

智能变电站自动化系统新方案的探讨

杨志宏^{1,2,3}, 周 斌^{1,2,3}, 张海滨^{1,2,3}, 姚 成^{1,2}, 翟明玉^{1,2,3}

(1. 南瑞集团公司(国网电力科学研究院), 江苏省南京市 211106; 2. 国电南瑞科技股份有限公司, 江苏省南京市 211106;
3. 智能电网保护和运行控制国家重点实验室, 江苏省南京市 211106)

摘要:分析了智能电网对智能变电站自动化系统的需求,研究并提出了一种智能变电站自动化系统新方案,其应用间隔纵向集成技术减少保护、监控功能实现环节,提高系统可靠性和易维护性;采用网络并行冗余协议提升站内信息传输可靠性和标准化程度;应用面向服务的监控功能提升变电站和调控中心间的信息共享和协调互动水平。阐述了该系统的关键技术,并展望了其应用前景。最后,讨论分析了系统推广应用时可能存在的一些问题。

关键词:智能变电站;纵向集成间隔设备;并行冗余协议;面向服务

0 引言

变电站是电力网络的节点,变电站的智能化运行是实现智能电网的基础环节之一^[1]。2010 年至今,智能变电站经历试点建设,进入推广阶段。截至 2015 年底,已建成智能变电站 2 400 多座。目前智能变电站技术方案日臻成熟,技术标准不断完善,关键研制成果显著^[2]。

自动化系统作为智能变电站的核心环节,其功能分布、网络结构、与调度间的信息交换方式对于智能变电站的建设至关重要。智能变电站自动化系统普遍按照过程层、间隔层、站控层三层结构建设,同一层中横向功能的集成已有较多研究^[3-4],间隔层多功能测控装置、110 kV 保护测控集成装置、过程层合并单元智能终端集成装置已在智能变电站工程中得到应用。但跨层的纵向整合研究较少,过程层和间隔层间基本采用直采直跳或网络方式进行传输,间隔保护或测控功能实现环节较多,延时略有增加,系统可靠性有待进一步提高。

自动化系统的网络冗余方式通常采用基于双星形独立子网的冗余通信^[5-6],实现方式较灵活,硬件要求低,但标准化程度低,应用层处理复杂,难以实现无缝切换,亟待研究采用新的标准化网络冗余方式。

与主站通信方面,自动化系统目前主要通过基

于转发点表的远动通信规约上送电网运行信息,难以满足信息全网共享和分布式应用支撑的需求,国内有研究采用 IEC 61850 标准作为变电站远传协议方式,以解决站内实时数据和信息模型的远传问题^[7],但目前 IEC 61850 标准体系中缺少变电站与主站间的通信规范,也没有提出对分布式应用的支撑。

为适应智能电网的发展要求,有必要认真思考智能变电站自动化系统的功能分布、网络冗余、信息共享、远程交互等技术,探索新型智能变电站自动化系统体系架构,促进智能变电站技术的进一步发展。

1 需求分析

作为智能电网最为重要的基础运行参量采集点、管控执行点,智能变电站应满足电网安全、稳定、高效运行的需求,满足无人值守需求和设备全寿命周期内易于运行维护管理的需求,支撑调控一体化运行,提高整个电网运行可靠性及经济性。

1.1 系统安全可靠

保护、监控功能的安全可靠是变电站自动化系统的核心。目前智能变电站保护、测控功能实现环节较多,由过程层合并单元、智能终端,间隔层保护、测控装置,以及通信环节等共同完成,整体响应时间较长,可靠性和速动性相对于传统保护和测控略有下降。不同功能之间还存在部分横向耦合,如合并单元耦合了保护和测控数据采集功能,智能终端耦合了保护和测控开入和开出功能,若合并单元或智能终端故障,将同时影响保护和测控功能的实现。因此,需要从减少功能实现环节和功能解耦的角度

收稿日期: 2015-08-25; 修回日期: 2016-05-11。

上网日期: 2016-05-30。

国家电网公司科技项目“间隔纵向集成、网络并行冗余的智能变电站二次设备及系统研究与应用”。

出发,探讨装置和功能更加科学的分布方式,提高功能实现的可靠性和快速性。

通信环节可靠性直接影响着整个变电站自动化系统的稳定和安全运行。为提高智能变电站网络可靠性,常用方案是配置独立的双网实现冗余。目前,国内自动化系统双网冗余方式标准化程度低,不同厂家实现方式不同,且难以实现无缝切换,可靠性、互操作性等都有待提高。需要研究新的双网冗余机制,实现标准化的无缝网络切换。

