

二次综合比较法在电容型设备监测中的应用

汪晓明^{1,2}, 李军浩¹, 牟磊¹, 吴晓辉¹, 李彦明¹

(1. 西安交通大学电气工程学院, 西安 西安 710049; 2. 江西省电力公司超高压分公司, 江西 南昌 330006)

Synthesis Comparison Method Applied in On-line System for Capacitive Equipment

WANG Xiao-ming^{1,2}, LI Jun-hao¹, MU Lei¹, WU Xiao-hui¹, LI Yan-ming¹

(1. School of Electrical Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China; 2. Ultra High Voltage Transmission Subcompany of Jiangxi Electric Power Corporation, Nanchang 330006, China)

摘要: 介绍了二次综合比较法的原理。提出一种利用时间序列分析法对电容型设备在线监测的介质损耗角正切 $\tan \delta$ 和电容量 C 的测量值进行分析的方法, 它通过运用数理统计的原理计算出介质损耗角正切 $\tan \delta$ 和电容量 C 的一次报警值, 并对该报警值采取连续报警个数的确认和修改报警值二次确认的方法进行最终的确认, 可有效地减少环境和设备本身的干扰。由实际检测数据的数值实验表明, 该方法是有可行性的。

关键词: 在线监测; 介质损耗; 电容型设备

中图分类号: TM835 文献标识码: A

Abstract: The principle of twice synthesis comparison method is introduced in this paper. A novel approach based on time series analysis for analyze $\tan \delta$ and C obtained from on-line monitor of capacitive equipment is presented. The threshold value of the first warning is calculated based on mathematical statistics and is confirmed by the number of the successive warnings. The second warning is made on the threshold amended based on circumstances condition so that the disturbance caused by surroundings and monitoring system can be effectively reduced. Analysis results of experiment data have verified its effectiveness.

Key words: on-line monitoring; dielectric loss; capacitive equipment

0 引言

当前, 随着人工智能的发展和与新型传感器、计算机技术、信息处理技术的融合, 电容型设备绝缘在线监测的水平有了显著提高。但是目前的研究工作大多偏重于参数修正^[1]和测量的抗干扰等方面^[2], 对于处理后的在线监测数据分析较少, 判据一般只采用《电力设备预防性试验规程》的标准。由于在线数据和离线数据之间的有效性差异很大, 所以利用离线的判据对在线的数据进行诊断, 很难对电容型设备的绝缘水平做出正确诊断, 很大程度上限制了

电容型设备在线监测的发展。该文介绍了二次综合比较法的原理, 并且用该法对实际检测数据的模拟故障进行了诊断分析, 结果表明该法是有有效的。

1 二次综合比较法的基本原理

该文提出的二次综合比较法基于时间序列, 对安全运行中电容型设备的介损 $\tan \delta$ 和电容量 C 的历史数据进行分析, 运用数理统计的原理得出其特征参数, 计算出一次报警区间, 并统计出允许连续超出报警区间的次数 N 。当一次报警被确认后, 将会根据当时测量的环境因素对报警区间进行修改并诊断, 如果满足二次报警条件将会报警。二次综合比较法的程序流程见图 1。

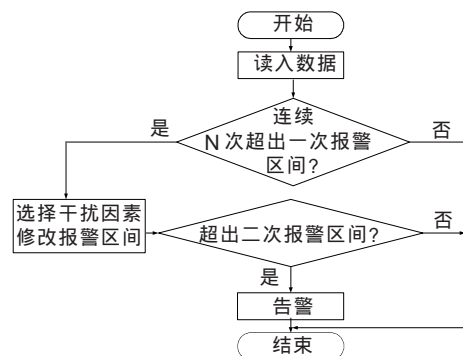


图 1 二次综合比较法诊断流程图

1.1 一次报警区间的确定

对于一个绝缘水平良好的电容型设备, 其在线监测的数据近似地呈正态分布, 相同月份的数据应该满足“3 规则”, 在线监测的数据在其置信区间 $[\mu - 3\sigma, \mu + 3\sigma]$ 内变化^[3]。取该区间为一次报警区间:

$$[(\mu - 3\sigma), (\mu + 3\sigma)] \quad (1)$$

式中: μ 为每个月测量值的数学期望; σ 为每个月测量值的标准差。由于环境因素、现场干扰和测试装

收稿日期: 2006-01-05

作者简介: 汪晓明(1978-), 男, 助理工程师, 硕士研究生, 从事电气设备在线监测和故障诊断方面的研究。

置自身的影响,在线监测数据的波动性很大,会造成少数的数据在置信区间以外。对于置信区间以外的数据,统计其连续出现的次数,取最大值作为每个月的参数 N。如果测量值超出一次报警区间的连续次数小于参数 N,则认为是外界的干扰,直接忽略;如果大于参数 N,则认为该测量值可能有问题,进行一次报警,并进一步考虑外界干扰的影响因素进行二次诊断。

