基于双谱和希尔伯特 – 黄变换的断路器故障诊断方法

李建鹏,赵书涛,夏燕青

(华北电力大学 电气与电子工程学院,河北 保定 071003)

摘要:通过对断路器正常合闸和异常合闸时的声波进行双谱分析,发现声波的高频分量能量分布能够体现 断路器的工作状态。通过希尔伯特-黄变换分析,发现合闸过程中声波信号高频分量持续时间较短,根据高 频分量经过经验模态分解后的各固有模态函数能量分布特点,提出了基于固有模态函数能量熵的故障特征 提取方法。模拟实验中取 500~3 000 Hz 信号的固有模态函数能量熵作为断路器故障诊断的依据,能去除低 频环境噪声对分析结果的影响。实验结果验证了基于双谱分析和希尔伯特-黄变换的声波分析方法对于诊 断断路器机械故障的有效性。

0 引言

断路器的正常运行对电网的稳定、安全运行至 关重要。目前实行的计划性预防检修盲目性大,而 且频繁的操作及过度的拆卸检修会降低断路器的可 靠性。断路器在开、闭操作过程中会发出巨大的声响 和振动,这种声波和振动信号是断路器运行状态信 息的重要载体。声波可由非接触测量方法获得,适合 应用在高电压和强电磁环境中¹¹。声波中包含了断 路器运行隐患和故障信息,声波分析虽然具有易于 测量的优点,但测试环境中的各种干扰同时会影响 声波分析结果。处理线性、高斯性和平稳性信号时, 可采用二阶统计量或基于二阶统计量的功率谱理论 分析信号的时频域特征。但是断路器的声波信号易 受环境因素影响,且包含非线性、非平稳成分,此时 再采用常规的处理方法会大幅降低准确性,甚至产 生错误的结论。

双谱从更高阶概率结构表征随机信号,理论上 能够完全抑制高斯噪声,适用于分析非线性、非平稳 信号^[2]。希尔伯特-黄变换 HHT(Hilbert-Huang Transform)经过经验模态分解 EMD(Empirical Mode Decomposition)把信号分解成若干个固有模态函数 IMF (Intrinsic Mode Function),然后对 IMF 进行 Hilbert 变换,得到每个 IMF 的随时间变化的瞬时频率和瞬 时幅值,由此可构建信号的时间-频率-能量分布。将 双谱分析和基于 EMD 的能量熵用于非线性、非平稳 的声波信号分析,对于诊断断路器运行状态是一种有 益的探索。

1 断路器操动过程中的声波信号

由于机械的撞击和摩擦,断路器在分、合闸过程

收稿日期:2011-07-20;修回日期:2012-11-03

中发出的声波中蕴含了丰富的机械状态信息。声波 传感器的安装相对灵活简便,不需改变设备结构,所 以与其他检测法相比,声学检测具有简单灵活、易于 在线检测的优点⑶,但获得的声波信号中常含有大量 噪声,严重影响了信号处理结果。采用电容型传声器 采集断路器合闸的声波信号,采样频率为10000 Hz, 采样点为 30000 个,如图 1 所示(声波信号已转换为 电压信号,后同)。从图1可以看出,断路器合闸声 波信号在1.0s左右振幅最大,进一步分析信号的功 率谱,如图2所示。由图2可以发现合闸声波信号 能量主要分布在 0~3000 Hz,3000 Hz 以上信号能 量很小。基于傅里叶变换的功率谱分析是对信号的 全局积分,不能反映信号的局部频域特征。而声波 信号频率分布的时间特性和断路器机械状态密切相 关,通过功率谱不能反映声波信号频率的时间特征, 也就不能直接诊断断路器故障。

为考虑环境噪声影响,采集断路器周围环境噪声



图 1 断路器合闸声波信号





图 2 合闸声波信号功率谱 Fig.2 Power spectrum of closing acoustic signal

信号(断路器未动作时),通过比较来确定噪声的影响。图 3 为环境噪声信号时域波形图,信号幅值很低。图 3 的功率谱分析如图 4 所示,噪声能量集中在 500 Hz 以下,500 Hz 以上信号能量极小。可见,500 Hz 以下噪声会对断路器状态特征的提取产 生影响。





当断路器操动中存在故障隐患时,声波信号会 有显著变化,然而直接通过人的听觉尚不能区分故 障及其类型,找到合适的诊断断路器运行状态的声 波处理方法具有重要的实用价值。