1.2 信息全网共享

信息是实现电网运行控制的基础,作为信息源,智能变电站采集了大量的信息^[8]。限于远动通信规约传输容量和调度系统数据容量,智能变电站无法远传所有数据。现有主子站信息交互方式已成为提高电网运行监视及控制水平的瓶颈,限制了调度运行人员对变电站设备的监控能力,难以进一步提高电网运行控制水平。如何实现智能变电站信息的按需传输,向调度主站提供更全面、更有效的变电站设备运行信息,是智能变电站自动化系统的核心需求之一。

1.3 分布式应用支撑

智能电网新技术的发展促进了电网分布式应用的发展^[9-10]。目前国内外已开展了一些相关的研究,如分布式状态估计^[11]能够更好地解决基础数据问题,提高电网应用的可靠性。分布式智能告警^[12]应用能够更高效地处理电网故障,缩短故障恢复时间。由于调度与变电站长期以来一直分立建设,缺少统一设计,使得分布式应用的应用策略、交互接口等不统一,造成智能变电站的现有应用尚未与调度主站相应应用实现广域协同。电网分布式应用的核心需求是调度主站与智能变电站自动化系统之间应用的广域协同。

1.4 系统维护可视化

智能变电站将传统变电站大量的电缆回路转换为网络虚回路,简化了二次回路设计,但由于缺乏直观有效的展示手段,运行维护人员无法掌握全站的二次虚回路、物理链路和装置间的关联关系。当变电站进行改扩建或更换设备时,由于需要更新变电站配置描述(SCD)文件,不容易界定调试检修范围。二次回路故障定位也较困难,给紧急处理的快速性和检修的效率带来一定影响。因此,有必要从简化系统运行、维护和管理出发,适应现有的运行维护体系,减少装置数量和虚端子数量,降低虚端子关联复杂度,提高系统的易维护和易扩建能力,对现有变电站设备进行科学的整合和集成。

2 系统架构

2.1 体系架构

为实现上述需求,本文探讨了一种新型变电站自动化系统实现方案,其将线路间隔的部分间隔层设备和过程层设备进行了纵向集成整合,系统网络采用并行冗余协议(PRP)实现双网,监控功能实现面向服务统一设计。该方案可以减少功能实现环节和虚端子数量,提升网络冗余性能和变电站对各级调控主站的支撑能力。典型的 220 kV 智能变电站自动化系统结构如图 1 所示。

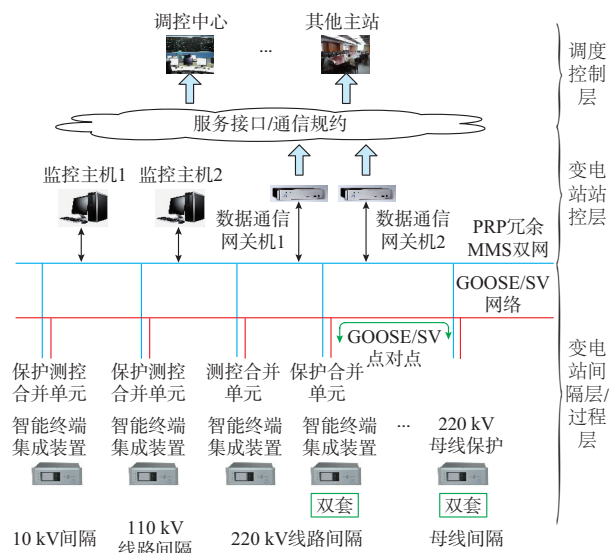


图 1 220 kV 新型智能变电站自动化系统架构
Fig.1 Architecture of 220 kV novel smart substation automation system

间隔层和过程层功能进一步集成优化的显著优点是可以减少设备数量、功能实现环节、配置工作量以及保护、自动化专业的功能耦合,这些都会显著地提高系统可靠性、快速性、易维护性。

