

变电站继电保护就地化整体解决方案研究

陈福锋^{1,2}, 俞春林^{1,2}, 张 尧^{1,2}, 李玉平^{1,2}, 董 贝^{1,2}, 陈 琦^{1,2},
薛明军^{1,2}, 王 胜^{1,2}, 陈新之^{1,2}, 赵 谦^{1,2}

(1. 国电南京自动化股份有限公司, 江苏 南京 210032; 2. 南京国电南自电网自动化有限公司, 江苏 南京 211153)

摘要: 回顾了近十年来我国智能变电站继电保护技术发展的概况, 介绍了继电保护就地化的整体配置方案, 包括线路保护、母线保护、主变保护、站域保护及间隔层其他设备就地化的实现技术。介绍了继电保护就地化的气候环境适应性、电磁环境适应性、二次回路可靠性和跨间隔保护设备就地化等关键问题, 并提出了相应的解决措施。考虑到就地化继电保护运维的特殊性, 提出了以自动检测和智能监测为基本方法的运维管理模式, 实现就地化继电保护全寿命周期内即插即用的目标。展望了继电保护就地化技术未来可能的发展方向。

关键词: 智能变电站; 继电保护; 就地化; 运维

中图分类号: TM 77

文献标识码: A

DOI: 10.16081/j.issn.1006-6047.2017.10.031

0 引言

我国电力行业经过数十年发展, 变电站由早期的常规变电站发展到综合自动化变电站, 再发展到现在的智能变电站; 从电磁型保护到晶体管保护再到微机保护, 继电保护也历经数十年发展, 保护的实现手段、物理形态、运维技术都发生了很大变化。继电保护设备的数据信息源也从电磁式互感器, 发展到电子式和光学互感器; 交流信号的传输媒介也从电缆发展到光纤。数十年来保护技术的发展始终围绕“四性”要求不放松, 保护的现场正确动作率有了很大提高, 设备故障率明显降低, 整体性能有了非常大的改进^[1-4]。但随着电力供应需求量逐渐变大, 投运变电站不断增多, 运行的保护设备数量与日俱增, 也不断有新的情况和需求出现, 以下 4 个主要方面有待科技工作者进行进一步研究和提升。

a. 继电保护的可靠性及速动性有待进一步提高。常规变电站保护接线复杂, 容易产生寄生回路影响保护的可靠工作, 二次回路过长, 杂散电容容易造成保护误开入误动作; 智能变电站合并单元和智能终端的使用延长了保护采样和跳闸回路, 降低了可靠性, 还人为增加了保护动作延时。在系统短路容量不断增加、直流落点越来越密的情况下, 系统安全可靠运行的隐患也越来越大。

b. 继电保护运行维护复杂, 技术门槛过高。继电保护尤其是智能变电站保护运行维护复杂, 取消了传统的电缆接线, 采用 IEC61850 规约实现纯数字通信后保护信号模型化、抽象化, 导致现场运行人员技术能力很难及时跟上, 而厂家所提供的运维工具的友好性和实用性也有待提高。因此变电站二次设备的调试、检修和消缺等更依赖于厂家, 对设备的有

效管理造成了一定影响。

c. 变电站建设周期长, 占用土地资源多。现在的变电站基本是先基建, 然后进行保护屏柜入小室, 最后进行一、二次设备联调。由于站内土建过多, 二次系统接线复杂, 建设、调试周期往往过长; 而继电保护设备均采用屏柜在保护小室内安装的模式, 占用土地资源较多, 在征地越来越困难的情况下, 变电站建设尤其在城区繁华地段的建设难度越来越大。

d. 一、二次设备分散, 难以纵向融合。继电保护设备与其保护的對象一个在保护小室内, 一个在开关场, 所有信号均靠电缆或光缆连接, 两者之间相隔数百米。另外, 开关场的电磁环境和气候环境也比保护小室恶劣得多, 原有的继电保护不能适应在开关场运行, 难以实现继电保护设备和一次设备的融合。

针对上述问题, 国内众多继电保护专家提出了研发高可靠性就地化小型化继电保护装置的思路, 旨在通过继电保护的开关场就地安装简化二次回路提高保护可靠性, 取消合并单元和智能终端以提高保护动作速度; 其主要特点为板卡高度集成, 结构紧凑合理, 采用标准化接口连接器, 能满足复杂电磁环境及各种恶劣气候, 并可进行无防护户外安装^[5]。另外, 国家电网公司对典型的 220 kV 变电站进行估算, 采用保护就地化方案可减少 60% 的变电站屏柜, 节约 50% 的变电站建筑面积, 缩短近 70% 的变电站安装调试时间, 可大幅节约投资, 提高效率。

