

基于故障录波器的高压断路器综合在线监测系统设计

目前高压断路器机械故障诊断技术存在安装困难、接线和操作复杂以及诊断技术单一等问题，而且现有的监测系统无法对二次控制回路元件、弹簧或液压操作机构、操作传动杆及灭弧室机械元件等断路器各部分进行全面监视诊断。为此，基于故障录波器原理设计了一种高压断路器综合在线监测系统。该系统整体架构由监测主机、通信系统和分布式监测装置三部分共同构成，以协同实现对高压断路器运行状态的在线监测和故障诊断功能。以监测主机为上位机，可以是个人笔记本或台式机，其主要完成与监测装置的通信、数据的分析处理等。通信系统采用光纤以太网设计完成监测装置与监测主机之间的通信。分布式监测装置充当下位机采用嵌入式方案设计，其核心功能是在线采集断路器各电气和机械的状态参数，并与监测主机之间通过光纤以太网实现通信。

刘锦杰 罗赞琛 邓永健/中国南方电网超高压输电公司南宁局
刘佳薇/北京交通大学

0 引言

高压断路器二次控制回路元件、弹簧或液压操作机构、操作传动杆以及灭弧室机械元件等故障或触头烧损，造成断路器拒动作或误动作事件，对电力系统的可靠运行产生了重大的影响。

目前国内外已提出新型断路器状态在线监测技术，并得到实际应用。文献[1]基于ARM+DSP设计了主从处理器架构的高压断路器分布式监测系统，但是其对断路器状态信息数据的采集不太全面。文献[2]采用上下位机的系统结构，设计了基于96单片机的断路器综合在线监测系统。针对高压真空断路器机械特性的监测，文献[3]提出了一种针对某高压真空断路器机械特性在线监测系统设计方案。文献[4]借助在线监测系统对液

压式高压断路器机械特性在线监测故障几率进行了有益的探讨。文献[5]采用由ARM、FPGA及信号处理模块组成的下位机实现了对高压开关机械特性测试。文献[6]提出了一种基于ARM和FPGA的高压开关机械特性测试系统。但是，各种监测技术未能对二次控制回路元件、弹簧或液压操作机构、操作传动杆以及灭弧室机械元件等断路器各部分进行全面的监测。

为解决上述问题，本文研制一种基于故障录波器原理的断路器在线监测装置。通过故障录波器采集断路器的控制回路分合时间、灭弧室分合电流、断路器分合前后电压、分闸线圈电流以及弹簧电动机电流或液压机构打压时间等，由系统对以上相关数据进行综合分析，判断断路器各部分的动作特性，实现对断路器各部分的全面监视，快速识别高压断路器的工作状态，并确定具体的缺陷部位，尽量避免无谓的停电试验和过分检修，减轻断路器运维工作量，降低运维成本，提高检修效率，而显著提高电力系统运行的可靠性和经济性。

1 分布式故障录波器

故障录波器的发展经历以下几个阶段^[7-9]：

1) 厂站分开，集中配置。将发电厂和变电站分开，单独集中装设故障录波器。集中式故障录波器采用独立的数据采集单元采集录波数据，并进行简单的故障判别和分析。由于其结构和网络配



刘锦杰/工程师

关键词/Keywords

断路器 ·
在线监测 ·
故障录波器 ·
嵌入式设计 ·
光纤以太网 ·

置独立且十分复杂,难以与现有变电站自动化系统相兼容,但其主要缺陷在于自身冗余度小,无法进一步发展。

2) 保护兼录波功能。这种功能杂糅实际上只能用于对配电系统的故障录波,而对于输电网络和发电机则无法适用。

3) 分布式录波。分布式故障录波器的特点在于一个录波主站和多个录波采集单元。本文所采用的分布式录波器的拓扑结构如图1所示。

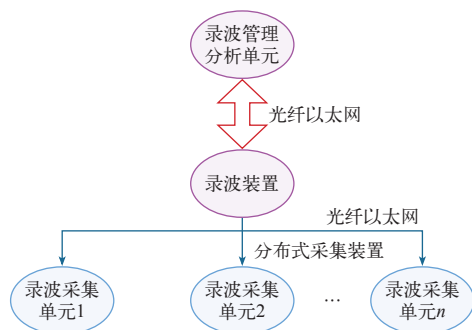


图1 分布式录波器的拓扑

分布式故障录波器克服了集中式录波器存在的独立性、分散性以及冗余程度高的缺陷,是当前故障录波器的主流发展方向。本文正是基于分布式故障录波器原理设计了一套高压断路器综合在线监测系统。

2 高压断路器综合在线监测的系统架构

基于分布式故障录波器原理的高压断路器在线监测及故障诊断系统采用层次化的设计架构。如前所述,故障录波器采用分布式结构设计,其采集装置采用嵌入式方案设计。系统总体结构如图2所示,系统由三大部分组成,即监测主机、分布式监测装置和通信系统。下面分别对这三个方面的内容进行简要介绍如下:

1) 监测主机。其主要功能包括MH与监测装置的通信、数据分析处理、运行参数波形曲线的显示、报表的显示打印、综合诊断分析、断路器状态评估和监测装置的监视等。

2) 分布式监测装置。装置安装在各监测断路器的电气间隔处,负责采集断路器运行状态数据,包括电气参数和机械参数,并通过通信系统总线,

按照特定的通信规约将数据上传给监测主机。

3) 通信系统。通信网络基于光纤以太网设计,用于监测装置与监测主机之间的通信。

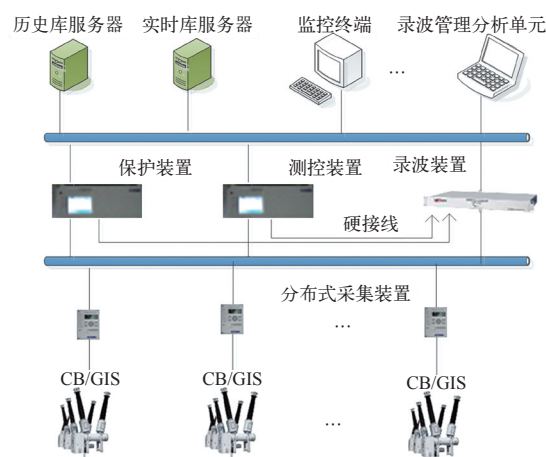


图2 断路器在线监测与诊断系统架构

3 系统的数据信息的采集及基本分析

系统的数据信息来源包括在线采集的运行数据信息、离线导入的试验数据和运行维护数据,并将信息进行综合。其中,在线采集的原始数据信息主要依靠现场传感器来获取,其主要的类型结构如图3所示。在此基础上设置了基于偏离度的状态参考评价标准,通过将相关波形、数据与基准数据进行比对,并结合运行信息、维护和异常信息,分析判断断路器二次控制回路及其相关原件、操动机构和弹簧储能机构运行状态。

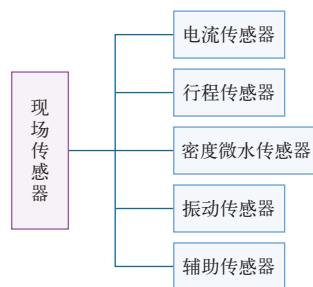


图3 监测系统的传感器结构

3.1 断路器的控制回路分合时间的采集分析

通过测量自断路器接收分合命令至分合线圈出现电流的时间,并比对每次断路器分合操作过程控制回路的动作时间,判断测控装置、保护操

作箱回路和断路器本体控制回路等各元件的工作状态。

3.2 断路器储能电动机工作电流采集分析

通过霍尔电流变换元件和光电设备采集相关电流。霍尔电流变换元件具有体积小、电气性能好、准确度高和线性度动态特性好的特点。相应回路电流的输入由穿心线圈采集，避免影响现有断路器的安全运行。完成相关电流采集后，通过比对相应电流大小，并结合电动机起停时间、次数，判断储能机构、电动机或者液压操作机构的工作状态。

3.3 断路器机械特性参数的采集及分析

(1) 断路器机械特性参数的采集

断路器机械特性参数主要包括分合闸线圈电流、断路器操作机构行程、断路器一次分合电流以及断路器分合前后电压等。其相应的采集方法介绍如下：

1) 通过霍尔电流变换元件和光电设备采集分合闸线圈电流。霍尔电流变换元件具有体积小、电气性能好、准确度高和线性度动态特性好的特点。相应回路电流的输入由穿心线圈采集，避免影响现有断路器的安全运行。完成相关电流采集后，通过对比分合闸线圈电流大小、出现电流的持续时间以及断路器分合闸行程波形曲线，判断控制回路的自保持回路、分合闸阀动作特性及传动系统的工作状态。

2) 利用光耦栅位移传感器^[10]采集断路器操作机构行程随时间变化的波形，结合设定的分合脉冲波形、实际采集的分合闸线圈电流波形以及断路器一次电流和电压，判断断路器操作机构状态。

3) 将相关二次电流、电压量接入交流模块，实现电气量的采集。通过比对断路器灭弧室电流从起弧到稳定的时间及其变化率、断路器两侧电压从发生畸变至稳定的时间及其变化率，判断断路器灭弧触头的机械特性及烧损状况。

(2) 断路器机械特性判断的原理及实现方法

通过对三相断路器分合闸过程的机构行程—时间波形数据、分合闸线圈电流—时间波形数

据、储能电动机的电流—时间波形数据以及断路器分合闸过程的一次电流和电压—时间波形等数据信息的处理，绘制出以上断路器数据信息—时间的二维平面坐标图。然后通过对坐标上包括行程、平均速度、刚分（合）速度、分（合）闸线圈电流、断路器分（合）闸一次电流和断路器分（合）电压等参数在内的数值与基准波形之间的动作时序进行比对，计算出基准特征值与在线采集数值的误差，定义为误差距离。通过对相应误差距离的比对，判断断路器的运行状态是否正常。