PRP 是国际标准的网络冗余协议,可以实现双网信息的无缝切换,提高设备冗余实现的标准化和互操作性,保证智能变电站信息的实时传输,提升系统的安全可靠性。

站控层设备是面向主站提供支撑服务的关键设备,与调控主站整体采用面向服务的体系架构(SOA),基于智能电网调度控制系统的底层平台技术,可以解决信息交互手段匮乏、应用协同困难问题,有效提高变电站对主站的支撑能力。

2.2 纵向集成的间隔设备

纵向集成的间隔设备是将线路、母联等间隔的过程层合并单元、智能终端功能和间隔层保护、测控功能进行集成,在一套装置中实现采集、保护逻辑或测控计算、出口输出。该装置通过制造报文规范

(MMS)协议和站控层设备进行通信,通过“点对点”或网络方式向变电站其他设备输出采样值(SV)报文和面向通用对象的变电站事件(GOOSE)报文,并接收变电站其他设备的 GOOSE 控制报文,进行出口控制。如此,可以减少保护、测控功能实现环节,提高就地保护速动性和可靠性。母线差动保护可以通过“点对点”方式通过 GOOSE 或 SV 报文和间隔纵向集成装置通信。站域保护、备用电源自动投入装置、安全稳定控制装置等跨间隔的二次设备,则可以通过网络方式接收由间隔纵向集成装置采集的开关量和模拟量,并通过过程层光口,以网络方式将控制输出传输至面向间隔的保护或测控装置中,实现对间隔的跳合闸和控制操作。

一个典型的 110 kV 线路间隔纵向集成装置配置示意图如图 2 所示。其集成了本间隔合并单元、智能终端、保护、测控功能,实现保护、测控所需的电气量的采集,以及与保护和测控相关的开关量采集和控制输出,并通过过程层接口与其他装置通信,实现 SV 发送和 GOOSE 信息交互,站控层接口不变。

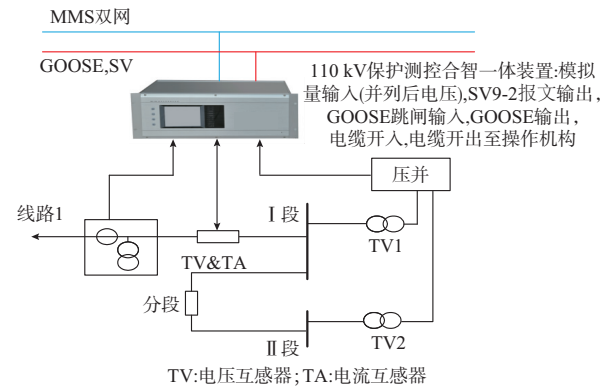


图 2 110 kV 线路间隔纵向集成装置

Fig.2 Bay vertical integrated device for 110 kV transmission line

220 kV 及以上的高压线路间隔一般要求保护、测控在不同装置中实现。可以将保护、测控功能进行解耦,分别研制新型多功能保护装置和多功能测控装置。新型保护装置集成保护相关的合并单元和智能终端功能,测控装置集成自动化相关过程层功能。如此可以实现保护、测控功能解耦,便于运行维护管理。

2.3 并行冗余的通信网络

PRP 是 ABB 公司首先提出,IEC 62439-3^[13] 规定它的实现方式,其使用遵从 PRP 的双连接节点(DANP)执行冗余。PRP 的网络冗余是在链路层实现,可以实现双网的无缝切换,同时易于实现标准化,利于不同厂家设备的互操作。IEC 61850 第 2 版

核心标准^[14] 和技术报告^[15] 都推荐采用 PRP 实现双星形网冗余,ABB、西门子等国际知名公司已经进行了多次互操作试验。

2.4 面向服务的监控功能

面向服务的监控功能统一设计了标准化的底层平台,改变以往调度与变电站系统的单一性交互手段,设计了各种交互服务,并采用面向服务的广域服务总线,实现纵向的服务灵活调用和信息互联互通,为调度与变电站系统的各类分布式应用协同提供了支撑,提高了调度与变电站的标准化、一体化和互动化水平。在此架构基础上,对目前智能变电站的应用功能进行分析和总结,按照分布式一体化原则来设计和开发面向服务的变电站应用功能,实现调度与变电站之间广域协同的分布式一体化应用。系统架构具有良好的动态可伸缩性,既有能力支撑已有的应用,也可以方便地支撑新的业务功能,适应未来发展的新需求。

