

智能故障指示器实现技术研究

李子涵¹, 李章维²

(1. 浙江工业大学 国际学院, 杭州 310023; 2. 浙江工业大学 信息学院, 杭州 310023)

摘要: 传统故障指示器在现场只记录采集信息, 不能有效进行现场故障分析和判断, 故障分析判断的延迟较大, 故障判断的准确率较低; 引入周期滤波方法, 消除工频信号对采样的影响, 利用微分符号统计和最大值统计方法, 获得小电流接地系统暂态过程的纯净波形和峰峰值, 采用基于聚类分析的故障判断策略, 及时准确地判断供配电网络故障, 上报故障集控中心综合处理, 提高电网运行的可靠性, 同时实现故障指示器采集信息的现场分析处理。

关键词: 智能故障指示器; 聚类分析; 故障匹配; 工频信号; 暂态过程; 微分符号

Research on Implementation Technology of Intelligent Fault Indicator

Li Zihan¹, Li Zhangwei²

(1. International College of Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310023, China;

2. College of information engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310023, China)

Abstract: The traditional fault indicator can only record and collect the information on the spot, and can not effectively analyze and judge the fault, the delay of the fault analysis and judgment is large, and the accuracy of fault diagnosis is low. This paper introduced the cycle filtering method to eliminate power signals on the effects of sampling, using differential symbol statistics and maximum statistical method, to obtain the small current grounding system transient pure waveform and the peak peak value, the fault judgment strategy based on clustering analysis, timely and accurate judgment for the distribution network fault, fault reporting control integrated processing center and improve the reliability of power grid operation, and implementation of field information acquisition fault indicator analysis.

Keywords: intelligent fault indicator; cluster analysis; fault matching; power frequency signal; transient process; differential symbol

0 引言

随着我国电网技术的不断改进和提高、配电网络自动化的不断推进, 故障指示器在电网中的应用越来越广泛。故障指示器可以直接悬挂在供配电网络的架空线上, 也可以安装在地下电缆段表面, 通过检测线路的电压、电流和温度, 判断线路的运行状况, 及时查找定位故障点, 提高供配电网络运行的可靠性, 保证供配电网络的正常运行。基于故障指示器的电网在线监控系统, 免去了人工巡线造成的人力物力浪费, 特别适合农村电网和城乡结合部的供配电网络, 有效地弥补了供配电网络自动化系统的不足; 但是, 由于故障指示器的安装位置地处偏远, 信息传输往往不太方便, 存在信号不稳定、通信速率低等缺陷, 而且短时间内无法克服, 大大限制了传统故障指示器录波信号的上传, 极大地影响了传统故障指示器的应用效果。

故障指示器在检测供配电网络运行信息的同时, 还侧重解决供配电网络的小电流接地故障问题。我国配电网络基本上都采用中性点不接地系统和经消弧线圈接地系统这两类小电流接地系统。统计显示, 单相接地故障占供配电网络总故障率的70%以上, 当配电网络发生单相接地故障时, 由于接地故障电流非常小, 三相供电电路也能够基本保持平衡, 因此依然允许

电网继续运行1~2小时, 但连续处于故障状态会严重影响供电网络的正常运行, 进而破坏供配电网络。因此供配电网络的接地故障检测对电网的正常运行非常重要。目前故障指示器的故障误报率高, 在信息检测技术和故障判断技术等多个方面都有较大的改进空间。