1 继电保护就地化配置方案

1.1 整体配置原则

a. 继电保护就地化必须坚持继电保护的可靠性、选择性、灵敏性、速动性的“四性”基本要求, 就地化应在对前十年智能变电站继电保护运行经验总结

的基础上,着重解决前期智能变电站中继电保护采样环节复杂、数据可靠性降低、智能终端导致的保护动作时间增长等问题,进一步提高继电保护的可靠性和速动性。

b. 继电保护就地化要求“小型化、标准化、无防护安装”:采用紧凑化的结构,减小装置尺寸,贴近被保护设备安装;要求适应复杂电磁环境及各种恶劣气候的影响,并可进行无防护户外安装。继电保护装置采用标准化接口,实现与一次设备间的即插即用,可实现间隔二次设备模块化集成、工厂化预制、更换式检修。

c. 继电保护就地化方案仍按照断路器设置间隔保护单元,如图 1 所示。间隔保护单元采用物理集成、逻辑独立的方式实现线路保护、母线保护和主变保护等功能,并上送模拟量和状态量信息至过程层网络。间隔保护单元贴近一次设备安装,采用直接采样和直接跳闸的方式,减少数据采集和跳闸输出的中间环节,缩短电气连接距离。变电站设置站控层和过程层网络,其中站控层网络采用 IEC61850 通信协议的制造报文规范 MMS(Manufacturing Message Specification),过程层网络采用 IEC61850-9-2 及 IEC 61850-8-1 协议,采样值 SV(Sampling Value)和面向通用对象的变电站采样 GOOSE(Generic Object Oriented Substation Events)共网传输。

1.2 继电保护配置方案

a. 线路保护配置方案。

对于双母线接线方式的线路间隔,由相应间隔保护单元完成线路保护功能;对于 3/2 接线的线路间隔,由 2 个断路器对应的间隔保护单元独立采样后进行数据级联,由其中 1 台间隔单元完成线路保护功能。重合闸、断路器失灵保护功能由相应断路器的间隔保护单元实现。线路保护优先采用线路侧电压,也可按照装置分别配置电压切换模块。

b. 母线保护配置方案。

如图 1 所示,母线保护配置方案不设置独立的母线保护装置,母线保护功能采用分布式方案,与线路保护复用间隔保护单元。各间隔保护单元采用双向环网连接,共同实现母线保护功能。设置逻辑上的主机用于集中计算,即有主分布式母线差动保护方案;也可将保护功能分布到各子机独立完成运算,实现无主式母线差动保护方案。母线电压互感器设置独立的电压互感器保护子机采集母线电压并接入环网。

c. 变压器保护配置方案。

变压器保护功能也采用分布式方案,如图 1 所示,由各侧断路器对应的间隔保护单元组成双向环网,变压器差动保护在高压侧间隔保护单元中实现,各侧后备保护功能可在各侧断路器间隔保护单元中独立实现,变压器中性点电流或公共绕组电流由独立的采集单元接入变压器保护环网。

d. 站域保护配置方案。

站域保护与就地化继电保护相互协调、相互配合、相互补充,功能上可按照层次化保护的原则进行配置,实现对就地保护的冗余配置和优化,即按等级分别设置,接收来自线路、母联(分段)、变压器各间隔保护单元等输出间隔采样和间隔设备状态信息,完成备自投、110 kV 断路器失灵、过载联切、低周减载等功能;也可以简化就地化继电保护的后备功能,简化其整定、调试工作,加强主保护的可靠性,将就地化继电保护装置的后备保护分离出来,由站域保护实现完整后备,实现站域保护对时间和空间的全覆盖,并利用站内全景信息优化后备保护功能,实现后备保护对于设备状态和系统状态的自适应。

