

# 断路器在线机械状态的信息处理

姚月娥, 张挺, 刘春, 刘全志, 王章启

(华中科技大学电气与电子工程学院, 湖北 武汉 430074)

## Data Processing of On-line Mechanical Condition for Circuit Breaker

YAO Yue-e, ZHANG Ting, LIU Chun, LIU Quan-zhi, WANG Zhang-qi

(College of Electrical and Electronic Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

**摘要:** 介绍了一种断路器机械状态在线监测与诊断的方法。通过分析同步采集到的振动信号、线圈电流以及断路器的分、合信号,可提取其特征信息量(即指纹信息),并据此对断路器的机械状态作出判断。

**关键词:** 断路器; 机械状态; 在线监测与诊断

**中图分类号:** TM561

**文献标识码:** A

**Abstract:** This paper introduces a method that the mechanical condition of circuit breaker can be monitored and diagnosed on-line. The single chip micyoco (SCM) synchronously acquires the vibration signal, the winding's current and the open/close signal of circuit breaker. Some features can be extracted from these signals, which are used to assess the mechanical condition of the circuit breaker.

**Key words:** circuit breaker; mechanical condition; on-line monitoring and diagnosing

## 1 引言

断路器的机械故障在断路器故障中占有很大的比重,因此,断路器状态的在线监测,特别是机械状态的在线监测与诊断,对及时了解投运断路器的状态,实现从“计划检修”到“状态检修”的转变具有非常重要的意义。断路器在操作过程中主要部件的运动和撞击会引起表面的振动响应,这种振动响应在相似的操作环境下、在一定范围内保持稳定。文[1]介绍了断路器在线监测与诊断系统的整体轮廓,这里就机械状态的在线监测与诊断方法做进一步的讨论。该方法以外部振动信号和其它相关量为监测信号<sup>[2]</sup>,利用数字信号处理技术提取特征信息量,据此对断路器的机械状态作出判断。

## 2 机械状态监测的硬件组成

机械状态监测的硬件系统示意图 1。

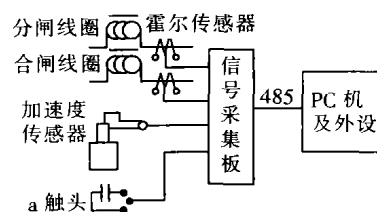


图1 硬件系统示意图

分闸或者合闸线圈电流由霍尔传感器测量,振动信号由加速度传感器取得,开关动作量信号(以下简称开关量信号)由辅助a触头表征。当断路器合闸时,合闸线圈启动下位机(信号采集板)开始采样(每路信号每毫秒采10个点),同步记录振动信号、合闸线圈电流信号、开关量信号各170ms的波形。当断路器分闸时,同样录取170ms的波形,由分闸线圈启动硬件录波。而开关量的跳变正确与否用于确定是否正常录波和提供诊断信息。下位机所录波形通过通信电缆实时传至上位机(PC机或者工控机)或者供上位机查询,上位机对数据进行处理。分合闸动作时所录波形见图2。

