

基于 Sk-Ku 图谱的发电机局部放电数据分析

钱 勇, 黄成军, 陈 陈, 黄方能, 江秀臣

(上海交通大学电气工程系, 上海 200240)

Analysis of the Partial Discharge in Generator Based on Sk-Ku Plot

QIAN Yong, HUANG Cheng-jun, CHEN Chen, HUANG Fang-neng, JIANG Xiu-chen

(Department of Electrical Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China)

摘要: 为了分析发电机的局放严重程度, 针对局放的二维相位分布图谱, 文中构造了局放的 Sk-Ku 图谱, 并通过两个具体的发电机实例进行了对比分析。分析结果表明, Sk-Ku 图谱能有效地表征出局放的严重程度, 不同发电机局放严重程度之间具有一定的可比性。局部放电量和放电次数的 Sk-Ku 图谱均呈现二次曲线的性状, 随着局放严重程度的增加, 图谱整体有从 1、2 象限向 3、4 象限移动的趋势, 数据的变化范围出现大幅度的减小。

关键词: 发电机; 局部放电; 相位分布图谱; Sk-Ku 图谱

中图分类号: TM855

文献标志码: A

Abstract: For evaluating the partial discharge extent of generator, as far as the two dimensional phase resolved plots were concerned, a new type of plot, namely Sk-Ku plot, was constructed. Furthermore, the Sk-Ku plot was put into the cross analysis of partial discharge detected from two practical generators. The results analysis demonstrate that, Sk-Ku plot can effectively reflect the partial discharge extent and partial discharge derived from different generators can be compared to some extent. Sk-Ku plots of discharge magnitude and count take on the character of conic, what is more, with the increase of partial discharge, the Sk-Ku plots show the trend of shifting from 1, 2 quadrants to 3, 4 quadrants. In addition, the distribution range of the data decreases significantly.

Key words: generator; partial discharge; phase resolved plot; Sk-Ku plot

0 引言

局部放电是监测大型电力设备绝缘状态的有效方法, 但是受放电机理、传输路径、检测电路、设备工况、环境等因素的影响, 局部放电无论在数值上还是在形态上都显示出诸多的不确定性, 如何评估局部放电是一个典型的不确定性问题。

由于相对局放的数值而言, 局放的变化趋势能提供更多的信息^[1], 因而, 当前局部放电的评估工作主要是以局放的趋势分析为主。局放的趋势分析包括最大放电量、平均放电量等局放基本参数的数值变化趋势分析, 也包括局放波形和局放相位分布图谱的图形变化趋势分析^[2], 其中, 以局放相位分布特征为当前研究的重点, 有较多的研究报道^[3-6]。

文[2]为了研究局放严重程度与局放波形的关系, 构建了局放波形的突出度-偏斜度 (Ku-Sk) 图谱。将此思想引入局放的相位分析, 在系统提取局放相位分布特征参数的基础上, 构建了局放的 Sk-Ku 图谱, 并通过两个具体的发电机实例的对比分析, 研究 Sk-Ku 图谱与局放严重程度的关系。

1 局部放电 Sk-Ku 图谱的构造

常用于分析局放严重程度的相位分布图谱包括一个三维图谱和 5 个二维图谱。三维图谱即 Φ_{Q-n} 图谱, 表示的是局放次数随相位和放电量的分布情况。二维图谱包括最大放电量相位分布、平均放电量相位分布、放电次数相位分布、放电幅值分布和放电能量分布, 见图 1。

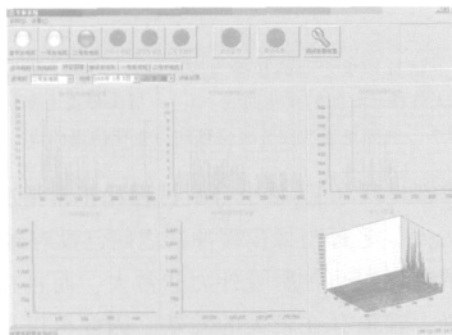


图 1 局放的相位分布图谱

由图 1 中二维图谱, 可以提取出一系列描述局

收稿日期: 2007-02-01; 修回日期: 2007-05-10

作者简介: 钱 勇(1977-), 男, 博士研究生, 研究方向为大型电气设备在线监测和故障诊断、电力电子技术电力系统中的应用。

放相位分布的矩特征,常用的有偏斜度(Sk)和突出度(Ku)^[3-6]。

(1) 偏斜度 Sk

偏斜度是数据的三阶矩,用于表征数据分布关于正态分布的不对称度,具体定义如下

$$Sk = \frac{\sum (x_i - \mu)^3 \cdot P_i}{\sigma^3} \quad (1)$$

(2) 突出度 Ku

突出度是数据的四阶矩,用于表征数据分布与正态分布的偏差,具体定义如下

$$Ku = \frac{\sum (x_i - \mu)^4 \cdot P_i}{\sigma^4} - 3 \quad (2)$$

其中 x 为离散值; p 为 x 的概率; μ 为数据的平均值; σ 为数据的标准偏差。

Sk-Ku 图谱即是以偏斜度为横坐标,突出度为纵坐标构造的二维图谱。下面将针对最大放电量、平均放电量、放电次数和放电幅值相位分布,分别构造 Sk-Ku 图谱进行分析。

