

变压器分接开关烧蚀对绕组变形测试的影响及仿真研究

范海炉¹, 甘德刚²

(1. 德阳电业局, 四川 德阳 618000; 2. 四川电力试验研究院, 四川 成都 610072)

摘要: 变压器分接开关出现故障甚至烧蚀时会影响变压器绕组的频率响应特性。利用频率响应分析法对某变压器进行绕组变形测试, 分析了分接开关烧蚀对绕组变形测试结果的影响。在 Matlab 仿真平台上建立了分接开关烧蚀时的绕组等效模型, 利用计算机仿真研究了分接开关烧蚀时在不同频率范围内对绕组变形结果的影响程度, 为今后分析变压器绕组变形频率响应曲线提供了理论分析手段。

关键词: 变压器; 分接开关; 频率响应分析法; 绕组变形; 仿真

Abstract: The frequency response characteristic of transformer winding will be affected when faults especially ablation occur in tap changer of transformer. The winding distortion test is carried out using the frequency response analysis and the influence of ablation of tap changer on winding distortion is analyzed. An equivalent model of winding in case of tap changer ablating is established by using Matlab. Simulation is also carried out to reveal the influence under various frequency ranges and the results provide a theoretical means for winding distortion curve analysis.

Key words: transformer; tap changer; frequency response analysis; winding distortion; simulation

中图分类号: TM403.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1003-6954(2010)04-0029-04

0 前言

电力变压器是电力系统中最重要设备之一, 其运行状况直接关系着电力系统的安全运行。为适应电网运行和用电设备的需要, 变压器需用分接开关进行调压。由于分接开关机构不合理或材质不好或存在其他缺陷, 会出现分接开关接触不良或烧蚀等现象, 为系统稳定运行带来安全隐患。

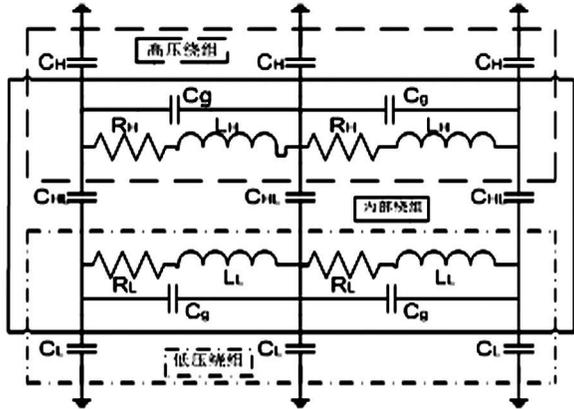
当变压器分接开关出现接触不良或烧蚀时, 会影响变压器绕组的频率响应特性。由于频率响应分析法具有检测灵敏度高、现场使用方便、可在变压器不吊罩的情况下判断变压器绕组变形等优点, 目前已在实际电力生产中得到广泛应用, 取得了良好效果^[1-4]。理论上认为该方法能够在变压器不吊罩的情况下快速检查出相当于短路阻抗变化 0.2% 或者轴向尺寸变化 0.3% 的绕组变形现象^[5]。结合某变电站发生的一起分接开关烧蚀故障分析了其对绕组变形测试的影响, 并在变压器绕组等效模型的基础上对故障进行 Matlab 仿真研究, 从理论上验证了分接开关烧蚀对绕组变形检测结果的影响, 为今后分析变压器绕组变形测试数据提供了理论保障。

1 频率响应法测试变压器绕组变形的原理

变压器绕组变形是变压器运行过程中的常见故障, 据统计由其引起的事故占变压器事故的 25% 以上。当频率超过 1 kHz 时, 每个绕组可视为一个由电阻、电容、电感等分布参数构成的无源线性二端口网络, 如图 1 所示。该二端口网络是一个电阻电感和电容链, 对不同频率的信号源有不同的响应, 有其固定的网络特性。当绕组发生了轴向、径向尺寸变化等机械变形现象时势必会改变网络的分布电感、纵向电容以及对地电容等分布参数。因此可以通过测试获得分布参量随频率变化的函数关系来反映变压器绕组结构的特征^[6]。

频率响应法是用扫描发生器将一组不同频率的正弦波电压加到变压器绕组的一端然后测量绕组两端的端口特性参数的一种方法。通过分析端口参数的频率图谱特性可以判断绕组的结构特征。如果绕组变形, 就会使分布电容和电感发生变化, 反映到端口参数的频率图谱也会发生变化。对于同类型的变压器绕组, 由于绕组结构的类似性, 其测得的频率响应曲线必然具有可比性。因此, 故障前后的频率响应