1.3 间隔层其他设备

a. 测控。

按照断路器分别设置间隔测控单元,采集相关一次设备信息并上送到站控层网络,间隔内联闭锁

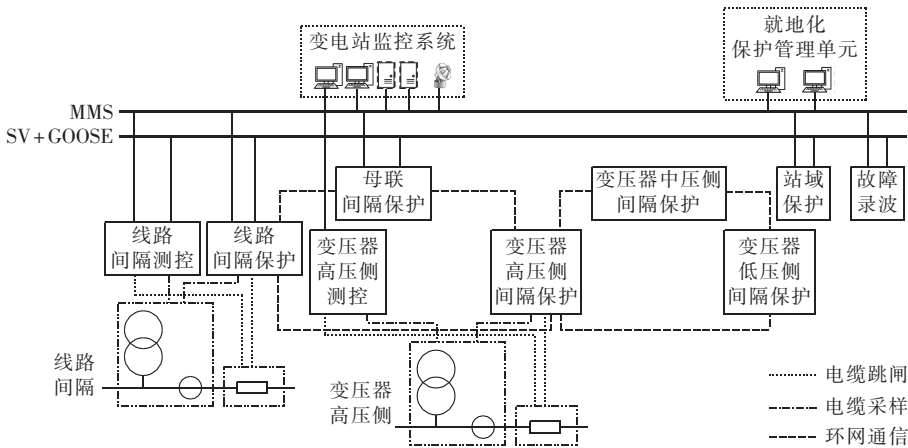


图 1 继电保护就地化配置方案

Fig.1 Configuration scheme of on-site relay protection

等功能可配置站域级测控装置实现。

b. 故障录波。

故障录波装置通过过程层网络采集各间隔保护单元输出的 SV 和 GOOSE 信息记录系统扰动及保护跳闸。

c. 交换机。

交换机具备户外无防护安装条件后,可实现间隔二次设备就近组网,避免大量的光缆连接,简化二次回路,提高可靠性。

1.4 就地化继电保护管理单元

由于液晶材料的耐低温能力以及装置尺寸的限制,就地化继电保护取消了人机交互界面,对现场保护的运维造成了不便。因此在变电站层设置就地化继电保护管理单元,接入全站的就地化二次设备,替代原有的保护装置液晶界面,同时可实现保护在线监视和智能诊断等高级功能。

2 就地化继电保护关键技术

2.1 设备软硬件高可靠性设计要求

2.1.1 就地化继电保护应用环境的复杂性

我国地域宽广,幅员辽阔,各地气候环境差异极大,例如东南沿海的极端盐潮、东北地区的极端低温、西北地区的局部极端高温等,就地化继电保护装置下放到户外开关场后,处于户外无防护环境,必须适应在上述各种严酷环境中长期运行,对装置本身各项性能的设计裕度提出了更高的要求。就地化的保护装置应能适应其所处环境的温度、湿度,防止空气中的水分及腐蚀性介质侵入造成的损坏,同时还应具备抵御变电站内复杂的静态及暂态电磁干扰的功能。因此,在进行产品设计时,应充分开展环境影响因素分析,用于指导材料、器件的选用以及软硬件的冗余、防误设计,同时考虑抵御外部复杂气候、电磁、机械环境造成的破坏,提高二次回路可靠性。

2.1.2 气候环境适应性

统计资料表明电子元器件温度每升高 2°C ,可靠性就会下降 10%;温升为 50°C 时电子元器件的寿命只有温升为 25°C 时的 $1/6^{[6]}$ 。55% 的电子设备失效是由温度超过规定的值引起的。我国新疆吐鲁番地区夏天极端情况下,近地面(2 m)温度超过 60°C ,装置内部局部最高温度可达 90°C 以上,严重影响装置的可靠性。因此,在进行产品设计时,可选用汽车级电子元器件,并根据有利散热原则合理布局内部功能模块及元器件,采用导热衬垫及硅脂等材料将电子元器件的热耗导出至壳体,并通过壳体的高密度翅片散至装置外部。

当电子设备经历潮湿或其他恶劣气候环境时,有可能由于腐蚀效应而失效。材料受环境介质的化

学作用而发生性能下降,状态改变,直至变质损坏。为防止腐蚀介质侵入装置内部,在端盖结合面、进出线口、导光零件等处采用高性能的“O”型密封圈或密封胶结合压力分布设计实现装置的整体密封,同时将直接裸露于外部环境的零部件表面镀涂致密的防护层抵御腐蚀。

2.1.3 电磁环境适应性

户外就地安装的继电保护装置所处的电磁环境更为复杂、恶劣,其不仅要经受变电站内各一次设备正常运行产生的静态电磁波的感应骚扰,同时,还需抵御高压开关动作、雷电等现场产生的暂态电磁波的冲击。目前,要求继电保护装置等承受不低于 6 kV 快速瞬变和 6 kV 浪涌的试验要求。为确保继电保护装置不因受到干扰而造成误动、拒动或其他不正常工作状态,装置内部需要设置有效的泄放回路,确保将各类干扰所产生的有害能量及时导出。