系统底层采用智能电网调度控制系统的平台技术,在变电站建立与调度统一标准、统一技术的统一平台,包括通信总线、历史数据库、实时数据库、基于文件的数据存储与管理、数据统一访问接口、系统管理、权限管理、模型管理、人机界面、安全防护等模块。统一平台具有标准、开放、可靠、安全的技术特征和良好的适应性,向监控系统上层各类应用提供支持和服

务。基于与调度统一标准、统一技术的平台,系统建立面向变电站监控业务的各类基本应用和分布式应用,它们在通信总线、数据总线和各种平台服务模块的支撑下完成各自的应用功能,并有机地集成在一起,形成一个功能齐全、可靠稳定的站内监控系统。基本应用模块是系统完成基本监控功能的一些应用模块,包含数据采集、数据采集与监控(SCADA)处理、远动通信等模块。分布式应用实现对系统采集的各类数据进行综合分析处理以及完成高级控制功能,并通过交互服务与调度主站进行信息交换,实现调度与变电站两级分布式应用功能。

系统面向调度与变电站之间的信息按需共享和分布式应用信息交互需求,建立了面向调度的变电站各类支撑交互服务,包括状态估计服务、顺序控制服务、智能告警服务、远程画面浏览服务、模型服务、历史数据查询服务、安全认证服务等,支撑调度主站全网状态估计、综合智能告警、远方顺序控制、远程浏览、历史数据查询等应用功能,为调度与变电站的广域应用协同奠定技术基础,支撑调度主站对变电站的全景观测。

3 关键技术

3.1 面向间隔的纵向集成装置实现技术

纵向集成装置集成了合并单元、智能终端、保护、测控等功能,对装置的硬件、软件提出了更高的要求。需要研究高性能微处理器和可编程逻辑器件,提高数据运算和处理速度。同时需要研究装置内部不同智能模块间高速数据交换技术,基于低压差分信号(LVDS)的同步传输技术、基于串行器/解串器(SERDES)的串行传输技术和基于标准以太网的交换式传输技术各具特色,可以根据实际需求选择其中一种方案。

针对 220 kV 及以上纵向集成装置,需要解决 220 kV 间隔的合并单元、智能终端、保护功能的整合方法,以及如何利用最短最优的信息流路径,充分提高采样和动作响应速度,提高装置可靠性和设备性能。

针对 110 kV 及以下纵向集成装置,需要集成具有采集、控制、测量、计量、监测及保护功能,还需研究高精度量测算法的整合方法,以满足计量和监测的数据精度要求。

二次设备就地化技术也是技术难点。通常,纵向集成装置需要安装在一次设备附近,需要解决一系列就地下放的技术难题,包括研究强电磁场干扰环境、恶劣的气候环境及振动、粉尘条件下的防护措施。

3.2 基于 PRP 的网络冗余技术

对于装置类设备,需要研究基于 PRP 的网络接口模块,实现 PRP 的 DANP 功能;对于站控层服务器类设备,需要研制支持 PRP 的 PCIe 接口插卡。

在 PRP 网络中不易实现基于 IEEE 1588 的精确对时。IEC 62439-3 给出了基于 PRP 的 IEEE 1588实现原理,对于硬件及软件要求较高。需要研究基于 PRP 的 IEEE 1588 对时机理,研究基于现场可编程门阵列(FPGA)技术的精确对时实现方式。

目前国内的智能变电站中 220 kV 及以上电压等级的过程层设备及网络广泛采用双套冗余方式,考虑建设成本不必采用 PRP 实现网络冗余。在站控层网络实现 PRP 只需改造间隔层设备的网络接口,同时将站控层服务器类设备的网卡改为基于 PCIe 的 PRP 插卡,对建设成本影响不大。