2 基于 Sk-Ku 图谱的局放严重程度分析

为了研究 Sk-Ku 图谱与局放严重程度的关系,给出了两个具体的发电机实例。

实例 1 的数据取自华东某电厂的发电机局部放电在线监测系统^[7]。该发电机系三菱电气公司制造(简称发电机 I),安装于 20 世纪 80 年,目前已经运行了 25 年,但是电机的绝缘状态还较好。由该发电机所取的数据共 9 788 条,采样时间段为 2004 年 8 月 23 日~2005 年 4 月 22 日。

实例 2 的数据取自河北某电厂的发电机局部放电在线监测系统,系统的型号与实例 1 的相同。该发电机由上海电机厂制造(简称发电机 II),安装于 20 世纪 70 年代中期,目前已经运行了 30 余年,电机的绝缘劣化情况较严重。由发电机 II 所取的数据共 12 446 条,采样时间段为 2005 年 7 月 8 日~2006 年 5 月 4 日。

2.1 典型的局放时域数据

图 2 为发电机 I 中典型的放电信号时域图。由图 2 可知,发电机中的局放信号较少,幅值较小,但是检测的数据中存在较明显的脉冲型干扰,在获取相位分布图谱之前,必须对干扰进行有效地抑制。由于系统中未发现窄带干扰,因而笔者只针对白噪

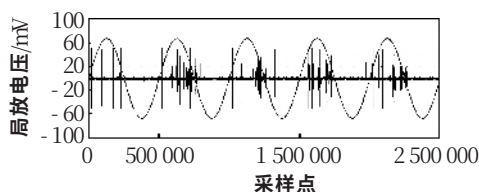


图 2 典型的放电时域图(发电机 I)

声和脉冲型干扰执行了消噪处理^[8,9]。

图 3 为发电机 II 中典型的放电信号时域图,检测数据中的干扰较小,但局部放电次数较多,幅值较大。

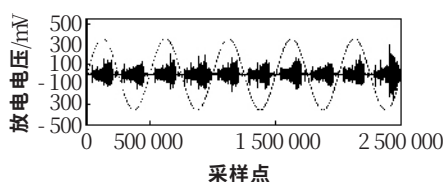


图 3 典型的局放时域图(发电机 II)

对比图 2 和 3,可以看到,发电机 I 和发电机 II 的局部放电水平相差较大,发电机 I 的平均放电水平只有 6 mV 左右,而发电机 II 的平均放电水平却高达 100 mV 以上,二者的放电严重程度存在较明显的差别。

2.2 Sk-Ku 图谱

(1) 最大放电量

图 4、5 分别为发电机 I 和发电机 II 的最大放电量 Sk-Ku 图谱。发电机 I 正、负半周的 Sk-Ku 图谱整体均呈现出二次曲线的性状,二者具有明显的相似性,在 4 个象限均有数据分布,正、负半周的数据整体上关于 $Sk=0$ 对称;发电机 II 正、负半周的 Sk-Ku 图谱在分布形态上具有较明显的相似性,数据主要分布在 3、4 象限,正、负半周的图谱基本关于 $Sk=0$ 对称。

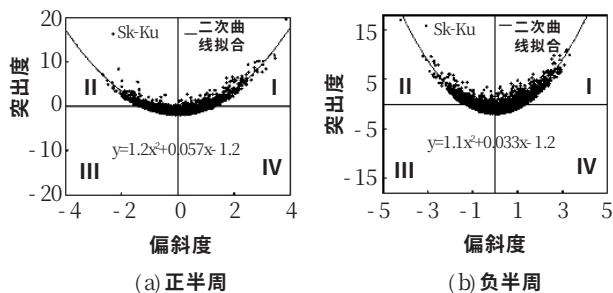


图 4 正、负半周的最大放电量 Sk-Ku 图谱(发电机 I)