2 双谱分析

作为信号处理的重要方法之一,双谱分析从更 高阶概率结构表征随机信号,可以弥补功率谱不含 相位信息、无法提供更多有用信息的缺点。同时,双 谱分析理论上能够完全抑制高斯噪声,具有很强的 消噪能力。因此,双谱分析在非平稳、非高斯信号的 时延估计、去噪处理和特征提取方面应用非常广泛。 双谱的定义如下。

假设 ${x(n)}$ 为零均值的k 阶平稳随机过程,并 且其k 阶累积量 $C_{k,x}(\tau_1, \tau_2, \cdots, \tau_{k-1})$ 是绝对可和 的,即:

$$\sum_{\tau_1,\dots,\tau_{k}=-\infty}^{+\infty} \left| C_{k,x}(\tau_1,\tau_2,\dots,\tau_{k-1}) \right| < \infty$$
(1)

则 $\{x(n)\}$ 的k阶谱定义为:

 $S_{k,x}(\boldsymbol{\omega}_1,\boldsymbol{\omega}_2,\cdots,\boldsymbol{\omega}_{k-1}) =$

$$\sum_{\tau_1} \sum_{\tau_2} \cdots \sum_{\tau_{k-1}} C_{k,x}(\tau_1, \tau_2, \cdots, \tau_{k-1}) \mathrm{e}^{\mathrm{j}\omega^T T} \quad (2)$$

其中,k=3时为双谱,即:

$$S_{3,x} = \sum_{\tau_1 = -\infty}^{+\infty} \sum_{\tau_2 = -\infty}^{+\infty} C_{3,x} e^{-j2\pi(\omega_1 \tau_1 + \omega_2 \tau_2)}$$
(3)

基于双谱分析的优良特性,将双谱分析应用到

断路器声波信号的分析和处理中,以获得更多的有 用信息。断路器在灭弧室动触头、机械连接机构等 动作时,其动作过程往往表现为非平稳、非线性^[4]。 对于非线性系统而言,在某些频率处会出现较强的 相关性,表现为在双频率坐标下的双谱分析三维图 上出现较高的谱峰。

图 5 为正常状态合闸声波信号双谱分析三维 图,图 6 为缓冲器有多余无效撞击时合闸声波信号 双谱分析三维图,图 7 为合闸弹簧储能不足时合闸 声波信号双谱分析三维图。对比图 5、6、7 可以发现, 双谱幅值存在,不为 0,说明合闸声波信号存在非线 性、非高斯特性。正常状态时,合闸声波信号存在非线 性、非高斯特性。正常状态时,合闸声波信号存在非线 性、非高斯特性。正常状态时,合闸声波信号存在非线 图分布比较规律,表现为 1 个能量较大的主谱峰周 围围绕 6 个能量较小的谱峰;出现故障后,主谱峰 幅值减小,小谱峰个数增多,分布变得杂乱,能量趋 于发散。观察双谱分析平面图 8—10(f₁、f₂已作归一 化处理,基准频率为 10 000 Hz),同样可以发现,出 现故障后,能量分布变得复杂、分散,6 个小谱峰周



图 5 正常状态合闸声波信号双谱分析三维图 Fig.5 Three dimensional figure of bispectrum analysis for normal closing acoustic signal



Fig.6 Three dimensional figure of bispectrum analysis for closing acoustic signal when buffer has extra invalid hit



Fig.7 Three dimensional figure of bispectrum analysis for closing acoustic signal when closing spring has less energy storage



图 8 正常状态合闸声波信号双谱分析平面图 Fig.8 Plan of bispectrum analysis for normal

closing acoustic signal



图 9 缓冲器有多余无效撞击时合闸声波 双谱分析平面图





图 10 合闸弹簧储能不足时合闸声波双谱分析平面图 Fig.10 Plan of bispectrum analysis for closing acoustic

signal when closing spring has less energy storage

围也出现很多谱峰,谱图发生很大变化。可见,声波 信号中非线性、非高斯成分能量分布的变化在一定 程度上表征了断路器机械状态的变化。

目前断路器机械状态识别的研究表明,断路器 的机械状态与特征向量之间存在复杂的非线性映射 关系。对于相同或相似的机械状态,声波信号双谱的 非线性特征相似;对于不同的机械状态,其双谱中体 现的非线性特征也不相同,具有较强的可分性^[5-7]。 断路器存在隐患或发生故障时,其声波信号各个频 率成分的能量中包含着丰富的故障信息,某种或几 种频率成分能量的改变即代表了某种故障。因此,双 谱分析在断路器状态识别中有着良好的应用前景。

