

智能变电站测控装置在线监测系统研究

为解决智能变电站智能电子装置（IED）运行维护困难、网络安全防护薄弱等问题，提出了一种测控装置在线监测系统设计及应用方案。针对110 kV测控装置，建立了CPU、内存和硬盘等元器件的在线监测IEC 61850信息模型，搭建了测控装置监测主子站系统，并给出了设备状态评估方案，开发了一套110 kV测控在线监测原型系统，验证方案的可行性。在此基础上，完成测控装置配置、固件和定值的远程监视和校核、设备入侵监测以及远程更新等应用功能的设计，为智能变电站调控一体和远程运维提供技术支撑。

任 辉 姚志强 杨 青 张海东 耿明志 任 浩/中国电力科学研究院（南京）

0 引言

自智能变电站试点建设以来，国内已建成1 600余座应用了数字化采样控制、网络化通信和智能化高级应用技术的智能变电站，已投入运行的智能电子设备（Intelligent Electronic Device，IED）数量逾万台，IED维护与检修已成为困扰现场运行和检修人员的主要难题^[1]。之所以会出现这些问题，主要有以下因素。

1) 智能电子设备间连接虚拟化，设计与工程环节之间未实现无缝衔接。智能变电站采用SV、GOOSE报文为网络传递电气量信号，与常规变电站硬节点信号存在对应关系，然而设计院还沿袭常规变电站硬节点信号连接的设计方式，两者之间映射关系不直观。在调试或检修时，若想知道一条光纤接入或输出哪些点号，还需打开配置文件，对照查看。

2) 通信网络化。智能变电站中，光纤通信取代了传统电缆硬接线，常规变电站查对点号的工作变为校核配置文件参数或配置项。

3) 设备就地化。在室外条件下，IED需耐受恶劣的运行环境，老化速度加快，电子元器件失效的概率大幅上升。

变电站投入运行后，若采用定期计划检修的维护方式，无法针对性地对有问题的设备进行监视与维护，容易造成设备失修。另一方面，定期计划检修需安排停电，影响电力系统的可用性。因此，IED的在线监测是必要的。IED在线监测可视为是实现设备科学合理运维的进一步深化。

目前，一次设备的状态监测研究与应用已取得丰富成果和经验^[2]，而IED状态监测虽在技术实现上更为便利，但因投入与产出性价比较低等因素并未引起足够的重视。

现阶段，IED状态监测主要依赖装置自检。装置自检内容包括装置通信自检、硬件自检、定值校验、交流输入回路监视和二次回路监视等^[3-4]。自检存在一定缺陷。首先自检内容有限，未必包含装置应用环境、设备资源等重要参量。此外，自检信息分散于各装置，未综合监控与处理，且信号不上送，在无人值班的大背景下，无法及时获知装置异常情况，对于远程监控人员而言利用价值低。因此，设备需要获知其自身的一些重要的量测量和状态量信息，同时具有远程监控的能力。

变电站数字化以来，针对IED监测



任 辉/工程师

关键词/Keywords

在线监测·
模型扩展·
远程校核·
入侵监测·
远程更新·

国家电网公司科技项目资助：面向间隔对象的就地一体化装置关键技术研究（合同号：DZN17201500138）。

的研究取得一定进展。交换机反映通信网络的状态,可采用交换机状态信息作为衡量过程层通信链路状态的评价指标^[5]。或通过分析间隔层设备在线监测内容以及监测方法,在保护测控系统中实现自我状态监测功能^[6]。这些方法均只部分实现IED的在线监测或分析评估。

智能变电站的建设为实现IED在线监测提供了可能。首先,智能变电站采用IEC 61850标准、网络采样与控制技术和嵌入式智能设备,信息采集数字化,通信网络化,IED可从网络获取和传输数据;其次,智能变电站内通信规约统一,不同厂家之间的设备可自由互操作,在线监测信息交互不存在问题。

本文基于IEC 61850提出一种IED监测及应用方案,以110 kV测控装置为监控对象,对设备状态进行实时监测和评估。110 kV测控装置在线监测对象主要为IED的通信链路状态、设备运行环境状态、设备资源和装置本体自检等信息。

1 监测信息模型扩展

IED在线监测和评估是建立在IEC 61850信息模型这一基础上的。IEC 61850对一次设备在线监测有较为详细的定义,对二次设备的监视仅支持温度、湿度等部分监测内容。随着嵌入式技术的发展,设备硬件可选择的需求设计多样化,用户逐渐关注设备、板卡和元器件的可靠性问题,对于这部分需求需进一步挖掘。

