as digital measurement, network control, condition self-evaluation, function integration and information interaction. The essential technical features of smart HV equipment and the principle solution of intelligent components are described in brief.

**KEY WORDS:** smart devices; intelligent components; HV equipment

**摘要:** 提出了一种高压设备的智能化方案, 其核心是增设一个智能组件, 集中整合测量、控制、监测等智能电子装置 (intelligent electronic device, IED), 通过传感器和执行器与高压设备形成一个有机的整体, 使高压设备具备测量数字化、控制网络化、状态可视化、功能一体化和信息互动化的智能特征。同时对智能高压设备的主要技术原理和智能组件的原则方案进行了简要论述。

**关键词:** 智能设备; 智能组件; 高压设备

## 0 引言

智能电网是当今世界电力系统发展变革的最新方向, 并被认为是 21 世纪电力系统的重大科技创新和发展趋势。美、欧、日等国都在构建符合自己需求的智能电网建设理念<sup>[1-6]</sup>。我国的智能电网研究已经开展数年<sup>[7-10]</sup>, 2009 年国家电网公司实质性地启动了智能电网的试点建设工程, 相关研究、设计和研制工作相继展开。由于智能电网是一个全新的概念, 试点工程必然面临一些技术瓶颈, 高压设备智能化就是其中之一。

到目前为止, 国内外有关高压设备智能化的系统研究还很少, 文献[11-12]提出了一种相似的设

想, 即利用传感器对供电等关键设备的运行状况进行实时监控, 将获得的数据通过网络系统进行收集、整合, 通过对数据的分析、挖掘, 实现对电网运行的优化管理。但这仅是一种理念, 还未见具体的技术方案。

为满足国家电网公司智能电网试点工程的建设需要, 本文研究了高压设备智能化的需求, 提出了高压设备智能化的定义, 给出了高压设备智能化的具体技术方案和技术要求, 具体成果已被国家电网公司采用<sup>[13-17]</sup>。

## 1 高压设备智能化的基本理念

### 1.1 基本理念

在构建高压设备智能化方案时, 遵循了以下基本理念:

1) 高压设备智能化应与已有的数字电网技术相衔接, 在现有技术基础上重点开发智能化技术, 包括高压设备运行状态、控制状态、负载能力状态的自评估和自描述技术。

2) 将与高压设备相关的测量、监测、控制、计量和保护等功能就地化, 实现高压设备的“测量数字化、控制网络化、状态可视化和功能一体化”。

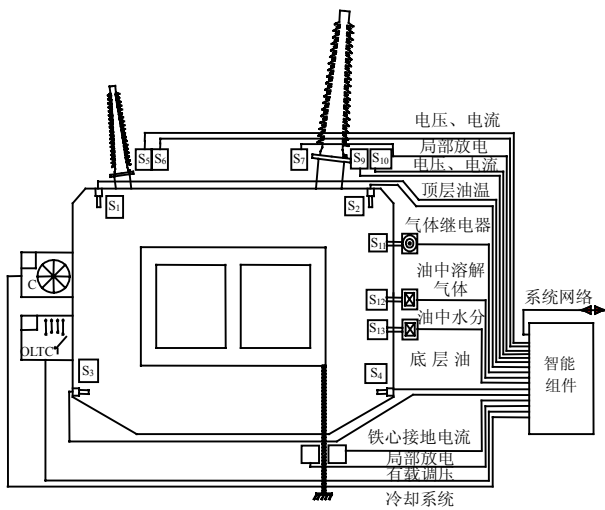
3) 注重智能化设备与电网调控系统的信息交互, 使高压设备智能化成为支持电网优化运行和提升供电可靠性不可或缺的一部分, 把智能化落到实处。

4) 高压设备智能化应符合智能电网的建设理念, 符合可靠、经济、节能、节地和富有实效的基本原则, 避免为了智能化而智能化, 避免把智能高压设备与在线监测等同起来。

### 1.2 硬件结构

高压设备智能化由高压设备、智能组件、传感器和执行器组成, 3 者之间可类比为“身体”、“大

脑”和“神经”的关系。高压设备智能化不会改变高压设备的基本结构, 但为适应智能化的要求, 需要植入必要的传感器或执行器, 这会带来高压设备本体设计的某些变化, 如变压器绕组光纤测温传感器、局部放电传感器的植入等。智能组件是智能电子装置(intelligent electronic device, IED)的有机集合, 是智能化的核心部件, 通常就近安装于高压设备旁, 完成相关测量、控制、监测等基本功能, 也可将计量、保护、录波、电能质量监测等作为扩展功能。智能组件内部各 IED 在一体化的理念下进行优化, 除直接与保护相关的功能以外, 按测量、控制、监测、计量和保护等功能模块进行 IED 的设计与配置, 智能组件内的所有 IED 都接入过程层网络, 彼此之间的信息需求通过过程层网络实现。智能组件中需要与站控层进行信息交互的 IED 同时接入站控层网络, 承担下载设备指纹信息、反馈设备状态、接受控制指令等功能。以变压器为例的高压设备智能化的示意图见图 1。