1 传统故障检测方法

目前输电线路的故障70%以上为单相接地故障, 单相接地故障检测方法主要有: 零序电流检测法、信号注入法、电容放电电流幅值法、五次谐波检测法、首半波检测法等几种检测方法。不管哪种故障检测方法, 由于故障指示器本地存储空间都非常有限, 因此都必须将采集到的数据传输到数据监控中心, 由监控中心预判故障线路, 最后监控中心针对上传的采集数据启动故障分析, 而后根据故障分析结果采取相应对策, 解除故障。在这过程中, 不管线路是否发生故障, 每个故障检测器都必须将采集到的数据通过手机无线网络或专网发送到数据中心; 这不但浪费了网络通信资源, 而且也给数据中心的存储和管理增加了负担, 最关键的是不能及时实现故障分析和报警。因此故障指示器的本地数据分析和故障处理成为故障指示器研发的热点, 也是下一代故障指示器研发的主要方向。同时传统故障指示器只采样电压电流数据, 基本不关注其差分数据、差分数据的持续时间、湿度、风速和时段供电特征等重要信息, 造成故障判断的准确率不高, 严重影响故障指示器的应用和供电系统的正常运行。

2 智能故障报警系统的硬件实现

由于受到信息处理能力、存储容量等诸多限制, 故障指示器本地化故障分析处理应力求结构简单、稳定可靠, 同时故障

收稿日期: 2017-01-05; 修回日期: 2017-02-11。

基金项目: 国家自然科学基金(61075062); 浙江省科技厅重点公益项目(2014C33088)。

作者简介: 李子涵(1997-), 男, 本科生, 主要从事计算机应用, 电力自动化方向的研究。

李章维(1967-), 男, 副教授, 硕士生导师, 主要从事计算机应用, 电力自动化方向的研究。

分析和判断的算法也力求简单。基于这些要求, 本文的故障指示器选用 STM32 系列微控制器作为主 CPU, 用 ATT7022E/26E/28E 多功能高精度三相电能专用计量芯片作为信号调理采集芯片, 该系统方案需要的外围电路少、电路集成度较高、工作稳定可靠。ATT7022E/26E/28E 芯片能够采集的参数非常多, 集成了 7 路 sigma-delta ADC、参考电压电路以及所有功率、能量、有效值、功率因数、频率和一路温度测量等数字信号处理电路, 同时通过 SPI 接口实现与 STM32F103XX 主 CPU 之间的高速通信, 基本消除故障指示器系统内的通信延时。故障指示器通过短距离无线传输模式将本地信息汇聚到集中控制器, 集中控制器则利用远程手机无线通信模式将各故障指示器信息发送到故障集控中心, 由集控中心全权处理各类故障, 整个故障报警系统的结构如图 1 所示。



图 1 故障指示器与故障报警系统关系图

故障指示器内部的原理如图 2 所示, 整个系统分三相电能信息检测、故障判断二部分。三相电能信息检测完成三相电压电流信号预处理、采样和数字滤波, 如图 2 的左下角部分, 输电线路的电压电流感应信号经 ATT7022E/26E/28E 芯片多路电压电流采样输入引脚的第 i 路 V_{iP} 、 V_{iN} , 由 ATT7022E/26E/28E 芯片完成所有电能信号的采样; 而 ATT7022E/26E/28E 芯片采样的信息则经 SPI 总线传输到 STM32F103XX 主 CPU 芯片, 由 STM32F103XX 主 CPU 完成故障判断、故障报警、故障处理, 并与电网的集控中心进行信息交互, 如图 2 右下角所示。

