

基于 PFIS 的继电保护常态特性在线监视与隐性故障诊断

邱金辉¹, 钱海¹, 张道农², 尹浙洪³

(1. 国网辽宁省电力有限公司, 辽宁 沈阳 110006; 2. 华北电力设计院工程有限公司, 北京 100120;
3. 上海泽鑫电力科技有限公司, 上海 201206)

摘要: 为提高电网继电保护运行管理能力, 提出了多种基于 PFIS(继电保护故障信息系统)的继电保护装置常态特性在线监视与隐性故障诊断方法。对继电保护运行自检告警信息进行分类实现本体运行状态在线监视; 将继电保护装置运行时的配置信息与基准值进行一致性比较实现配置参数在线监视; 在线采集继电保护装置模拟量信息采用同源比对法对模拟量准确性进行分析实现模拟量测量隐性故障诊断。辽宁电网 PFIS 采用上述方法实现了继电保护在线监视与状态评估, 系统运行良好, 证明了方法的正确性和有效性, 具有较高的推广价值。

关键词: 常态特性; PFIS; 在线监视; 隐性故障; 状态评估

Online monitoring of normal behavior and diagnosis of hidden failures in protection system based on PFIS

QIU Jinhui¹, QIAN Hai¹, ZHANG Daonong², YIN Zhehong³

(1. State Grid Liaoning Electric Power Company, Shenyang 110006, China; 2. North China Power Engineering Co., Ltd., Beijing 100120, China; 3. Zexin Power Science & Technology Co., Ltd., Shanghai 201206, China)

Abstract: In order to improve the power grid relay protection operation management ability, there are three ways to monitor the hidden failures in protection system based on Protection Fault Information System (PFIS) i.e. get the device itself condition by cataloging the self check alarm information, compare the device operating parameters with the reference values online, and analyze the measurement accuracy by homological comparison with other devices. Liaoning Electric Power Grid has realized relay protection online monitoring and condition assessment on PFIS by these methods. The system is running well, which has proved the correctness and validity of these methods and it has high value of popularization.

Key words: normal behavior; PFIS; online monitoring; hidden failures; condition assessment

中图分类号: TM77 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2015)08-0145-05

0 引言

继电保护装置作为电网安全稳定的第一道防线起着十分重要的作用, 继电保护装置存在的缺陷在特定条件下被触发将引起保护误动或拒动, 导致非常严重的后果^[1], 通常把这类缺陷定义为隐性故障。根据现场的调查统计^[2], 导致继电保护隐性故障的原因可以大致分为两类: 1) 继电保护定值不合理: 包括功能压板投退错误、保护定值过时、保护定值整定计算错误等; 2) 继电保护系统硬件缺陷: 包括通信系统故障、测量回路故障、保护装置元件老化、接线错误等。如能对上述原因进行有效监测, 则能有效避免继电保护装置隐性故障的发生。随着一次

设备状态检修工作的广泛开展^[3-6], 业内人士对继电保护状态检修也开展了一些研究工作, 文献[7]提出在智能变电站中基于模糊综合评判思想建立继电保护状态, 文献[8]则给出了继电保护状态评价系统的完整设计方案。这些方案多从某个角度出发对继电保护装置的运行状态进行评估, 未能对继电保护实际运行状况进行深入分析给出全面解决方案。

PFIS(继电保护故障信息系统)经过十余年的建设, 技术已经较为成熟稳定, 该系统主要以电网故障时继电保护装置动作行为信息集中采集和远传为主, 同时也支持继电保护装置自诊断异常告警信息、配置信息(定值区号、定值、软硬压板)以及模拟量的采集, 目前这些信息在 PFIS 常作为辅助信息进行

展示鲜有深入应用, 本文根据继电保护装置的工作原理将继电保护运行划分为常态和瞬态两个阶段, 利用 PFIS 提供的继电保护自诊断异常告警、运行时的配置参数和开入量状态数据对继电保护装置常态特性在线监视, 实现了继电保护装置运行常态阶段下的隐性故障诊断, 以确保继电保护装置的安全稳定运行。