3.3 基于服务的主子站远程交互技术

区别于传统远动通信规约仅考虑传输效率,基于服务的主子站远程交互技术还需要考虑通信的扩

展性和安全性,不仅要满足当前主子站间信息共享和应用协同问题,还需满足未来新的需求。

参考目前网省调主站之间的服务总线通信,主子站远程交互可采用基于 SOA 的广域服务总线,设计上需要满足调度主站与变电站之间电力实时监控环境要求,纵向上能够贯通各级调度和变电站系统,横向上能够贯穿变电站三个安全分区,以实现纵向和横向的服务灵活调用和信息互联互通,为各类一体化协同应用服务的研发提供支撑。基于服务的主子站远程交互如图 3 所示,在变电站侧要建立各种主站需要的基本服务和应用服务,而主站侧不仅要建立各种服务调用,还要建立各种服务管理,负责变电站各种服务的注册、定位以及监控的统一管理。

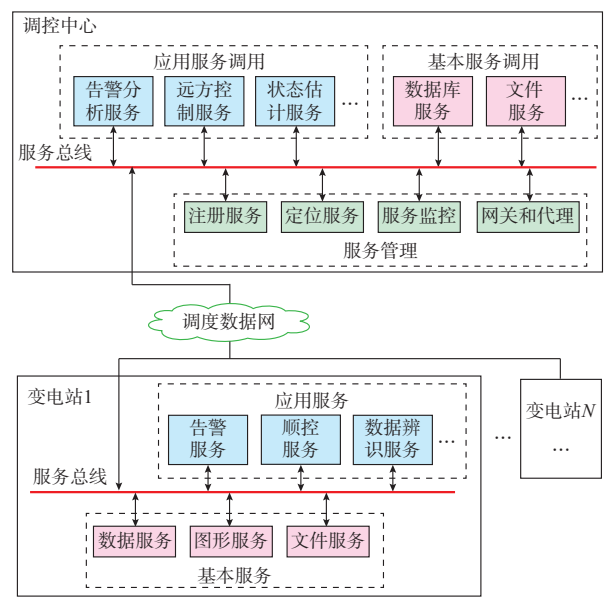


图 3 SOA 的主子站远程交互
Fig.3 Remote interaction between substation and control center based on SOA

由于主站采用双网级联架构,子站采用双网不级联架构,广域服务总线需要同时满足两种架构的传输控制协议(TCP)通信机制,实现在调度与变电站间高效、可靠和安全的 TCP 通信。该机制采用基于组播的链路状态监测与 TCP 通信方法,包括组播报文监测、智能网卡选择、实时状态判断和未知节点过滤^[16]。

此外,安全性也是主子站远程交互的重要方面,特别是远方操作与运行维护的安全能否保证已成为支撑变电站无人值班的关键问题。在传统纵向加密认证的基础上,需要进一步研究主子站一体化纵深安全认证策略,建立主子站间数字签名、权限认证等二次安全防护机制,保障主子站远程交互安全。

3.4 变电站远方全景观测技术

变电站无人值班以后,变电设备运行监视都在远方实现。理想条件下,变电设备远方运行监视应达到有人就地值班时运行监视水平,仅设备故障时去现场处理环节上有时延。但实际上,由于受变电站自动化程度和主子站信息交互限制,变电设备远方运行监视还达不到就地运行监视水平,已成为影响变电设备运行安全的重要因素。因此,研究变电站远方全景观测技术,提高变电设备远方运行监视水平,是保障变电设备运行安全的关键手段之一。

变电站远程全景观测技术可分为站端全景数据的统一采集、处理和分析,以及调度主站按需调阅方法和机制两方面。站端全景数据的统一采集、处理和分析是实现远方全景观测的基础,全景数据应包含变电站有人值班时运行监视相关的所有数据。随着智能变电站建设的深入发展,变电站全景数据将在站端实现统一采集和存储,但由于变电站全景数据量过大,还需要进一步研究站端一、二次设备状态监测技术,对全景数据进行统一的分析和预处理,平常只传输设备运行状态分析结果信息至远方,而不是直接传输全部的全景数据。

另一方面是研究设备故障时远方按需调阅变电站全景数据的方法。基于广域服务总线技术,研究变电站历史数据查询服务、远程画面浏览服务等各类支撑服务,支持远方按需调阅。

3.5 电网分布式应用技术

电网分布式应用是一种新型的应用架构,可以解决由于信息分布造成的调度集中式应用性能和可用性问题,有效提高电网运行控制水平。相比于传统的调度集中式应用,电网分布式应用实现上更为复杂,需要重点研究分布式应用策略和主子站应用交互机制。