1.2 二次报警值的确定

影响介损 $\tan \delta$ 和电容量 C 测量值的因素主要有以下几个:①环境温度对电压互感器、电流互感器的角差和比差的影响^[4-5];②环境温度和湿度对电容型设备本身的影响^[6];③监测设备本身发生故障。

(1) 环境温度的影响

环境温度的影响主要来自两个方面:电容型绝缘介损的环境温度特性和电流传感器的温度特性,其中电流传感器的温度特性影响较大。目前,国内使用的温度校正法有:电流传感器温度特性校正法、同期数据对比校正法、同温数据对比校正法^[5]。电流传感器温度特性校正法的使用前提是,电流传感器已经进行了温度特性试验。由于传感器温度特性试验的复杂性,并不是每台电流传感器都已取得了温度特性;同时,温度对测量数据的影响分两个方面:对测量设备的影响和对被测量设备的影响。电流传感器温度特性校正法只考虑了对测量设备的影响,没有考虑对被测量设备的影响,不可避免会产生误诊断。同期数据对比校正法的原理是用不同年份相同日期的数据比较进行温度校正,它的优点是考虑了温度对测量结果的综合影响,缺点是它使用的前提必须是年温度变化规律基本相同,一般很难满足。同温数据对比校正法是同期数据比较法的改进。二次综合比较法采用同温数据对比校正法,即统计出两年相同日期温度差超过 5 的数据,求其差的数学期望 μ_2 和标准差 σ_2 。根据“3 规则”,取置信区间 $[\mu_2 - 3\sigma_2, \mu_2 + 3\sigma_2]$,从而可以得出在环境温度影响下二次报警区间为:

$$[(\mu_1 + \mu_2) - 3(\sigma_1 + \sigma_2), (\mu_1 + \mu_2) + 3(\sigma_1 + \sigma_2)] \quad (2)$$

(2) 环境湿度的影响

环境湿度主要是对设备本身和测量设备产生影响。二次综合比较法采用和同温数据对比校正法相同的原理,即统计出环境相对湿度在 80% 以上的历史数据,求其数学期望 μ_3 和标准差 σ_3 。根据“3 规则”,取置信区间 $[\mu_3 - 3\sigma_3, \mu_3 + 3\sigma_3]$,从而可以得出在环境湿度影响下的二次报警区间:

$$[(\mu_1 + \mu_3) - 3(\sigma_1 + \sigma_3), (\mu_1 + \mu_3) + 3(\sigma_1 + \sigma_3)] \quad (3)$$

2 模拟故障的诊断与分析

2.1 模拟故障模型的建立

对某电业局一个电容型 CT 2004 年 7 月份的

在线数据进行分析。该 CT 的额定电压为 110 kV,监测设备的监测频率为每小时 1 次,设备运行情况正常。取该 CT 的 A 相为研究对象,做出在线实测数据电容量的时域特征曲线图,见图 2。图 3 为对在线数据统计后,不同电容量数值出现次数的直方图曲线。

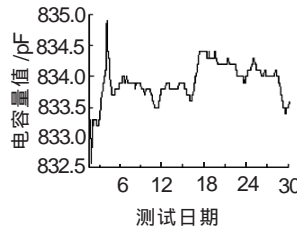


图 2 A 相电容量幅值时域特征曲线

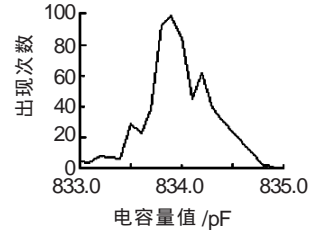


图 3 A 相不同电容量数值出现次数直方图曲线

对 7 月份 A 相在线数据进行统计计算,得出其数学期望 $\mu=833.86$ pF,标准差 $\sigma=0.31$;因此一次报警区间为 $[832.95, 834.78]$ pF。对 7 月份 A 相所有在线历史数据进行统计,发现超出一次报警区间的的数据共有 2 组,分别出现于 2004 年 7 月 1 日和 2004 年 7 月 4 日,见表 1。数据出现的连续个数为 1 和 3,取最大值 $N=3$ 。