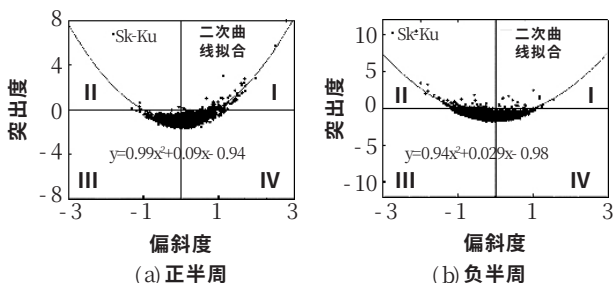


图 5 正、负半周的最大放电量 Sk-Ku 图谱(发电机 II)

由图 4、5 可看出,发电机 I 的 Sk-Ku 数据分布的范围明显大于发电机 II,前者的偏斜度变化范围约是后者的 3 倍,突出度约是后者的 1.5 倍。随着局放严重程度的增加,最大放电量 Sk-Ku 图谱有整体由 1、2 象限向 3、4 象限移动的趋向。

(2) 平均放电量

图 6、7 分别为发电机 I 和发电机 II 的平均放电

量 Sk-Ku 图谱。与最大放电量的 Sk-Ku 图谱类似, 发电机 I 正负半周的 Sk-Ku 图谱都呈现出明显的二次曲线的性状, 在 4 个象限均有数据分布, 正、负半周的数据均关于 $Sk=0$ 对称; 发电机 II 正、负半周的 Sk-Ku 图谱的相似性较明显, 但是二次曲线的性状较模糊。数据主要分布在 3、4 象限, 正负半周的图谱基本关于 $Sk=0$ 对称。

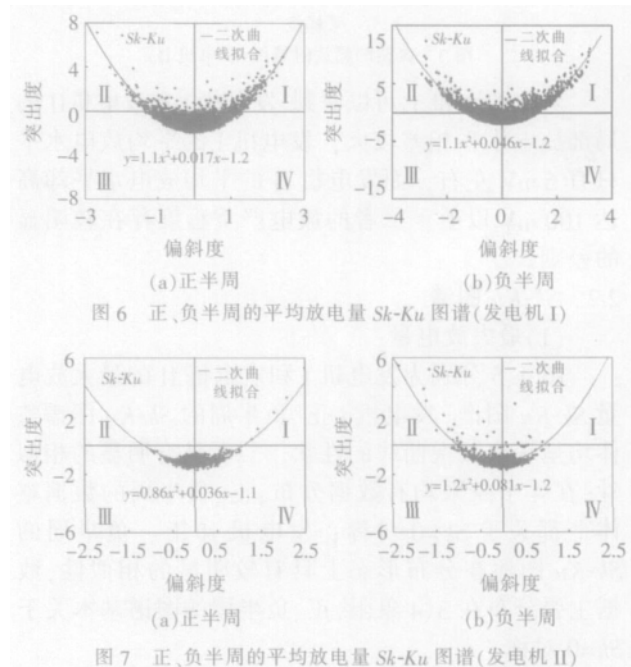


图6 正、负半周的平均放电量 Sk-Ku 图谱(发电机 I)

图7 正、负半周的平均放电量 Sk-Ku 图谱(发电机 II)

对比图 6、7 可以发现, 与最大放电量类似, 发电机 I 的 Sk-Ku 数据分布范围明显要大于发电机 II, 前者的偏斜度变化范围约是后者的 2 倍, 突出度约是后者的 2 倍, 图谱有整体由 1、2 象限向 3、4 象限移动的趋向。

(3) 放电次数

图 8、9 分别为发电机 I 和发电机 II 的放电次数 Sk-Ku 图谱。与放电量的 Sk-Ku 图谱类似, 发电机 I 放电次数正、负半周的 Sk-Ku 图谱也呈现出明显的二次曲线的性状, 数据主要分布在 1、2 象限, 正、负半周的数据均关于 $Sk=0$ 对称; 发电机 II 正负半周的 Sk-Ku 图谱具有较明显的相似性, 二次曲线的性状较明显, 数据主要分布在 2~4 共 3 个象限。

对比图 8、9 可以发现, 发电机 I 的 Sk-Ku 数据分布的范围明显大于发电机 II, 前者的偏斜度变化

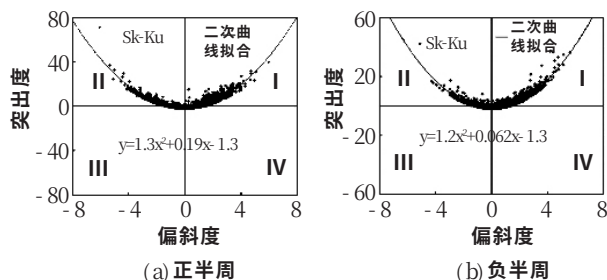


图8 正、负半周的放电次数 Sk-Ku 图谱(发电机 I)

