

电气工程中电力综合自动化系统分析与变电站继电保护策略探讨

许婉欣 王治兴

内蒙古电力(集团)有限责任公司阿拉善供电分公司

DOI:10.12238/etd.v6i8.17119

[摘要] 本文聚焦电气工程领域,深入分析电力综合自动化系统架构、关键技术及功能模块,剖析变电站继电保护原理、传统策略局限性与新型电力系统新要求。提出基于多源数据融合、自适应及分层分布式保护策略,并探讨继电保护与自动化系统在信息交互、功能联动及安全防护方面的协同优化,为提升电力系统可靠性与稳定性提供理论支撑。

[关键词] 电气工程; 电力综合自动化系统; 变电站; 继电保护; 优化策略

中图分类号: TM76 **文献标识码:** A

Analysis of Integrated Power Automation Systems in Electrical Engineering and Discussion on Substation Relay Protection Strategies

Wanxin Xu Zhixing Wang

Inner Mongolia Electric Power (Group) Co., Ltd., Alxa Power Supply Branch

[Abstract] This paper focuses on the field of electrical engineering, conducting an in-depth analysis of the architecture, key technologies, and functional modules of integrated power automation systems, while examining the principles of substation relay protection, limitations of traditional strategies, and new requirements of modern power systems. Strategies based on multi-source data fusion, adaptive protection, and hierarchical distributed protection are proposed. The synergistic optimization between relay protection and automation systems in terms of information exchange, functional coordination, and security protection is explored, providing theoretical support for enhancing the reliability and stability of power systems.

[Key words] Electrical Engineering; Integrated Power Automation System; Substation; Relay Protection; Optimization Strategies

引言

在电气工程持续发展进程中,电力综合自动化系统与变电站继电保护至关重要。电力综合自动化系统实现电力系统的智能化监控与管理,变电站继电保护则是保障电网安全稳定运行的关键防线。随着新型电力系统构建,传统继电保护面临挑战。本文旨在剖析二者现状,探索优化策略与协同机制,以适应电力系统发展需求。

1 电力综合自动化系统架构与功能分析

1.1 系统组成与层次结构

电力综合自动化系统采用分层分布式架构,自上而下分为站控层、间隔层和过程层三个核心层次。站控层作为系统监控核心,由监控主机、数据服务器、后台工作站及通信设备组成,承担全网运行状态监视、数据存储分析和调度指令下发等功能。间隔层部署于各电气间隔,包含保护装置、测控单元和故障录波装置,实现对变压器、线路等设备的本地监控与保护^[1]。过程层直接连接一次设备,由合并单元、智能终端构成,完成模拟量采

集、开关量状态转换及控制指令执行。系统组成还涵盖通信网络和时钟同步装置,通信网络采用以太网、CAN总线等多协议融合方式实现层间数据传输,时钟同步装置保障各层设备时间一致性,确保数据采集与事件记录的准确性。

1.2 关键技术分析

电力综合自动化系统的关键技术集中体现在通信、数据管理和嵌入式控制三大领域。通信技术采用光纤通信为主、无线通信为辅的混合架构,光纤通信凭借抗干扰能力强、传输速率高的优势实现站控层与间隔层的海量数据传输,无线通信则用于偏远区域设备的临时数据交互,同时应用IEC61850标准实现不同厂家设备的互联互通。数据处理技术引入边缘计算与云计算协同模式,边缘节点对实时数据进行预处理和筛选,减少无效数据传输,云计算平台则开展大数据分析和趋势预测。嵌入式控制技术采用高性能DSP和FPGA芯片,提升装置的实时运算能力,保障保护指令和控制信号的快速执行,另外,冗余备份技术和自愈控制技术的应用,进一步提升系统在故障情况下的可靠性和稳定性。

1.3 系统功能模块

电力综合自动化系统包含监控测量、控制操作、保护定值管理、数据通信和运行维护五大核心功能模块。监控测量模块通过分布在各间隔的采集单元,实时获取电压、电流、功率等电气量数据及开关设备状态信息,经处理后在后台界面动态展示,同时具备越限报警和数据统计功能。控制操作模块支持远程和本地两种控制方式,操作人员通过后台下发操作指令,经加密验证后由间隔层设备执行断路器分合闸、隔离开关操作等任务,操作过程全程记录并生成日志。保护定值管理模块实现保护定值的查询、修改、固化和核对功能,支持根据运行方式自动切换定值区。数据通信模块负责各层设备间的数据交互,采用标准化通信协议确保数据传输的准确性和实时性。运行维护模块具备设备状态监测、故障诊断和远程维护功能,通过分析设备运行数据提前发现潜在故障,降低运维成本。