3 HHT 分析

HHT 主要包括 EMD 和 Hilbert 变换两部分。

EMD 方法的本质是通过数据的特征时间尺度 来分离固有波动模式,即 IMF 的过程。基于任何复杂 的信号都是由一些不同的 IMF 组成的假设,对复杂 信号进行"筛分",使复杂信号经 Hilbert 变换后的瞬 时频率具有物理意义^[8]。

EMD 具体步骤如下。

a. 找到信号 *x*(*t*)所有的局部极大值点和局部极 小值点,然后利用三次样条差值函数拟合形成原始 数据的上、下包络线 *s*₁,*s*₂。

b. 将上、下包络线的均值记作 m1, 求出:

 h_1

$$=x(t)-m_1$$

判断 h_1 是否满足 IMF 成立的 2 个条件,即:极值点 个数和过零点个数相等或最多相差 1 个;在任意时 刻,由局部极大值点和局部极小值点形成的上、下 包络线平均值为 0。如果满足,那么 h_1 就是 x(t)的 第 1 个 IMF 分量。

c. 如果 *h*₁不满足 IMF 的条件,把 *h*₁ 作为原始数 据,转步骤 **a**。

d. 得到 h_1 上、下包络线的平均值 m_{11} ,再求出:

$$h_{11} = h_1 - m_{11}$$

判断 h_{11} 是否满足 IMF 成立的条件,如不满足,则重循环 k 次,得到:

$$h_{1k} = h_{1(k-1)} - m_{1k} \tag{6}$$

最终使得 h_{lk} 满足 IMF 的条件。从滤波的角度看, h_{lk} 为 $h_{1(k-1)}$ 中的局部高频分量, m_{lk} 代表了局部低频分量;记 $c_1 = h_{lk}$,则 c_1 为信号x(t)第1个满足 IMF条件的分量。

e. 将 c_1 从 x(t)分离出来,得到:

$$x(t) - c_1 \tag{7}$$

其中, r_1 为原始数据减去第 1 个 IMF 分量的剩余序 列。将 r_1 看作原始数据重复步骤 **a**—**c** 得到第 2 个 IMF 分量,重复循环 n 次,得到 x(t)的 n 个满足 IMF 条件的分量。这样就有:

$$\begin{cases} r_1 - c_2 = r_2 \\ \vdots \\ r_{n-1} - c_n = r_n \end{cases}$$
(8)

当 r_n 成为一个单调函数不能再从中提取满足 IMF条件的分量时,循环结束。这样由式(7)和式(8) 得到:

$$x(t) = \sum_{i=1}^{n} c_i + r_n$$
 (9)

其中,*r_n*为残余函数,代表信号的平均趋势;*n*为筛选出的 IMF 分量个数。

f. 对每个 IMF 分量作 Hilbert 变换:

$$y_i = \frac{1}{\pi} p \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{c_i(\tau)}{t - \tau} \mathrm{d}\tau \tag{10}$$

$$z_i = c_i + iy_i \tag{11}$$

$$a_i = \sqrt{c_i^2 + y_i^2} \tag{12}$$

$$\theta_i = \arctan(y_i / c_i) \tag{13}$$

其中,p为联合概率密度函数。 定义瞬时频率为:

$$\omega_i = \frac{\mathrm{d}\,\theta_i}{\mathrm{d}\,t} \tag{14}$$

(4)

(5)

以上 EMD 和与之相应的 Hilbert 变换分析方法 统称为 HHT。

图 11 和图 12 分别为某断路器合闸声波信号和 环境噪声的 HHT 分析,频率已作归一化处理。对比 两图可以看出,低频(500 Hz 以下)分量在整个合闸 过程存在,500~3000 Hz 信号主要集中在 1.0 s 左 右,持续时间约为 400 ms,携带了丰富的断路器状态 信息,高频(3000 Hz 以上)分量能量极小。此时,提 取 500~3000 Hz 频段内声波信号作为特征信号进 行后续分析,可以在最大限度地保留有用信号的情况 下去除低频环境噪声干扰。