2.1.4 机械性能

继电保护装置被移至户外安装后,不再受原有户内安装的屏柜的支撑及保护,其所受的机械环境变得更为复杂和恶劣。在极端情况下,户外继电保护装置会受到冰雹、台风、飞石等偶发现象的破坏,严重的会直接导致装置及相关电路的失效。计算表明,就地化继电保护装置的 5 mm 厚铝制外壳在受到 20 J 的外部冲击时,其最大塑性形变可控制在 0.3 mm 以内而不受损坏。不过,由于装置外表面受到冲撞、跌落而引起的对内部构件的冲击危害更为显著,特别是印刷电路板上焊接的各类元器件。因此在进行就地化继电保护装置的内部布局时,应根据应力及形变分布合理避让失效风险位置。在空间允许的情况下,可采用辅助支撑增加刚度,或采用弹性材料吸收瞬间作用产生的能量,对内部构件进行防护。

2.1.5 二次回路的可靠性

基于“间隔信息电缆直采直跳,跨间隔信息 GOOSE 传输”的原则,就地化继电保护装置在“六统一”标准规范的基础上,通过进一步简化装置接口,实现二次回路接线的优化。交流量及重要开关量信息都采用就地电缆采集,同时通过电缆直接跳闸减少了智能变电站原有的智能终端环节。就地直采直跳解决了原有的保护小室安装时,长电缆带来的电流互感器饱和、多点接地、分布式电容放电等问题,大幅提高了保护的可靠性。

就地化继电保护装置采用高防护及高电气性能的专用航插连接器取代传统的接线端子,可有效抵御外部恶劣气候及电磁环境。在使用时,按电气功能分组接入专用航插连接器,采用防误插键位设计及辅助辨识色带可有效杜绝现场误操作,避免不同回路误接的风险,最终实现快速可靠插接、即插即用、便捷维护。

同时,为避免由于电流互感器回路开路引起的对设备或人身造成的伤害,在交流专用航插连接器的设计中应加入交流电流回路的自短路功能,自短路机构可采用高性能的弹性金属连接片或弹簧压片置于回路连接触针之间。在插合时,装置外部接线与采样互感器接线闭合后,自短路构件被顶开,采样接入;在拔离时,装置外部接线与采样互感器接线脱离前,自短路构件先复位,实现外部回路短接自封,可充分保障人员和设备的安全。

2.2 跨间隔设备就地化技术

2.2.1 分布式保护环网配置方案

跨间隔保护装置需要同时获取多间隔的电压和电流数据,传统集中式保护需要将所有间隔的采样回路和开入开出回路连接在 1 台继电保护装置上,导致二次回路接线复杂,且单台保护装置的外部接口众多,软、硬件资源压力都很大,功耗较大,极难实现就地无防护安装。为实现继电保护的就地化,必须采用新架构、新模式,本文提出一种基于环网的无主分布式跨间隔保护方案^[7-9],如图 2 所示。

每个间隔配置 1 台独立的保护子机(本文方案为与间隔保护集成),每台子机与其左右相邻的 2 台子机采用 2 对千兆光纤连接,最终连接成 2 组独立的光纤环网,二者互为冗余,各子机采集本间隔的交流数据和开关量,并上送环网,同时从环网上实时获取其他子机的数据,基于这些数据,各台子机独立地进行保护逻辑运算,判断本间隔的保护行为,输出开关量。并且每台子机配备光旁路开关,在本间隔检修退出时,将本间隔从环网中旁路掉,从而不影响其他间隔子机的运行。为方便管理,在所面向的间隔类型相似的情况下,子机的软硬件宜相同。

2.2.2 环网可靠性设计

环网可靠性设计采用高可用性无缝冗余环网 HSR(High-availability Seamless Ring)技术^[10-11]。采用内部协议将数据打包,每个数据包由子机在 2 个环网上同时发送,做到数据的冗余备份。由于每个数据都是双份,所以需要配置丢弃策略。环网上的数据包经过每个子机节点,子机解析收到的数据,若是其他子机发送的数据,则将获取的数据解析后提供给保护逻辑使用,并转发给后面的节点;若是本子机

