

一种智能电网集中在线监测系统的设计与实现方案

李俊达，薛 敏，徐红武

（国电南京自动化股份有限公司，江苏 南京 211100）

摘 要：随着智能电网建设的推进，高压全封闭组合电器（GIS）、智能开关、智能变压器等智能设备进入实用阶段，变电站设备的智能化程度越来越高。通过各种方法对设备进行状态的监测可以及时发现大部分的设备缺陷，对保证设备的安全可靠运行具有重要的意义。如何采取有效的措施集中对所有变电站的智能设备进行在线监测变得非常必要。本文针对香港中电电力的在线监测工程提出了对各个电压等级的智能变电站进行远方集中监测的系统设计方案，系统采用任务均衡设计，全网统一采用 IEC61850 规约与所有变电站进行通讯，主站系统多冗余配置，数据库采用面向对象建模，各进程具有多重容错功能，包含了实时状态监测、设备状态估计、设备告警、历史数据分析和保存、上级监测通讯接口、Web 浏览、故障恢复、安全访问等关键功能，对无人值守变电站的可靠运行提供有力保障。

关键词：智能电网；在线监测集控系统；任务均衡；面向对象建模；IEC61850 规约

0 引言

近年来，随着智能化变电站的迅猛发展，需要完善、先进和实用的在线监测自动化系统来保证，满足日益高度智能化的实时数据采集、处理、监视与告警的自动化系统需要。

本文以香港中电电力的在线监测工程为例提出了多智能站的集中在线监测系统的设计方案，其它地区将来类似工程设计可作为参考。

1 总体设计

1.1 需求

建立一套电力系统智能设备的在线监控系统，包括主站和子站，完成对400kV、132kV电压等级的SF₆绝缘开关（GIS）和33kV、11kV电压等级的空气绝缘开关（AIS）的监控，实现设备的远程监测、报警、记录等功能。

1.2 系统结构

如图1所示，在线监测系统由主站监测层和子站监测层构成，站间通过广域网使用IEC61850规约进行通讯。

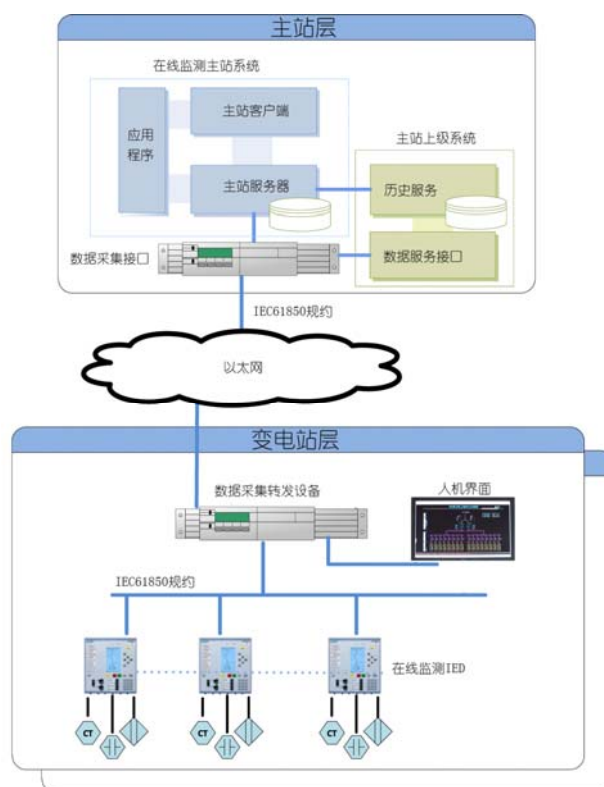


图1 在线监测系统架构

2 主站层设计

在线监测自动化主站系统是整个电力监测的重要组成部分，它需要承担起所有400kV、132kV 级变电站SF₆绝缘开关（GIS）及33kV、11kV 级变电站空气开关（AIS）重要信息的远方监测和控制工作，并进行设备的局放监控和装置运行监控。