Fig.11 Hilbert-Huang spectrum of closing acoustic signal



图 12 环境噪声信号希尔伯特-黄谱

Fig.12 Hilbert-Huang spectrum of environmental noise

4 提取故障特征

EMD 的分解结果,即c₁(t)、c₂(t)、c₃(t)、…,分别 反映信号中内嵌的简单函数振荡模式,它们依次包含 从高频到低频的信号频率成分,是信号频带的一种自 动划分,随信号本身的变化而变化^[9-10]。所以,笔者 将提取合闸声波信号特征频段(500~3000 Hz)内信 号的 IMF 能量熵作为故障诊断特征向量,基于 IMF 能 量熵的特征提取步骤如下。

a. 对合闸声波信号特征频段内信号进行 EMD, 选取包含断路器主要故障信息的前 *n* 个 IMF 分量。

b. 求各 IMF 分量的能量 *E_i*:

٢

$$E_{i} = \int |c_{i}(t)|^{2} dt \quad i = 1, 2, 3, \cdots, n$$
 (15)

c. 以各 IMF 能量为元素构造总能量 E:

$$E = \sum_{i=1}^{n} E_i \tag{16}$$

d. IMF 能量熵定义为:

$$H_{\rm EN} = -\sum_{i=1}^{\infty} p_i \lg p_i \tag{17}$$

其中, $p_i = E_i / E$,为第 $i \uparrow IMF$ 分量的能量占整个信号

能量的百分比。断路器状态变化引起声波信号能量 分布发生变化,熵值随之变化。根据熵理论,按照步 骤 a—d 得到的能量熵能够反映各个 IMF 分量能量 的分布情况。

5 实验分析

在实验室中采集 LW3-12 型 SF₆ 断路器正常、 合闸弹簧储能不足、缓冲器有多余无效撞击 3 种状 态下各 10 组合闸声波数据。根据第 4 节所述的故 障特征提取方法,计算得到的各种状态下的 IMF 能 量熵如表 1 所示。其中,1 为正常状态,2 为合闸弹 簧储能不足状态,3 为缓冲器有多余无效撞击状态。

| | | 表1] | IMF | 能量熵 | | |
|-------|--------|---------|-----|-----------|------|----------|
| Tab.1 | Energy | entropy | of | intrinsic | mode | function |

| | | 0, | 1. 2 | | | |
|----|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| 状态 | | | 能量熵 | | | 能量熵中心值 |
| 1 | 0.9081 | 0.9695 | 0.9006 | 0.8986 | 0.9172 | 0.934 2 |
| | 0.9357 | 0.9404 | 0.9452 | 0.7983 | 0.9925 | |
| 2 | 1.2240 | 1.2917 | 1.2004 | 1.2086 | 1.2153 | 1.225 5 |
| | 1.2158 | 1.3374 | 1.2390 | 1.2475 | 1.2536 | |
| 3 | 1.1843 | 1.0832 | 1.0524 | 1.1516 | 1.1458 | 1.127 9 |
| | 1.1821 | 1.0750 | 1.2301 | 1.1647 | 1.1368 | |

断路器运行环境复杂,声波信号采集过程中常 受到背景噪声干扰,会对信号分析结果产生影响。 因此,先对各状态 IMF 能量熵进行聚类分析,再诊断 断路器运行状态。图 13 为在最短距离规则下正常 状态能量熵的聚类过程,1~10 分别代表由低到高 10 个固有模态能量熵。剔除 2 个相异性最大的数 据,计算剩余 8 个相似性较好数据的平均值,以此作 为能量熵中心值。合闸弹簧储能不足、缓冲器有多 余无效撞击等状态下同样进行聚类处理,剔除 2 个 最坏的数据,保证了处理结果的冗余度。例如在正 常状态下能量熵 1.2153 单独一类,相异性最大,已经 被剔除,此外还剔除了能量熵 1.2086。合闸弹簧储 能不足状态下剔除 1.2917 和 1.3374 这 2 个能量 熵。缓冲器有多余无效撞击状态下剔除 1.2301 和 1.0524 这 2 个能量熵。



计算得到各状态能量熵中心值如表1所示。以 能量熵中心值为标准,计算每次测试数据能量熵到 各状态中心值的距离,根据距离接近程度诊断断路 器故障类型。在实验室中对LW3-12型SF6断路器 的上述3种状态进行了多次测试,均能准确区分。断路器其他类型故障也可采用本文提出的方法计算能量熵中心值,将此中心值作为标准放入知识库,通过专家系统有效地诊断断路器故障。

