

基于振动信号的断路器机械故障智能诊断综述

蔡博南 刘庆珍

(福州大学电气工程与自动化学院,福建 福州 350108)

摘 要:在电气设备的故障诊断领域中,断路器的故障诊断受到了越来越多的关注。文章研究了近年来的断路器机械故障振动的诊断方法。首先阐述了断路器的故障机理,并对振动信号的采集以及振动信号的信息提取进行分析,探讨了断路器的故障诊断方法,最后总结了断路器机械故障振动诊断中存在的问题,并对该领域开展研究和发展前景提出看法,为后续的深入研究打下基础。

关键词:断路器;故障机理;信息提取;故障诊断

中图分类号:TM561 文献标识码:A 文章编号:1672-4801(2014)04-157-04

近年来,对于断路器的故障诊断研究日趋深入,许多新型技术已经用于实际中。对断路器状态监测的研究主要集中在以下几个方面:断路器行程、速度的监测,合分线圈电流的监测,机械振动信号的监测以及开断电流的监测。其中机械振动信号蕴含着丰富的断路器状态信息,只要利用合适的信号处理方法,就能准确判断断路器的运行状态,所以受到国内外学者的广泛关注^[1]。

1 断路器结构及故障诊断过程

断路器工作时,可能会遇到各种各样的故障问题,这不仅会造成不必要的损失,而且可能带来重大事故。因此,断路器故障诊断技术的发展是势在必行的。通过传感器装置对断路器进行故障信息提取,接着对采集到的故障信息进行故障状态识别,分析出故障点和类型,最终做出决策。断路器故障诊断过程如图1所示。

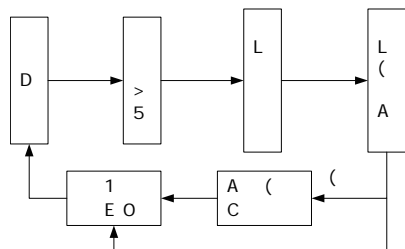


图1 断路器故障诊断过程简图

断路器一般由外壳、触头系统、灭弧系统、操作机构、脱扣器等构成。当断路器发生短路故障时,大电流产生的磁场克服反力弹簧,脱扣器拉动操作机构动作,开关瞬时跳闸。当过载时,电流变大,发热量加剧,双金属片变形到一定程度推动机构动作(电流越大,动作时间越短)。使用互感器

采集各相电流大小,与设定值比较,当电流异常时微处理器发出信号,使脱扣器操作机构动作。图2是断路器结构图。

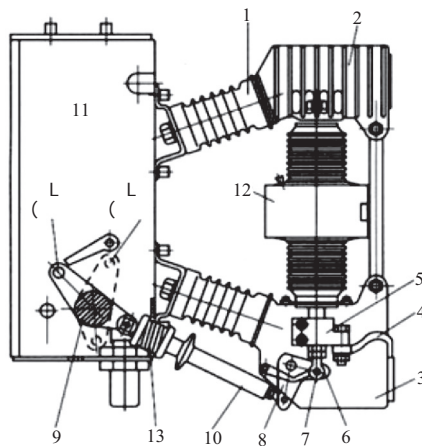


图2 断路器的结构图

1.绝缘子;2.上出线端;3.下出线端;4.软联接;5.导电夹;
6.关节轴承;7.轴销;8.杠杆;9.主轴;10.绝缘拉杆;11.机构箱;
12.真空灭弧室;13.触头弹簧

2 断路器的故障机理分析

2.1 拒动故障分析

造成断路器拒动的原因主要是由于操作机构与传动系统机械故障。如机构卡滞,变形和轴销松断等可造成断路器无法正常动作。

2.2 误动故障分析

造成断路器误动的原因有很多,其中操动机构机械故障和二次回路接线故障最为常见。如断路器分闸弹簧脱落,在合闸时分闸弹簧提供的反力较小,可能会导致合闸速度过快,增多合闸弹跳的次数,也就可能造成多次操作,即误动。

作者简介:蔡博南(1989-),男,硕士研究生,研究方向:电力设备智能故障诊断。

通讯作者:刘庆珍(1971-),女,副教授,硕士生导师,研究方向:电力系统分析与故障检测。

2.3 载流故障分析

引线过热或触头接触不良过热是造成载流故障最主要的原因。其中大部分触头接触不良的原因是在装配过程中没有有效保证动静触头对准,使得在操作过程中静弧触头和喷口进行碰撞而引发的灭弧室喷口断裂造成开断事故。

