

文章编号:1001-1609(2003)02-0034-02

大型发电机定子绕组端部电位分布

吕文娥, 江秀臣, 韩振东

(上海交通大学, 上海 200030)

DISTRIBUTION OF ELECTRIC FIELD AT THE WINDING END OF GENERATOR STATOR

LU Wen-e, JIANG Xiu-chen, HAN Zhen-dong

(Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China)

摘要: 发电机定子端部电场分布不均匀, 易发生电晕造成事故。目前采用在发电机定子端部涂电阻率不同的半导体层来改善其电场分布, 但涂后改善的效果无法定量评估。笔者通过测试, 研究了发电机定子端部电位分布, 分析了目前所采用的防晕方法的效果, 并提出了改善意见。

关键词: 发电机; 定子端部; 电位分布

中图分类号: TM31

文献标识码: A

Abstract: It is subject to producing corona and causing accident due to non-uniform distribution of electric field at the winding end of generator stator. Although the distribution of electric field is intended to be improved by coating some semiconductor layers at the winding ends, it is difficult to evaluate the effect quantitatively. This paper studies the potential distribution by experiment, analyzes the effect of the current method against corona and gives some suggestion for improvement.

Key words: generator; stator terminal; potential distribution

1 概述

发电机定子线棒端部电场不均匀, 容易引起电晕, 产生臭氧及氮的氧化物, 导致线棒端部绝缘性能劣化, 甚至损坏, 从而可能引起发电机端部相间短路, 造成事故。电晕放电与气候条件有很大关系, 发电机要运行在不同气候条件的地区, 对发电机端部耐电晕性要求也不同。即使通过了出厂试验, 在现场条件下也有可能发生电晕。如云南某电厂运行的发电机就发生了电晕, 而该结构的发电机在其它地方运行良好。为此, 改善端部的电场分布, 使其在各种气候条件下运行都不会引起端部发生电晕, 是一个有效的, 经济的途径。

常用的改善方法是在发电机端部加电阻率不同的半导体层, 但目前还没有定量的手段。所以有必要定量地解决发电机定子端部电场分布不均匀的问题, 因而对其端部电场分布的研究就尤为重要。

笔者首先从理论上讨论发电机定子端部电场分布问题, 利用研制的电压分布测量仪测量发电机端部电位分布, 研究发电机定子绕组端部结构, 再结合对某台 300 MW 发电机定子线棒端部电位分布的测试数据进行分析。

2 发电机定子端部的电场分布理论分析

在定子线棒表面加上不同电阻率的半导体层, 其电阻率在 $10^3 \sim 10^9 \Omega \cdot \text{cm}$ 范围, 用以减少铁心边缘处 AB 段的电位差, 其等值电路见图 1。从而使线棒表面及空间电场分布得以改善。加上不同电阻率的半导体层后, 相当于半导体层具有的电阻 $R_1, R_2, R_3 \dots (R_1 > R_2 > R_3 \dots)$ 与主绝缘表面比电容 C_2 并联。一般 R_1, R_2, R_3 小于 $1/(\omega C_2)$, 所以线棒表面阻抗不是仅仅取决于电容, 而是电阻和电容共同作用的结果。靠近高压端静电场比较强, 但涂上低阻值涂层后, 表面电阻很小, 电压降低, 从而改善了绕组端部的电场分布。

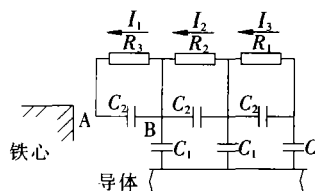


图 1 绕组端部等值电路图

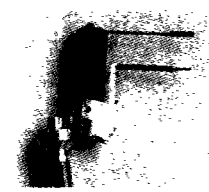


图 2 测试仪的外观图

3 电压分布测试仪介绍

电压分布测试仪采用先进的结构和最新的集成电路成果, 非线性度 $\pm 3\%$, 抗干扰性强, 语音报数。整个仪器的重量约 180 g, 整个单片机系统加上 A/D 全部集成在 1 片 18 脚封装的 DIP300 芯片上。电源管理系统也由 1 片芯片构成。整个数据采集、A/D 转换、单片机智能系统、电源和语音报数, 电路板面积仅 20 cm^2 。静态电流小于 2 mA。仪器输入电容约

