

Research on fault detection and automatic recovery technology of electrical secondary circuit

Huan Liu

Langfang Thermal Power Plant, North China Electric Power Co., Ltd. National Energy Group, Langfang, Hebei, 065000, China

Abstract

In the context of the continuous expansion of the scale of modern power systems and the increasingly complex operating environment, the importance of fault detection and automatic recovery technology of electrical secondary circuit, as a key part to ensure the safe and stable operation of power systems, has become increasingly prominent. This paper studies the technology in depth, covering fault detection methods based on signal processing, pattern recognition and artificial intelligence, and describes automatic recovery strategies such as redundant design, fault diagnosis and isolation, and reconstruction techniques in detail. It is found that these technologies can realize rapid and accurate fault detection and identification and improve system reliability. Its significance is to provide theoretical and practical guidance for improving the reliability of secondary loop operation, and promote the intelligent operation and sustainable development of power system.

Keywords

electrical secondary circuit; Fault detection; Automatic recovery

电气二次回路故障检测与自动恢复技术研究

刘欢

国家能源集团华北电力有限公司廊坊热电厂, 中国·河北 廊坊 065000

摘要

在现代电力系统规模持续扩张且运行环境愈发复杂的背景下, 电气二次回路作为保障电力系统安全稳定运行的关键部分, 其故障检测与自动恢复技术的重要性日益凸显。本文深入研究该技术, 涵盖基于信号处理、模式识别和人工智能的故障检测方法, 详细阐述冗余设计、故障诊断与隔离及重构技术等自动恢复策略。研究发现这些技术能实现故障快速准确检测与识别, 提升系统可靠性等。其意义在于为提高二次回路运行可靠性提供理论与实践指导, 推动电力系统智能化运维与可持续发展。

关键词

电气二次回路; 故障检测; 自动恢复

1 引言

随着电力行业的快速发展, 国家相继出台《电力系统安全稳定导则》等政策文件, 对电力系统的可靠性与稳定性提出更高要求。在现代电力系统架构中, 电气二次回路如同关键“神经中枢”, 承担着保障一次设备安全稳定运行的核心职责。但是, 当前电力系统规模急剧膨胀, 其运行环境愈发复杂恶劣, 二次回路受设备老化、电磁干扰及潮湿等不利因素影响, 故障发生率显著上升, 曾引发多起局部停电事件, 给社会经济带来沉重损失。因此, 深入研究电气二次回路故障检测与自动恢复技术迫在眉睫, 这不仅是满足政策导向的必然选择, 更是提升电力系统整体性能、保障社会用电

需求的关键所在。

2 电气二次回路故障检测原理与方法

2.1 故障检测原理

电气二次回路故障检测的核心原理是借助先进的信号处理和模式识别理论, 对二次回路中传输的各类电信号, 如电流、电压等进行动态、实时的监测与精准分析, 以识别信号特征的异常变化, 进而判断回路是否处于故障状态。当检测系统捕捉到偏离正常运行范围的异常信号时, 会立即触发报警机制, 并同步启动故障定位程序, 以便快速确定故障发生的具体位置, 为后续的故障修复与系统恢复提供关键依据^[1]。

2.2 故障检测方法

2.2.1 信号处理法

信号处理技术在电气二次回路故障检测中发挥着基础性作用。其中, 小波变换以其多分辨率分析特性, 能够在不

【作者简介】刘欢(1989-), 男, 中国河北深州人, 本科, 工程师, 从事电气工程及其自动化研究。

同频率尺度下对信号进行分解与重构，有效提取信号中的突变信息和细节特征，从而精准捕捉故障发生瞬间的信号异常变化。例如，在电力系统遭受雷击等暂态冲击时，小波变换可清晰地检测到二次回路中电流、电压信号的高频振荡分量，实现对故障的快速预警。傅里叶变换则侧重于将时域信号转换为频域信号，通过分析信号的频谱分布，准确识别出

特定频率成分的异常变化，如谐波含量的超标等，这对于检测因电力电子设备接入导致的二次回路谐波污染故障具有重要意义。通过对信号进行去噪、滤波等预处理操作，可显著提高信号的信噪比，降低噪声干扰对故障检测准确性的影响，确保检测系统能够可靠地识别出真正的故障信号，如表1所示。