2.4 绝缘故障分析

绝缘故障种类繁多,如闪络击穿、内外绝缘故障、相间绝缘闪络击穿、电流互感器闪络、瓷套管、电容套管闪络、污闪、击穿等。但最常见的绝缘故障是外绝缘和内绝缘故障。

3 故障信息提取

在故障信息提取前,需要建立振动信号采集系统,主要分为信号采集模块,AD转换模块,信号处理模块和计算机模块。

振动传感器一般是安装在断路器的内部基座上面,这样可以较好地体现出各个事件的振动信号,既不会影响到断路器本身性能及绝缘,也不会影响到测量结果,而且此时传感器灵敏度也较高。断路器正常工作状态及传感器的安装位置如图3所示^[2]。

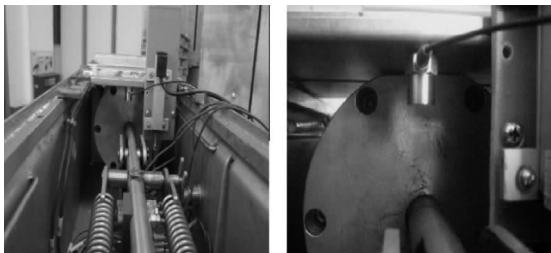


图3 断路器的操动机构及传感器安装示意图

从传感器采集的振动信号是由多个瞬时非平稳振动事件叠加而成,一般采用短时能量法^[3]、包络谱分析^[4]、高阶谱分析^[5]、短时傅里叶变换^[6]、小波分析^[7]、零相位滤波时频法^[8]、经验模态分解^[9]、振荡子波分解^[10]、希尔伯特变换^[11]等分析方法进行处理。

1)短时能量法。经过窗函数滤波对时域信号序列进行平方变换得到能量函数序列,再进行分析。

2)包络谱分析。将振动信号包络进行频谱分析得到的信号包络的特征频率作为特征量^[4]。

3)高阶谱分析。功率谱只揭示了随机序列的幅度信息,而没有反映出其相位信息。高阶谱既

可抑制高斯有色噪声,还能反映出信号的相位信息。此外,高阶谱还能检测出信号间的相位耦合,利于提高诊断断路器故障类型的准确性。

4)短时傅里叶变换。通过移动窗对振动信号施加进行傅里叶变换,在时域和频域上具有一定的分辨率。实验研究表明,此方法对振动信号事件时刻变化、幅值偏差、频率偏差等特征指标具有较好的灵敏度。

5)小波分析。利用小波基进行时频局部变换,可得到可变的时频分辨率。目前可以利用小波分解来提取振动信号中有用的信号,排除噪声干扰。

6)零相位滤波时频法。依据频带间隔,采用零相位滤波器对频带分量进行提取。

7)经验模态分解。经验模态分解能够较好地突显振动信号的局部特征,特别是在非平稳、非线性信号的处理中被广泛应用。它是通过自身数据特征将信号序列分解成多个不同频段的固有模态分量和一个残量之和。可以利用经验模态分解重构振动信号,通过时频法分析构造振动信号诊断的特征量。

8)振荡子波分解。通过带时延的指数衰减振荡子波可以重构振动事件。振荡子波分解不但可以获得各振动子波的参数,而且可以得到振动事件表征信息,可以进一步对断路器状态进行分析。

9)希尔伯特变换。希尔伯特变换是将实信号构造出解析信号的常用方法。可以方便求出信号包络、瞬时频率、瞬时相位等信息。对于经验模态分解后的分量进行希尔伯特变换就可得到希尔伯特谱,称为希尔伯特—黄变换。希尔伯特谱能够很好地表征时频分布特性,可作为故障诊断的重要依据。

4 故障诊断理论和方法

1)专家系统法。故障诊断专家系统是一种人工智能的计算机诊断系统,它能够模仿该领域专家的思维模式,通过理论分析、实践经验和实验建立起一个可靠的知识库,对得到的信息进行推理分析,从而对设备的状态做出决策。但是故障诊断专家系统建立知识库较困难,特别是复杂故障诊断时,所需知识库更为庞大^[12]。

2)多Agent故障诊断^[13]。多Agent是分布式人工智能系统,具有交互性、主动性、移动性等特

点。在多Agent故障诊断系统中,现场监测分析的Agent诊断结果、数据匹配Agent的诊断结果、专家诊断Agent的诊断结果是诊断结果三个来源。

3)动态时间规整法^[14]。由于振动波形特点中的重复性和独特性,可以将待检验信号与基准信号之间进行量化处理,寻找一条路径使得两个特征矢量间的距离最小,通过时间、频率和幅值等参数与基准值进行比较来评估断路器的状态。