2.1 硬件配置

设备配置情况如下：

SCADA服务器2台：负责采集各子站实时数据，系统数据处理，是系统与现场数据接口的关键部位。采用高品质、高性能、高可靠性的专用服务器，提供多种安全保护，以避免外界对服务器的破坏。为提高系统的可靠性，采用双服务器方式，互为热备用，可自动切换和人工切换。

历史数据服务器2台：在该服务器上安装大型商用数据库，获得最好的存取性能和更高的安全保障。开放、标准的数据库方便用户的二次开发及和其他应用系统的访问能力。每台服务器通过网络口与主干局域网相连，负责维护和存储系统实时数据；负责维护和存储系统历史数据。通过OPC接口，将系统数据传到PI商用实时库系统中。做为监控系统的核心，为提高系统的可靠性，采用双服务器方式，两台服务器互为热备用。

WEB服务器1台：WEB服务器上安装WEB浏览软件，通过镜像方式获得系统数据，WEB服务器能提供以下查询功能：实时数据、历史曲线、曲线分析、事项、报表、图形等。

PI实时库数据库接口服务器1台：安装OPC server接口，可以方便的与上级PI实时库系统进行通讯，可以根据需要选择发送预订的数据。

监测工作站1台：完成对变电站的实时监测。工作站主要提供人机交互界面，显示图形和实时数据、监测设备信息等。

维护工作站1台：供维护人员用来完成修改图形、修改系统数据库，监视系统运行工况、备份数据等一系列工作。可兼作数据代理服务器，作为维护人员备份数据用的工具。

开发工作站1台：配合服务器组，供研发人员用来完成二次开发，个性化程序定制等工作。同时配合测试服务器组进行程序测试。

主时钟设备(GPS) 1台：该时钟用于对在线监测系统对时，保证系统的时钟统一，为系统提供标准时钟、系统时钟和系统频率。在线监测系统能通过该GPS时钟的输出为系统各节点等提供统一的标准时间。

高速网络交换机2台：采用100M/1000M以太网双网。

2.2 关键软件的配置和开发

系统采用IEC61850通讯协议,实现四遥数据的采集和IED采集的波形在子站和主站的显示、存储、转发。主站对所有变电站的IED的监测波形进行2D和3D的显示，采用OPC服务器存储、转发到PI数据库，可以实现对历史数据和图形进行分析。与传统的集控站和调度系统相比，本在线监测主站的设计有一些关键的区别功能。

2.2.1 主站和子站的软件统一

在线监测主站连接少则几个，多则上百个智能变电站。为了减少配置的工作和减少出错的概率，统一设计主站和子站的软件，子站软件为主站软件的子集。

系统融合了并行的实时对象数据库、大型关系型数据库、广域网架构、开放式体系等新技术，性能高效，功能完备，用户界面友好易用。系统是由主机以及若干工作站通过双 1000M 以太网方式连接而构成的分布式系统，从软件功能分布上可分为数据库服务功能、前置采集功能、操作控制功能及监视功能等主要模块，各个模块既可以同时在一台机器上运行，也可以分布到不同的机器上运行。系统可根据需求，灵活地采用单机、双机、多机等组合方式。

主站和子站采用相同的配置数据库软件，所有的配置数据全部保存到配置数据库，包括画面，自定义菜单等，这样的好处是画面只需要画一次即可用于子站和主站，如果配置数据的结构也一致的话甚至整个画面图元与配置库的关联也可以同步复制，这样主站和子站的数据库和画面配置可以只进行一次。实时数据库根据配置数据库的数据自动生成的，每一个节点机都具有完全同步复制的面向对象的实时数据库服务。实时库的内容可以根据节点机所承担任务的数据需求进行裁剪。节点机停运一段时间重启后能与最新的实时数据库自动同步。

系统采用了多点传送消息机制，有别于其他采用全网广播的方式，大大减少了系统对局域网带宽的占用。每一台节点机上都具有实时数据库服务，使得调度员站的人机界面速度更快。由于实时数据