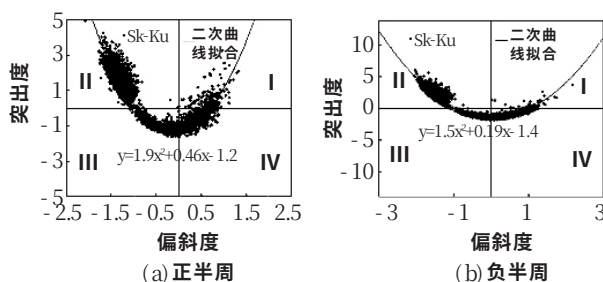


图9 正、负半周的放电次数 Sk-Ku 图谱(发电机 II)

范围大约是后者的 3 倍, 突出度大约是后者的 4 倍。随着局放严重程度的增加, 图谱有整体由 1、2 象限向 3、4 象限移动的趋向。

(4) 放电幅值

图 10 为发电机 I 和发电机 II 的放电幅值 Sk-Ku 图谱。发电机 I 的图谱呈现出较明显的三次曲线性状, 随着偏斜度的增加, 突出度呈现单调增大趋势, 数据主要分布在第 1 象限; 发电机 II 的图谱也呈现三次曲线的性状, 但较模糊, 随着偏斜度的增加, 突出度呈单调增大趋势, 数据主要分布在第 1 象限。

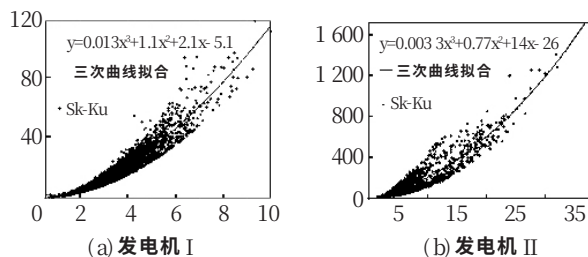


图10 放电幅值的 Sk-Ku 图谱

此外, 对比图 4 和图 5 可以发现, 随着局放严重程度的增加, 放电幅值 Sk-Ku 图谱的分布范围出现大幅度的增大。发电机 I 的 Sk-Ku 数据分布的范围远小于发电机 II, 前者偏斜度的变化范围只有后者的 1/4, 而突出度的变化范围仅为后者的 1/14。

3 结论

笔者在系统提取局放相位特征参数的基础上, 构建了局放相位分布的 Sk-Ku 图谱, 用于分析局部放电严重程度。通过两个具体的发电机局放数据对比分析, 可以得出如下的结论:

(1) 不同发电机的 Sk-Ku 图谱之间具有明显的相似性, 其数据分布与局放严重程度之间存在明显的关联, 可用作参考评估发电机的局放严重程度。

(2) 放电量和放电次数 Sk-Ku 图谱均呈现出二次曲线的性状。局放轻微的发电机, 其放电量和放电次数 Sk-Ku 图谱在 4 个象限均有数据分布; 局放严重的发电机, 其放电量和放电次数 Sk-Ku 图谱主要分布在第 3 和第 4 象限。此外, 相比前者, 后者的数据变化范围出现大幅度的减少, 实例显示, 后者的偏斜度和突出度变化范围只有前者的 1/4~1/2。

(3) 局放幅值的 Sk-Ku 图谱 (下转第 182 页)

不能设计得过大,在满足机械强度和温升的条件下,其直径应尽量小。图8是触头接触处最高温度和上接线端子的最高温度随导电杆半径变化的模拟结果。模拟过程中假设动静触头之间只有一个接触点,接触点半径为1 mm。

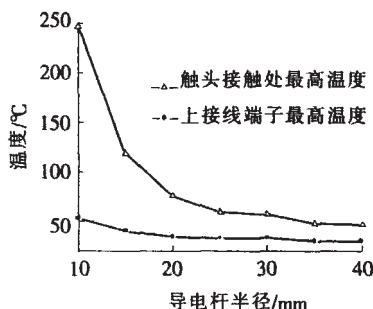


图8 触头接触处最高温度和上接线端子最高温度随导电杆半径的变化情况

从图8中可以看出,当导电杆半径从10 mm增大至25 mm的过程中,触头接触处最高温度和上接线端子的最高温度随着导电杆半径的增大迅速降低;但当导电杆半径增大至25 mm以后,再增大时,二处温度降低趋势已不明显。因此,此时再增大导电杆的半径对降低温升的意义已经不大,而只会加重操纵机构的负荷。