分布式应用策略需要统一设计才能发挥优势,要既能利用变电站的数据冗余性和快速处理能力,又能利用调度主站的全局性和经济性,形成主子站应用的互补,而不是简单的重复处理。例如分布式状态估计,可以在变电站建立拓扑错误辨识服务,充分利用站内多源冗余的三相量测,快速辨识修正错误的开关位置遥信^[17],为调度状态估计提供正确的网络拓扑,从而提高全网状态估计结果的可信度和准确性。

基于分布式应用策略,电网分布式应用还要重点研究建立主子站应用交互机制,通过建立子站端应用服务,与调度主站应用通过广域服务总线实现

协同。根据具体策略进行应用信息交互接口设计,如订阅发布接口、请求响应接口等。

3.6 系统维护可视化技术

对变电站自动化系统实施在线可视化仿真调试技术研究,可加快设备调试和系统联调的进程。该技术研究包括以下内容:GOOSE 报文在线监听、GOOSE 报文在线仿真、SV 报文在线监听和可视化调试等。

为了检查二次装置是否发出了 GOOSE 报文以及报文内容是否正确,需要对 GOOSE 报文进行在线监听。为提高调试的智能化水平,需要在解析报文的基础之上,根据模型数据,进行报文数据正确性的判断,并对错误数据给出提示,帮助调试人员快速查找错误。

有时在联调阶段会出现装置或调试仪器不能及时到位的情况,为了保证调试进度,可以利用计算机软件作为替代,仿真装置发送 GOOSE 报文。若是基于模型数据,则调试人员可根据调试需要,方便地设定需要仿真的若干装置所发送的报文内容。

在对 SV9-2 报文进行监听时,由于缺乏与模型数据等实际调试情况的关联性,现有计算机软件分析 SV9-2 报文的结果不够直观。为了更有利于调试人员观察数据,可以在解析报文的基础之上,结合模型数据和调试设置,显示报文数据,包括各个被监听通道的幅值、相位差、品质等信息。

为了方便调试人员对新型二次设备和系统进行调试操作,利于观察调试过程和结果,可视化技术需要运用在仿真调试的过程之中,让调试人员能够方便地启动调试、实时观察数据,以及调试过程中出现的异常情况。最终达到仿真调试操作步骤简单、各种显示效果简洁直观、功能实用的效果。

4 应用分析

目前,纵向集成装置已在中低压等级得到推广应用。在新一代智能变电站建设中,35 kV 及以下多合一装置已实现了面向间隔的纵向功能集成,融合了保护、测控、合并单元和智能终端功能,已在国家电网公司 6 座新一代智能变电站示范工程中应用,并将在国家电网公司 50 座新一代智能变电站扩大示范工程中推广应用。这些实践为 110 kV 及以上面向间隔的装置实现纵向集成功能奠定了良好的实践基础。附录 A 图 A1 是北京 110 kV 海鹞落智能变电站 NSR-3641 多合一保护测控装置接线示意图,该装置集成了低压保护、测控、合并单元、智能终

端等功能,将采集的开关量、模拟量通过过程层交换机发送给站域保护装置,实现功能的纵向集成。

智能变电站与调度主站之间的信息共享和应用协同问题已引起广泛重视,国家电网公司正在制定相关的服务接口规范。随着相关标准规范的发布,监控面向服务的变电站二次系统将得到广泛应用,为调控一体提供坚实的技术支撑。附录 A 图 A2 是江苏某 500 kV 变电站与调度主站间基于服务的主子站模型同步传输示意图。

设备的维护可视化目前已取得初步成果。间隔层和过程层设备的信息(包括保护设备状态和动作信息等)已可通过调试工具和监控系统进行实时展示,并已在新一代智能变电站试点工程中得到应用,为设备维护可视化提供了技术支撑和实践基础。附录 A 图 A3 是某 220 kV 智能变电站虚端子可视化展示图。随着设备信息可视化程度不断提高,变电站网络信息可视化不断拓展,基于全站信息的可视化将最终实现,为全站设备维护智能化和可视化提供了良好条件。