1—S<sub>1</sub>、S<sub>2</sub> 顶层油温, S<sub>3</sub>、S<sub>4</sub> 底层油温; 2—S<sub>5</sub>、S<sub>6</sub>、S<sub>9</sub>、S<sub>10</sub> 电压、电流;  
3—S<sub>7</sub>、S<sub>8</sub> 局部放电; 4—S<sub>11</sub> 气体继电器; 5—S<sub>12</sub> 油中溶解气体;  
6—S<sub>13</sub> 油中水分; 7—S<sub>14</sub> 铁心接地电流; 8—C 冷却系统;  
9—OLTC 有载调压系统。

图 1 油浸式电力变压器智能化示意图

Fig. 1 Schematic diagram of smart oiled-immersed power transformer

## 2 高压设备智能化的技术特征

### 2.1 测量数字化

测量数字化是高压设备智能化的基本特征之一。所谓测量数字化就是对与运行、控制直接相关的参数进行就地数字化测量。测量由智能组件的测量功能模块(一个或多个 IED)完成。测量结果可根

据需要发送至站控层网络或/和过程层网络, 通过网络实现测量信息的共享。测量结果可用于高压设备及其部件的运行、控制或状态评估。数字化测量的参数包括变压器的油温、有载分接开关分接位置信息, 开关设备分、合闸位置信息等。

### 2.2 控制网络化

所谓控制网络化就是对有控制需求的高压设备或其部件实现基于网络的控制。控制模块是智能组件基本功能的一部分, 由一个或多个 IED 组成。控制网络遵循 IEC 61850<sup>[18]</sup>通信协议, 控制指令源于电网调控系统或基于设备自身的测量和监测信息形成的控制策略。由于智能组件中的测量或监测参量更加广泛, 使控制策略可依赖信息更加丰富, 因而可实现更加理想的控制要求。控制的对象包括变压器的冷却装置、有载分接开关, 开关设备的操动机构等。控制方式包括: 1) 高压设备及其部件自有控制器就地控制; 2) 智能组件通过就地控制器控制; 3) 站控层设备通过智能组件控制。

正常运行情况下, 网络化控制的优先顺序是: 站控层设备、智能组件、就地控制器。网络化、智能化控制不仅更加灵活, 而且可以实现传统控制无法实现的一些目标。如变压器的冷却系统, 网络化、智能化控制不仅更加节能, 而且可更好地支持变压器负载能力控制; 又如开关设备的选相合闸控制器, 通过智能控制断路器的合闸相位, 可有效控制涌流和过电压等。

### 2.3 状态可视化

状态可视化由智能组件中的监测功能模块完成, 但其依据的信息不限于监测模块, 还可以包括测量及系统测控装置等模块的信息。这里“状态”指设备的可用状态, 包括设备的可靠性状态、控制状态、运行状态和负载能力状态等。“可视化”是指设备对电网调控系统而言, 是智能化高压设备与电网调控系统的一种信息互动方式, 即电网调控系统通过信息互动, 准实时地掌握高压设备的可用状态, 进而优化电网的运行控制或提前做好自愈预案, 以提升电网的供电可靠性。状态可视化通过智能组件的自诊断(可靠性)、自评估(负载能力)和自描述(运行状态)等功能来实现的, 且所有自诊断、自评估和自描述信息必须以智能电网其他相关系统可自动辨识的方式进行表述, 并广播至站控层网络。

智能组件只广播可靠性状态、控制状态、运行状态和负载能力状态等, 这些都属于结果性信息, 不是海量的原始数据, 这不仅大大减少了站控层网络的信息流量, 还可有效避免了不同监测技术之间的数据一致性问题, 有利于保证智能组件的互换性和互操作性要求, 也有利于功能扩展和技术升级。

## 2.4 功能一体化

过去高压设备制造商很少关注二次设备, 智能高压设备将打破这一传统。在智能高压设备的设计理念中, 传感器是状态感知元件, 执行器是指令响应元件, 在实际工程中, 应根据具体的智能化目标, 在高压设备中集成必要的传感器和执行器。而传感器和执行器的植入应在高压设备的设计阶段就予以考虑, 特别是如变压器绕组光纤测温传感器等一旦设计制造完成就无法加装。一体化设计可以保证高压设备的可靠性和传感器的敏感性。

