

[电流互感器]

基于SSD模型的非故障线路电流互感器饱和诊断方法的研究与应用

文/浙江浙能兰溪发电有限责任公司 胡凯波 夏志凌 唐夏冰 孟鹏军

提出了基于SSD模型的非故障线路电流互感器饱和诊断的整体解决方案。故障发生后，在故障线路之外，通过分析SSD模型中故障录波与一次设备关联关系及线路之间的拓扑连接关系，基于波形分析自动检测出非故障线路的电流互感器饱和情况，及时挖掘出配电网存在的安全隐患，并精准指导电流互感器的检修和更换升级，有效解决当前厂站非故障线路电流互感器饱和情况难以发现、缺少检测方法的难题。

电流互感器是一次系统和二次系统间的联络元件，将一次回路的大电流正比例地转换为二次小电流，供继电保护、测量仪表等二次设备使用，以正确反映电气设备的正常运行和故障情况。继电保护用电流互感器在短路时，将互感器所在回路的一次电流转换到二次回路，电流互感器铁心饱和是影响电流互感器性能的最重要因素，进而成为影响继电保护正确动作的重要因素。

电流互感器其铁心的非线性励磁特性，通过互感器大电流将导致电流互感器发生饱和，不能正常转换电流，转换到二次侧的小电流发生缺损和畸变，无法正常反映配电网电流的大小，最终导致继电保护发生拒动或者越级跳闸等事故。目前在配电网中已经出现多起电流互感器饱和造成二次电流变小，引起过电流保护的拒动或动作延时，导致事故范围扩大，同时出现电流互感器饱和造成距离保护之间失去配合。电流互感器出现饱和对于差动保护的影响更大，在差动保护区两侧安装的电流互感器的饱和程度不同会造成差流变大，导致在差动保护区外故障时差动保护误动作，造成严重的跳闸停电事故发生。因此，对配电网中运行的电流互感器饱和的检测非常重要。

当前配电网对于继电保护整定值的准确性、继电保护的可靠性以及二次回路的完整性的专业管理和运维重视程度很高，而对用于继电保护采样输入的电流互感器异常情况重视不够，导致在配电网故障情况下故障线路和非故障线路的电流互感器时常出现饱和情况，目前很多研究局限于故障发生后开展故障线路的录波分析确定故障线路互感器饱和情况，对于非故障线路的电流互感器的饱和诊断缺少故障录波与其对应的一次设备范围，并且厂站间线路拓扑关系缺乏必要的基础支撑，非故障线路电流互感器饱和检测存在困难，当前厂站系统配置描述SSD文件已经开始陆续应用，SSD模型统一了开关场一次系统（功能）结构及一、二次设备关联关系标识，所有的一次设备依据实际的拓扑连接对关联属性进行建模，所有二次设备相关的逻辑节点LNode关联到相应的设备对象上，各个厂站线路及其对应的故障录波模型、厂站间线路关联模型已经具备。

基于以上分析可以看出，本文构建一种基于SSD模型的非故障线路电流互感器饱和诊断及技术支持系统，在故障发生后，在故障线路之外，通过分析SSD模型中故障录波与一次设备关联关系

以及线路之间的拓扑连接关系,通过波形分析自动检测出非故障线路的电流互感器饱和情况,及时挖掘出配电网存在的安全隐患,精准及时指导电流互感器的检修和更换升级。

非故障线路电流互感器饱和诊断总体架构

基于SSD模型的非故障线路电流互感器饱和诊断方法,通过解析所辖厂站SSD模型,分析故障录波和间隔一次设备的关系、非故障线路和故障线路的关联关系及非故障线路的故障录波识别分析,基于配电网故障触发启动,采用模型拓扑自动搜索技术,以故障设备为中心进行拓扑关联搜索,识别分析非故障线路的电流波形并进行融合检测,对波形进行拆解提取、饱和判别等方法扫描非故障各间隔电流互感器是否存在饱和,通过配电网发生的每次故障,触发对配电网安全的扫描诊断,及时挖掘出非故障线路电流互感器存在饱和的隐患情况,总体架构如图1所示。

