

核电厂继电保护系统装置应用中的防干扰技术分析

张 尧

宁波市市域铁路投资发展有限公司 浙江宁波 315000

【摘要】随着核电技术的不断发展和应用，核电厂继电保护系统面临着电磁干扰等复杂环境的挑战。为解决核电厂继电保护系统的防干扰问题，本文以某核电厂继电保护系统为例，重点分析了电机保护远距离传输转子、绕组保护信号过程中出现误动等问题。通过采用光纤隔离技术和隔离放大器等防干扰措施，有效提高了系统的抗干扰能力。

【关键词】核电厂；继电保护系统；电磁干扰；防干扰技术；可靠性

引言

核电作为一种清洁高效的能源，在全球能源结构中占据着重要地位。然而，核电厂作为一个复杂的工程系统，其安全和稳定运行至关重要。继电保护系统是核电厂的关键组成部分，承担着对电力设备的保护和监控任务。在实际应用中，核电厂继电保护系统面临着来自各种干扰源的挑战，如电磁干扰、环境干扰等。这些干扰会影响继电保护系统的正常工作，危及核电厂的安全运行。

1 核电厂继电保护系统面临的干扰源分析

1.1 电磁干扰

核电厂继电保护系统在运行过程中面临多种电磁干扰源的影响。对于电机保护系统，远距离传输转子和绕组保护信号时，信号线路极易受到强电磁场的耦合干扰，导致信号失真甚至保护误动。特别是当信号线路与高压输电线路、大功率变压器等设备平行敷设时，强电磁场的耦合效应将更加显著。此外，电机本体也可能产生电磁干扰，如励磁谐波、转子不平衡等引起的电磁噪声，干扰电机保护信号的传输。继电保护系统中的模拟量传输，如电压、电流、温度等信号，对精度和稳定性有很高的要求。然而，模拟量信号极易受到各种电磁干扰的影响，产生测量误差甚至失效。

1.2 环境干扰

核电厂电机保护和模拟量传输系统中的传感器、信号线缆等设备长期处于高温、高湿、高辐射等恶劣环境中，其性能和可靠性将受到严重影响。高温环境会加剧元器件的老化，降低绝缘性能；高湿环境可能导致线缆绝缘能力降低，引起信号泄漏；高辐射环境会引起元器件性能退化，导致信号失真或异常。此外，电机振动、冲击等机械应力也会对传感器和线缆产生破坏，影响信号的准确采集和传输。核电厂所处的地理环境也可能对继电保护系统造成干扰。地震、海啸等自然灾害会对继电保护设备的机械结构

和电气性能产生破坏性影响，引起信号中断或异常。

1.3 其他干扰源

除了电磁干扰和环境干扰，核电厂继电保护系统还面临其他干扰源的影响。例如，电源质量问题如电压暂降、谐波污染等会对继电保护装置的供电可靠性和测量精度造成干扰。接地问题可能导致模拟量信号的共模干扰，电源纹波和谐波也会叠加在模拟量信号中，降低测量精度。当干扰严重时，模拟量信号可能出现高漂或低漂等异常，完全失去参考价值。信号传输过程中的衰减、失真和时延等也会影响继电保护功能的正确执行。此外，人为因素如操作失误、设备失修等不确定性因素，同样可能引发继电保护系统的误动或拒动。

2 核电厂继电保护系统的防干扰技术

2.1 电磁屏蔽技术

电磁屏蔽技术是核电厂继电保护系统防电磁干扰的重要手段。该技术通过在继电保护装置外壳及内部结构中合理应用导电和磁性材料，形成一个封闭的电磁屏蔽空间，防止外部电磁场的入侵和内部电磁场的泄漏。

对于核电厂电机保护系统，远距离传输转子和绕组保护信号时，需要重点加强信号线缆的电磁屏蔽。可采用双层屏蔽结构，内层采用铝箔或编织层，外层采用镀锡铜编织层，提供更高的屏蔽效能。同时，在长距离传输线路的两端加装防雷和电涌保护器，防止雷电和开关操作产生的电磁脉冲损坏继电保护装置。

在继电保护装置内部，应对敏感的信号线路和电源线路进行分开布线和屏蔽，避免线路间的串扰耦合。关键元器件如继电器、微处理器等也应采用屏蔽外壳或屏蔽罩进行局部屏蔽。对于进出屏蔽空间的电缆，需使用屏蔽电缆并在接口处360度连接电缆屏蔽层至设备屏蔽壳，防止电磁场的泄漏耦合。某核电厂的电机保护系统在现场调试过

程中,发现远距离传输的转子和绕组保护信号受到严重的电磁干扰,导致保护装置频繁误动。经分析,干扰源主要来自附近的高压开关设备和变频器。为解决这一问题,技术人员对信号传输电缆进行了重新选型和布线。采用了双层屏蔽电缆,内层为铝箔,外层为镀锡铜编织网,提供了更高的屏蔽效能。同时,对电缆的布线路径进行了优化,尽量避开强干扰源,并在电缆两端加装了电涌保护器。通过这些电磁屏蔽措施,有效解决了电机保护信号的误动问题,提高了系统的可靠性。