表 1 报警值区间以外的数据

时刻	电容量 / pF
2004-07-01 10:00:00	831.6
2004-07-04 14:00:00	834.9
2004-07-04 15:00:00	834.8
2004-07-04 16:00:00	834.8

一般情况下,当电容型 CT 存在局部缺陷和受环境温度影响时,其等效电路见图 4, C_1 、 C_0 分别为 CT 的主电容和缺陷点处相邻层间的电容, C_2 为由于温度变化引起的电容的变化量。在某个时刻闭合开关 SW1,可以模拟出该时刻 CT 中 C_0 所代表那一层被击穿的现象;闭合开关 SW2 可以模拟出在温度升高条件下,电容量测量值受影响的现象。

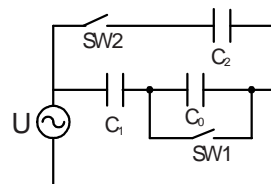


图 4 仿真等效电路

理想条件下,110 kV 线路的相电压为 63.5 kV,电压峰值为 89.8 kV。实验表明,当温度从 -30 变化到 50 时,传感器的变化幅度约为 1%^[4],假设测量值只受电流传感器的温度特性的影响,影响的幅度为 1%,所监测的 CT 有 40 层,在工频条件下以上 CT 的仿真等效电路参数见表 2。

2.2 模拟故障的诊断分析

(1) 环境温度无干扰而设备有故障的情况

正常情况下,电路电流的有效值为 16.63 mA;

表 2 等效电路参数

参数	数值
C_0 /pF	3 3354.4
C_1 /pF	855.23
C_2 /pF	8.339
U /kV	63.5

当在某个时刻闭合开关 SW1, 电路电流的有效值为 17.06 mA, 电流的变化率为 2.6%。根据式(4):

$$I = j \omega C U \quad (4)$$

在和 U 不变的情况下, 电容的变化率为 2.6%。

取 2004 年 7 月 1 日 00:00:00 ~ 2004 年 7 月 10 日 06:00:00 A 相的在线数据为模拟电路的历史数据, 假设 2004 年 7 月 10 日 07:00:00 为模拟电路开关 SW1 闭合时刻, 取 2004 年 7 月 10 日 07:00:00 后面的连续 6 个新数值作为检验数据。仿真数据在时域的特征曲线见图 5(a)。不同电容量数值出现次数直方图曲线见图 5(b)。从图 5(a) 中可以看出, A 相电容量幅值在 2004 年 7 月 10 日 07:00:00 后有一个变化, 根据假设可知变化量为 2.6%, 小于 5%, 符合《电力设备预防性试验规程》的规定, 采用一般的参数修正法进行诊断, 将不会报警。

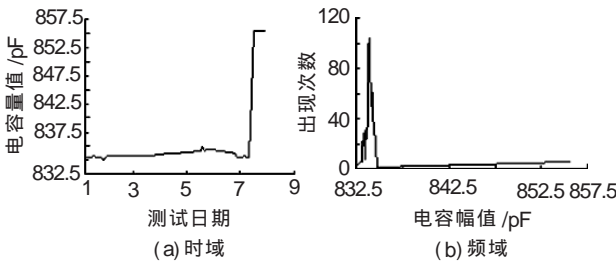


图 5 故障仿真数据时域及频域特征曲线

通过计算, 求出 A 相电容量仿真数据的数学期望 $\mu=834.39$ pF, 标准差 $\sigma_1=3.78$; 一次报警值区间为 [823.05, 845.73] pF。从故障仿真试验中模拟电容被击穿的时刻(2004 年 7 月 10 日 07:00:00)开始, 二次报警区间以外的连续数据有 6 个, 见表 3。大于事先设定的参数 $N=3$, 同时由于外界环境没有干扰, 不用修改二次报警值, 二次综合比较法将认为这是一次故障。

表 3 报警值区间以外的数据

时刻	电容量 /pF
2004-07-10 07:00:00	855.68
2004-07-10 08:00:00	855.68
2004-07-10 09:00:00	855.68
2004-07-10 10:00:00	855.68
2004-07-10 11:00:00	855.68
2004-07-10 12:00:00	855.68