1.1 SV、GOOSE通信链路状态

变电站传统二次回路主要是由电缆与继电器组成,连接端子众多、分散,不易采用在线监测的方法。智能变电站二次回路多采用光纤连接,仅互感器与合并单元连接部分采用了电缆连接。

因此,通信链路状态监测的重点在于PT和CT断线、SV状态、GOOSE状态以及交换机状态。PT、CT断线以及SV状态和GOOSE状态的信息模型统一在GGIO扩充,扩充DO按Alm1, Alm2, Alm3…的标准方式实现。

交换机状态从其通信状态、运行环境、设备

资源和自检等四方面监视。

1.2 外部环境

设备运行环境是指设备所位于的二次设备屏柜或预制舱体等构筑物的内部温湿度、交直流电源电压等信息。机箱内部温度监视采用扩展的逻辑节点STMP,交直流电源电压监视采用逻辑节点SPVT。

1.3 设备资源

设备资源是指计算机类设备硬件的资源信息,包括CPU温度与负载、CPU工作电压、通信光口功率、内存使用率、磁盘存储空间和网卡流量等。其中,设备光口功率可采用通道光强监视逻辑节点SCLI,其余监测项基于IEC 61850标准扩展。逻辑节点SCPU实现计算机类设备CPU温度、工作电压和CPU负载率的监视与告警,逻辑节点SMEM实现内存使用率的监视与告警,逻辑节点SDSK实现硬盘使用率的监视与告警,逻辑节点SNTF实现设备网卡流量的监视与告警。

1.4 自检信息

各厂家IED均支持自检信息输出,是发现设备故障或异常的主要手段,但自检内容、数量均不一致。装置本身自检信息包括电源模块状态、AD采样模块状态、内部开出回路状态和时钟系统状态等。IED自检告警统一在GGIO中扩充,为各厂家自检内容的设定提供灵活性。

1.5 评估和配置信息

(1) 设备状态评估

状态评估逻辑节点ESTD是指根据设备通信链路状态、设备资源、自检状态和运行环境等多方面信息,分析设备趋势,综合评估设备状态,以判断是否影响正常运行,预测设备故障或异常风险。

(2) 配置文件监测

当设备配置文件发生变化时,设备主动上送最新配置信息至IED在线监测系统,在线校核配置文件。配置校核逻辑节点VCON实现配置信息监测与告警。

(3) 固件监测

固件是写入嵌入式装置FlashROM或EEPROM中的程序,是设备底层基础工作软件。现场维护检修时,有可能会遇到需要更新程序才能排除故障的情况。当设备数量众多,且布置分散时,可选用远程更新设备固件的方式。多间隔变电站测控、保护等装置的同类型号设备较多,可采用远程更新的方式。定义逻辑节点VFRW,以实时监视设备固件程序的版本号、更新时间等信息。

(4) 定值监测

智能变电站测控、保护等设备的定值维护可现场修改,也可通过调度主站发送命令,召唤和修改实现。定义逻辑节点MSET,以监视设备定值更新时间、定值单版本等信息。

(5) 入侵监测

二次设备通信网络化,设备有可能遭到非法侵入,严重影响电力系统安全。逻辑节点MINV监测非法侵入账号、IP、侵入账户权限、侵入时间、被更换的文件和修改的定值等信息。

1.6 110 kV测控装置信息模型

选取110 kV线路测控装置为IED在线监测研究对象,并根据本节扩充的信息模型重新构建了测控装置的信息模型。测控装置原有逻辑设备LD0、MEAS和CTRL,为实现在线监测功能,需增加一个监测逻辑设备MONT。MONT包括设备通信链路状态、运行环境、装置自检和配置等监测项目的逻辑节点,主要监测设备的CPU温度、CPU工作电