库可以直接从本地访问，与传统系统相比，总计算负荷可以更容易地分布到各个节点机上。另外，并行的实时数据库隐藏了进程运行的界限，实现分布式容错配置就更加容易。

这种设计减少了配置人员的工作量，减少了局域网通信量和带宽要求，具有更快的人机界面，可以轻松地完成系统的维护工作，具有更高效的处理结构，具有更强大的系统构建手段，适应大、中、小各种规模的系统，关键是可以使系统经过配置同时应用于智能化变电站。

2.2.2 负载均衡解决方案

系统在一般的本机自检自恢复功能基础上，开发了多冗余功能，进一步提升了整个系统的容错能力。所有的应用服务进程不仅具有一个运行进程，还有能完成同样功能的负载均衡进程运行在其他节点机上。这样，如果一台节点机出现故障，其它节点机的相同进程能按照预先定义的优先次序迅速接管故障节点机承担的任务。系统这种多冗余功能，达到了各个计算机之间进程级的多后备自动切换和负载均衡，系统中任何服务进程停运都不会影响系统的正常运行，具有极高的可靠性。任何的应用进程都可以根据需要，配置在不同的节点机上分布运行，无需固定在某个节点机上，做到有效平衡系统负载。这大大提高了系统的性能价格比，最大限度的避免了系统的瓶颈问题。

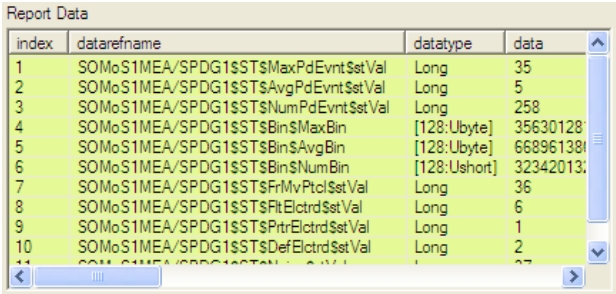
2.2.3 IEC61850 客户端开发

作为智能电网在线监测系统，IEC61850规约接入必不可少。在线监测系统的IEC61850客户端通讯进程的设计与普通数字化变电站的监控系统类似，有所区别的是会增加一些数据类型。

传统数字化变电站采集的数据包括遥信量、遥测量、电度量、带时标的变位信息等几种。在线监测

系统将会增加一种新的类型——波形数组。由于在线监测装置的采样的实时性要求并不高，所以并不需要采用IEC61850 9-2的采样值传输协议，而是采用传统的报告控制块来刷新采样即可。

此处以韩国PSD公司的GIS/AIS在线监测装置PDM为例，说明这种新的信息格式^[1]。此装置的报告控制块会同时上送普通的遥测量和波形数组，10s会上送一次。波形的数据类型为[128:Ubyte]或者[128:Ushort]，数据为128个值的数组，如图2。



index	datarefname	datatype	data
1	SOMoS1MEA/SPDG1\$ST\$MaxPdEvt\$SetVal	Long	35
2	SOMoS1MEA/SPDG1\$ST\$AvgPdEvt\$SetVal	Long	5
3	SOMoS1MEA/SPDG1\$ST\$NumPdEvt\$SetVal	Long	258
4	SOMoS1MEA/SPDG1\$ST\$Bin\$MaxBin	[128:Ubyte]	35630128
5	SOMoS1MEA/SPDG1\$ST\$Bin\$AvgBin	[128:Ubyte]	66896138
6	SOMoS1MEA/SPDG1\$ST\$Bin\$NumBin	[128:Ushort]	32342013
7	SOMoS1MEA/SPDG1\$ST\$FrMvPct\$SetVal	Long	36
8	SOMoS1MEA/SPDG1\$ST\$RtElctrd\$SetVal	Long	6
9	SOMoS1MEA/SPDG1\$ST\$PrtElctrd\$SetVal	Long	1
10	SOMoS1MEA/SPDG1\$ST\$DefElctrd\$SetVal	Long	2