通过以上分析说明, 二次综合比较法在环境温度无干扰而设备有故障、电容变化量符合《电力设备预防性试验规程》规定的情况下, 能正确诊断出仿真故障电路的故障。

(2) 环境温度有干扰而设备无故障的情况

正常情况下, 电路电流的有效值为 16.63 mA; 当在某个时刻闭合开关 SW2, 电路电流的有效值为 16.80 mA。电流的变化率为 1%, 在和 U 不变的情况下, 电容的变化率为 1%。

取 2004 年 7 月 1 日 00:00:00 ~ 2004 年 7 月 10 日 06:00:00 A 相的在线数据为模拟电路的历史数据, 假设 7 月份 A 相 2004 年 7 月 10 日 07:00:00 为模拟电路开关 SW2 闭合时刻, 取 2004 年 7 月 10 日 07:00:00 后面连续的 6 个新数值。仿真数据在时域的特征曲线图见图 6(a), 不同电容量数值出现次数直方图曲线见图 6(b)。

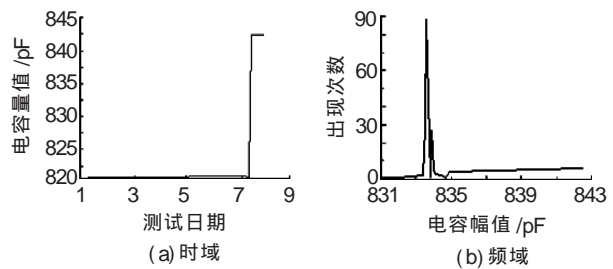


图 6 故障仿真数据时域及频域特征曲线

通过计算, 求出 A 相电容量仿真数据的数学期望 $\mu=834.04$ pF, 标准差 $\sigma_1=1.65$; $\mu_2=8.34$ pF, 标准差 $\sigma_2=0$; 二次报警值区间为 [820.75, 847.33] pF。用于检验的 3 个数据都为 842.35 pF, 在报警区间内, 二次综合比较法认为这是一次由于温度升高的原因造成的, 将不予报警。

以上分析说明, 二次综合比较法在环境温度有干扰而设备无故障的情况下, 能够做出正确的诊断。

(3) 环境温度有干扰而设备有故障的情况

正常情况下, 电路电流的有效值为 16.63 mA; 当在某个时刻同时闭合开关 SW1 和 SW2, 电路电流的有效值为 17.23 mA。电流的变化率为 3.6%, 在和 U 不变的情况下, 电容的变化率为 3.6%。

取 2004 年 7 月 1 日 00:00:00 ~ 2004 年 7 月 10 日 06:00:00 A 相的在线数据为模拟电路的历史数据, 假设 7 月份 A 相 2004 年 7 月 10 日 07:00:00 为模拟电路开关 SW1 和 SW2 闭合时刻, 取 2004 年 7 月 10 日 07:00:00 后面连续的 6 个新数值作为检验数据。仿真数据在时域的特征曲线见图 7(a), 不

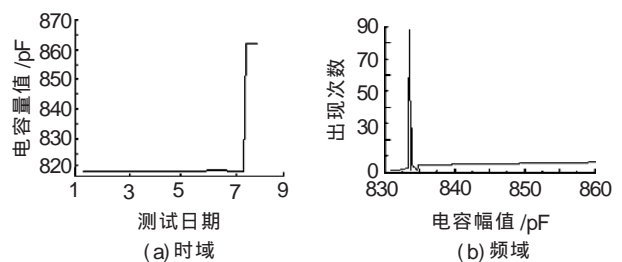


图 7 故障仿真数据时域及频域特征曲线

(下转第 277 页)

效果。

(3) 对于最佳的电阻值的选择, 需要根据串联电抗率进行讨论, 一般而言, 在串联电抗率很小时, 找不到可以同时限制过电压和涌流的电阻值; 若串联电抗率为 4%~7%, 可以采用将两相重燃过电压限制在稳态电压的 5 倍时的电阻值; 当串联电抗率为 8%~11%, 可以采用将两相重燃过电压限制在稳态电压的 10 倍时的电阻值; 若串联电抗率为 12%~14%, 可以采用将两相重燃过电压限制在在稳态电压的 15 倍时的电阻值。实际应用中, 还要根据无功补偿容量的大小及其他情况, 再作具体分析。

在实际应用中, 某变电站的集合式并联电容器使用了并联电阻和间隙来保护电感元件的方案, 实践证明它能有效限制各类过电压和合闸涌流, 避免由电抗器损坏引起的损失, 保证设备安全运行。