发送的数据,则证明该数据包已经走完整个环网,其生存周期结束,将其丢弃。HSR 数据包交换的具体逻辑如图 3 所示。

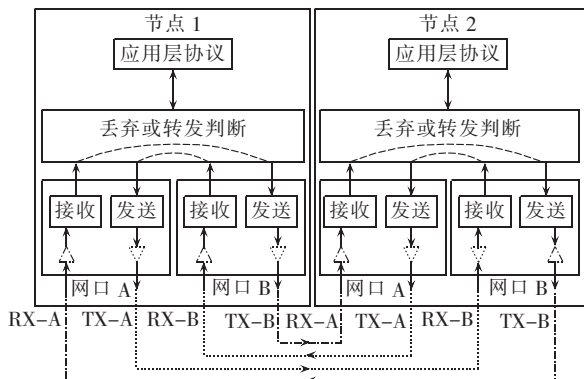


图 3 HSR 数据包交换示意图

Fig.3 Schematic diagram of HSR network data package exchange

2.2.3 环网数据同步技术

环网的采样同步技术是本文方案的关键技术之一。本文方案首先在基于链路收发回路延时一致的前提下,采用对称法计算相邻节点间的链路传输延时 T_{link} ,借鉴 IEEE1588 协议的请求报文(Peer-Delay-Request)和回复报文(Peer-Delay-Respond),计算节点之间的链路延时;然后,增加 1 个报文在每个节点中转发时的驻留修正延时 T_{stay} ,则第 n 和 m 间隔之间的延时 T_{mn} 可通过式(1)计算。在计算得到 2 台子机之间的延时后,再采用插值同步算法实现各个间隔的采样值同步。为了保证同步的精度,环网接口带宽为千兆,通信接口采用 Serdes 接口,总延时和延时抖动不大于 15 ns。报文收、发时标计数器频率为 125 MHz,由报文时标引起的最大延时误差为 16 ns。按环内 30 个节点计算,由以太网口、报文时标引起的累计延时误差最大为 930 ns,完全满足同步精度 $\pm 10 \mu s$ 的要求^[4]。

$$T_{mn} = \sum_{i=n+1}^m T_{link} + \sum_{i=n}^m T_{stay} \quad m > n \quad (1)$$

跨间隔保护既可采用无主模式,即每台子机都独立地进行保护逻辑判断;也可采用有主模式,在环网中设置主机,主机可以由某一间隔的子机担任,或者在环网中单独安放不面向任一间隔的装置作为主

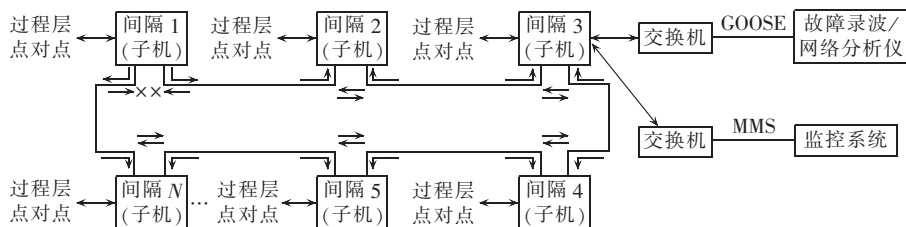


图 2 环网保护架构

Fig.2 Architecture of ring network protection

机,负责保护逻辑的计算和与后台通信,其余子机只负责采集间隔信息和执行主机的指令。

3 继电保护就地化运维技术

3.1 就地化继电保护智能安装系统

相比传统的小室内安装或就地屏柜内安装的二次设备,就地化继电保护装置所处的环境相当复杂,也更为恶劣,目前已有相当一部分专家学者提出对就地化设备的微环境实现智能化控制。图 4 给出的基于间隔布置的就地化继电保护智能安装系统集成了温湿度采集、装置运行状态图像采集、除尘清洗、消防、驱鼠、照明等多项功能,在有效保障了就地化继电保护装置稳定可靠运行的同时,保证其状态可记录、可控制。利用光伏效应存储电池作为就地化继电保护装置的应急电源,确保在外部失电时保护装置能正常工作。当装置、电缆由于高温或放电引起火星、冒烟等异常现象时,现场布置的消防喷淋系统能将异常情况控制在最低限度,同时,图 4 所示系统还能开展装置降温、表面除尘等工作。在图像识别、自动采集等技术的支撑下,该系统有助于实现继电保护装置就地化安装后的自我管理、自我运维。

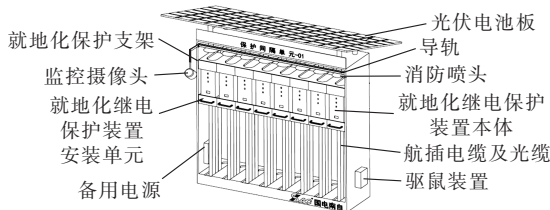


图 4 就地化继电保护智能安装系统

Fig.4 Intelligent installation system of on-site relay protection

3.2 就地化继电保护自动测试系统

就地化继电保护装置贴近开关场一次设备安装,取消了人机界面,安装现场不方便进行功能测试,需在检修中心完成设备的调试和验证,最终实现在现场的即插即用。本文提出了适用于就地化继电保护的自动测试系统,如图 5 所示。