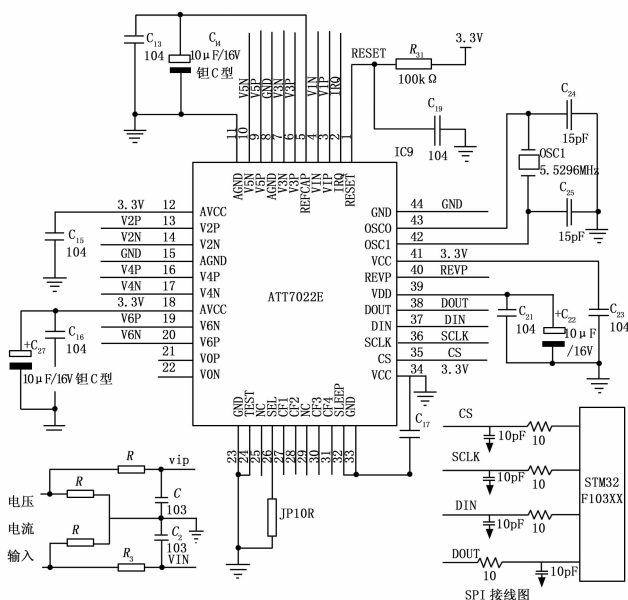


图 2 故障指示器内部原理图

3 智能故障数据检测

多路电压电流采样芯片 ATT7022E/26E/28E 的采样频率最高为 28.8 kHz, 可通过多种方式触发故障录波功能, 录波装置中有 64 M~1 G 电子盘或 CF 卡, 存放暂态录波数据, 另外可

选配第 2 个数据处理单元和 40 G 笔记本硬盘存放长录波数据。尽管存储量可观, 但相对于户外长时间不间断应用来说, 其存储空间还是非常有限, 而且受通信速率的限制, 不可能将每台故障指示器的录波信号都传往故障处理中心; 因此故障指示器本地信息处理、故障判断功能对故障指示器的应用非常重要。由于各种原因, 传统的故障指示器故障报警的准确率只有 60% 左右, 而且实时性不高, 大大限制了故障指示器的应用。

传统的故障检测方法包括零序电流检测法、五次谐波检测法、首半波检测法、电容放电电流幅值法、信号注入法等。零序电流检测法利用零序电流的大小和方向的变化检测单相接地故障, 除了结构复杂、体积大、精度低等缺陷之外, 还容易引起误判, 特别是针对零序电流变化取决于消弧线圈补偿度的中性点消弧线圈接地系统。首半波检测法是利用故障线路中电容电流和电容电压的首半波幅值和方向在接地瞬间与正常情况不同而进行的单相故障检测方法, 电容电流是在动态变化的, 故障发生时相电压越大检测结果越准确, 但相电压最大的瞬间较难掌握, 且一旦故障发生时的相电压接近为零时, 此法就很难奏效。信号注入法通过在变电站安装信号源, 一旦产生故障, 信号源会自动发送一个特殊的低频信号, 故障检测仪根据是否捕捉到该信号的特征进行单相接地故障选线和定位。信号注入法虽然适用性强, 不受系统拓扑结构、运行方式的影响, 但要安装信号源, 增加了系统成本和复杂度。相比之下, 五次谐波检测法利用系统发生故障时产生的大量奇次谐波多为 5 次谐波的特点, 进行故障检测。由频谱分析可知, 接地故障发生时, 线路电流的各高频分量信号 (300~3 000 Hz) 的有效值突然变大几倍到几十倍, 且不受其它外在高频信号的干扰以及线路励磁涌流的影响, 易于检测, 相比其它检测方法, 五次谐波检测法具有一定的优越性。

传统故障指示器在高次谐波检测时, 由于检测精度不高, 不容易检测到高次谐波的变化, 从而影响故障判断的准确性。为提高高次谐波检测的准确性, 本文引入新型的信号波形数据检测技术, 提高了谐波检测的精度, 进而增强了故障指示器故障判断的准确性。

首先, 对采样信号进行数值滤波 (如式 1), 不但可以过滤掉采样干扰信息, 还可滤除高次谐波, 进一步突出基波分量。

$$U_i' = \sum U_i * 1/n \tag{1}$$

利用经过滤波后的 U_i' 计算工频信号的幅值 A 和相位 φ , 得工频信号如式 (2):

$$X = A \sin(100\pi t + \varphi) \tag{2}$$

暂态电压电流分量如式 (3):

$$V i' = U_i' - X_i \tag{3}$$

$$V_s = \sum signal(ev) = \sum signal(V i + 1' - V i') \tag{4}$$

暂态峰值的条件: $Max(V_s)$ 且 $Max(V i')$ (5)

暂态峰谷值的条件: $Min(V_s)$ 且 $Min(V i')$ (6)