2 变电站继电保护原理与现状分析

2.1 继电保护基本原理

变电站继电保护的核心原理是基于电力系统正常运行与故障状态下电气量的差异,实现故障的快速检测、定位和切除。其基本构成包括测量元件、逻辑元件和执行元件,测量元件持续监测被保护设备的电气参数,将实际数值与整定值对比,判断设备是否处于故障状态;逻辑元件根据测量元件输出的信号,按照预设逻辑进行分析判断,确定故障类型和范围;执行元件接收逻辑元件的指令,动作于断路器跳闸或发出报警信号^[2]。常见的保护原理包括过电流保护、差动保护、距离保护和瓦斯保护等,过电流保护根据故障时电流增大的特征动作,适用于线路和变压器的后备保护;差动保护利用被保护设备两侧电流的差值实现保护,具备较高的选择性和灵敏性,常用于变压器和母线保护;距离保护根据故障点到保护安装处的阻抗值动作,适用于长距离输电线路保护;瓦斯保护针对变压器内部故障产生的气体动作,是变压器的主保护之一。

2.2 传统保护策略的局限性

传统继电保护策略在新型电力系统发展背景下,逐渐暴露出多方面局限性。首先,定值整定依赖固定运行方式,传统保护定值通常按照系统最大或最小运行方式整定,当系统运行方式发生较大变化时,容易出现保护灵敏度过低或误动的情况,无法适应新能源并网后系统运行方式的频繁波动。其次,保护范围固定,传统保护的保护区基于预设的电气参数阈值确定,无法根据故障位置、故障类型的变化动态调整,在复杂故障场景下可能出现保护死区或越级跳闸问题。再者,数据处理能力不足,传统保护装置仅依赖本地采集的单一数据进行判断,缺乏对多源数据的融合分析,难以区分故障信号与谐波、振荡等干扰信号,导致保护误动或拒动。

2.3 新型电力系统对继电保护的新要求

新型电力系统以高比例新能源并网、高比例电力电子设备接入为特征,对继电保护提出多项新要求。一是具备宽范围适应性,新能源发电的波动性和间歇性导致系统短路电流水平、阻抗

特性频繁变化,要求继电保护能够自适应不同运行场景,在短路电流增大或减小的情况下均能保证可靠动作。二是提升抗干扰能力,大量电力电子设备接入会产生谐波、次同步振荡等干扰信号,要求保护装置能够准确区分故障信号与干扰信号,避免误动或拒动。三是实现协同保护能力,分布式电源的广泛接入使系统从传统放射式结构转变为复杂网状结构,单一保护装置难以全面判断故障状态,要求保护系统具备多装置协同分析、联合决策的能力。四是增强快速性和选择性,新型电力系统对供电可靠性要求更高,要求继电保护能够更快检测并切除故障,同时精准定位故障范围,避免扩大停电面积。五是具备信息交互能力,需与电力综合自动化系统深度融合,实现数据共享和功能联动。

3 电力综合自动化系统下的继电保护优化策略

3.1 基于多源数据融合的保护策略

基于多源数据融合的继电保护策略通过整合多类型、多位置数据提升保护可靠性,其核心是构建“数据采集-融合处理-决策判断”的闭环体系。数据采集阶段,利用过程层合并单元、智能终端及分布式传感设备,同步获取被保护设备的电气量数据、设备状态数据及环境数据,其中电气量数据包括电压、电流、功率因数等,设备状态数据涵盖开关机械特性、绝缘状态等,环境数据包含温度、湿度等。融合处理阶段采用分层融合架构,先通过边缘节点对单源数据进行预处理,剔除异常数据并进行格式标准化,再通过系统层采用加权平均、贝叶斯推理等算法实现多源数据融合,消除数据冗余和矛盾。决策判断阶段,基于融合后的综合数据构建多维度保护判据,替代传统单一判据。

3.2 自适应保护策略设计

自适应保护策略通过实时感知系统运行状态变化,动态调整保护参数和动作逻辑,使保护性能始终处于最优状态,其设计核心包括状态感知、参数调整和逻辑优化三部分。状态感知模块依托电力综合自动化系统的监控功能,实时采集系统运行方式、短路容量、新能源出力等关键信息,通过大数据分析识别系统运行状态变化趋势。参数调整部分采用在线整定技术,根据状态感知结果,利用预设的整定算法实时计算保护定值;当系统运行方式简化导致短路电流减小时,自动降低动作值,保证灵敏性^[3]。逻辑优化部分采用可配置逻辑模块,根据故障类型、故障位置及系统恢复需求,动态调整保护动作逻辑,例如在分布式电源并网区域发生故障时,自动切换保护逻辑为“先切除分布式电源再切除故障线路”,减少停电范围,提升供电可靠性。