6 结论

断路器操动中的声波信号能体现断路器的运行 状况。利用双谱分析了断路器合闸声波的能量分布 特性,表明机械故障可由 500~3000 Hz 范围内声波 信号区分。利用 HHT 分析了合闸声波的时频分布特 性,将 IMF 能量熵经聚类分析,求取中心值诊断断路 器故障类型,是一种实用的新方法。断路器故障诊 断十分复杂,声波分析法在工程实际中还需要更多 的现场数据充实知识库中的评价标准,并结合神经网 络、模糊理论和专家系统等进一步展开研究工作。

参考文献:

- 潘亮亮,赵书涛,李宝树.基于声波信号分析的电气设备故障诊断新方法[J].电力自动化设备,2009,29(8):87-90.
 PAN Liangliang,ZHAO Shutao,LI Baoshu. Electrical equipment fault diagnosis based on acoustic wave signal analysis[J]. Electric Power Automation Equipment,2009,29(8):87-90.
- [2] 王培义,朱伯涛. 开关柜局部放电超声波在线检测技术的应用[J]. 河北电力技术,2010,29(6):26-27.

WANG Peiyi,ZHU Botao. Application of partial discharge ultrasonic on-line detection technology for switchgear [J]. Hebei Electric Power,2010,29(6):26-27.

- [3] 李辉,郑海起,唐立伟. 声测法和经验模态分解在轴承故障诊断中的应用[J]. 中国电机工程学报,2006,26(15):124-128.
 LI Hui,ZHENG Haiqi,TANG Liwei. Application acoustic emission and empirical mode decomposition to faults diagnosis of bearing[J]. Proceedings of the CSEE,2006,26(15):124-128.
- [4] 孟庆学. 基于振动信号分析的高压断路器机械状态检测的研究
 [D]. 上海:上海交通大学,2006.
 MENG Qingxue. Application of fault diagnosis for high voltage circuit breakers based on vibration signals[D]. Shanghai:Shanghai Jiao Tong University,2006.
 [5] 孙来军,胡晓光,纪延超,等. 小波包-特征熵在高压断路器故障
- 诊断中的应用[J]. 电力系统自动化,2006,30(14):62-65. SUN Laijun,HU Xiaoguang,JI Yanchao,et al. Fault diagnosis for HV circuit breakers with characteristic entropy of wavelet packet[J]. Automation of Electric Power Systems,2006,30(14): 62-65.
- [6] 严可国,柳亦兵,徐鸿,等. 基于双谱分析的大型汽轮机振动故障 特性提取[J]. 中国电机工程学报,2010,30(2):98-103. YAN Keguo,LIU Yibing,XU Hong,et al. Fault feature extraction of large steam turbine based on bispectra analysis of vibration signal[J]. Proceedings of the CSEE,2010,30(2):98-103.
- [7] 董越. SF₆高压断路器在线监测及振动信号的分析[D]. 上海:上海交通大学,2008.
 DONG Yue. SF₆ high voltage breaker on-line monitoring and vibration signal analysis[D]. Shanghai;Shanghai Jiao Tong University.2008.
- [8] 于德介,程军圣,杨宇. 机械故障诊断的 Hilbert-Huang 变换方法 [M]. 北京:科学出版社,2006:23-38.
- [9] 李军伟,韩捷. 小波包--双谱分析和 Hilbert--双谱分析的滚动轴

承故障诊断方法对比研究[J]. 中国工程机械学报,2005,3(3): 297-301.

LI Junwei, HAN Jie. Contrast research of the method for the fault diagnosis of rolling bearing based on wavelet packet-bi-spectrum analysis and Hibert-bispectrum analysis [J]. Sponsored by China Construction Machinery, 2005, 3(3):297-301.