5 讨论

本文提出的变电站自动化系统新方案的推广应用还需要探讨以下问题。

1)纵向集成装置的安装方式。集成装置的安装有户外柜、预制舱、小室等方式,各有利弊。户外柜占地少、电缆短,装置运行环境相对较差,运行维护不便。智能变电站合并单元、智能终端普遍采用户外柜安装方式,本文介绍的纵向集成装置和它们类似,可以采用该安装方式。预制舱占地较少,环境保护能力好,运行维护条件也相对好一些。小室安装电缆相对较长,装置运行条件最好,便于维护。考虑二次设备在全站的成本比重、重要程度及全寿命周期可用性,小室安装也值得考虑采用。目前,国家电网公司正在开展就地化无防护安装设备的关键技术研究,目标是实现二次设备的无防护安装与更换式检修,为纵向集成装置的就地化安装提供了一种新的解决方案。

2)母线差动保护和间隔纵向集成装置的关系。该方案母线差动保护依赖于间隔集成装置,其采样值输入和状态量输入来自集成装置,控制输出发给间隔集成装置执行。它们的关系类似于母线差动保护和合并单元、智能终端的关系。需要探讨的是间隔线路保护检修对于母线差动保护的影响。110 kV 线路通常采用保护单套配置,线路主保护检

修一般会将线路停电,母线差动保护只需要将该间隔置检修标志即可。220 kV 线路通常采用保护双套配置,其中一套线路主保护检修时,如果不停线路,则需要退出对应的那套母线差动保护,另一套母线差动保护仍然可以正常运行。因此,纵向集成装置对于母线差动保护的影响和目前智能变电站合并单元、智能终端对于母线差动保护的影响类似。国内也有专家提出为母线差动保护设置独立的间隔单元的方案,它和间隔集成装置独立,实现母线差动保护的过程层输入输出功能,可以实现母线差动和线路间隔保护功能的相互独立,但需要增加设备。

任何新技术的应用都会面对新的问题,智能变电站就是在不断应用新技术、解决新问题的过程中发展。本文面向智能电网发展需求,提出了智能变电站自动化系统纵向集成的间隔设备、并行冗余的通信网络、面向服务的监控功能等新技术,希望为未来智能变电站系统研究、设计、开发与建设提供参考。

附录见本刊网络版(<http://www.aeps-info.com/aeps/ch/index.aspx>)。

参考文献

[1] 刘振亚.智能电网技术[M].北京:中国电力出版社,2010:168.

[2] 郑玉平.智能变电站二次设备与技术[M].北京:中国电力出版社,2014.

[3] 熊剑,刘陈鑫,邓烽.智能变电站集中式保护测控装置[J].电力系统自动化,2013,37(12):100-103.

XIONG Jian, LIU Chenxin, DENG Feng. Centralized protection and monitoring devices of smart substation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2013, 37(12): 100-103.

[4] 倪益民,杨宇,樊陈,等.智能变电站二次设备集成方案[J].电力系统自动化,2014,38(3):194-199. DOI: 10.7500/AEPS20130226005.

NI Yimin, YANG Yu, FAN Chen, et al. Discussion on integration of secondary devices in smart substations [J]. Automation of Electric Power Systems, 2014, 38(3): 194-199. DOI: 10.7500/AEPS20130226005.

[5] 王海峰,丁杰,徐伟.数字化变电站中双网控制策略[J].电力系统自动化,2009,33(8):48-50.

WANG Haifeng, DING Jie, XU Wei, et al. A dual-networking control strategy for digitized substations [J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(8): 48-50.

[6] 胡道徐,李广华.IEC 61850 通信冗余实施方案[J].电力系统自动化,2007,31(8):100-104.

HU Daoxu, LI Guanghua. Application of redundant communication using IEC 61850 [J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(8): 100-104.

[7] 王文龙.IEC 61850 标准作为变电站出站远动协议的可行性分析[J].电力系统自动化,2012,36(17):109-112.

WANG Wenlong. Feasibility analysis of IEC 61850 used as substation telecontrol protocol [J]. Automation of Electric Power Systems, 2012, 36(17): 109-112.

[8] 国家能源局.智能变电站监控系统技术规范:DL/T 1403—2015 [S].2015.