2.2 接地技术

接地技术是核电厂继电保护系统防干扰的基础性措施。科学合理的接地设计可有效抑制共模干扰,降低系统的电位差,确保信号传输质量和人身安全。

对于电机保护系统,应采用就地接地的方式,利用短而粗的接地导体将继电保护装置外壳直接连接至最近的接地母排或接地网。这样可以最小化信号线路的环路面积,减少电磁干扰的耦合。同时,采用多点接地可以进一步提高接地冗余度,确保接地连接的可靠性。在模拟量信号传输中,应采用独立的信号地。将传感器、信号调理电路、保护装置的信号地端分别连接至独立的信号地汇点,再通过单点接地的方式连接至主接地网。这样可以有效防止磁环路干扰,提高模拟量信号的抗干扰能力。对于继电保护系统内部的信号地和保护地,需采用“干净地”的理念进行设计,避免将其直接连接至工频接地系统,防止工频干扰的耦合。敏感的二次信号回路宜采用隔离接地的方式,通过隔离变压器、信号隔离器等实现信号地与保护地的隔离。

在某核电厂的继电保护系统升级改造中,技术人员发现原有的接地系统存在严重缺陷。由于接地不规范,系统内部存在多个地电位差,导致敏感的二次回路出现严重的共模干扰,影响了保护功能的正常运行。为此,技术人员按照标准要求,重新规划和设计了接地系统。采用了分区等电位联结的方式,将各个功能区域的接地网通过等电位导体连接起来,实现了系统内部的等电位。关键设备如继电器柜、保护屏等采用了就地接地的方式,缩短了接地引线的长度。经过改造,系统的共模干扰得到了有效抑制,二次回路的信号质量明显改善,继电保护装置的误动率大大降低。

2.3 信号隔离技术

信号隔离技术是核电厂继电保护系统防干扰的另一项关键技术。它通过在信号传输路径中引入隔离器件,实现信号的电气隔离和阻抗变换,有效阻断干扰信号的耦合传播,保障信号的完整性和准确性。

在电机保护系统中,转子和绕组保护信号需远距离传输至保护装置。为解决传输过程中的电磁干扰问题,可采用光纤隔离技术。将电气信号转换为光信号进行传输,再由光电转换模块还原为电气信号,可有效隔离电磁干扰,确保信号传输的准确性和可靠性。对于核电厂继电保护系统的模拟量信号采集,传感器输出的微弱电压信号极易受到电磁干扰,导致信号失真,甚至出现高漂或低漂等异常。针对这一问题,可采用高性能的隔离放大器进行信号调理。隔离放大器集成了隔离和放大功能,不仅可阻断干扰信号的耦合传播,还可将微弱信号放大至合适的电平,改善信号的质量和抗干扰性能。信号隔离设计需遵循“分类隔离、分级保护”的原则。根据信号的重要性和敏感度,将其划分为不同的隔离保护等级,采用相应等级的隔离器件和隔离措施。关键信号回路如跳闸信号、重要测量信号等,需采用多级隔离和冗余隔离的方式,提高系统的可靠性。

在某核电厂的汽轮发电机保护系统中,现场环境恶劣,存在严重的电磁干扰。发电机的振动传感器输出的微弱电压信号在传输过程中容易被干扰,导致振动测量失真,影响了汽轮发电机的状态监测和故障诊断。为解决这一问题,技术人员在传感器输出端和保护装置输入端分别配置了隔离放大器。隔离放大器采用了高性能的隔离芯片,具有高达每秒1500 V的隔离电压和每分钟120 dB的共模抑制比,可有效隔离强电磁干扰。同时,隔离放大器内置了可编程放大器,可根据传感器的输出特性进行放大倍数的调整,将微弱信号放大至合适的电平,改善了信号的信噪比。通过隔离放大技术,汽轮发电机振动信号的采集精度和可靠性得到了大幅提升,为状态监测和故障诊断奠定了基础。

3 结语

总之,核电厂继电保护系统的防干扰技术应用是一项复杂的系统工程,需要设计、制造、运维等各方密切配合,并持之以恒地推进。只有在各防干扰技术措施的相互配合下,并与严格的管理和维护相结合,才能为核电厂继电保护系统构筑起一道坚实的防干扰屏障,确保其在各种复杂恶劣的工况下安全、稳定、可靠运行,为核电机组的安全经济运行提供坚实保障。

参考文献:

- [1] 王艳妮. 智能变电站的继电保护的运行维护分析[J]. 电子技术, 2021, 50(12): 242-243.
- [2] 许庆贺. 提高火电厂继电保护运行可行性的思考[J]. 通信电源技术, 2020, 37(06): 235-236.
- [3] 张韩春. 火电厂继电保护系统装置应用中的防干扰技术分析[J]. 南方农机, 2018, 49(24): 119-120.