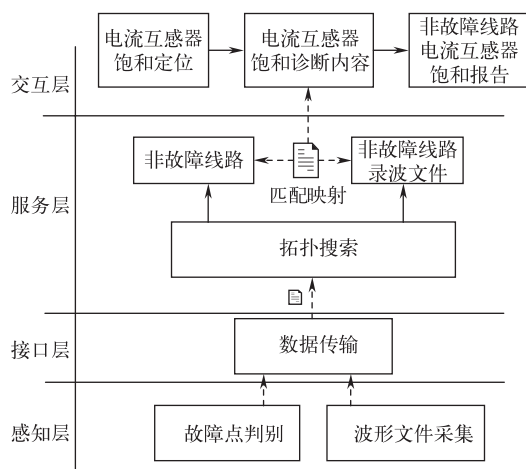


图1 总体架构

基于SSD模型的非故障线路电流互感器饱和诊断方法及技术支持系统包括交互层、服务层、接口层及感知层。

1) 交互层。基于统一结构化设计,构建人机交互界面,展示呈现在配电网发生故障后,基于SSD模型拓扑搜索非故障线路电流互感器饱和诊断方法及技术支持系统对于非故障线路的电流互感器饱和诊断结果和内容,支持用户查看和确认非故障线路存在饱和情况的电流互感器。

2) 服务层。为交互层提供数据服务和解析服

务,基于统一结构化设计,在配电网发生故障后,以故障点为中心进行SSD模型解析和线路拓扑自动搜索,扫描获取以故障点厂站为中心的附近一级非故障线路的故障录波数据,进行统一模型和文件关联匹配,由服务层进行故障录波数据与线路及其对应的电流互感器模型匹配、波形拆解和数据提取分析,对故障点下一级所有非故障线路进行电流互感器饱和检测。

3) 接口层。对于厂站安装的故障录波器,在配电网发生故障以后,记录故障线路波形,同时由于故障的激发启动,故障录波器同时对于故障点相关联的附近一级线路产生波形记录,通过接口层将厂站端的故障录波数据传递给服务层进行解析分析和饱和诊断。

4) 感知层。对于配电网发生线路故障后,感知层通过感知分析确定故障点,收集调取故障点关联的厂站故障录波数据及附近一级厂站故障录波数据。

非故障线路电流互感器饱和诊断实现方案

1. 模型拓扑自动搜索

模型拓扑自动搜索,通过解析SSD模型type类型为引出线IFL的Conducting Equipment对象获取各进出线间隔,线路间隔中包括进出线及相应的线路电流互感器、线路电压互感器、断路器、隔离开关及接地开关对象,每个对象包含名称和描述。每个对象的名称的解析规则是:前缀“IFL”+“线路拼音”+“1/2”+“L/X”,其中:1、2为并行线路序号;L/X表示“路/线”的含义,通过提取不同厂站SSD模型的进出线、各个线路间隔中的进出线路电流互感器获取本侧厂站与对侧厂站线路的关联关系模型,并且确定各进出线路对应的电流互感器。

SSD模型中各个厂站故障录波装置的功能和信息通过逻辑节点与一次设备关联,故障录波装置逻辑节点LPHD配置关联对应的一次设备,通过解析SSD模型中故障录波器,构建故障录波器与线路的关联关系,感知层在故障发生后研判故障点,将拓扑关系文件通过接口层自动推送到服务层,通过解析分析获取故障点两侧变电站,故障点两侧变电站附近一级关联的非故障线路通过拓扑的自动搜索技