$V i'$ 为去掉基波分量后的检测值, 可进一步突出五次谐波分量, 利用 $V i'$ 得到微分符号统计量 V_s (如式 4), 因为 V_s 的极值和峰峰值肯定同时出现, 利用该特点综合识别暂态过程 (如式 5、式 6), 可以提高暂态过程识别的准确性和灵敏度, 进而判断接地故障, 触发 FFT 变换, 计算暂态分量的频谱, 得到如图 3 所示的典型暂态过程的频谱分析结果, 并进一步确认接地故障。

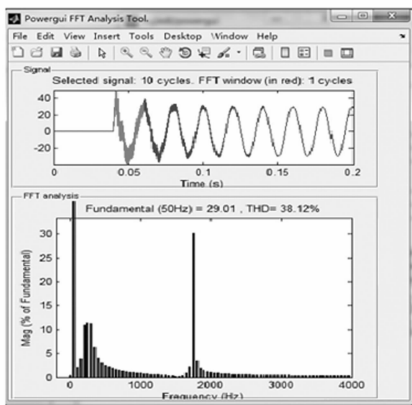


图 3 暂态接地电流及频谱分析图

4 基于聚类分析的智能故障判断

用向量 $x_i (i=1, 2, \dots, n)$ 分别为线路电压、电流、电压增量、电流增量、电压电流相位差、相位差的变化量等测量参数;把数据集 $\Omega = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 划分为多个子集 $C_j (j=1, 2, \dots, k)$, 每个子集表一个故障状态的数据, k 即为故障状态数, 并且根据线路用电状态的变化特点, 按不同时段建立不同的状态集 C_j ; 同时每个时段的 C_j 满足以下三个约束条件(7)~(9):

$$\cup C_j = \Omega \tag{7}$$

$$C_j \neq \emptyset, \quad j = 1, 2, \dots, k \tag{8}$$

$$C_i \cap C_j = \emptyset, \quad i, j = 1, 2, \dots, k \text{ 且 } i \neq j \tag{9}$$

故障状态的特征数据包括聚类中心的特征向量 X_i 和向量的邻域半径 i , 这些特征数据的获取有两种方法: 第一种方法是直接根据历史经验给出特征数据的具体数值; 第二种方法是通过典型历史测量数据的聚类分析获取特征数据。典型历史测量数据的空间聚类分析将数据聚类成 K 个初始故障状态集 C_j , 初始划分的聚类质量评估函数为:

$$J = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} D(x_i, z_j) \quad x_i \in C_j \tag{10}$$

其中: n_j 是子类 C_j 中的样本总数; $d(X_i, Z_j)$ 表示样本 X_i 与所属子类 C_j 的中心 Z_j 的距离; J 表示全部类内距离, J 的值越小, 说明聚类效果越好; Z_j 表示子类 C_j 的聚心, 是该子类所含样本的重心, 重心的查找方法为四邻域收缩的变尺度方法, 如式 (11) 所示:

$$x_{ij}' = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ij} \tag{11}$$

直到找出 k 个最大的重心: $\max(x'_{ij})$, 作为出事聚类中心。其中 x_{ij} 为各特征量的采样量的权重, 每次采样值落到该位置则权重加 1。

系统运行过程中也需要不断对故障分类的特征数据进行调整, 调整策略为聚类中心的特征向量的滚动优化, 即 $x'_i = x_i + a * x_i$; 向量的邻域半径 x_i 的调整策略为取最大值, 如果 $x_i < (x'_i - x_i)$, 则 $x_i = (x'_i - x_i)$ 。

故障判断策略为: 如果 $(x'_i - x_i) < x_i < (x'_i + x_i)$, 则运行状态属于 C_j 状态。

新型智能故障指示器采用新的故障数据检测技术和基于聚类分析的故障判断方法后, 其性能指标有了很大的提高, 故障报警率由原来的 92% 提高到了 100%, 故障报警的准确率由原