1 继电保护运行特性与隐性故障诊断方法

根据继电保护装置的工作原理见图 1, 在此将继电保护运行特性划分为常态特性和瞬态特性。常态特性指继电保护装置未满足启动条件时仅进行测量计算时的预启动状态, 这种状态持续存在; 瞬态特性指装置本体满足了启动条件后进入逻辑比较和跳闸出口状态。

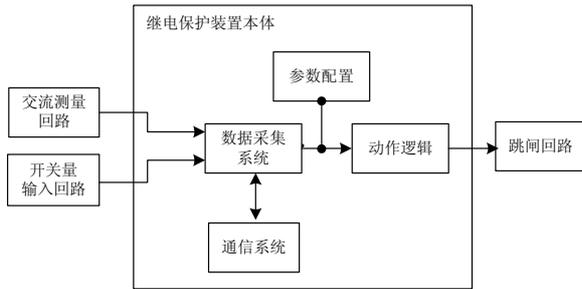


图 1 继电保护装置构成图
Fig. 1 Relay protection structure diagram

继电保护装置包括了装置本体、交流测量回路、开关量输入回路、跳合闸回路、通信系统等, 继电保护装置常态特性运行涵盖了交流测量回路、开关量输入回路、通信系统以及装置本体的数据采集系统; 继电保护装置瞬态特性运行涵盖了跳合闸回路、通信系统以及装置本体的整定值和动作逻辑, 因此需根据不同运行特性下隐性故障的发生状况开展针对性的监测和分析工作。

传统变电站中直流和信号操作由若干继电器和连接各设备的电缆组成, 点多、分散, 要在线监测继电器触点的状态、回路接线的正确性既不经济又不安全, 对跳合闸回路的监测常常从管理手段着手。

继电保护装置微机化后具备了健康状况自诊断能力, 对装置电源、CPU、I/O 接口、通信系统、A/D 转换等进行周期性巡检和异常报告, 因此继电保护装置常态特性下隐性故障诊断关键点在于装置本体自检告警信息及时采集、装置配置正确并且与运行方式匹配验证、模拟量和开关量采集正确性确认。

继电保护产品的开发测试、型式试验、动模试

验、现场调试及验收试验确认了继电保护系统产品和系统的设计是恰当的, 经过这几道检测试验关, 选定的继电保护装置能够满足现场稳定运行的需要, 因此继电保护装置瞬态特性下的定值整定合理性以及动作逻辑的合理性评估一般不需要在就地在线进行, 而是调度中心根据实际需要采用继电保护动作行为分析软件^[9]来实现。

2 基于 PIS 的继电保护常态特性在线监视

2.1 PFIS 采集信息内容和应用

PFIS 主要为继电保护专业服务, 结构见图 2, 安装在厂站端的子站完成继电保护装置和录波器的通信接入, 实现不同型号设备的通信协议接入转换, 按照轮询机制实现对接入设备的定时访问以获取最新的事件信息并支持对接入设备的当前运行参数查询。子站轮询获取的信息包括电网故障时继电保护动作行为信息、故障录波文件以及设备自检告警, 子站对设备当前运行参数查询包括定值区号、定值、软硬压板状态、开关量输入状态、模拟量。安装在各级电网调度中心的主站接收子站自动上送的信息, 将涉及电网故障的继电保护动作行为信息进行有机关联和综合利用, 并支持设备运行参数远方查询。

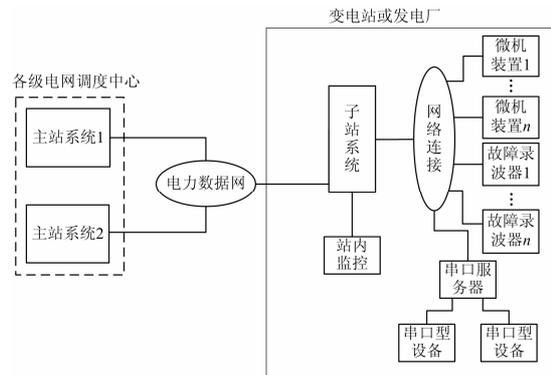


图 2 PFIS 原理图
Fig. 2 PFIS schematic diagram

目前 PFIS 采集的数据已经满足继电保护装置本体运行状态在线监视、配置参数一致性在线核对、模拟量测量隐性故障在线分析对数据内容完备性和实时性要求, 另外利用扰动或真实故障录波文件对继电保护装置开展瞬态特性下的隐性故障分析也是另一项值得研究的方向。