术定位出非故障线路及非故障线路对应的电流互感器，并提取SSD模型中非故障线路电流互感器在一次主接线上的图元位置，如图2所示。

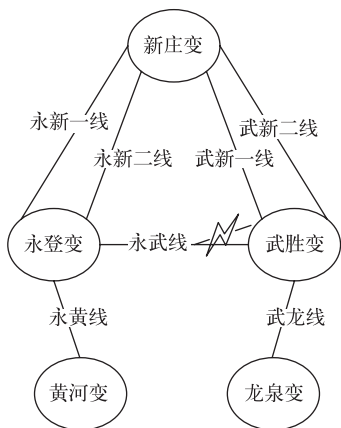


图2 拓扑搜索模型

2. 非故障线路波形匹配解析

非故障线路波形匹配解析模块，解析SSD模型的一二次设备关联关系，解析type类型为引出线IFL的Conducting Equipment对象关联的二次设备为RF的确定线路对应的故障录波器，基于故障点通过SSD模型采用拓扑自动搜索技术，将不同厂站SSD模型进出线进行匹配，获取厂站间拓扑连接关系、故障录波器与线路关联关系，确定故障点两侧的故障录波器关联的线路，遍历故障点附近一级厂站，确定故障点附近一级非故障线路，调取其录波数据并传输给非故障线路波形诊断模块。

3. 非故障线路波形诊断

非故障线路波形诊断模块，故障线路两侧故障录波器记录配电网运行波形判断故障点，以故障点为中心，通过遍历扫描附近一级非故障线路的录波

数据，将非故障线路波形数据进行拆解，提取波形数据中的工频电流和高次谐波电流，计算高次谐波含量，得出高次谐波占比。同时基于提取的波形数据以10 ms为一个间隔进行分段积分，计算积分最大值和最小值的比值，得出分段的波形面积比。其次再计算波形的间断角和最大短路电流并进行比较，去除励磁涌流的干扰。

将三相电流分相数据利用谐波分析提取波形全局特征，利用分段积分抓取波形局部特征，将两种特征融合互补，筛查出具有饱和特征的电流波形，将具有饱和特征的三相电流分相进行励磁涌流检测，筛选每一相的电流间断角和瞬时电流最大值，利用“三相或逻辑”进行研判分析，从具有饱和特征的波形中筛查出励磁涌流，最终诊断出故障线路相关联的非故障线路存在电流互感器饱和，准确发出电流互感器饱和和报警。

4. 电流互感器饱和诊断交互展示

基于SSD模型的非故障线路电流互感器饱和诊断方法及技术支持系统，交互层包括电流互感器诊断交互模块、电流互感器饱和和定位模块。

1) 电流互感器诊断交互模块用于为用户展示呈现以故障点为中心的附近一级非故障线路的电流互感器饱和情况，支持用户图形化查找和查看电流互感器饱和和诊断内容。

2) 电流互感器饱和和定位模块以故障点为中心，通过遍历扫描附近一级非故障线路的故障录波数据，将诊断出配电网故障情况下存在饱和情况的电流互感器块进行定位展示，基于统一基础数据模型，自动生成饱和电流互感器所在的厂站、间隔及型号，生成表格，如图3所示。

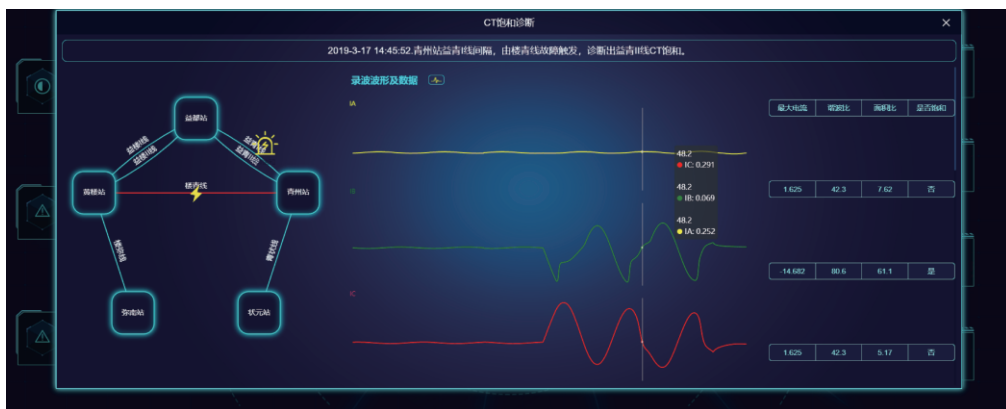


图3 交互展示

非故障线路电流互感器饱和诊断过程

在配电网发生线路故障以后，厂站端故障录波器记录线路故障点及其故障点附近一级线路的波形，通过感知层研判线路故障点位置，获取故障点两侧厂站故障录波数据及附近一级厂站非故障线路录波数据。