压、光口光强和内存使用率等关系到设备正常运行的项目。图1为增加监测信息逻辑节点后的测控装置逻辑节点。

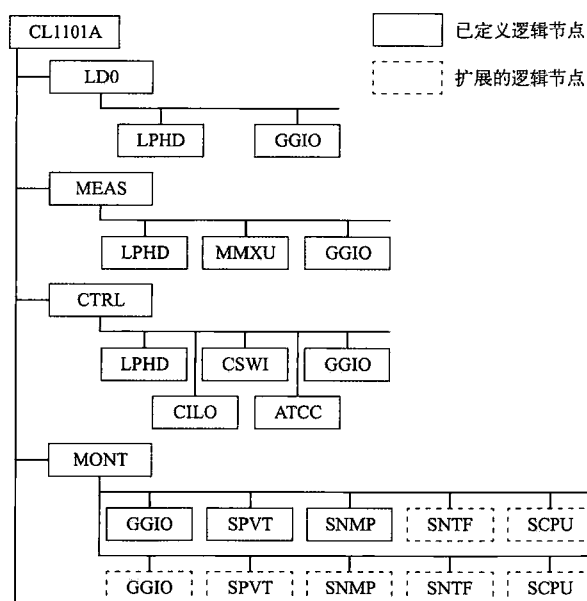


图1 测控装置监测信息模型

测控装置无须增加任何外部传感器即可实现对二次回路和自身运行情况的监视,并上传至二次设备在线监测系统。

2 在线监测系统架构

二次设备在线监测系统由若干测控装置和监控软件组成,可分为变电站监测子站和监测主站两部分,其中子站系统由站内各测控装置、数据通信网关机和通信网络构成,如图2所示。

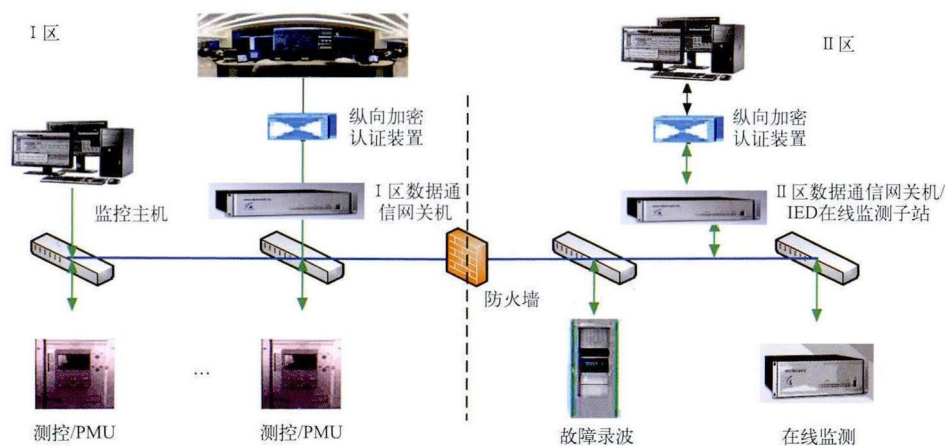


图2 二次设备监测系统架构示意图

2.1 监测子站

二次设备在线监测子站部署于Ⅱ区数据通信网关机。子站端各测控装置的ICD均包含设备通信链路状态、设备运行环境状态、设备资源、装置本体自检和设备配置的信息模型。子站SCD文件即包括所有测控装置状态信息的模型。将SCD文件导入状态监测系统，在其配置库中完成解析，各测控装置的CID文件即与SCD建立映射关系，可获取各测控装置监测信息。

在线监测子站系统根据获取的设备状态信息综合评价测控装置的健康状态，快速准确地将设备告警或故障信息发送至运行值班人员，以确定是否安排检修。

2.2 监测主站

各测控装置通过网络传输设备在线监测信息至子站，SV报文传输在线监测量测量，GOOSE报文传输状态量信息。监测主站模式适用于无人值班站及调控一体的运维模式。为支撑无人值班运行，在主站端部署IED在线监测主站，主站作为一个功能模块嵌入调度支持系统，集中监测设备运行状况。当测控装置运行正常时，不主动显示设备状态，功能隐藏，以免干扰调控人员的正常操作；当设备出现故障或异常时，主动报警。二次设备监测主站支持检索、调阅、综合分析、历史记录和日志等功能，为设备故障诊断提供接口。

2.3 主子站间通信

二次设备监测系统主站与子站间通信遵循IEC 61850 ASCII模型，采用MMS通信协议。

子站于Ⅱ区数据通信网关机建立虚拟IED，将全站实际测控装置监测数据映射至虚拟IED，虚拟IED与实际IED信息模型保持一致，主站通过域名访问各子站，即可对子站内各测控装置进行数据获取，实现主子站之间设备监测信息的数据交换。

3 在线监测系统功能

3.1 测控装置状态评估

测控装置监测量测量和状态量通过SV、

GOOSE报文同时输入二次设备监测子站，初步评估设备状态，分析设备状态信息发展趋势，评判设备或链路是否存在故障或异常。若存在异常，给出告警信号。

同时，子站端形成状态监测量测量数据集、状态量数据集和评估数据集，上送至主站，主站基于同类设备运行、故障和检修情况，综合评判设备健康状态，预估设备剩余寿命。

3.2 远程校核

远程校核是支持智能变电站远程运维的一个重要手段。系统通过远程召唤设备固件、配置和定值信息至主站实现校核功能。主站端远程检索设备配置信息、固件版本和定值单，召唤信息上送。当设备配置、固件和定值单发生变化时，则主动上送新的配置、固件和定值单。主站端记录测控装置近期若干个版本固件、配置和定值设置文件，将其与设备最新的固件、配置和定值文件进行比较，以确定是否出现异常。若出现异常，高亮显示出现异常的部分，并向系统操作人员发出告警信号，直至异常消除。