图2(a),(b)分别为KD10024振动传感器装于

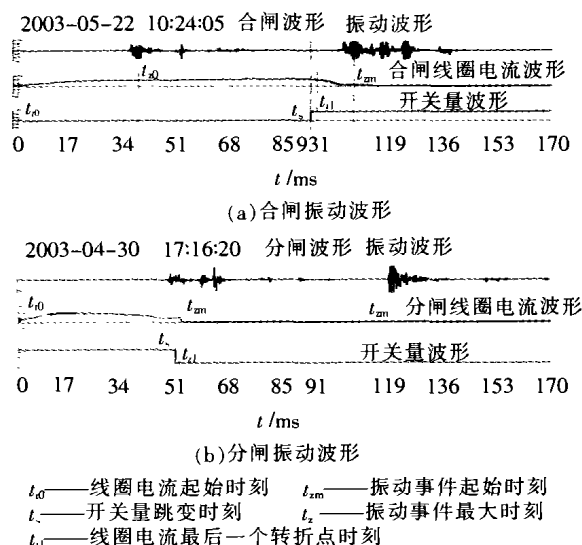


图2 SN11-10少油断路器合、分闸振动波形

SN11-10 少油断路器座架上某处所得到的合闸波形和分闸波形。传感器安装位置不同,振动波形也不一样。这也是为什么要在安装就绪后,才能提取振动波形特征值的原因。

### 3 振动信号信息量的提取

振动信号采样共 1 700 个点。将 1 700 个振动信号值进行 3 次滑动窗滤波预处理,3 次滑动窗的长度依次为 40, 20, 10 点。

对预处理过的振动信号进行傅立叶变换得到振动信号的幅频特性。机械振动信号在较低频率范围内其幅值有较好的重复性<sup>[3-5]</sup>,能达到较好的辨识效果<sup>[4,5]</sup>,因此只取幅频特性的前 40 个点,依频率从低到高,每 4 个一组,分成 10 组,组内求算术和,进而计算出各组和在 40 个值的总和中的比重  $V_{H[j]}$ ,其中  $j=0,1,\dots,9$ ;将这 10 个比重值作为振动信号的指纹。

振动事件最大时刻  $t_{zm}$  和振动事件起始时刻  $t_{z0}$  也是两个重要的时间参数。对预处理过的振动信号进行宽度为 20,步长为 1 的滑动窗求和。和最大的点所对应的时刻即可认为是振动事件最大时刻  $t_{zm}$ 。在振动事件最大点往前推 100 个点,设到第  $N_p$  个点处,然后找出预处理过的振动信号在  $[0, N_p]$  区间上的最大值点所对应的时刻即可认为是振动事件的起始时刻  $t_{z0}$ 。

### 4 分、合闸线圈电流信息量的提取

对于分、合闸线圈电流,需要找出线圈电流起始时刻  $t_{i0}$  和线圈电流最后一个转折点时刻  $t_{i1}$ 。用积分法即可以计算出  $t_{i0}$  和  $t_{i1}$  的值。

### 5 开关量的信息量提取

开关量的跳变时刻  $t_s$  是需要提取的一个时间信息量。计算跳变时刻的简单易行的方法很多,积分法就是其中的一种。

### 6 综合分析

对数据进行初步的处理得到 15 个信息量,对于其中的 5 个时间量(各个时刻值在图 2(a),(b)均标出)来说,相对时间比绝对时刻更能说明问题,因此计算出 4 个相对时间量:

$dt_1$  表征  $t_s$  和  $t_{i1}$  之间的差值。 $dt_1$  的大小表征了分、合闸线圈的动作与开关动作量之间的同时性配合的好坏程度。

$dt_2$  表示  $t_{i0}$  和  $t_{i1}$  的时间差,代表了分、合闸线圈的通电时间,某台断路器正常动作时,其分、合闸线圈的通电时间在各自的范围内变化不大。

$dt_3$  表示  $t_{zm}$  和  $t_{z0}$  的时间间隔,可以看成是在动

作过程中,触头行程所对应的时间。 $dt_3$  的变化基本上反映了触头分、合闸速度的变化,分、合闸速度是衡量断路器机械状态正确与否的一个主要参数。

在合闸操作时, $dt_4$  表示  $t_s$  与  $t_{zm}$  之间的时间差,表示开关量发生跳变到触头合上的时间;而在分闸操作时, $dt_4$  则表示  $t_{z0}$  与  $t_s$  之间的时间差,代表了触头开始运动到开关量发生跳变的时间。对某台断路器,正常操作时  $dt_4$  在分闸和合闸时的值应各自保持稳定。

在进行机械状态的诊断之前,需有 5 次正常操作的指纹波(可以是投运后的前 5 次操作,也可以是检修后前 5 次或者投运中能确保正常的 5 次操作)。这样得到 5 组振动指纹  $V_{H[i][j]}(i=0,1,\dots,4,j=0,1,\dots,9)$  和 5 组时间指纹  $dt_1[i], dt_2[i], dt_3[i], dt_4[i](i=0,1,\dots,4,)$ 。