功能一体化的另一个方面是一次电气参量测量装置与变压器等高压设备的集成制造技术。例如, 由于电子式电流互感器体积的显著减少, 变压器和罐式断路器套管等可以集成满足计量要求的电子式电流互感器, 此时互感器不承担主绝缘, 可降低设备绝缘的故障几率, 减少了变电站占地。又如, 通过对变压器套管末屏的专门设计, 可作为简易的电容分压器, 用以检测侵入波波形等。这些都是一体化设计理念的具体示例, 在未来智能高压设备的设计中将得到广泛的应用。

## 2.5 信息互动化

作为智能化高压设备的一部分, 智能组件是一次设备与电网调控系统之间信息互动的桥梁, 作为电网的元件, 智能高压设备主要是提供智能化信息, 真正的智能化应用, 如优化电网运行控制等, 需要在电网中由调控系统来实现, 而信息互动化是实现这一理念的基础。信息互动化包括以下几个方面:

1) 智能组件将高压设备的可靠性状态、控制状态、运行状态和负载能力状态等智能化信息通过站控层网络发送至调控系统, 支持调控系统对电网的优化控制或支持设备故障预案的制定。

2) 智能组件接收调控系统的指令, 实现对高压设备运行状态的网络化控制。

3) 智能组件从生产管理系统获取高压设备的指纹信息和其他非自监测信息, 作为智能组件自我

综合诊断或评估依据的一部分。

4) 智能组件将高压设备的可靠性状态发送至生产管理系统, 支持高压设备的优化检修。

## 3 智能组件的设计方案

智能组件是高压设备智能化的关键部件, 智能组件承担了高压设备全部或大部分的二次功能。据此, 智能组件的设计方案包括:

1) 智能组件应设计为高压设备的一个数字化测量、网络化控制、智能化监测的统一平台, 整个平台的通信按文献[18]规范设计。其中, 不同的功能模块由一个或多个 IED 实现。IED 的设计应突破原数字变电站已有 IED 的限制, 在新的需求加入之后, 对 IED 组成及功能进行优化, 明晰界面, 避免重复采样和功能交叉。多个 IED 需要的信息, 由其中一个技术要求高(实时性、可靠性、准确性)的 IED 测量, 然后通过过程层或站控层网络与其他 IED 共享。

2) 依据测量、监测等信息, 对高压设备的可靠性状态、控制状态、运行状态和负载能力状态进行实时评估和信息交互是智能组件的主要功能之一。该工作可由多个 IED 协同完成, 并由其中一个 IED 完成信息汇总、综合评估和与站控层进行信息交互等工作。

3) 智能组件内各 IED 应由独立双电源供电, 彼此间通信通过光纤接入过程层或站控层网络完成, 以实现故障隔离。重要的 IED 采用冗余设计。

4) 智能组件内各 IED 之间有大量的信息交互, 但大部分信息只需在内部各 IED 之间交互, 对于这部分信息, 要采取技术措施, 限制在智能组件内部, 以节约网络资源。

根据以上设计方案, 从内部信息共享来看, 智能组件内各单元是一个整体, 实现了形式和内容的统一; 从功能分割和电气隔离状态来看, 智能组件内各 IED 基本等同于物理上的独立布局, 解决了整体性和可靠性之间的矛盾。智能组件的硬件结构示例如图 2 所示。从图 2 可以看到, 智能组件内需要 2 个交换机, 分别承担过程层和站控层网络通信。如智能组件内部简单时, 交换机可以在更大范围内共享, 以优化交换机配置。