收稿日期: 2002-10-09; 修回日期: 2002-12-13

1 pF, 尺寸 $\phi 40 \times 18$ cm。仪器具有输入阻抗高, 尺寸小, 对电位分布影响小等特点, 见图 2。

图 3 是根据该测试仪的线性度检测报告中的测试数据所作曲线。可以看出, 仪器的线性度很好, 所以测量误差很小。

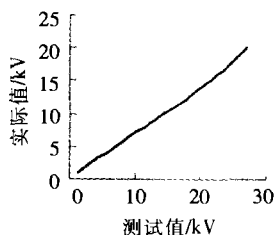


图3 测试仪器的线性度曲线



图4 定子端部实物图

测量时, 通过绝缘操作杆用仪器的探针接触要测量的点, 测量结果通过单片机计算处理后, 控制语音芯片报出。仪器所有部分都在测量的区域, 高低压没有电气连接, 这样, 最大限度消除了测量仪对电场的畸变。该测量仪利用电容分压器完成高压信号到低压信号的转换, 高压电容同时作为仪器的主绝缘, 如图 2, 上部黑色圆柱体, 所有的电路都在该柱体内。两个探针接触要测量的两点, 输出结果即为该两点间的电位差。探针间的距离从 3~20 cm 可调, 满足不同测量步长的需要。高压电容 1 pF, 即工频容抗 3 184 M Ω 。测量要在干燥的条件下进行, 仪器绝缘部分表面泄漏电阻远大于该数值。

如图 3 所示, 测量仪本身有很好的精度和线性度, 但用在测量线棒的电位分布, 测量仪本身对电压分布的影响, 对测量结果的影响必须考虑在内。定子线棒表面涂有电阻层, 高阻区线棒电阻约 $10^9 \Omega$, 已经与仪器的输入阻抗同一个数量级。仪器介入时, 仪器的输入阻抗造成所测部分合成阻抗下降, 分担电压下降。为了消除该误差, 仪器使用了校正系统, 通过计算补偿该影响。具体做法就是, 在实验室模拟该线棒, 施加 30 kV 的电压, 测量每种步长的电压分布。然后把电压分布数值相加求和, 应该是 30 kV, 但由于测量仪的影响, 小于 30 kV, 一般约在 16 kV。则在实际测量时, 把测量的数值乘以 30/16 由语音报出。在中阻和低阻区, 仪器影响较小。通过这样的技术处理, 测量误差可以控制在 7% 以内, 能够满足线棒类电压分布研究的要求。

4 实际测量

2002 年 5 月 27 日, 在某电机厂对 1 台 300 MW 发电机定子端部的电位分布进行测试。测量时用操作杆把仪器探针放在被测发电机定子端部相应位

置, 仪器即可语音报出该处的电位差值。根据前述部分理论分析可知, 发电机定子端部的阻抗主要由半导体层的电阻决定, 它远小于仪器的输入阻抗。所以在发电机定子端部电位分布的测试中, 仪器对电压分布的畸变在可允许的误差范围内, 约 7%。因此, 测试数据与实际电位差值定在误差允许范围内。连续地测量下一个间隔的电位差, 就可以得到被测线棒端部的电位分布, 从而也可算出每个间隔内的平均电场强度。被试品就是图 4 所示的线棒, 下面是线棒, 上面是压板。被测点的分布示意图 5。其中: 0 点在铁心上, 压板位置分别在: 5~7, 11~13, 18~20 点间, 6, 12, 16, 19 点在压板上, 5, 7 点在压板的侧棱上, 11, 13, 15, 17, 18, 20 点没在压板侧棱上, 20~21 点间是主绝缘。经测量、转换计算所得数据见表 1。

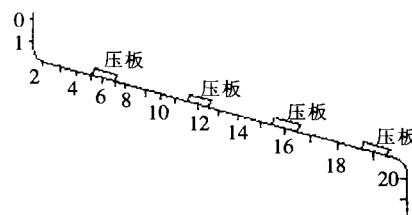


图5 被测点分布示意图

表 1 测量数据

位置	与上一点距离 /mm	与上一点电位差 /kV	平均电场强度 /kV·m ⁻¹
0			
1	60	<0.10	<1.67
2	30	<0.10	<3.33
3	60	0.45	7.52
4	15	0.30	20.1
5	40	0.14	3.43
6	60	<0.10	<1.67
7	40	0.25	6.15
8	10	2.35	235
9	40	1.98	49.5
10	20	0.45	22.5
11	80	1.82	22.8
12	85	2.61	30.7
13	80	1.66	20.8
14	120	0.89	7.42
15	30	1.02	34.0
16	90	1.98	22.0
17	100	1.57	15.7
18	100	0.34	3.40
19	130	1.02	7.85
20	90	1.68	18.7
21	60	5.34	89.0

注: 当仪器所测电位差 <0.1 kV 时, 不报数。

根据表中的数据, 可以作出该线棒电位及平均场强分布如图 6 所示。可以看出, 平均电场强度分布并不很均匀, 而且在距铁心大约 300 mm 处, 平均场强很高(该处是压板的一边缘, 而 (下转第 38 页))

