

电气自动化中电气接地及电气保护技术分析

叶 盼

(国电投江西电力工程有限公司贵溪分公司, 江西 贵溪 335400)

摘 要 电气自动化系统的安全稳定运行是工业现代化的重要保障。然而, 在复杂多变的运行环境下, 电气设备常受雷电、操作失误、绝缘老化等因素影响, 引发各类故障, 严重威胁系统安全。科学合理的接地系统设计是第一道防线, 通过泄放故障电流、均衡电位分布、抑制电磁干扰等方式, 为人身和设备安全筑起坚实屏障。研究表明, 先进完善的电气保护技术是故障诊断与隔离的利器, 新型保护技术的应用能大幅提升检测速度和可靠性。面对日益复杂的系统架构, 电气接地与保护的有效实施还需统筹全局, 优化协调各类保护的配置, 构建纵深完备的多重防御体系。

关键词 电气自动化; 电气接地; 电气保护; 故障诊断

中图分类号: TM76

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.23.007

0 引言

电气接地和电气保护技术经过不断发展, 已形成相对完善的理论体系。但随着电气自动化系统日益复杂化、大型化, 对供电可靠性和安全性的要求也越来越高, 传统的接地和保护技术已难以完全满足需求。工程技术人员需要与时俱进, 积极采用新材料、新技术、新装置, 不断优化接地系统设计, 提高故障检测与隔离能力, 协调各类保护的配置, 增强系统的自适应水平, 真正做到因地制宜、科学施策, 全面提升电气自动化系统的安全水平。

1 电气自动化中电气接地的作用

1.1 保护人员的人身安全, 防止设备损坏

电气接地是保障电气自动化系统安全可靠运行的首要前提。触电事故和设备绝缘损坏是工业生产中的严重安全隐患, 而电气接地能有效规避这些风险。当系统发生绝缘失效、导体断线等故障时, 完善的接地装置可迅速将危险的故障电流引入大地, 使设备外壳等可导电部分与大地等电位化, 消除人员触及时可能遭受的电击伤害^[1]。同时, 接地还能将雷电及操作过电压限制在安全范围内, 避免高压脉冲击穿设备绝缘, 延缓绝缘老化速度, 大大延长设备使用寿命。可见, 电气接地为保障人员的人身安全构筑起一道坚实屏障, 也是设备绝缘防护的有力保障。没有可靠接地作为基础, 电气自动化系统的安全运行将无从谈起。

1.2 抑制电磁干扰, 提高电磁兼容

随着微电子技术和电力电子设备在电气自动化系统中的广泛应用, 设备产生的高频噪声和瞬态干扰信

号日益增多, 若不能有效控制, 极易通过电磁耦合影响相邻设备, 降低系统可靠性。而接地恰恰提供了抑制干扰传播的有力手段。通过接地, 高频干扰可获得低阻抗回流通路, 其能量在源附近迅速衰减。接地还可将不同区域的干扰信号限制在各自的等电位平面内, 最小化区域间的串扰。对于敏感设备, 邻近的局部等电位接地平面更是直接降低了其所受电磁干扰。合理接地能显著改善电磁环境, 提升设备抗扰度, 从而大幅提高系统电磁兼容性。

1.3 实现故障定位, 加快事故隔离

电气接地在实现故障定位、加快事故隔离方面具有关键作用。电气自动化系统在运行过程中不可避免地会出现绝缘损坏、导体断线等故障, 现代接地系统通常配备先进的接地故障监测装置, 能实时监测接地电流和接地电阻的变化^[2]。当故障发生时, 接地系统为故障电流提供了阻抗最小的通路, 使其能在极短时间内迅速汇集于故障点, 在该处形成明显的接地电压降。这为继电保护提供了重要的故障判据依据。继电保护可通过比较各线路的电流或电压变化, 快速识别故障类型和故障区段, 并及时发出跳闸命令, 切除故障回路, 防止事故扩大。此外, 这些装置与电气自动化系统的 SCADA 平台无缝集成, 通过数据分析和故障模型比对, 能更精准地判断故障性质和范围, 为运行人员提供直观的故障信息, 大幅提高故障处理效率。

2 电气自动化中电气保护技术分析

2.1 短路保护

短路保护是电气保护的基础, 其主要任务是在系统发生短路故障时快速切除故障, 防止电流过大烧毁

设备。常用的短路保护技术包括电流速断保护、限时过电流保护、瞬时过电流保护等。这些保护通过对短路电流的大小和持续时间进行判断,在满足一定条件时迅速跳闸,将故障影响控制在最小范围内。其中,电流速断保护的動作最快,适用于需要快速切除故障的场合;而限时过电流保护和瞬时过电流保护则采用延时跳闸的方式,可实现对系统的选择性保护。