表 1：简单周期信号傅里叶变换前后对比

信号类型	时域表达式	频域表达式	主要频率成分
正弦波	$A\sin(\omega t + \varphi)$	$A\pi[\delta(\omega - \omega_0) + \delta(\omega + \omega_0)]e^{j\varphi}$ (ω_0 为角频率)	ω_0

2.2.2 模式识别法

模式识别技术是实现电气二次回路故障自动识别的关键手段。通过对大量历史故障数据和实验数据的深入分析与归纳，构建涵盖各种故障类型和工况的故障模式库。在实际运行过程中，将实时监测到的二次回路信号特征与故障模式库中的标准模式进行比对匹配。例如，当监测到某一相电流出现持续增大且相位偏移的特征时，与短路故障模式相匹配，从而快速确定故障类型为短路故障。为了提高模式识别的准确性和适应性，可采用先进的特征提取算法，如主成分分析（PCA）等，降低数据维度，突出关键特征信息，同时结合分类器算法，如最近邻分类器、决策树分类器等，实现高效、准确的故障分类与识别，有效提升故障检测的自动化水平^[2]。

2.2.3 人工智能法

随着人工智能技术的迅猛发展，其在电气二次回路故障检测领域的应用日益广泛。神经网络凭借其强大的自学习和非线性映射能力，能够对复杂的二次回路信号关系进行建模与分析。例如，采用多层前馈神经网络对电流、电压信号与故障类型之间的隐式映射关系进行学习训练，通过大量样本数据的迭代训练，使神经网络具备准确的故障预测和诊断能力。支持向量机（SVM）则基于结构风险最小化原则，在小样本情况下仍能实现高精度的故障分类。通过构建合适的核函数，将低维的信号特征映射到高维空间，从而在高维空间中找到最优分类超平面，实现对不同故障类型的有效区分。此外，深度学习算法如卷积神经网络（CNN）在处理图像化的电气信号数据（如电力系统波形图）时表现出卓越的性能，能够自动提取信号的空间和时间特征，进一步提高故障检测的智能化水平和准确性，为电力系统二次回路故障检测技术的发展开辟了新的途径。

3 电气二次回路自动恢复策略设计

3.1 自动恢复原理

电气二次回路自动恢复的基本原理是依托冗余设计、故障诊断与隔离以及重构等关键技术，构建一套智能、高效的故障应对机制。当检测系统发现二次回路出现故障时，系统迅速启动自动恢复程序，依据预设的策略和算法，自动切

换到备用回路或对故障回路进行实时重构，以保障电力系统的关键功能得以持续、稳定运行，最大限度减少故障对电力供应的影响，实现电力系统的自愈性和高可靠性运行目标^[3]。

3.2 自动恢复策略

3.2.1 冗余设计

冗余设计作为电气二次回路高可靠性的关键保障策略，其核心在于针对二次回路中的关键及易故障节点，精心布局冗余元件或备用回路。在实际的电力系统运行环境中，诸多因素如设备长期运行导致的性能劣化、外部突发的物理干扰等，都可能引发二次回路故障。以重要保护装置的电源模块为例，采用双电源冗余供电机制，正常工况下双电源协同工作，共同为保护装置提供稳定电能。当其中一路电源遭遇故障，自动切换装置凭借其高灵敏性和可靠性，迅速将负载切换至备用电源，确保保护装置不间断运行。这种设计理念基于对单点故障风险的深刻认知，通过并行配置冗余资源，有效分散了故障风险，极大增强了系统的容错能力。

从系统工程角度来看，冗余设计不仅涉及硬件层面的备份，还涵盖了软件层面的智能管理与监控。在控制回路中设置主、备用控制电缆，当主电缆因外力破坏或绝缘性能衰退等不可预见因素失效时，自动切换至备用电缆，确保对一次设备的精准控制指令得以持续传输。这一过程并非简单的物理切换，背后需要一套完善的检测与切换逻辑系统，实时监测主电缆状态，一旦检测到异常，立即启动切换程序，同时保障切换过程的无缝衔接，避免对一次设备运行造成任何扰动。通过这种全方位的冗余配置，电力系统在面对各类潜在故障时，能够保持连续稳定的供电能力，显著提升了整体运行可靠性，为电力系统的安全稳定运行筑牢了坚实基础。