3.3 外部入侵监测

外部入侵监测为网络安全策略重要组成部分。测控装置具有入侵监测功能，在设备正常运行时启动，记录用户账户、访问时间、访问方式、查询和修改的内容等信息。在网络流量较小的情况下，将此类信息通过Ⅱ区数据通信网关机，上送至二次设备监测主站，并存储于主站端数据库。基于入侵监测功能，还可扩展测控装置高级监视、控制功能。

(1) 远程访问密码认证

系统为所有用户制定用户准入等级，并划分等级权限。当主站系统远程访问子站测控装置设备时，所有用户均需经过密码认证，测控装置执行用户能够操作的相关权限命令。

(2) 现场访问远程/离线授权

为保证设备和网络安全，采用两种方式规范现场访问：①当现场维检修人员需访问测控装置时，主站调控人员远程授权许可，现场运维人员

经主站端授权后才可登录访问并修改设备配置；
②具有相关权限的现场检修人员通过密码登录，并修改配置或定值。

(3) 非法入侵监测

系统记录非法入侵测控装置的用户账号和时间，监测、标识和报告异常用户的活动。通过分析异常用户的活动，及时查找入侵源，利于建立阻止远程和现场非法入侵的机制。

4 结束语

针对测控装置在线监测需求，开发了一套在线监测子站系统，以监测110 kV测控装置的运行状态，监测内容包括CPU温湿度、CPU负荷和硬盘使用率等，准确反映了IED主要元器件的运行状态，如图3所示。



图3 测控装置在线监测

更加完善的IED在线监测功能正在开发过程中，将应用拓展至合并单元、智能终端、保护和网络报文分析仪等设备。2013年末投运的部分新一代智能变电站实现了设备内部温度和光口光强的监视功能，定制单也可远程获取，但不支持入侵监测和调度中心主站远程获取设备配置和固件信息功能。若能够实现这些远程监测功能，将极大地提高智能变电站无人值班和调控一体的便捷性与可靠性。然而，设备固件和配置远程升级、远程更新等功能均需在Web环境下实现，当前Web功能在I/II区均被禁止，如何在电力信息网络安全框架下实现远程运维并保证操作的可靠性是需要突破的课题。

参考文献

- [1] 张晓华, 刘跃新, 刘永欣, 等. 智能变电站二次设备的状态监测技术研究 [J]. 电气技术, 2011 (4): 41-44.
- [2] 朱德恒, 严璋, 谈克雄, 等. 电气设备状态监测与故障诊断技术 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2009.
- [3] 秦建光, 刘恒, 陶文伟, 等. 电力系统二次设备状态检修策略 [J]. 广东电力, 2011, 24 (1): 24-27.
- [4] 张富刚, 韩丰收, 单瑞卿, 等. 电网二次回路分布式状态监测系统研制 [J]. 电力电容器与无功补偿, 2012, 33 (3): 57-60.
- [5] 徐长宝, 庄晨, 蒋宏图. 智能变电站二次设备状态监测技术研究 [J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43 (7): 127-131.
- [6] 王红星, 黄曙, 马凯, 等. 智能变电站间隔层设备在线式自我状态监测系统 [J]. 广东电力, 2013, 26 (10): 69-74.
- [7] 袁浩, 屈刚, 庄卫金, 等. 电网二次设备状态监测内容探讨 [J]. 电力系统自动化, 2014, 38 (12): 100-106.
- [8] 金乃正, 张亮, 章坚民, 等. 数字化变电站智能设备及网络在线监测与网络评估系统 [J]. 机电工程, 2015, 32 (5): 671-676.
- [9] 葛维春, 王芝茗, 顾洪群, 等. 一、二次设备状态监测信息融合及在PMS建设中的应用 [J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39 (21): 150-154.
- [10] 张金江, 郭创新, 曹一家, 等. 变电站设备状态监测系统及其IEC模型协调 [J]. 电力系统自动化, 2009, 33 (20): 67-71.
- [11] 王志华, 杜振华, 董志平, 等. 智能变电站网络风暴抑制技术研究 [J]. 电气工程学报, 2016, 11 (2): 40-46.

(收稿日期: 2016-05-16) EA