2.2 过载保护

过载保护主要针对电气设备长期承受超过额定值电流的情况。过载保护的作用是防止设备因过热而损坏,保障设备长期安全运行。常见的过载保护装置有热继电器和定时限过电流继电器。热继电器模拟导线的发热情况,当累积的热量超过一定限值时,继电器动作,切断电路。定时限过电流继电器则通过反时限特性,在电流超过整定值的情况下,经过一定时间延迟后输出跳闸信号。过载保护的整定需要考虑设备的过负荷能力和散热条件,既要避免过早动作,也要防止动作过晚导致设备损坏。

2.3 过电流保护

过电流保护是对短路保护和过载保护的一种综合,既可以快速切除短路故障,也能防止设备过负荷运行。过电流保护一般采用过电流继电器来实现,通过电流互感器监测电流大小,当电流超过整定值时输出跳闸信号。根据时间特性的不同,过电流继电器可分为瞬时型、限时型和反时限型。瞬时型适用于需要快速切除故障的场合,限时型可以延时跳闸以实现选择性保护,而反时限型则可以在出现短路和过载时提供不同的保护特性^[3]。过电流保护的整定需要协调好灵敏度和选择性,确保能可靠动作,又不会出现误动和拒动。

2.4 接地保护

接地保护是检测和处理电气系统单相接地故障的保护措施。接地保护可分为两大类:一类是消除系统运行中产生的弧光接地和金属性接地,防止危及人身和设备安全;另一类是在系统发生永久性接地时,自动切除故障回路,将故障范围控制在最小。接地保护一般采用零序电流或零序电压作为故障判据,常用的接地保护装置有零序电流继电器、零序电压继电器等。对不接地系统和小电流接地系统,宜采用灵敏的弧光保护;而对直接接地系统,则需要采用速动性较高的过电流保护。此外,还需对系统中性点的联接方式、接地电阻大小等进行合理选择,以提高接地保护的可靠性和灵敏度。

2.5 过电压保护

过电压保护主要针对电气系统中出现的各种瞬态和暂态过电压,如雷电过电压、操作过电压等。过电压会加速绝缘老化,严重时可导致绝缘击穿,引发短路、接地等次生故障。过电压保护的作用是将过电压限制在设备可承受的安全范围内,避免其危害电气设备的绝缘。常用的过电压保护装置有避雷器、放电间隙等。其中,避雷器具有快速响应、分级保护的特点,既可用于变电站等一次设备的保护,也可用于二次设备的配电线路和终端的保护;而放电间隙主要用于配电线路过电压的粗保护,可承受较大的雷电流冲击。过电压保护装置的选择需要考虑设备的绝缘水平、所处环境的雷电强度等因素,并与其他保护措施相配合,构建纵深防御体系^[4]。

3 电气自动化中电气接地及电气保护技术应用措施

3.1 优化接地设计,提升接地性能

科学合理的接地系统设计是充分发挥其作用的前提。优化接地系统设计需要全面考虑系统的接地方式、电压等级、地质条件等诸多因素,选择恰当的接地材料和埋设方式,严格控制接地电阻,确保其在安全范围内。变电站等重要场所更需因地制宜,细分接地网区域,采用双层接地网、深埋接地体等措施进一步降低接地阻抗。优化接地系统设计还要统筹兼顾接地线路与等电位连接的合理布局,保证接地通路通畅、电位分布均匀。干扰敏感区域可设置局部等电位接地平面,最小化干扰影响。科学的接地系统设计还需着眼长远,重视接地装置的防腐蚀设计,延长其使用寿命。选用优质镀锌钢材、扩大接地体横截面积、必要时辅之以阴极保护等化学手段,都是行之有效的防腐措施。

在工程实践中,优化接地系统设计可从多方面着手,切实提升接地性能。以架空输电线路杆塔接地为例,可根据土壤电阻率和接地电流等级,选择采用放射状、环形或两者组合的接地极布置方式,并合理配置接地极数量和长度,以获得最优接地电阻^[5]。若单一材料难以满足要求,可采用复合接地极技术,将不同材料的接地极组合使用,发挥协同效应。针对土壤电阻率较高的沙漠、岩石等地区,还可采取换填低阻材料、铺设接地网等特殊措施,人为降低接地电阻。对于雷电多发区,应加大接地体截面,缩短接地线路,确保雷电流的安全泄放。在工频干扰严重的变电站,宜采用将主接地网与防雷接地网分开设计的措施,降低工频对通信及自动化设备的影响。对于腐蚀性较强的环境,除选用耐蚀材料外,还须做好焊接防腐,并定期