智能组件是一个物理设备, 但也可以根据工程实际由若干独立装置组成的逻辑设备实现其功能, 这种情况主要适用于已建成变电站的智能化改造。

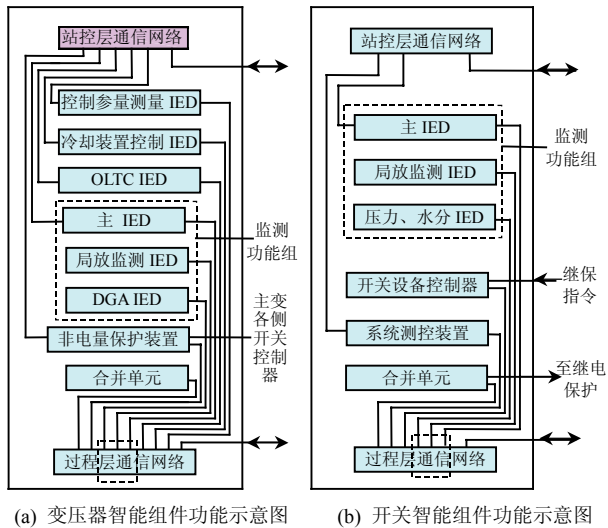


图 2 智能组件内部结构示意图

Fig. 2 Schematic diagram of the internal structure of smart components

### 4 结论

由于高压设备智能化还是一个全新的概念，一些理念所要求的技术还不十分成熟，因此，高压设备智能化的应用需根据研究和试点应用情况，有序开展。随着我国智能电网、特别是智能高压设备研究的深入和试点应用的经验总结，会针对高压设备智能化发布越来越详细的技术规范和技术要求，包括智能化适用原则、各类接口、数据建模、互换性、互操作性、可扩展性、可靠性设计、信息管理、信息互动、通信与信息安全、状态可视化(可靠性状态、控制状态、运行状态和负载能力状态)等关键技术，各级电网设计和运行单位应及时采用符合最新标准要求智能高压设备。除此之外，对于智能高压设备的出厂试验检测、电磁兼容试验、环境适应能力试验、调试、现场交接试验等都要给出相应的标准。

### 参考文献

[1] European smart-grids technology platform. Vision and strategy for Europe's electricity networks of the future[R/OL]. <http://www.smartgrids.eu/>, 2006.

[2] European smart-grids technology platform. Strategic research agenda for Europe's electricity networks of the future[R/OL]. [http://www.smartgrids.eu/documents/sra/sra\\_finalversion.pdf](http://www.smartgrids.eu/documents/sra/sra_finalversion.pdf), 2007.

[3] Haase P. Intelligrid: a smart network of power[J]. EPRI Journal,

2005(Fall): 17-25.

[4] U.S. Department of Energy. National Energy Technology Laboratory. Modern grid initiative: a vision for modern grid [EB/OL]. [http://www.netl.doe.gov/moderngrid/opportunity/vision\\_technologies.html](http://www.netl.doe.gov/moderngrid/opportunity/vision_technologies.html), 2007.

[5] Zhang X P. A framework for operation and control of smart grids with distributed generation[C]. 2008 IEEE Power and Energy Society General Meeting: Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st, Century, Pittsburgh, Pennsylvania, USA, 2008.

[6] Alternative Technologies Workgroup. Smart power grid[R]. 2005.

[7] 刘振亚. 国家电网公司 2009 年年中会议上的讲话[N]. 国家电网报, 2009-07-12(1).

[8] 余贻鑫, 栾文鹏. 智能电网综述[J]. 中国电机工程学报, 2009, 29(34): 1-8.

Yu Yixin, Luan Wenpeng. Smart grid and its implementations [J]. Proceedings of the CSEE, 2009, 29(34): 1-8(in Chinese).

[9] 胡学浩. 智能电网: 未来电网的发展态势[J]. 电网技术, 2009, 33(14): 1-5.

Hu Xuehao. Smart grid: a development trend of future power grid [J]. Power System Technology, 2009, 33(14): 1-5(in Chinese).

[10] 张文亮, 刘壮志, 王明俊, 等. 智能电网的研究发展趋势[J]. 电网技术, 2009, 33(13): 1-11.

Zhang Wenliang, Liu Zhuangzhi, Wang Mingjun, et al. Research status and development trend of smart grid[J]. Power System Technology, 2009, 33(13): 1-11(in Chinese).

[11] IBM. IBM 白皮书: 建设智能电网, 创新运营管理, 中国电力发展的新思路[R]. IBM, 2008.

[12] 陈树勇, 宋书芳, 李兰欣, 等. 智能电网技术研究综述[J]. 电网技术, 2009, 33(8): 1-7.

Chen Shuyong, Song Shufang, Li Lanxin, et al. Survey on smart grid technology[J]. Power System Technology, 2009, 33(8): 1-7(in Chinese).

[13] Q/GDW/Z 410 高压电气设备智能化技术导则[S].

[14] 国家电网公司智能电网部. 高压设备智能化技术分析报告[R]. 北京: 国家电网公司, 2009.

[15] Q/GDW 383 智能变电站技术导则[S].

[16] 国家电网公司智能电网部. 智能变压器技术条件[R]. 北京: 国家电网公司, 2010.

[17] 国家电网公司智能电网部. 智能开关设备技术条件[R]. 北京: 国家电网公司, 2010.

[18] IEC 61850 变电站通讯网络和系统标准[S].



刘有为

收稿日期: 2010-01-04.

作者简介:

刘有为(1962—), 男, 教授级高级工程师, 主要从事高压设备智能化、状态检修方面的研究, E-mail: liuyw@epri.sgcc.com.cn;

邓彦国(1977—), 男, 工程师, 主要从事高压电气设备检修优化策略等方面的研究;

吴立远(1981—), 男, 工程师, 主要从事高压电气设备检修优化策略等方面的研究。

(实习编辑 张磊)