基于记录的故障线路波形判断出故障点，由于故障激发故障录波器启动，故障录波器同时记录下故障点相关联的附近一级的线路波形数据，通过接口层将故障点附近一级的非故障线路录波数据传递给服务层，并进行解析波形分析和饱和诊断。

非故障线路波形匹配解析，基于故障点所在线路，解析SSD模型type类型为引出线IFL的导电设备Conducting Equipment对象进行匹配分析，确定SSD模型中故障点线路Conducting Equipment对象，进而确定故障线路两侧的厂站和故障点附近一级的线路，同时解析SSD模型通过线路间隔名称匹配相同的确定故障点附近一级厂站非故障线路间隔包含的线路间隔、线路CT对象及非故障线路关联的故障录波器，调取其录波数据并传输给非故障线路波形诊断模块。

非故障线路波形诊断模块将非故障线路波形数据进行拆解，提取波形数据中的工频电流和高次谐波电流，计算高次谐波含量，得出高次谐波占比。同时基于提取的波形数据以10 ms为一个间隔进行分段积分，计算积分最大值和最小值的比值，得出分段的波形面积比。其次再计算波形的间断角和最大短路电流并进行比较，去除励磁涌流的干扰，诊断出电流互感器饱和的情况。

电流互感器饱和和定位模块将诊断出的在电网故障情况下存在饱和情况的电流互感器块以图形化的方式展示给用户，基于SSD模型中图元位置信息，以图形化方式在一次主接线图上展示厂站间隔存在饱和的电流互感器，支持用户查找和查看电流互感器饱和和诊断内容，并自动生成饱和和电流互感器所在的厂站、间隔及型号的表格报告，支持用户下载。

效果意义

在实际应用中，通过电网发生的每次故障，触发对电网安全的扫描诊断，及时挖掘出非故障线路电流互感器存在饱和的隐患情况，通过自动化技术手段

发现电流互感器选型和技术特性的不足，实现自动排雷和优化建议。利用本文的检测诊断方法代替人工试验筛查的方法，通过每一次故障对配电网自动开展诊断，极大地提高了电流互感器饱和和排查的效率和准确性，同时减少了人工作业的工作量和危险系数，大大降低了电流互感器饱和和排查过程中出现漏判、误判的几率。配电网故障发生以后，通过非故障线路电流互感器的自动诊断，可以及时发现电流互感器存在饱和的隐性故障，发出预警信号，指导电流互感器检修决策，降低电流互感器饱和引发的继电保护不正确动作风险。同时可以对目标电流互感器的历史饱和和数据进行统一分析比较，及时发现目标电流互感器的状态发展情况，诊断目标电流互感器的健康状况，为设备检修提供支持和依据。

结束语

本文依据在浙江浙能集团各下属500 kV、220 kV不同电压等级升压站的实际应用，结合历史发生的配电网故障录波数据进行扫描分析和算法优化，提出一种基于SSD模型的非故障线路电流互感器饱和诊断解决方案，对于配电网非故障线路的电流互感器存在饱和的隐患情况来说，通过配电网发生的每一次故障即时启动对于非故障线路的排查和诊断检测，及时有效挖掘出继电保护可能发生拒动或者越级跳闸的安全隐患，为配电网安全提供了可靠的“排雷”手段。EA

(收稿日期：2021-11-30)

参考文献

- [1] 肖燕，李军，庞福滨，等. 基于合成概率法的光学电流互感器运行可靠性[J/OL]. 电网技术：1-7[2021-11-30]. <https://doi.org/10.13335/j.1000-3673.pst.2021.1693>.
- [2] 张瑞明. 一种电流互感器二次回路多点接地在在线监测装置及其监测方法的研究[J]. 山西电力，2021(5)：34-37.
- [3] 朱忠亨，高晶. 电流互感器饱和后的二次侧电流有效值分析[J]. 电力勘测设计，2021(7)：16-19.
- [4] 罗丽佳. 600 MW发电机组TPY级电流互感器暂态性能校验分析[J]. 青海电力，2021，40(02)：32-37.