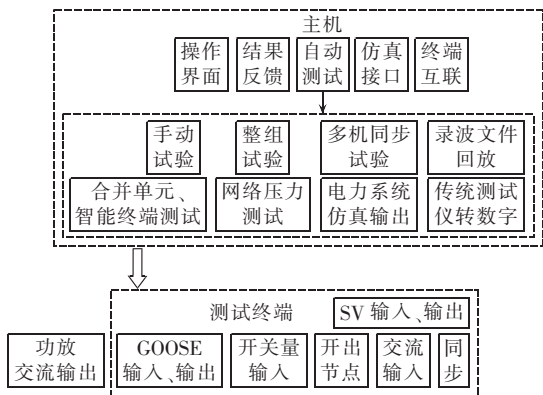


图 5 就地化继电保护自动测试系统

Fig.5 Automatic test system of on-site protection

自动测试系统和就地化继电保护装置之间采用与现场完全一样的航空插头连接,完成测试模板的自动生成、保护行为指标的自动甄别、测试报告的自动生成。系统可由测试主机、服务器、交换机、测试终端四部分组成。

a. 根据被测装置的使用环境(IEC61850 模型)自动获取保护功能配置信息和现场设备关联信息生成自动测试模板,自动测试模板具备典型测试项目及可选测试项目,根据实际工作性质和需求供用户选择。

b. 主机需根据选定的自动测试模板自动触发测试功能,连接并控制测试终端。测试终端执行主机下发指令输出所模拟故障的电气量信息,并采集就地化保护反馈的节点和数字信息,反馈主机形成闭环控制。由主机根据预定的参数和指标判断每个测试项是否合格。

c. 测试结束后主机自动生成测试报告,并上送服务器,服务器同时用于保存测试报告、测试模板及相应的模型文件等,并归入该被测装置的台账管理。

3.3 就地化继电保护现场检修和补缺

就地化继电保护装置的无人机界面菜单通过 IEC61850 建模在智能管理单元进行远程显示,导致其工程现场运维复杂,针对此情况本文提出了一种基于移动智能终端的运维系统,如图 6 所示。智能运维终端既是信息资料的载体,也是数据采集的工具,通过在智能运维终端安装专业定制开发的智能 APP,完成相应的运行、维护、检修、测试、台账管理等功能,并将数据通过移动网络在线或通过存储设备离线上传到主机,协助主机完成全站数据的采集和管理。使用智能运维终端后,运行巡视、智能标签、虚实回路映射、检修工单、人员管理、专家协助等功能可通过信息网络技术实现,显著提高了现场工作效率,减轻了运维负担,降低了工作难度,确保了运维检修的正确性和安全性,进一步推动了就地化继电保护的发展。

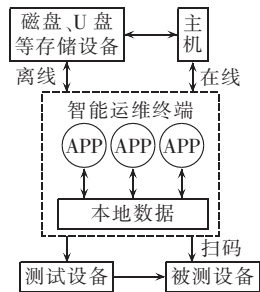


图 6 就地化继电保护现场运维系统

Fig.6 Field operation and maintenance system of on-site relay protection

3.4 就地化继电保护远程运维支撑

随着变电站智能化、自动化程度的不断提升,无人值守站越来越多,对于设备的远程管理要求也越来越高,就地化继电保护自身的黑盒特性、即插即用

的目标和更换式检修的管理模式,更加要求对设备进行远程监控及全寿命周期的智能管理。就地化继电保护远程运维系统如图 7 所示,其主要分站端和主站端 2 层。站端设备通过先进的测量和传感技术对就地化继电保护设备的运行状态进行实时监测,例如环境温度、装置内部温度、湿度、收发光功率、内部电压等可观可测因子,并通过移动安全网关或专用 4G 网络上送至主站系统。主站端根据站端上送的设备信息并结合装置的唯一身份识别技术及其历史台账,形成就地化继电保护设备运行工况报告,并运用大数据分析形成有效的智能诊断,为调度人员给出供参考的专家处理意见。此外,站端系统兼有投运、检修的自动检测功能,以及就地化继电保护设备的资料、台账管理功能等。智能运维终端将运维、测试数据和站内采集的其他相关数据上送至站内主机,同时上送至主站端,依托主站大数据平台实现对评价中心的数据管理、数据共享等。就地化继电保护远程运维系统以网络化图档资料库实现设备的技术资料管理,以数据挖掘技术实现精益化评价,以状态评估技术结合专家系统完成智能运维,最终实现继电保护运维的远程化、集约化、智能化和精益化,满足当前就地化继电保护的应用需求。