对于 5 组振动指纹,求出各个频率段幅值的平均值  $\bar{V}_F[j](j=0,1,\dots,9)$ ,每个频段幅值的方差  $\sigma[j](j=0,1,\dots,9)$ ,每组振动指纹组内相应频段的幅值偏离其平均值的偏差的总和,记为  $\sigma_{H[i]}(i=0,1,\dots,4)$  以及  $\sigma_{H[i]}(i=0,1,\dots,4)$  中的最大值,记为  $\sigma_{Hm}$ 。

$$\bar{V}_F[j] = \frac{1}{5} \sum_{i=0}^4 V_{H[i][j]} \quad j=0,1,\dots,9$$

$$\sigma[j] = \frac{1}{5-1} \sum_{i=0}^4 (V_{H[i][j]} - \bar{V}_F[j])^2 \quad j=0,1,\dots,9$$

$$\sigma_{H[i]} = \sum_{j=0}^9 (V_{H[i][j]} - \bar{V}_F[j])^2 \quad i=0,1,\dots,4$$

$$\sigma_{Hm} = \max\{\sigma_{H[i]}, i=0,1,2,3,4\}$$

对于 5 组时间指纹(以  $dt_1$  为例说明),求出时间的平均值  $\bar{dt}_1$ ,方差  $\sigma_1$  以及最大偏差  $\sigma_{1m}$ 。

$$\bar{dt}_1 = \frac{1}{5} \sum_{i=0}^4 dt_1[i]; \quad \sigma_1 = \frac{1}{5-1} \sum_{i=0}^4 (dt_1[i] - \bar{dt}_1)^2;$$

$$\sigma_{1m} = \max\{(dt_1[i] - \bar{dt}_1)^2, i=0,1,2,3,4\}$$

5 组指纹信号在正常情况下录取,这些参数基本上代表了机械状态正常时振动信号的关键特征量。将新录的动作信号波形经过信息量的提取,得到 14 个关键信息量(10 个振动信号量  $V_T[j](j=0,1,\dots,9)$ ,4 个时间量  $dt_{1T}, dt_{2T}, dt_{3T}, dt_{4T}$ )。对于其中的 10 个振动信号量,求出每个频段幅值偏离对应指纹平均幅值的程度,用  $\sigma_T[j](j=0,1,\dots,9)$  表示,和所有频段的幅值偏离对应频段的平均值的偏差的总和  $\sigma_{HT}$ 。

$$\sigma_T[j] = (V_T[j] - \bar{V}_F[j])^2 \quad j=0,1,\dots,9$$

$$\sigma_{HT} = \sum_{j=0}^9 (V_T[j] - \bar{V}_F[j])^2$$

对于其中的 4 个时间信号量(以  $dt_{1T}$  为例),则只需求出其偏离对应时间平均值的程度,用  $\sigma_{1H}$  表示。

$$\sigma_{1H} = (dt_{1T} - \bar{dt}_1)^2$$

比较  $\sigma_T[j]$  与  $\sigma[j](j=0,1,\dots,9)$ ,  $\sigma_{HT}$  与  $\sigma_{Hm}$ ,  $\sigma_{1T}$  与  $\sigma_{1m}$ ,  $\sigma_{2T}$  与  $\sigma_{2m}$ ,  $\sigma_{3T}$  与  $\sigma_{3m}$ ,  $\sigma_{4T}$  与  $\sigma_{4m}$ , 依比较的结果作出机械状态是否正常的初步判 (下转第 111 页)

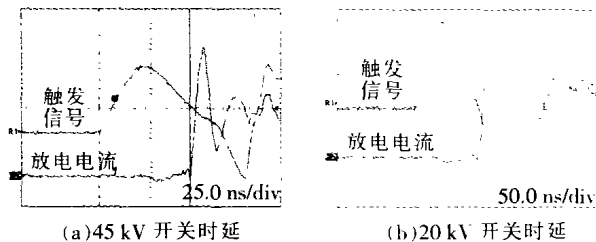


图7 开关时延

表1 开关时延分散性

电压/kV	气压/MPa	5次试验 $t_d$ /ns	平均 $t_d$ /ns	抖动时间 $t_j$ /ns	DPF-200 $t_d$ /ns	DPF-200 $t_j$ /ns
20	0.14	62, 72, 66, 60, 66	63.2	6.0		
30	0.20	48, 44, 50, 48, 42	46.4	4.0	60~80	±10
45	0.24	27, 24, 22, 27, 29	25.8	3.5		

火花开关从 20 kV 到 45 kV 分散性都较小, 由此可以得出: 火花开关  $t_d$  和  $t_j$  都小于 DPF-200 开关。

同时, 简单地测量了开关的电感, 其方法是通过谐振法测量回路放电周期, 计算出回路总电感, 减去外电路电感即为开关的电感。试验原理图仍如图 5, 负载换为 DPF-300 型脉冲电流源开关放电用的 8 根 4 m 长的聚乙烯同轴电缆 (168 nH/m, 240 pF/m) 并联。从图 8 可以看出, 短路放电周期为  $T=6.28 \mu\text{s}$ , 计算得回路总电感 166 nH, 其中高压电容器的电感约为 40 nH, 8 根 4 m 低电感高压电缆并联电感为 84 nH, 扣除螺钉等连接电感和杂散电感, 开关的电感量小于 42 nH。