4)粗糙集理论^[15]。粗糙集理论是基于不可分辨性的思想和知识简化的方法,在保持分类能力不变的情况下,通过知识约简,从数据中推理逻辑规则作为知识系统的模型。

5)人工免疫网络法。人工免疫网络是通过模拟生物免疫系统的新型智能算法,具有很强的学习能力^[16]。在进行训练期间,将故障信息作为系统的抗原,而在相应的系统出现抗体,通过多次迭代形成抗体集,当分辨故障类别时,可以将距离抗原最近的抗体集作为诊断依据。

6)相似性原则法。相似性原则的基本思想是建立一个相对的判断基准,以已知正常工作状态作为参考状态,将待测状态与参考状态进行相似度比较,当相似度在一定范围内,可被认为待测状态为正常值,否则待测状态为故障值,应采取相应动作^[17]。

7)粒子群优化的神经网络^[18]。粒子群优化是一种基于群智能算法的改进技术,具有调节参数少,算法简单等特点。粒子群优化的神经网络基本思想是改变神经网络对阈值和网络权值的影响,利用粒子群算法群体并行的特点,寻找合适的阈值和网络权值。

8)支持向量机法。支持向量机的基本原理是利用非线性变换将输入空间变换到高维空间。在该新空间中构造出最优线性分类超平面^[19]。基本思想如图4所示,方形和圆形代表着不同的样本, H_1 是样本一的边界, H_2 是样本二的边界, H 完美地把样本一和二隔离开,而 H 、 H_1 和 H_2 是相互平行线,这样使得两种样本无误的分开,且他们之间距

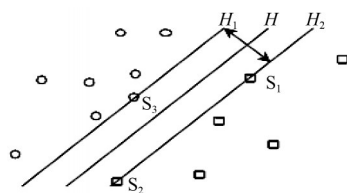


图4 最优分类面

离最大。

9)故障预测法。一般分为基于复杂的网络理论方法和人工智能的方法^[20]。复杂网络理论预测是根据网络结构来研究各种故障对网络影响的承受能力^[21]。人工智能方法构造大量模型用来刻画断路器工作运行过程,如隐含故障,OPA模型等。

10)各智能方法的交叉融合。人工智能方法不仅包括上面所述的几种方法,还有遗传算法、模糊算法等多种不同的工具。近年来,它们与其它智能方法,特别是支持向量机和故障树相结合的应用日益增多。它们同样可以用于断路器故障诊断^[22]。

5 结语

近年来断路器的振动信号故障诊断还没有达到完善、可靠的程度,亟待解决的问题有以下几个方面:

1)对断路器机械故障机理缺乏深入研究,没有搞清各种状态之间的联系与界限。

2)断路器种类繁多,涉及多学科,难以找到一种通用方法。

3)断路器振动信号是瞬时非平稳信号,比起一般信号要更为复杂,所以处理振动信号也就较为困难。

4)断路器发生事故几率较低,需要采集样本的时间比较长。

5)故障诊断一般都是针对某些特定任务设计,系统完成后,不便加入新的部分。故障诊断比较固定,不能灵活应用。

6)系统功能一般集中在主控室,现场单元不具备一定的自治能力与数据分析能力,缺乏自主性^[23]。

断路器故障诊断已成为电力设备维修领域的一项重要技术,并且在国内外范围内受到越来越多的关注。提早发现故障及时解决问题会带来可观的经济社会效益。

基于目前的研究状况及现实技术需求,对于断路器故障诊断发展前景,笔者提出以下几点看法:

1)随着诊断方法不断深入研究,还会有更多具有较好的分类效果和时频聚焦性能的方法从其他研究领域中引用,如局部波分解,组合数据法,概率神经网络等,使得断路器诊断更加智能,准确。

2)在发生故障前,能通过振动信号预测将要发生的状态,做好预测功能,及时采取措施,减少停电时间。断路器自身也应该具备这样的自诊断功能,减少整个系统的负担。因此,在研究故障诊断方法的同时,也要加强对断路器寿命的研究和灭弧能力分析,提高其利用率和可靠性^[24]。

3)目前对断路器状态监测主要集中在振动信号的监测,还应该研究多种信息技术同时诊断,确保做到有故障提前解决的新思路,也不会漏掉细微的故障。

4)断路器工作时所处的周围环境电磁干扰较为严重,如何加强断路器的抗干扰能力,减小断路

器故障识别影响,从而可以快速准确分析故障。

5)远程监控故障诊断技术是其发展的一个方向。随着计算机技术、大型数据库技术、宽带数字通信技术和故障诊断技术的发展,远程监控和诊断将成为可能。这样既可以异地监控生产现场的工作情况,进行在线或离线故障诊断,又为研究机构提供准确的资料,有利于促进故障诊断技术的理论研究和发 展。