3.3 分层分布式保护架构

分层分布式保护架构依托电力综合自动化系统的分层结构,将保护功能分散部署于站控层、间隔层和过程层,实现“本地快速响应+全局协同决策”的保护模式。过程层部署就地保护单元,直接接入一次设备的电气量和状态量数据,具备最快速的故障检测和切除能力,主要实现简单故障的就地处理,例如线路瞬时性故障的快速跳闸重合,减少故障处理时间。间隔层部署间隔级保护装置,负责本间隔设备的主保护和后备保护,同时与同一电压等级的其他间隔保护装置进行信息交互,实现区域内故障的

协同判断。站控层部署系统级保护决策中心,整合全站各间隔的保护信息、运行数据和调度指令,实现全局保护策略的优化调整,例如当系统发生大面积故障时,站控层通过分析各间隔故障信息,制定最优故障切除顺序,避免系统崩溃。该架构通过分层协同,既保证故障处理的快速性,又提升保护系统的整体适应性和可靠性。

4 继电保护与自动化系统的协同优化

4.1 信息交互与共享机制

继电保护与自动化系统的信息交互与共享机制以标准化通信协议和统一数据平台为核心构建,实现全系统数据的高效流转和共享。通信协议采用IEC61850标准作为统一接口规范,该标准定义了保护装置、测控装置、监控主机等设备的通信模型和数据格式,使不同厂家设备能够直接进行信息交互,避免协议不兼容导致的数据孤岛问题。数据共享平台部署于站控层,采用分布式数据库架构,集中存储继电保护的動作信息、定值参数、故障录波数据及自动化系统的监控数据、运行状态数据等。平台具备数据分类存储、实时更新和权限管理功能,继电保护装置可从平台获取系统运行方式、其他间隔保护状态等信息,用于保护定值的在线调整和故障判断;自动化系统可获取保护动作信号,用于故障定位和系统恢复。通过建立数据加密传输和访问权限控制机制,确保信息交互的安全性和保密性。

4.2 保护与自动化功能的联动设计

保护与自动化功能的联动设计通过构建“故障检测-保护动作-自动化恢复”的联动闭环,提升系统故障处理效率和供电可靠性。故障检测阶段,继电保护装置与自动化系统的监控模块协同工作,保护装置通过电气量数据检测故障,自动化系统通过设备状态监测辅助判断故障类型,两者信息互传实现故障的精准识别。保护动作阶段,保护装置动作跳闸后,立即将动作信号发送至自动化系统,自动化系统快速采集故障点两侧的电气量数据和设备状态信息,通过分析确定故障性质(瞬时性或永久性)。自动化恢复阶段,若为瞬时性故障,自动化系统通过遥控操作实现断路器重合闸,同时调整相关设备运行参数,恢复供电;若为永久性故障,自动化系统根据预设的恢复策略,快速切换备用电源或调整系统运行方式,隔离故障区域,恢复非故障区域供电。

4.3 安全防护与可靠性提升

继电保护与自动化系统的安全防护与可靠性提升通过“硬件冗余+软件防护+运维优化”的三维策略实现。硬件冗余方面,关键设备采用双机热备模式,例如保护装置、监控主机均配置主备两套设备,当主设备发生故障时,备设备可在毫秒级完成切换,不影响系统正常运行;通信网络采用双链路冗余设计,避免单一链路故障导致的信息传输中断。软件防护方面,建立多层级安全防护体系,在终端设备部署防火墙和入侵检测系统,防止恶意攻击;对传输数据进行加密处理,采用数字签名技术确保数据完整性和真实性;定期对系统软件进行漏洞扫描和升级,修复安全隐患^[4]。运维优化方面,构建基于状态监测的预测性运维体系,通过自动化系统实时采集保护装置和自动化设备的运行数据,分析设备健康状态,提前发现潜在故障;建立标准化运维流程,定期开展设备校验、定值核对和系统联调工作,确保设备性能满足要求;搭建远程运维平台,实现对偏远变电站设备的远程监测和故障诊断,提升运维效率。

5 结束语

电力综合自动化系统与变电站继电保护在电气工程里意义重大。通过对系统架构、保护原理的剖析,以及优化策略与协同机制的探讨,有效提升了继电保护的可靠性、适应性与快速性,增强了系统整体稳定性。未来,随着技术不断进步,二者将进一步融合创新,为构建更安全、高效、智能的电力系统持续贡献力量。

[参考文献]

- [1]朱开业.电力综合自动化系统与变电站继电保护研究[J].电力系统装备,2024(12):80-81,146.
- [2]韦帅余,赵董.电力综合自动化系统与变电站继电保护研究[J].电气技术与经济,2023(6):103-105.
- [3]冯媛媛.电力综合自动化系统与变电站继电保护研究[J].电力设备管理,2022(24):163-165.
- [4]汤俊逸.电力综合自动化系统在变电站继电保护电气工程中的应用分析[J].建筑工程技术与设计,2020(26):2827.