3.2.2 故障诊断与隔离

故障诊断与隔离是电气二次回路自动恢复的核心枢纽环节，其效能直接关系到系统能否快速准确地应对故障，恢复正常运行。在现代电力技术体系中，先进的故障诊断算法是实现精准故障定位的关键工具。基于模型的故障诊断方法，通过构建二次回路的精确数学模型，将实时监测数据与模型预测值进行深度比对。例如，在一个复杂的变电站二次回路中，数学模型涵盖了各类电气元件的特性、连接关系以及信号传输规律等多方面因素。当实时监测到的电流、电压

等信号与模型预测值出现偏差,且该偏差超出预设阈值时,系统结合预先设定的故障传播路径模型,综合分析可能的故障点。这一过程涉及大量的数据分析与逻辑推理,需要借助高性能计算平台和优化算法来实现快速准确的诊断^[4]。

基于数据驱动的故障诊断方法则是从海量的运行数据中挖掘潜在的故障模式。通过对历史数据的深度分析,建立故障特征库,当实时数据呈现出与故障特征库中相似的模式时,即可快速锁定故障类型和位置。一旦确定故障点,隔离装置如继电器、断路器等迅速响应,以毫秒级的速度将故障部分从正常运行回路中隔离。这一隔离动作不仅要确保故障不会扩散至其他健康区域,还要保证隔离过程对系统整体运行的影响最小化。例如,在高压输电系统的二次保护回路中,快速可靠的故障隔离能够防止故障引发连锁反应,避免造成大面积停电事故,为后续的故障修复争取宝贵时间,同时有效降低故障处理的复杂程度,提升电力系统的安全性与稳定性。

3.2.3 重构技术

重构技术作为电气二次回路自动恢复领域的创新亮点,为系统应对复杂多变的故障场景提供了强大的适应性和恢复能力。在母线保护二次回路中,当某段母线连接支路突发故障时,重构系统依据智能控制算法,迅速对保护逻辑进行动态调整。例如,故障发生瞬间,系统自动重新计算保护定值,优化保护动作时限,确保在新的拓扑结构下母线保护功能依然精准可靠。同时,重构系统通过智能切换装置,将故障支路快速隔离,并对剩余正常支路的保护参数进行重新配置,如调整电流互感器变比、继电器动作阈值等,使整个母线保护二次回路在新的拓扑结构下实现最优运行状态。

在变电站自动化系统的二次回路中,软件定义网络(SDN)技术的引入为网络拓扑重构带来了革命性突破。SDN控制器作为网络的智能大脑,实时收集网络状态信息,

包括链路负载、节点连接状态等。当网络链路出现故障时,SDN控制器根据预设策略和实时网络状态,迅速重新规划数据传输路径,将流量智能切换至备用链路或合理分配到其他正常链路资源上^[5]。这一过程实现了网络资源的动态优化配置,确保变电站内各类监控、保护和控制信息的稳定可靠传输。重构技术的应用使得电气二次回路在面对不同故障类型和位置时,能够快速自适应调整,恢复正常运行功能,极大提升了电力系统应对复杂故障的能力,从整体上增强了电力系统的可靠性和稳定性,为电力系统的智能化运维提供了强有力的技术支撑。

4 结论

电气二次回路故障检测与自动恢复技术对现代电力系统稳定运行至关重要。通过对多种检测方法的研究,能迅速精准定位故障。精心设计的自动恢复策略确保故障时系统可智能恢复,有效增强了系统可靠性、稳定性与自愈能力。这些技术为电力系统安全高效运行提供保障,推动电力行业发展。虽取得成果,但仍需深入研究,如加强与物联网等新兴技术融合,以更好适应复杂运行环境,满足不断提高的可靠性要求。

参考文献

- [1] 胡晓.电力系统中电气二次回路常见故障及防范分析[J].办公自动化,2024,29(17):84-86.
- [2] 王天兵.继电保护二次回路故障分析及处理技术[J].石化技术,2024,31(08):359-360.
- [3] 郑昕恺,陈梓荣.基于模糊均值聚类的继电保护二次回路故障检测方法[J].自动化应用,2024,65(16):81-83.
- [4] 陈浩.化工企业10kV高压柜电气二次回路的故障分析与处理[J].中国石油和化工标准与质量,2024,44(15):7-9.
- [5] 林方斌.基于电流互感器的二次回路故障智能检测方案与系统分析[J].光源与照明,2024,(03):66-68.