2.2 继电保护装置本体运行状态在线监视

自检告警信息为在线评价继电保护装置本体的运行状态提供了重要依据, 本文对国内传统变电站常见继电保护装置输出的自检告警信息进行归类整

理, 共分为七大类: 回路异常、通信系统告警、运行告警、存储器告警、电源电压告警、配置告警、数据采集告警。各类告警主要内容详见表 1。

表 1 自检告警分类

Table 1 Self-check alarm classification

类别	主要告警名称
回路异常	PT 断线、PT 三相失压、CT 断线、CT 负载不平衡
通信系统	通道退出、通信中断、无采样报文、环回长期投入
运行异常	过负荷、差流越限、长期有差流、开出异常、开入异常
存储器	存储器出错、ROM 和校验错、SRAM 自检异常、RAM 错误、FLASH 自检异常、EPROM 错误、EEPROM 错误、闪存错误
电源电压	直流电源异常、光耦电源异常、内部电源偏低
配置	装置参数错、系统配置错、定值出错、软压板错、定值区号错、开入配置错、开出配置错
数据采集	CPU 采样异常、模拟量采集错、DSP 采样异常

由于 PFIS 中隐含了继电保护装置的设备台账管理功能, 以设备台账为依托, 结合设备的运行和检修历史资料, 就可以开展继电保护装置本体的运行状态在线监视和评价。评价系统的设计可参考文献[8]中给出了基于 PFIS 的继电保护状态评价系统的设计方案, 从而实现了从信息采集、状态分析、分值计算到预警报告的继电保护装置本体运行状态在线监视全流程管理。

2.3 配置参数一致性在线核对

根据实际的运行统计数据, 配置参数不正确或与运行方式失配在现场应用中是较为常见出现的隐性故障, 因此对保护装置当前配置参数包括定值、当前定值区号、硬压板、软压板与预先设定的基准值一致性核对显得尤为重要。PFIS 中开关量输入与硬压板处理方法一致, 因此也将开关量输入也一并纳入在此进行处理。

配置参数一致性在线核对流程包括基准值选定、周期自动比对、核对结果报告三个部分。根据不同类型的参数特点以及管理要求, 可以在 PFIS 子站分布式核对也可以在 PFIS 主站集中核对。

2.3.1 软硬压板和输入开关量在线核对

1) 基准状态管理

PFIS 支持设置各保护基准软硬压板和输入开关量基准状态, 设置方式一般为先召唤实际状态值, 确认无误后直接保存为基准值。

2) 周期自动核对

PFIS 周期性召唤待核对的保护装置软硬压板、输入开关量当前状态值, 与设定的基准值进行比对,

不一致时给出告警; 也可以将保护装置自动上送的开关量变位信息与设定的基准值进行比较。

3) 核对结果

核对完毕后, 生成全部设备核对记录表, 并对异常量和装置给出告警信息。

2.3.2 定值在线核对

1) 基准定值的设置

定值基准值的设置常见的有三种方式: ① 在 PFIS 主站根据各类型继电保护设备的定值单, 按设备类型进行核对, 并最终形成全网统一格式的定值单; ② PFIS 主站与定值整定计算程序接口, 开发专用的定值单流转格式, 并将统一格式的定值单下发到 PFIS 子站; ③ PFIS 子站通过召唤继电保护装置内的当前定值, 通过人工核对后固化为定值核对的基准。

2) 周期自动核对

PFIS 周期性召唤待核对的保护装置当前运行的定值区号以及所有运行定值项, 与预先设定的基准值进行比对。

3) 核对结果

核对完毕后, 可生成全部设备核对记录表, 并对异常的定值单和装置给出告警信息。

2.4 模拟量测量隐性故障在线分析

继电保护装置的模拟量测量包括外部交流测量回路和内部数据采集系统两部分, 任一部分的失效或误差增大均将导致测量值不准, 因此对测量环节的监视最直接的方式是监视模拟量准确性。PFIS 采集到的模拟量是继电保护装置内部数据采集系统处理后的熟数据, 在线分析从两方面实现。