4 结语

利用一典型的 10 kV 带并联无功补偿装置的低压系统, 研究了投切并联无功补偿装置时, 电感元件上的合闸过电压和重燃过电压。从计算结果中可知, 合闸时电感过电压可以达到稳态电压的十到几十倍, 一次两相重燃过电压可达到稳态电压的三

十到几百倍, 它们的过电压倍数 U_L 分别随串联电抗率及无功补偿容量的增大而减少。

还研究了并联电阻与间隙对电感元件进行过电压保护的效果, 计算结果表明该方法在大多数情况下能有效地保护并补装置中的串联电感。保护效果随串联电抗率和无功补偿容量的增大而愈明显, 因此最佳电阻值的选择需要根据串联电抗率进行讨论, 一般而言, 在很小的电抗率时找不到合适的电阻; 在电抗率较大时可以选择将过电压限制在 5 倍的稳态电压及以下; 其它的情况下, 可以根据需要选择将过电压限制在 15 倍、10 倍稳态电压等。同时需要考虑无功补偿容量的影响。

参考文献:

- [1] 姜齐荣, 谢小荣, 陈建业. 电力系统并联补偿: 结构、原理、控制与应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.
- [2] 杜 斌. 35 kV 并联无功补偿兼滤波装置的重燃过电压及 MOA 保护方案的研究[D]. 西安: 西安交通大学, 2004.
- [3] 陶相普. 10 kV 集合式并联电容器运行可靠性分析[J]. 广西电力技术, 1999(4): 49-52.
- [4] 陈 珩. 电力系统稳态分析 [M]. 北京: 中国电力出版社, 1995.

(上接第 273 页)

同电容量数值出现次数直方图曲线见图 7(b)。

通过计算, 求出 A 相电容量仿真数据的数学期望 $\mu=834.82$ pF, 标准差 $\sigma_1=5.66$; 采用环境温度有干扰而设备无故障的情况下的数据作为历史数据, 得出 $\mu_2=8.34$ pF, 标准差 $\sigma_2=0$; 二次报警值区间为 [809.5, 860.13] pF。从故障仿真试验中模拟电容被击穿的时刻(2004 年 7 月 10 日 07:00:00)开始, 二次报警区间以外的连续数据有 6 个, 见表 4, 大于事先设定的参数 $N=3$, 二次综合比较法认为这是一次故障。说明二次综合比较法在环境温度有干扰而设备有故障情况下, 能正确的诊断出仿真故障电路的故障。

表 4 报警值区间以外的数据

时刻	电容量 /pF
2004-07-10 07:00:00	863.88
2004-07-10 08:00:00	863.88
2004-07-10 09:00:00	863.88
2004-07-10 10:00:00	863.88
2004-07-10 11:00:00	863.88
2004-07-10 12:00:00	863.88

3 结语

(1) 二次综合比较法采用数理统计的原理对被

监测设备的历史数据做出分析得出报警区间, 增加了判据的可信度。采取了对参数 N 的比较和对报警值的二次确认的方法, 在考虑对测量值影响时, 要充分考虑影响测量值的几个主要方面, 才能有效减小环境因素的干扰。

(2) 在模拟故障时, 对环境温度无干扰设备有故障、环境温度有干扰设备无故障和环境温度有干扰设备有故障 3 种情况进行了讨论, 充分的模拟了现场的各种情况, 诊断分析表明, 二次综合比较法对各种情况都能做出正确的诊断。

参考文献:

- [1] 张喜林, 宋家骅. 电容型设备绝缘在线监测参数的修正计算[J]. 东北电力学院学报, 1994, 14(2): 1-6.
- [2] 单 平, 徐大可. 高精度微电流传感器补偿法研究 [J]. 高电压技术, 2002, 28(5): 21-24.
- [3] 盛 骤, 谢式干, 潘承毅. 概率论与数理统计 [M]. 浙江: 浙江大学出版社, 2001.
- [4] 谈克雄. 电容型设备介质损耗在线监测技术 [J]. 今日电气, 2004, 1(1): 11-12.
- [5] 袁 铨. 绝缘在线监测系统误差环节浅析 [J]. 高电压技术, 1997, 23(1): 43-45.
- [6] 陈鹏云, 贺景亮, 赵生和, 等. 绝缘介质损耗因数在线监测的研究[J]. 高电压技术, 1994, 20(4): 36-38.