检查接地装置完整性,必要时局部更换或补强,确保设备长期稳定运行。

3.2 应用新型技术,提高故障检测

随着电力电子和微机保护技术的飞速发展,电气保护领域不断涌现出各类新型技术,为提高故障检测水平提供了广阔空间。现代电气工程应积极借鉴这些创新成果,将其应用于电气自动化系统的故障检测实践中,不断提升系统的安全性和可靠性^[6]。新型故障检测技术具有响应速度快、灵敏度高、适应性强等优点,数字化变电站中的过程层网络 and 智能电子设备(IED)的广泛应用,使得故障信息的采集更加全面、传输更加迅速、处理更加智能,能够在各类复杂工况下快速、准确地识别故障类型和故障位置,并及时启动保护动作,将故障影响控制在最小范围内,有效规避事故扩大和设备损毁。

在电力系统中,输电线路、变压器、母线等关键设备是故障多发的薄弱环节。针对这些设备的故障检测,可应用多种新型技术予以强化。在输电线路保护中,采用基于电流与电压相量的距离保护和方向比较保护,能有效克服高阻接地故障检测的难题。同时,光纤差动保护、行波保护等技术的引入,显著提高了线路故障定位的速度和精度。在变压器保护中,油中溶解气体分析、局部放电检测等在线监测手段日臻成熟,结合传统的比率差动保护,可及时诊断变压器绝缘缺陷,预防事故发生。压力释放阀的动作信号也已成为变压器故障诊断的重要依据。对于母线,采用光纤通信和电流采样等现代技术,可大幅提升差动保护的分辨率和可靠性,降低误差。此外,暂态录波、谐波分析等技术在母线故障检测中也得到广泛应用。

3.3 优化保护配置,实现全面协调

想要真正发挥保护作用,实现故障的快速、可靠切除,仅有先进的保护技术还远远不够,更需通过优化各类保护的配置,实现保护体系的全面协调。保护配置的核心目标是在充分考虑各类故障特点的基础上,合理选择保护方式,科学设定保护定值,使各项保护能够灵敏可靠、快速选择地切除故障,同时又不会出现误动和拒动。这就要求工程技术人员全面审视系统架构,系统分析故障特性,权衡各种保护方案的利弊,进而做出最优决策^[7]。优化配置的过程需要横向比较、纵向递进,既要重点关注关键薄弱环节的针对性保护,又要统筹兼顾上下游、主后备保护的逻辑关系,做到环环紧扣、层层设防、无缝衔接,最终形成纵深协调、可靠高效的完整保护体系。常见的思路包括合理配置

主后备保护,主保护采用速动性高但成本较大的保护方式,如光纤差动保护、综合电压电流保护等,确保对主设备的快速切除;后备保护则采用定时性强、适应范围广的保护方式,如低压侧过电流保护、零序过电流保护等,作为主保护的补充^[8]。两类保护的时间配合须严格校核,确保后备保护在主保护失效时能可靠动作。对于暂态过电压易发的场合,可增设限压型保护,快速切除暂态过电压引起的故障。在多电源系统中,还需重点关注故障电流分布情况,合理配置相应保护定值。当系统运行方式改变时,也须相应调整保护整定值。变电站内还应重视母线保护与馈线保护的配合,采用不同类型的母线保护方式以提高可靠性,同时确保馈线保护的灵敏速动。

4 结束语

电气接地与电气保护是电气自动化系统安全稳定运行的两大支柱。只有深刻理解两者的作用机理,并在实践中灵活运用各种优化技术,才能真正将其功效发挥到极致。接地系统设计的科学性与合理性是首要前提,必须全面权衡系统参数、环境因素,因地制宜、精准施策。电气保护技术日新月异,对新型保护技术的积极引入与创新应用,能显著强化故障检测与隔离能力。保护装置的协调配置是关键所在,需统筹兼顾、纵横联动,做到分工明确又相互配合,构筑起从主设备到次级设备、从主保护到后备保护的纵深防御体系。此外,现代测控技术与电气接地、电气保护的深度融合,将是提升系统自适应能力的必由之路。

参考文献:

- [1] 李轩.自动化系统中的电气接地及保护技术分析[J].集成电路应用,2024,41(07):262-263.
- [2] 沈彬.基于电气自动化中电气接地及电气保护技术分析[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2024(03):1-4.
- [3] 杨禄山.电气自动化中电气接地及电气保护技术分析[J].电脑校园,2020(12):7433-7434.
- [4] 尚维东,张成真.电气自动化中电气接地及电气保护技术[J].中国科技期刊数据库工业A,2022(06):131-134.
- [5] 常晓芳,侯志林.电气工程及其自动化发展趋势分析[J].魅力中国,2017(24):187.
- [6] 吴奇.电气自动化中电气接地及电气保护技术要点[J].国际建筑学,2024,06(12):16.
- [7] 郭婕.电气自动化中电气接地及电气保护技术探究[J].中国战略新兴产业,2021(03):115.
- [8] 张国锋.电气自动化中电气接地及电气保护技术要点[J].建筑工程技术与设计,2021(04):1377.