1) 单套继电保护装置测量值分析

PFIS 周期召唤继电保护装置的模拟量, 然后进行幅值越限、幅值变化率越限、三相不一致分析, 这能有效发现外部交流测量回路的隐性缺陷。

2) 多套继电保护装置测量值同源比对分析

对内部数据采集系统的监视因为没有基准参考量无法进行准确性分析, 如果可以同源测量值进行相互比较, 就能对继电保护装置的内部采集系统是否有异常进行评判。

在高压电网中, 同一间隔继电保护保护装置常常为双重化配置, 故障录波器接入的模拟量覆盖全站, 测量值同源比对分析具备了数据条件。PFIS 子站周期召唤各保护装置和故障录波器当前模拟量(幅值和相角), 对所有装置来自相同测量回路的测量值进行比较, 实现多套继电保护装置测量回路同源比对分析。

同组继电保护装置同源的测量值基本相同, 若

二者误差超过预先设定的门限值，则认为继电保护装置的模拟量测量出现了隐性故障^[10]。以对保护装置多个测量通道中的一个测量通道进行分析诊断为例，可按以下步骤进行。

1) 计算本组保护量测量的平均值 V_d

$$V_d = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N V_i$$

2) 计算各保护装置对平均值的差值 v_c

$$v_c = V_i - V_d$$

3) 找出差值中的绝对值最大值 v_j

$$v_j = \max(|v_{ci}|) \quad 1 \leq i \leq N$$

4) 找出 v_j 对应的测量值 V_j ，再次计算不包括 V_j 的测量值平均值

$$V'_d = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1, i \neq j}^N V_i$$

5) 计算 V_j 与 V'_d 的差值，当差值超过门限值达到设定的次数，就可以确定第 j 套保护装置测量异常，如果针对单套继电保护装置测量值的分析结果无异常，则说明是内部数据采集系统的隐性缺陷。

3 实践应用

辽宁省电力有限公司于 2005 年投运了一套 PFIS，系统包括 71 个子站和一个主站，这是国内首次尝试大规模进行 PFIS 建设，目前辽宁电网已经实现 220 kV 及以上电压等级变电站 PFIS 子站基本覆盖。2013 年辽宁省电力有限公司结合辽宁电网对继电保护专业管理要求对现有的 PFIS 主站进行了升级改造，建设了一套集故障信息处理、二次设备在线运行管理于一体的继电保护智能在线运行管理系统，系统结构见图 3。

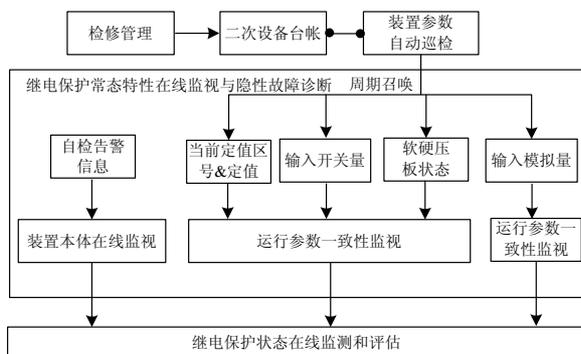


图 3 二次设备在线运行管理
Fig. 3 IED operation management

二次设备在线运行管理包括二次设备台账、检

修管理、继电保护状态在线监测和评估子系统，继电保护常态特性在线监视与隐性故障诊断是继电保护状态在线监测和评估子系统的核心功能之一。目前整个系统功能完备运行稳定，为辽宁省二次设备在线运行管理提供了专业化的技术支撑平台。

4 结语

针对传统变电站中的继电保护装置隐性故障诊断是一项困难的工作，本文将继电保护的运行特性划分为常态特性和瞬态特性，并针对不同运行特性下的隐性故障诊断提出了不同的解决方法。PFIS 已经实现了继电保护装置自诊断结果信息、定值、软硬压板、模拟量等常态特性信息的采集，因此在 PFIS 基础上实现继电保护常态特性的在线监测和隐性故障诊断具有天然的优势。本文对如何利用 PFIS 开展基于微机保护装置自检告警分类的本地运行状态在线评估、配置参数一致性在线核对、模拟量测量隐性故障分析进行了详细阐述，并在辽宁省电力有限公司的继电保护故障信息系统中进行了实践，实际应用效果良好。

参考文献

[1] 杨明玉, 田浩, 姚万业. 基于继电保护隐性故障的电力系统连锁故障分析[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(9): 1-5.
YANG Mingyu, TIAN Hao, YAO Wanye. Analysis of power system cascading failure based on hidden failures of protective relaying[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(9): 1-5.