- [10] 杨武,荣命哲,陈德桂,等. 高压断路器操作振动信号处理的一种新方法[J]. 电工电能新技术,2002,21(3):57-61.
 YANG Wu,RONG Mingzhe,CHEN Degui, et al. Electromagnetic compatibility design for photovoltaic pumping systems[J]. Advanced Technology of Electrical Engineering and Energy,2002, 21(3):57-61.
- [11] 陈伟根,范海炉,王友元,等. 基于小波能量与神经网络的断路器振动信号识别方法[J]. 电力自动化设备,2008,28(2):29-32.
 CHEN Weigen,FAN Hailu,WANG Youyuan, et al. Circuit breaker vibration signal recognition based on wavelet energy and neural network[J]. Electric Power Automation Equipment, 2008,28(2):29-32.
- [12] 赵海龙,王芳,胡晓光.小波包-能量谱在高压断路器机械故障 诊断中的应用[J].电网技术,2004,28(6):46-48.
 ZHAO Hailong,WANG Fang,HU Xiaoguang. Application of wavelet packet-energy spectrum in mechanical fault diagnosis of high voltage circuit breakers[J]. Power System Technology, 2004,28(6):46-48.
- [13] 陈伟根,邓帮飞,杨彬. 基于振动信号经验模态分解及能量熵的 高压断路器故障识别[J]. 高压电器,2009,45(2):90-94. CHEN Weigen,DENG Bangfei,YANG Bin. Fault recognition for high voltage circuit breaker based on EMD of vibration signal and energy entropy characteristic[J]. High Voltage Apparatus,2009,45(2):90-94.
- [14] 黄建,胡晓光,巩玉楠. 基于经验模态分解的高压断路器机械故 障诊断方法[J]. 中国电机工程学报,2011,31(12):108-113.
 HUANG Jian,HU Xiaoguang,GONG Yunan. Machinery fault diagnosis of high voltage circuit breaker based on empirical mode decomposition[J]. Proceedings of the CSEE,2011,31(12): 108-113.
- [15] 朱利民,钟秉林,贾民平.振动信号短时分析方法及在机械故障 诊断中的应用[J].振动工程学报,2000,13(2):400-405.
 ZHU Limin,ZHONG Binglin,JIA Minping. Short-time processing of vibration signal and its application in machine fault diagnosis[J]. Journal of Vibration Engineering,2000,13(2): 400-405.
- [16] 张国钢,王宏伟,汤翔,等. 基于 EMD 方法的高压断路器液压机构振动信号分析[J]. 高压电器,2008,44(3):193-197.
 ZHANG Guogang,WANG Hongwei,TANG Xiang, et al. Vibration signal analysis of hydraulic operating mechanism for high voltage circuit breaker based on EMD method[J]. High Voltage Apparatus,2008,44(3):193-197.

作者简介:

李建鹏(1985-),男,河北石家庄人,硕士研究生,研究方向为电气设备在线监测与故障诊断(E-mail:lijianpeng0311 @126.com);

赵书涛(1968-),男,河北衡水人,教授,研究方向为电气 设备故障诊断、电磁测量技术;

夏燕青(1985-),女,江西上饶人,硕士研究生,研究方向 为数字变电站。

(下转第 125 页 continued on page 125)

Practical dynamic equivalence of AC-DC interconnected power network

ZHANG Yidi, GUAN Lin

(School of Electric Power, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: Corresponding practical methods are proposed to solve the problems existing in different procedures of coherency-based equivalence. Correlation analysis is carried out for the bus voltage curves and the external nodes to be preserved are identified according to the bus voltage coherency. Different countermeasures may be applied to treat the unreasonable network parameters appeared during the process of network simplification: delete manually the branch with high impedance and fine-tune appropriately the load parameters of nearby nodes; adjust the negative resistance parameters to 0, distribute the reactive power provided by the negative resistors to both nodes of the line and adjust their active loads appropriately to improve the accuracy of dynamic equivalence. The time-division quantitative evaluation is proposed to assess the dynamic performance after equivalence. The practical example of South China Power Grid verifies the efficiency of the proposed methods.

Key words: dynamic equivalence; node preservation principle; dynamic performance evaluation; AC-DC system; electric power systems

(上接第 119 页 continued from page 119)

Fault diagnosis based on bispectrum and Hilbert-Huang transform for circuit breaker

LI Jianpeng, ZHAO Shutao, XIA Yanqing

(North China Electric Power University, Baoding 071003, China)

Abstract: The bispectrum analysis of acoustic waves is carried for the normal and abnormal closing of circuit breaker, which shows that the energy distribution of its high frequency components may reflect the operational state of the circuit breaker. Hilbert-Huang transform analysis shows that, the high frequency components of acoustic signals last only for a short period. According to the energy distribution of high frequency components extracted from the empirical mode decomposition, a method of fault feature extraction based on the energy entropy of intrinsic mode functions is proposed. The energy entropy of 500~3 000 Hz intrinsic mode functions is taken as the criterion in the simulative experiments of circuit breaker fault diagnosis, which is immune to the influence of environmental noise of low frequency. Experimental results show the effectiveness of circuit breaker fault diagnosis based on the bispectrum analysis and Hilbert-Huang transform of acoustic signals.

Key words: electric circuit breakers; acoustic wave; noise; bispectrum; Hilbert-Huang transform; energy entropy; failure analysis