6)使用高精度传感器提高测量精度,拓宽断路器测量领域,提高测量的精确性与准确性。如超声波监测技术、噪声监测技术、光纤传输技术等。

参考文献:

- [1] 唐专敏,范兴明,黄知超,等.高压断路器机械状态的评估与诊断方法[J].桂林电子科技大学学报,2011,31(1):78-81.
- [2] 钟建英,刘洋,林莘,等.基于振动信号特征的高压断路器机械故障诊断技术研究[J].高压电器,2013,49(9):49-54.
- [3] 孟永鹏,贾申利,荣命哲.短时能量分析法在断路器机械状态监测中的应用[J].西安交通大学学报,2004,38(12):1301-1305.
- [4] Li D.Y., He W.F., Rong M.Z., et al. On-line monitoring system for switching synchronization of ultra-high voltage circuit breaker in GIS[C]. 2011 Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference, Wuhan, China, 2011:1-4.
- [5] 董越,肖登明.基于WP-AR模型的双谱估计在高压断路器振动信号处理中的应用[J].高压电器,2009,45(4):137-141.
- [6] Hoidalén H.K., Runde M. Continuous monitoring of circuit breakers using vibration analysis[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2005, 20(4): 2458-2465.
- [7] Hu X.Cz., Wang J.Z., Ji Y.C., et al. The application of the wavelet analysis of analytic signals in mechanical fault diagnosis of circuit breakers[C]. 2003 IEEE Power Engineering Society General Meeting, Toronto, Canada, 2003, 4: 2235-2240.
- [8] 常广,王毅,王玮.采用振动信号零相位滤波时频熵的高压断路器机械故障诊断[J].中国电机工程学报,2013,33(3):155-162.
- [9] Meng YP., Jia S.L., Shi Z.Q. et al. The detection of the closing moments of a vacuum circuit breaker by vibration analysis [J]. IEEE Transaction on power Delivery, 2006, 21(2):652-658.
- [10] 李庆民,王冠,徐国政.高压断路器振动信号的指数衰减振荡波建模方法[J].高压电器,2004,40(3):177-179.
- [11] 常广,王毅,王玮.采用振动信号零相位滤波时频熵的高压断路器机械故障诊断[J].中国电机工程学报,2013,33(3):155-162.
- [12] 黄建,胡晓光,巩玉楠等.高压断路器机械故障诊断专家系统设计[J].电机与控制学报,2011,15(10):43-49.
- [13] 甄建聚.基于多Agent的断路器故障诊断系统设计[D].哈尔滨:黑龙江大学,2012:45-49.
- [14] 王振浩,杜凌艳,李国庆,等.动态时间规整算法诊断高压断路器故障[J].高电压技术,2006,32(10):36-38.
- [15] 汪海光.粗糙集理论在高压断路器故障诊断中的应用[D].西安:长安大学,2011:13-15.
- [16] 吕超. SF₆断路器状态监测与故障诊断的研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2007:56-74.
- [17] 宋锦刚.基于振动信号小波包提取和相似性原则的高压开关设备振动监测 [J].电网技术,2010,34(4):189-193.
- [18] 岳小斌,练刚.基于粒子群优化神经网络的高压断路器故障诊断[J].电力学报,2011,26(1):41-44.
- [19] 陈朋永,赵书涛,李建鹏,等.基于EMD和SVM的高压断路器机械故障诊断方法研究[J].华北电力大学学报,2012,39(6):23-28.
- [20] 丘生,张焰,戴宁迎,蒋伟毅.基于断路器本体信息的故障预测逻辑判断方法[J].江苏电机工程,2009,28(2):26-28.
- [21] 郑丽,杨涛,郑丹.故障树分析法在油断路器故障预测中的应用[J].沈阳农业大学学报,2005,36(3):376-378.
- [22] 齐贺,赵智忠,李振华,等.基于多传感器振动信号融合的真 空断路器故障诊断[J].高压电器,2013,49(2):43-48.
- [23] Maja Knezev, Zarko ekic, Mladen Kezunovic. Automated Circuit Breaker Monitoring [J]. Power Engineering Society General Meeting, 2007:1-6.
- [24] 兰建军,洪智勇,林青瑜,等.高压断路器机械参数监测与寿命预估方法研究[J].东北电力大学学报,2011,31(1):57-60.