图2 GIS/AIS在线监测波形数据

客户端进程在处理这种数据类型时需要进行区别对待。可以将这些波形数组以自定义文件的形式直接保存进历史数据库，供分布式分析软件和图形显示模块调用。

2.2.4 IEC61850 服务器端开发

由于需要把采集的数据经过筛选转发给上级监测系统，IEC61850服务器程序必不可少。

服务器的开发可以参考SISCO的MMSLITE开发包的例子，关键是配置文件的配置和生成^[3]。可以把配置数据库里的需要转发的数据进行整理，以变电站内每个实际IED为一个逻辑设备组成一个CID文件供服务器程序使用。这种方法已在北京和天津多个数字化站测试通过。

2.2.5 在线监测数据处理、显示和分析

在线监测数据的分析和处理是在线监测系统的重要组成部分。系统设计时考虑到可能连接的智能变电站数量庞大，因此数据的分析处理安排在本站的监测系统内完成，分析结果通过IEC61850服务器上传到主站。

变电站内的在线监测系统实时采集波形数据，可进行定时或自定义启动数据分析。多组数组信息根据时间的叠加可以生成类似如图3的图形。左图为悬浮颗粒局部放电时不同时间的幅值和相位柱形图，右图为侧视图，显示了累计时间内的放电图。

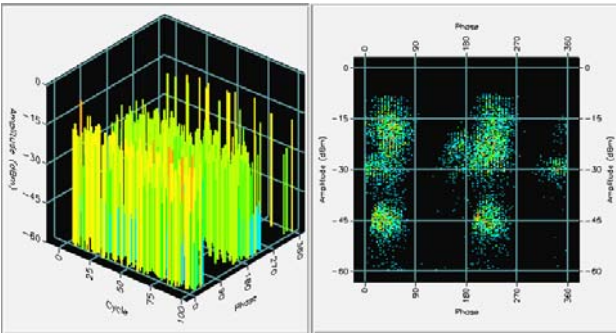


图3 多组数组信息叠加图

3 子站层设计

作为子站监控层，主要功能是监测本站内的设备的状态，并为主站监控系统输送信息。根据具体的通讯框架模式，子站监控系统与主站自动化监控系统之间的数据传送模式和互相备用监控的模式有所不同。

变电站GIS状态监测系统包括局放监测IED、开关状态及SF₆气体状态在线监测IED（包括断路器机械特性和SF₆气体密度监测功能），在GIS本体上安装的传感器包括局放UHF传感器、合分闸及电机回路电

流传感器、断路器机构位移传感器、SF₆气体密度传感器等。其中局放监测IED接受局放UHF传感器传递的局部放电信号，并进行处理判断是否属于放电。开关状态及SF₆气体状态在线监测IED接受合分闸及电机回路电流传感器和断路器机构位移传感器传递的电流和行程数据并进行处理。SF₆气体密度传感器直接发送数据给开关状态及SF₆气体状态在线监测IED。局放监测IED和开关状态及SF₆气体状态在线监测IED进行就地综合分析及存储数据，并通过IEC61850规约将分析后的信息上传到变电站站控层的采集分析系统。每隔24h 将轻量级评估结果信息“设备唯一性标识、故障部件（如气室、操动机构）、故障模式、故障几率”向站控层报送一次^[3]。

变电站AIS局放状态监测IED通过在AIS本体上安装的传感器包括局放TEV和超声波传感器，应用暂态地电压法进行局放的监测，同时定时把监测结果发送到站内在线监测系统进行综合分析。