[2] 曾锦松, 郑南章. 变电站继电保护消缺方法的探讨[J]. 电力系统保护与控制, 2008, 36(24): 104-106.
ZENG Jinsong, ZHENG Nanzhang. A discussion about the method of eliminating defects in the substation[J]. Power System Protection and Control, 2008, 36(24): 104-106.

[3] 毛颖科, 关志成, 王黎明, 等. 基于泄漏电流脉冲主成分分析的外绝缘污秽状态评估方法[J]. 电工技术学报, 2009, 24(8): 39-45.
MAO Yingke, GUAN Zhicheng, WANG Liming, et al. Evaluation of contamination levels of outdoor insulators based on the principal components analysis of leakage current pulses[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2009, 24(8): 39-45.

[4] 张懿议, 廖瑞金, 杨丽君, 等. 基于云理论的电力变压器绝缘状态评估方法[J]. 电工技术学报, 2012, 27(5): 13-20.
ZHANG Yiyi, LIAO Ruijin, YANG Lijun, et al.

- An assessment method for insulation condition of power transformer based upon cloud model[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2012, 27(5): 13-20.
- [5] 李和明, 王胜辉, 律方成, 等. 基于放电紫外成像参量的绝缘子污秽状态评估[J]. 电工技术学报, 2010, 25(12): 22-29.
LI Heming, WANG Shenghui, LÜ Fangcheng, et al. Contamination condition evaluation of insulators based on discharge ultraviolet imaging parameters[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2010, 25(12): 22-29.
- [6] 胡益民, 冯冠平, 刘岩. 基于阻抗谱技术的蓄电池荷电状态的估测[J]. 电工技术学报, 2009, 24(5): 225-228.
HU Yimin, FENG Guanping, LIU Yan. Estimating state-of-charge of storage battery based on impedance spectra technology[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2009, 24(5): 225-228.
- [7] 刘永欣, 师峰, 姜帅, 等. 智能变电站继电保护状态监测的一种模糊评估算法[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(3): 37-41.
LIU Yongxin, SHI Feng, JIANG Shuai, et al. A fuzzy evaluation algorithm for condition monitoring of smart substation relay protection[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(3): 37-41.
- [8] 王跃强, 廖华兴, 袁晓青, 等. 基于保信系统的继电保护状态评价系统的开发与应用[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(8): 134-139.
WANG Yueqiang, LIAO Huaxing, YUAN Xiaoqing, et al. Development and application of relay protection condition evaluation system based on fault information processing system[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(8): 134-139.
- [9] 高楠楠, 战杰. 地区电网在线继电保护动作行为分析软件的开发与应用[J]. 电力系统保护与控制, 2008, 36(21): 61-64.
GAO Nannan, ZHAN Jie. Development and application of on-line relay protection action analysis software for regional power network[J]. Power System Protection and Control, 2008, 36(21): 61-64.
- [10] 熊小伏, 刘晓放. 基于 WAMS 的继电保护静态特性监视及其隐藏故障诊断[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(9): 11-15.
XIONG Xiaofu, LIU Xiaofang. Monitoring of static characteristics and diagnosis of hidden failures in protection system based on WAMS[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(9): 11-15.

收稿日期: 2014-07-02; 修回日期: 2014-10-23

作者简介:

邱金辉(1962-), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事电力系统及继电保护专业的管理工作;

张道农(1961-), 男, 硕士, 教授级高级工程师, 设计总工程师, 主要从事继电保护及安全自动装置的设计与研究以及大型工程项目的项目管理工作;

尹浙洪(1979-), 男, 通信作者, 硕士, 工程师, 主要从事二次设备状态在线监视系统开发以及相关数据挖掘研究。Email: zhehongy@shzxin.com

(编辑 姜新丽)