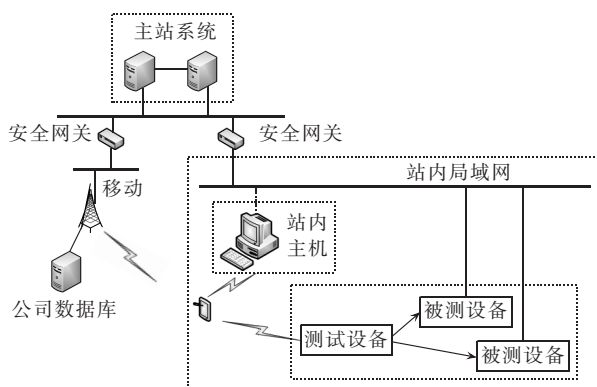


图 7 就地化继电保护远程运维系统

Fig.7 Remote operation and maintenance system of on-site relay protection

4 结论

继电保护就地化思路是对多年来智能变电站技术的总结提升,通过简化回路提高了保护可靠性,精简设备提高了保护的速动性,提高设计裕度改善了保护的可靠性;通过小型化、就地化安装可以取消保护小室,节约土地征用;通过标准化设计和预制式接口,真正实现继电保护即插即用,大幅降低了运维难度,有效提升了工作效率。

继电保护就地化技术也是一、二次设备融合的新思路 and 方向,两者可以贴近安装或者进行一体化设计,需着重解决好电磁兼容性防护和机械振动等问题;随着信息通信技术及新型传感技术的发展,就

地化继电保护也将真正实现其状态的实时在线监测和智能告警,信息更透明、更准确,远程运维更便利;结合装置二维码信息系统、生产厂家的物料系统、变电站运维管理系统,依托大数据和物联网技术实现就地化继电保护的全寿命周期管理,进一步提高我国继电保护的运行管理水平。

参考文献:

- [1] 卜强生,高磊,闫志伟,等. 智能变电站继电保护软压板防误操作策略及实现[J]. 电力自动化设备,2016,36(12):156-160.
BU Qiangsheng,GAO Lei,YAN Zhiwei,et al. Strategy and implementation of soft-clamp misoperation prevention for smart substation protections[J]. Electric Power Automation Equipment, 2016,36(12):156-160.
- [2] 笃峻,叶翔,葛立青,等. 智能变电站继电保护在线运维系统关键技术的研究及实现[J]. 电力自动化设备,2016,36(7):163-168.
DU Jun,YE Xiang,GE Liqing,et al. Key technologies of online maintenance system for relay protections in smart substation and its implementation[J]. Electric Power Automation Equipment, 2016,36(7):163-168.
- [3] 王增平,姜宪国,张执超,等. 智能电网环境下的继电保护[J]. 电力系统保护与控制,2013,41(2):13-18.
WANG Zengping,JIANG Xiangguo,ZHANG Zhichao,et al. Relay protection for smart grid[J]. Power System Protection and Control, 2013,41(2):13-18.
- [4] 赵自刚,朱辉. 2000 年度河北南网 220 kV 及以上系统继电保护缺陷统计分析[J]. 继电器,2002,30(7):17-22.
ZHAO Zigang,ZHU Hui. The statistics and analysis of relay protection defect around 220 kV and over in Southern Heibei Electric Network[J]. Relay,2002,30(7):17-22.
- [5] 裴愉涛,王德林,胡晨,等. 无防护安装就地化保护应用与实践[J]. 电力系统保护与控制,2016,44(20):1-5.
QIU Yutao,WANG Delin,HU Chen,et al. Application and practice of unprotected outdoor installation protection[J]. Power System Protection and Control,2016,44(20):1-5.
- [6] 张丰华,田洋,周尧. 某高密度组装模块的热设计与实现[J]. 电子科技,2014,27(7):77-79.
ZHANG Fenghua,TIAN Feng,ZHOU Yao. Thermal design and implementation of module with high heat-flow density[J]. Electronic Science and Technology,2014,27(7):77-79.
- [7] 周小波,汪思满,吴正学,等. 环网分布式母线保护装置就地化实现探讨[J]. 电力系统保护与控制,2015,43(6):104-108.
ZHOU Xiaobo,WANG Siman,WU Zhengxue,et al. Local placing implementation research of distributed HSR busbar protection[J]. Power System Protection and Control,2015,43(6):104-108.
- [8] 唐治国,汪思满,康丰,等. 多级级联分布式母线保护方案[J]. 电力自动化设备,2012,32(11):136-141.
TANG Zhiguo,WANG Siman,KANG Feng,et al. Multilevel cascading solution for distributed busbar protection[J]. Electric Power Automation Equipment,2012,32(11):136-141.
- [9] 叶品勇,陈新之,仇群辉,等. 面向智能变电站的无主站式环网母线保护实现方案[J]. 电气应用,2014(20):18-21.
- [10] IEC. High availability automation networks:IEC62439[S]. Geneva, Switzerland:IEC,2010.
- [11] 许铁峰,徐习东. 高可靠性无缝环网在数字化变电站环网通讯网络的应用[J]. 电力自动化设备,2011,31(10):121-125.