## 4 结论

通过开关初步的试验结果, 得到该同轴型三电

(上接第 108 页)

断。实际运行经验表明, 计算偏差在指纹偏差的 1.5 倍的范围内都可认为机械状态正常。

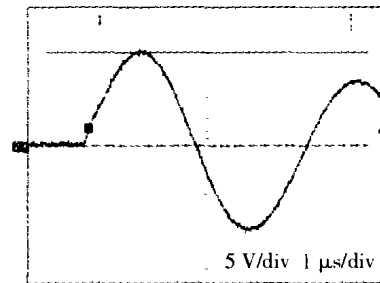
## 7 相关说明

(1) 信号采集板采样时各路信号用同一个 A/D 分时循环采样, 建议采用采样频率较高的 A/D, 保证各路信号采样的同时性。

(2) 前 5 次指纹波必须“就地产生”<sup>[1]</sup>, 是指指纹波必须待各种传感器 (尤其是振动传感器) 永久性的安装就绪后才能录取产生。若是传感器的位置有变动或者脱落后在同一位置第 2 次安装都必须重新录取指纹波形。

(3) 上下位机之间的通讯采用主从式或者举手式均可。一旦断路器有动作, 数据采集板 (下位机) 即开始录波, 所录波形实时传至上位机, 上位机对数据进行分析处理, 得出结论。因此, 该方法可以实时在线监测断路器的机械状态, 其监测结果比离线测量结果更接近断路器的真实状态。

(4) 机械状态的在线监测可以很容易的和电寿

图8 短路电流波形 (Rogowski 线圈系数  $k=13.077$ )

极场畸变气体火花开关的主要技术指标为: ①单个开关电感小于 42 nH; ②工作电压范围 20~50 kV; ③单个开关在相同放电回路、相同条件下连续触发放电, 其放电时延及其分散性都比较小。

综上所述, 所设计的同轴型三电极场畸变气体火花开关与原 DPF-200 所用开关相比, 具有电感小、通流能力强、工作范围宽、触发特性好等优点, 已成功应用于 DPF-300 型脉冲电流源的同步放电系统。

## 参考文献:

- [1] 李正瀛. 脉冲功率技术[M]. 北京: 水利电力出版社, 1992.
- [2] 韩 旻. 强电流脉冲放电技术 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1987.
- [3] 朱德恒, 严 璋. 高电压绝缘 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1996.
- [4] 李洪涛. 200 kV/100 kA 环形轨道式场畸变开关[A]. 第 8 届高功率粒子束暨高压学术交流会议论文集[C], 三亚, 2001.

作者简介: 梁天学 (1974-), 男, 工程师, 主要从事高功率脉冲电源技术研究。

命、辅助回路以及 SF<sub>6</sub> 状态的在线监测融合起来, 组成一个功能完善的断路器在线监测系统。

(5) 该整套断路器在线监测诊断系统已经在湖北荆州、山东青岛等地的多家变电站安装运行, 并取得了满意的运行结果。

## 参考文献:

- [1] 刘全志, 师明义. 高压断路器在线状态检测与诊断技术[J]. 高电压技术, 2001, 27(5): 29-31.
- [2] 陈新喜, 王章启. 高压断路器机械诊断技术的评述 [J]. 高电压技术, 1996, 22(2): 47-49.
- [3] A A Polycarpou, A Soom, V Swarmakar, et al. Event Timing and Shape Analysis of Vibration Bursts from Power Circuit Breakers [J]. IEEE Trans. on Power Delivery, 1996, 11(2): 848-852.
- [4] 沈 力, 黄瑜珑, 钱家骊. 高压断路器机械状态监测的研究 [J]. 中国电机工程学报, 1997, 17(2): 113-117.
- [5] 关永刚, 黄瑜珑. 基于振动信号的高压断路器机械故障诊断 [J]. 高电压技术, 2000, 26(3): 66-68.

作者简介: 姚月娥 (1979-), 女, 硕士研究生, 研究方向为高压断路器状态在线监测与诊断。