来的 50% 提高到了 85%, 故障误报率由原来的 30% 降低到了 7%; 不仅如此, 由于故障报警精度和准确性的提高, 可以更加精确地描述故障信息, 因此可以将故障类型分得更加精细。综上所述, 该型故障指示器的性能已完全达到了电力系统的应用需求, 目前该新型智能故障指示器已在某省多个地市县电力公司的配电网路上进行挂网试验, 从初步的反馈数据来看, 基本达到了预期目的; 接下来经过进一步完善新型智能故障指示器的其它要件, 并将其推广应用到我国各省市电力公司的输配电网网络系统中, 提升电力输配电网网络的自动化水平。

5 结论

利用故障指示器的录波功能, 实现故障数据分析判断的本地化, 不仅可以充分利用故障指示器的主 CPU 资源, 减少通信开销, 更重要的是还可以提高故障判断的实时性; 线路故障指示器的故障判断中加入暂态分量、差分数据和时段供电特征等多种有用信息, 形成高维矢量数据, 可以更加详细地描述配电网路的运行状态, 提高故障描述的准确性; 同时采用基于高维矢量数据的聚类分析方法进行故障判断, 可有效地提高故障判断的准确性, 具有较好的实际应用价值。目前, 文中所述的故障指示器已进入小批量量产阶段, 并已在多个地方输配电网路上进行挂网试验, 取得了较为理想的效果。

参考文献:

[1] 吕常智, 陈勇. 适用于架空线路的接地型故障指示器检测方法研究 [J]. 电子测试, 2016, 11: 47-50.

[2] 何哲, 王瑞峰, 郝溪. 含分布式电源配电网单相接地故障测距研究 [J]. 郑州大学学报, 2016, 48 (1): 85-90.

[3] 王倩, 谭王景, 叶赞, 等. 基于 ATP-EMTP 的电弧接地故障的建模与仿真 [J]. 电网与清洁能源, 2015, 31 (1): 16-21.

[4] 洪月华. 蜂群 k-means 聚类算法改进研究 [J]. 科技通报, 2016 (4): 170-173.

[5] 李志宏, 刘浩, 裴承芝, 等. 基于 STM32 电网短路故障指示器的设计 [J]. 武汉理工大学学报, 2016, 38 (2): 263-266.

[6] 刘名建, 吴猛, 李红军, 等. 基于故障指示器的配网故障监控管理模型的研究 [J]. 通信电源技术, 2015, 32 (4): 120-121.

[7] 李传健, 孙嘉宁, 胡青山, 等. 配网单相接地故障模拟试验平台的研究与实现 [J]. 机电工程技术, 2015, 44 (9): 122-127.

[8] 李振杰. 浅析故障指示器在 10 kV 线路上的安装与应用 [J]. 机电信息, 2015, 24: 9-10.

[9] 薛永端, 冯祖仁, 徐丙垠. 中性点非直接接地电网单相接地故障暂态特征分析 [J]. 西安交通大学学报, 2004, 38 (2): 195-199.

[10] 金海望, 骆立实, 胡尊张, 等. 中性点经高阻接地电网故障电弧建模与弧光接分析 [J]. 电气自动化, 2014, 36 (4): 54-56.

[11] 李伟, 张申. 基于 iFIX 的配煤自动化设计电气传动 [J]. 电子技术与软件工程, 2008, 38 (3): 43-45.

[12] 刘浩宇. 中低压配电网单相接地故障选线方法研究 [J]. 科技创新导报, 2010, 11: 71-72.

[13] 杨顺义, 杨宏. 小电流接地系统单相接地检测 (选线) 的新判据 [J]. 电力自动化设备, 2001, 21 (8): 61-64.

[14] 寒垆. 实用模糊数学 [M]. 北京: 科学技术文献出版社, 1989.

[15] 肖白, 束洪春, 高峰. 小电流接地系统单相接地故障选线方法综述 [J]. 继电器, 2004, 29 (4): 28-31.

[16] 肖静, 潘贞存, 丛伟. 基于模糊综合决策的配电网单相接地故障选线的研究 [J]. 山东电力技术, 2004 (3): 12-15.