XU Tiefeng, XU Xidong. Application of high-availability seamless ring in substation communication network[J]. Electric Power Automation Equipment, 2011, 31(10): 121-125.

作者简介:

陈福锋(1979—),男,江苏宜兴人,高级工程师,硕士,主要从事继电保护及智能变电站等方面的研究开发工作;

俞春林(1978—),男,江苏南通人,工程师,主要从事机械结构及产品工艺等方面的研究与开发工作;



陈福锋

张尧(1984—),男,陕西商洛人,工程师,硕士,主要从事继电保护及智能变电站等方面的研究与开发工作;

李玉平(1978—),男,湖南郴州人,工程师,主要从事继电保护及智能变电站等相关方面的研究与开发工作;

董贝(1982—),男,陕西宝鸡人,工程师,硕士,主要从事通用平台技术及智能变电站运维等方面的研究与开发工作。

Research on integrated solution of on-site substation relay protection

CHEN Fufeng^{1,2}, YU Chunlin^{1,2}, ZHANG Yao^{1,2}, LI Yuping^{1,2}, DONG Bei^{1,2}, CHEN Qi^{1,2},
XUE Mingjun^{1,2}, WANG Sheng^{1,2}, CHEN Xinzhi^{1,2}, ZHAO Qian^{1,2}

(1. Guodian Nanjing Automation Co., Ltd., Nanjing 210032, China;

2. Nanjing SAC Power Grid Automation Co., Ltd., Nanjing 211153, China)

Abstract: The development of relay protection technology for intelligent substation in the past ten years is reviewed, the overall configuration of the on-site substation relay protection is introduced, including the on-site implementation technology of transmission line protection, bus-bar protection, main transformer protection, substation area protection and other bay-level devices. Key problems of on-site relay protection such as climate environment adaptability, electromagnetic environment adaptability, secondary circuit reliability, and field installation of cross-cell relay protection devices are introduced, and the corresponding countermeasures are proposed. Considering the particularity of the operation and maintenance of on-site relay protection, a management mode of operation and maintenance mainly based on automatic detection and intelligent monitoring is proposed to realize the “plug and play” target covering the whole life cycle. The possible development direction in the future of on-site relay protection is prospected.

Key words: intelligent substation; relay protection; on-site; operation and maintenance

(上接第 203 页 continued from page 203)

1147-1153.

作者简介:

胡文旺(1987—),男,福建龙岩人,工程师,硕士,主要研究方向为柔性直流输电技术、继电保护及电网分析计算(E-mail: huwenwang126@126.com);

唐志军(1973—),男,福建莆田人,高级工程师,硕士,主



胡文旺

要研究方向为柔性直流输电技术、继电保护及自动化技术的试验与研究(E-mail: 499345970@qq.com);

林国栋(1975—),男,福建福州人,高级工程师,硕士,主要研究方向为柔性直流输电技术、继电保护及自动化技术的试验与研究(E-mail: 609026603@qq.com)。

Application, analysis and improvement of system commissioning technology for flexible DC transmission project

HU Wenwang, TANG Zhijun, LIN Guodong, SHI Jiyin, ZOU Huanxiong
(Electric Power Research Institute of State Grid Fujian Provincial Electric Power Co., Ltd.,
Fuzhou 350007, China)

Abstract: The system live commissioning test is a key process to ensure the secure and stable operation of flexible HVDC power transmission project in its practical application. In order to avoid the damage of converter valves caused by faults and trigger phase sequence errors of valve groups in the initial active start-up process and combined with the Xiamen real bipolar flexible HVDC power transmission project, a security control strategy for passive inverter test of converter valves before the initial total start-up is proposed to meet the safety requirement of equipments. The major issues found in the lab system alignments and field tests are analyzed and summarized, and the improvement measures are put forward to meet the requirements of safe and stable operation of the system.

Key words: flexible HVDC power transmission; converter transformers; converter valves; passive inverter; deblocking