4 结论

对影响高额定电流等级的高电压真空断路器温升的4种因素——散热表面的对流换热系数、动静触头接触点半径、接触点位置以及导电杆的半径,进行了仿真研究,得到如下结论:

(1) 在高电压真空断路器的热分析中,散热器表面的热辐射不能忽略。辐射对散热器表面综合换热系数的贡献与空气自然对流相当。

(2) 触头实际接触面积对触头接触处的温度和接线端子的温度影响显著,但这种影响随实际接触面积的增加迅速进入饱和区,在该计算条件下,当接触点半径增大至2 mm以后,断路器温升降低趋势已不明显。

(3) 触头接触区位置的变化对真空断路器的温度场几乎没有影响。

(4) 触头接触处温度和接线端子的温度均随着导电杆半径的增大而降低,其中触头接触处温度降低的趋势更显著,但这种降低在导电杆直径达到一临界值(在此研究对象中,该临界值为50 mm)后会进入饱和区,继续增大导电杆直径对降低温升作用不大。

参考文献:

- [1] 李建基. 中压真空断路器的世界市场 [J]. 高压开关行业通讯, 2006(3): 21-23.
- [2] 王季梅. 真空开关的现状与发展趋势 [J]. 电力设备, 2005, 6(2): 1-5.
- [3] 陈剑光, 柳春芳, 郭福明. 大电流真空断路器温升与过热影响因素的探讨[J]. 高电压技术, 2002, 28(6): 25-26.
- [4] 刘爱华. 高开断大电流开关柜温升的试验研究 [J]. 河北电力技术, 2001, 20(3): 38-39.
- [5] SCHAEFFER C, FERREUX J P, PERRET R, et al. Thermal Simulation in Power Electronics[C]// Applied Power Electronics Conference and Exposition, 1992. APEC 92. Conference Proceedings 1992, 1992: 780-784.
- [6] SAINI M, WEBB R L. Heat Rejection Limits of Air Cooled Plane Fin Heat Sinks for Computer Cooling [J]. Part A: Packaging Technologies, IEEE Trans. on, 2003, 26(1): 71-79.
- [7] 余小玲, 曾翔君, 杨旭, 等. 混合封装电力电子集成模块内的传热研究[J]. 西安交通大学学报, 2004, 38(3): 258-261.
- [8] 王季梅, 刘志远, 修士新, 等. 具有高额定电流等级的高压真空断路器[P]. 实用新型专利, ZL200420086275.3.
- [9] 徐国政, 张节容, 钱家骊, 等. 高压断路器原理和应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2000.

(上接第178页)

主要分布在第1象限,呈现三次曲线的形状。相比局放轻微的情况,局放严重的发电机的数据变化范围出现较大幅度的增加,实例显示,后者的偏斜度和突出度的变化范围分别增加了大约4倍和14倍。

参考文献:

- [1] 黄成军, 郁惟镛, Paole G, 等. 局部放电在线监测及其在大型电机中的应用[J]. 大电机技术, 2000(6): 33-38.
- [2] KIM C S, TANI Y, MIZUTANI T. Investigation of Aging Process with New PD Pulse Parameters [C]// Proceedings of 2001 International Symp. on Electrical Insulating Materials (ISEIM 2001), Japan: Himeji, 2001: 19-22.
- [3] 张百华, 高乃奎, 马小芹, 等. 基于运行历史的大电机主绝缘老化特性的研究[J]. 中国电机工程学报, 2004, 24(8): 134-137.

- [4] 张晓虹, 张亮, 乐波, 等. 基于局部放电的矩特征分析大电机主绝缘的老化 [J]. 中国电机工程学报, 2002, 22(5): 94-98.
- [5] 宋建成, 谢恒堃, 石宗义, 等. 基于数字局部放电检测的大型电动机主绝缘老化特性的研究 [J]. 电工电能新技术, 2001, 20(2): 1-6.
- [6] 乐波, 李俭, 张晓虹, 等. 基于指纹参量的环氧云母绝缘多因子老化的实验研究 [J]. 电工电能新技术, 2001, 20(2): 29-32, 68.
- [7] 黄成军. 基于小波理论的大型汽轮发电机局部放电在线监测系统的研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2000.
- [8] 邵震宇, 黄成军, 赵亚奎, 等. 用PSO算法训练神经网络抑制发电机局放随机脉冲干扰 [J]. 电力系统自动化, 2005, 29(11): 49-52.
- [9] 徐冰雁, 黄成军, 钱勇. 多小波相邻系数法在局部放电去噪中的应用[J]. 电网技术, 2005, 29(15): 61-64, 70.