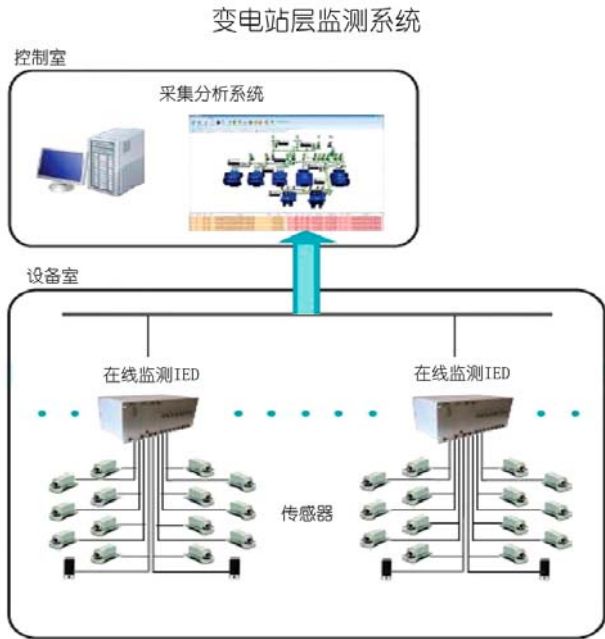


图4 变电站的监测系统示意图

3.1 硬件配置

设备配置情况如下：

数据采集和转发服务器2台：负责采集变电站的所有IED的信息，对信息进行分析和显示。采集的常规数据和分析的结果通过IEC61850服务器发送给主站。

监测工作站1台：安装在线监测系统一套。维护人员可以通过监测系统实时了解各IED设备运行情况。

3.2 软件配置

子站监测系统类似于主站，用于采集采集所有IED和RTU的信息，经过分析后显示。监测系统可运行于Windows、Linux、Unix等多种操作系统，硬件以工作站为主，软件设计中采用了分层设计、组件化、标准化、开放式的软件开发思想，提供了可靠、安全、易于操作的监测系统平台，支持大规模实时数据处理，适用多电压等级的变电站在线监测。

传统监测系统的设计，采用的是集中服务器采集控制的模式，直接把IED采集的信息上送到中心监测系统，在目前计算机硬件、网络通信产品日益发展的今天，能够满足SCADA 实时监控的需要，但这种集中式的处理方式也有一个明显的不足：在监控点数量庞大的大型中心监测系统中，监测主服务器需要集中处理的数据量过于庞大，造成系统负荷率居高不下，系统性能指标明显下降；同时，由于需要处理的数据必须集中到实时运行的主服务器上，造成与主服务器连接的网络链路十分繁忙，虽然目前快速以太网达到 1000M 的带宽，但在数据流量太大的情况下，可能会出现拥堵或延迟现象，仍会造成不利影响。

本系统的设计上，着力克服以上缺点，不仅在应用上分布，还采取分组、分层的设计模式，真正实现全系统的服务、应用的分布式处理，把采集结果分析处理后再把结构上送到主站，主站需要初始数据时再选择上送，减轻了上级监测系统的负荷，可以极大的提高超大型监测自动化系统的实时数据处理性能和能力。

4 结论

本设计在国内传统监控系统成熟方案的基础上，遵循电力系统的设计要求，使用二级分层，分布式系统框架，一体化的软件设计。

通过集中在线监测系统可以建立起运行、监测与可靠性状态的分析方法、趋势预测；建立起变电站设备机械和电寿命的评估方法，提升设备可用率；可进行故障预案、设备投/退决策管理；将相关数据平稳安全接入数据交换系统中；为后续的大量集中在线监测投入运行做好示范。

参考文献：

- [1] PDS. AMoS 3.0 GIS 局部放电在线监测装置说明书[Z].韩国: PDS,2010.
- [2] SISCO. MMS-EASE Lite Reference Manual Revision 14 [Z].美国: SISCO,2008.
- [3] INCON. NS-OPTImizer+ 断路器监测装置说明书[Z].美国: INCON,2010.

作者简介：

李俊达（1984-），男，浙江人，软件设计师，从事电力系统通讯、调度及配网自动化系统、在线监测系统开发相关工作，E-mail: ljds@mail@163.com；

薛 敏（1966-），女，江苏人，高级工程师，从事电力系统通讯、调度及配网自动化系统、在线监测系统开发相关工作，E-mail: xuemin@sac-china.com；

徐红武（1980-），男，安徽人，从事电力系统通讯、调度及配网自动化系统、在线监测系统开发相关工作，E-mail: stu-china@126.com。