电信号进行保存和比较对于判断故障和绝缘寿命是非常重要的。该系统为运行人员提供了事故追忆和打印功能。

9 结语

(1)基于 VC++和 MATLAB 的大型变压器超声定位系统,可以对许多型号变压器进行监控和故障定位,硬件设备简单、经济,从试验结果看,定位较准确。

(2)基于 VC++和 MATLAB 的软件开发将数值计算和友好的人机界面完美地结合在一起,克服了以往超声定位系统^[8]只提供抽象坐标的缺陷,为现场人员寻找故障点提供了方便。

(3)该系统利用超声-声定位算法是基于变压器内部一点放电的,而实际中多是多点同时放电,定位算法还有待改进。

参考文献:

- [1] 高宁. 变压器局放在线监测中的现场干扰分析[J]. 高电压技术, 2000, 26(2): 31-33.
- [2] 王国利. 电力变压器局部放电定位方法的现状和前景[J]. 变压器, 2001, 38(11): 22-27.
- [3] E M Peter. Partial Discharge XXI: Acoustic Emission-based PD Source Location in Transformers [J]. IEEE Electrical Insulation Magazine, 1995, 11(6): 22-26.
- [4] 董旭柱, 王昌长, 朱德恒. 电力变压器局部放电在线监测研究的现状和趋势[J]. 变压器, 1996, 33(5): 2-7.
- [5] 卢毅, 楼樟达, 王大忠. 用模式识别法进行油中放电超声定位的研究[J]. 电工技术学报, 1999, 14(3): 51-53.
- [6] 周力行. 变压器局部放电检测中的小波包去噪算法[J]. 高电压技术, 2001, 27(1): 19-21.
- [7] 陈磊. VC 下利用 MATLAB 引擎的程序设计[J]. 电脑编程技巧与维护, 1999(2): 11-12.
- [8] 张凤英, 王光宇. 电力变压器局部放电超声定位测量[J]. 变压器, 2000, 37(2): 29-33.

作者简介:宋东升(1969-),男,讲师。

(上接第 35 页)

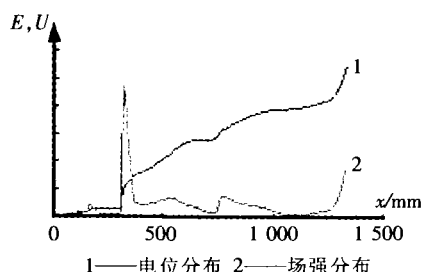


图6 定子端部表面电位分布及其平均电场分布

压板表面的场强却很小,测试时,因考虑到试验变压器能承受的加压时间,所以只有该点作为特别测试点,其它压板边缘处场强因所取距离很大,故与别的点的场强平均,所以没有明显的突变),这与理论分析相符。建议压板尽量改成梯形,压板边缘呈圆角,以免其边缘处电场集中。

5 结论

通过对发电机定子端部表面电位的测试可以看

出,通过加半导体层可使定子端部的场强得到较好的改善,但对于个别位置仍有电场集中现象,如压板边缘处及绝缘布带变换处等,所以有必要对定子端部的绝缘结构进一步研究。

根据对发电机绕组端部电位的测试,笔者认为,应从改变压板的形状来考虑改善端部的电场分布,如压板的外形改为梯形,边角处尽量做成弧形,避免有尖角等。

参考文献:

- [1] 渝光瑜. 汽轮发电机及电气设备(第三分册)[M]. 北京: 中国电力出版社, 1998.
- [2] 汪耕, 李希明. 大型汽轮发电机设计、制造与运行[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2000.
- [3] 李万. 大型汽轮发电机定子端部防晕材料的研究[D]. 上海交通大学硕士论文, 1998.

作者简介:吕文娥(1975-),女,硕士。

(上接第 33 页)

Currents on Non-ceramic Insulators and Materials [J]. IEEE Trans. on Dielectrics and Insulation, 1999, 6(5): 660-667.

- [2] 陈维荣, 宋永华. 电力系统设备状态检测的概念及现状[J]. 电网技术, 2000, 21(11): 12-17.
- [3] 张亚萍. 变电站绝缘子污秽信息的监测与管理系统[J]. 高电压技术, 2001, 27(5): 27-29.
- [4] M A R M Fernando, et al. Analysis of Leakage Current Wave Forms for Field-aged and New Composite Insulators[A]. Proc. of

CEIDP[C], Minneapolis, USA, 1997.

- [5] M A R M Fernando, et al. Leakage Current Patterns on Artificially Polluted Composite Insulators [A]. Proc. of CEIDP [C], San Francisco, USA, 1996.

作者简介:吴经锋(1977-),男,硕士研究生,从事高电压技术的研究。