4 基于分布式故障录波器的硬件平台设计

4.1 分布式采集装置

分布式监测装置采集处理各通道数据，可以配置开关量和模拟量起动录波，同时可以完整记录开关动作过程各电气量及非电气量的变化过程，按录波文件的格式存储并上送。采样率不低于10 kHz/s，最多存储32个录波文件，循环存储。录波文件格式为COMTRADE^[4]。与录波平台通信，上送录波文件及实时监测数据。通信协议可以采用现场总线。分布式采集装置采用嵌入式设计^[11-12]，适合户外柜内安装，并且按断路器配置安装，对于分相断路器则按相进行配置安装。

4.2 录波及管理分析装置功能设计

首先，录波及管理分析装置^[13-15]具备录波装置所有基本功能要求。此外，其还满足如下基本功能：①断路器分合闸电流监测与可视化分析；②储能电动机线圈电流监测与可视化分析；③断路器行程监测与可视化分析；④断路器开断电流监测与可视化分析；⑤断路器合（分）闸时间、同期性、分合闸行程、超行程和分合闸速度等动作过程特征参数计算与趋势分析预警、报警；⑥断路器电寿命计算与趋势分析预警、报警；⑦储能时间、动作次数等特征参数计算与趋势分析预警、告警；⑧断路器动作记录与统计分析；⑨分合闸报表、开断电流统计报表和储能动作报表等自动生成；⑩提供4网络接口（类型可选），电以太网口为10/100 Mbit自适应 RJ 45接口；光以太网

口速度为100 Mbit; ⑪系统软件具备跨平台应用能力。

5 结束语

基于分布式故障录波器原理开发设计了一种高压断路器综合在线监测系统。该系统的总体结构由监测主机、分布式监测装置和通信系统三部分组成。系统具备对高压断路器运行状态进行在线监测和故障诊断的功能。具体通过故障录波器采集状态数据信息,并对以上相关数据进行综合分析,判断断路器各部分的动作特性,实现对断路器各部分的全面监视,快速识别高压断路器的工作状态,并确定具体的缺陷部位,尽量避免无谓的停电试验和过分检修,减轻断路器运维工作量,降低运维成本,提高检修效率,从而显著提高电力系统运行的可靠性和经济性。

参考文献

- [1] 戴怀志, 吕一航, 贾申利, 等. 断路器综合在线监测系统研制 [J]. 高压电器, 2004, 40 (2): 104-106.
- [2] 熊小伏, 孙鑫, 蔡伟贤, 等. 基于DSP及ARM的分布式高压断路器机械特性监测系统 [J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37 (6): 64-68.
- [3] 唐全海, 滕佳华, 申成兵, 等. 一类高压断路器机械特性在线监测装置的研制 [J]. 电子世界, 2013 (11): 74-75.
- [4] 王成友, 闫红花, 刘灿东, 等. 液压式高压断路器机械特性在线监测故障几率研究 [J]. 高压电器, 2015 (8): 86-91.
- [5] 郭璐, 李中健, 雷浩. 高压开关机械特性测试系统

的设计 [J]. 计算机测量与控制, 2010, 18 (10): 2232-2233.

- [6] 雷浩, 赵忠, 金基平, 等. 基于ARM和FPGA的高压开关机械特性测试系统 [J]. 仪表技术与传感器, 2009 (3): 124-125.
- [7] 陈昊琳, 张国庆, 郭志忠. 故障录波器发展历程及现状分析 [J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38 (5): 148-152.
- [8] 周兴军, 骆健, 丁网林. 国内外故障录波器的现状分析和比较 [J]. 小水电, 2004 (1): 62-64.
- [9] 骆健, 丁网林, 唐涛. 国内外故障录波器的比较 [J]. 电力自动化设备, 2001, 21 (7): 27-31.
- [10] 郭永兴, 熊丽, 孔建益, 等. 滑动式光纤布拉格光栅位移传感器 [J]. 光学精密工程, 2017, 25 (1): 50-58.
- [11] 周新山, 杨彬彬, 张毅. 基于ARM嵌入式设计的天然气压缩机状态监测仪 [J]. 物联网技术, 2016 (2): 17-18.
- [12] 孙天泽, 袁文菊. 嵌入式设计及Linux驱动开发指南: 基于ARM9处理器 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2009.
- [13] 金华蓉, 苏茂钧, 高建琨, 等. 一种新型数字化故障录波及分析装置的实现 [J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37 (18): 116-119.
- [14] 王小龙, 王维庆, 陈杰. 高性能故障录波分析装置的研究与设计 [J]. 陕西理工大学学报: 自然科学版, 2005, 21 (1): 15-17.
- [15] 张颖, 张哲, 杨军, 等. 变电站微机故障录波与分析装置 [J]. 电力自动化设备, 2003, 23 (9): 52-54.

(收稿日期: 2017-09-16) **EA**

欢迎订阅 欢迎投稿 欢迎刊登广告