[9] KEZUNOVIC M, GUAN Yufan, GUO Chenyan, et al. The 21st century substation design: vision of the future[C]// 2010 iREP Symposium Bulk Power System Dynamics and Control, August 1-6, 2010, Brazil: 8p.

[10] YANG Zhihong, ZHANG Haibin, ZHAI Mingyu, et al. Study on control center and substation integrated monitoring and control system in smart grid [C]// 2012 CIGRE Canada Conference: Technology and Innovation for the Evolving Power Grid, September 24-26, 2012, Montreal, Canada.

[11] 林野.世界一流调度建设之路—华东电网实践[M].北京:中国电力出版社,2012:189-190.

[12] 闪鑫,戴则梅,张哲,等.智能电网调度控制系统综合智能告警研究及应用[J].电力系统自动化,2015,39(1):65-72.DOI: 10.7500/AEPS20140930016.

SHAN Xin, DAI Zemei, ZHANG Zhe, et al. Research on and application of integrated smart alarm based on smart grid dispatching and control systems[J]. Automation of Electric Power Systems, 2015, 39(1): 65-72. DOI: 10.7500/AEPS20140930016.

[13] Industrial communication networks-high availability automation networks: Part 3 parallel redundancy protocol (PRP) and high-availability seamless redundancy (HSR): IEC 62439-3[S]. 2012.

[14] Communication networks and systems for power utility automation: Part 8-1 specific communication service mapping (SCSM)-mappings to MMS (ISO 9506-1 and ISO 9506-2) and to ISO/IEC 8802-3: IEC 61850-8-1(edition 2.0)[S]. 2011.

[15] Communication networks and systems for power utility automation: Part 90-4 network engineering guidelines for substations: IEC/TR 61850-90-4[S]. 2013.

[16] 万书鹏,雷宝龙,翟明玉.调度与变电站一体化系统链路状态监测与 TCP 通信方案[J].电力系统自动化,2014,38(1):92-96. DOI:10.7500/AEPS20130411012.

WAN Shupeng, LEI Baolong, ZHAI Mingyu. A scheme for link monitoring and TCP communication in dispatch and substation integrated system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2014, 38(1): 92-96. DOI: 10.7500/AEPS20130411012.

[17] 张婷,翟明玉,张海滨,等.基于不确定性推理的变电站拓扑错误辨识[J].电力系统自动化,2014,38(6):49-54.DOI:10.7500/AEPS20130802005.

ZHANG Ting, ZHAI Mingyu, ZHANG Haibin, et al. Substation topology error identification based on uncertainty reasoning[J]. Automation of Electric Power Systems, 2014, 38(6): 49-54. DOI: 10.7500/AEPS20130802005.

杨志宏(1968—),男,通信作者,硕士,研究员级高级工程师,主要研究方向:电力系统自动化。E-mail: yangzhihong@sgepri.sgcc.com.cn

周 斌(1970—),男,硕士,研究员级高级工程师,主要研究方向:变电站自动化。

张海滨(1976—),男,硕士,高级工程师,主要研究方向:变电站自动化。

(编辑 孔丽蓓)

Discussion on Novel Scheme of Smart Substation Automation System

YANG Zhihong^{1,2,3}, ZHOU Bin^{1,2,3}, ZHANG Haibin^{1,2,3}, YAO Cheng^{1,2}, ZHAI Mingyu^{1,2,3}

- (1. NARI Group Corporation (State Grid Electric Power Research Institute), Nanjing 211106, China;
2. NARI Technology Co. Ltd., Nanjing 211106, China;
3. State Key Laboratory of Smart Grid Protection and Control, Nanjing 211106, China)

Abstract: Based on an analysis of the smart grid's demand on the smart substation automation system, a novel scheme for the smart substation automation system is proposed. The vertically integrated bay device is applied to reducing the realization chain for protection and control functions to improve the system reliability and maintainability. The parallel redundancy protocol is used to improve the reliability and standardization for information transmission. Service oriented technology is also applied to improving information sharing and coordinated interaction level between substation and control center. The system architecture and key technologies are elaborated. Finally, some key issues in promotional applications of the system are discussed in detail. This work is supported by State Grid Corporation of China.

Key words: smart substation; vertically integrated bay-device; parallel redundancy protocol; service-oriented