曲线能反映出变压器绕组变形的程度,通过对测试结果纵向或横向比较,并综合考虑变压器的运行情况,从而诊断绕组是否存在扭曲、鼓包、位移等变形情况。



其中, C_H 、 C_L 为单位长度对地分布电容; R 为单位长度电阻; C_g 为单位长度分布电容; L 为单位长度分布电感

图 1 变压器绕组的等值电路图

2 分接开关烧蚀对绕组变形测试结果的影响

下面结合在四川省发生的一起变压器分接开关烧蚀事例来分析其对绕组变形测试的影响。2008 年 9 月对某变电站 1 号主变压器进行绕组变形测试,试验结果如图 2 和表 1 所示。该变压器为 SL7-8000/36,联结组别: Yd11 联结。从高压侧频率响应特性曲线上发现, CA 相频率响应曲线与 AB、BC 相曲线的拟合很差,相关系数达到严重变形指标^[6]。

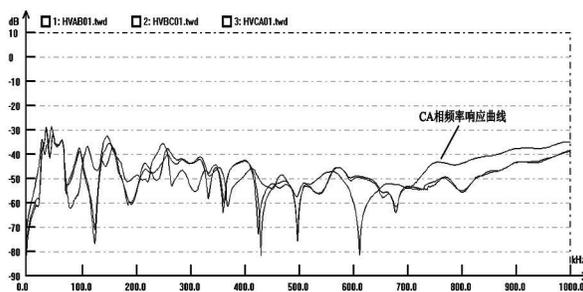


图 2 高压绕组频率响应曲线

表 1 1 号主变压器高压绕组相关系数

相关系数	低频段	中频段	高频段
	1~100 kHz	100~600 kHz	600~1 000 kHz
BC 与 AB	2.20	1.14	2.10
CA 与 AB	0.62	0.15	0.40
CA 与 BC	0.58	0.17	0.45

由于该主变压器无原始频率响应曲线,所以无法通过变压器前后频率响应特性曲线对比来判断绕组变形程度,只能通过相间比较来判断是否存在绕组变

形问题。从图 2 中发现 CA 相与 AB、BC 相频谱曲线在 0~100 kHz 之间一致性较好。在 100~600 kHz 之间 CA 相与 AB、BC 相频响曲线相差较大,且 CA 相没有明显的波峰和波谷。

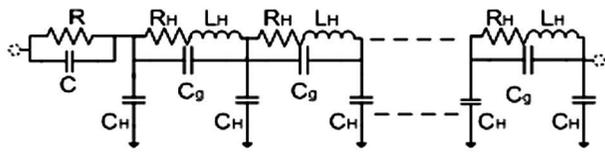
通过对该主变压器进行吊芯大修,发现高压绕组 A 相分接开关第 1、2 档静触头有严重烧黑现象(绕组变形测试在分接开关 1 档),可认为是由于分接开关烧蚀引起绕组频率响应曲线严重变形。

3 分接开关烧蚀影响绕组变形测试结果的理论分析

结合变压器吊芯检查与理论分析,对于带有分接开关的线圈,如果触点烧蚀较大时,在高频小电流通过时,由于油膜的影响,会出现小电流下的接触问题,其等效电路可以认为是一个低阻值电阻和一个电容并联,这样等效电路中的元件参数随之改变,从而影响绕组的整体电路性质。这个电路插在电感电路上时,与各分支电感电容谐振,会产生很多的谐振峰,但由于电阻的存在,无法形成大的谐振。谐振曲线的总轮廓与正常曲线基本重合,从图 2 中发现 CA 相与 AB、BC 相频响曲线在 100~200 kHz 之间相差较大,CA 相峰值点发生了偏移。并且在 0~600 kHz 之间,CA 相的频响曲线与其他两相相比,在峰谷处分贝数明显偏小,在 300~700 kHz 内 CA 曲线分贝数与其他两相明显不同。因此根据分布参数电阻、电感及电容对频率响应特性曲线的影响分析^[7], 0~100 kHz 频率范围内三相比较好的一致性通常表明绕组电感没有发生变化,可以认为是电容和电阻引起了 CA 相频响谱曲线与其他两相的差异。电阻的变化导致了曲线的峰谷值点分贝数的改变,而电容的变化则引起了曲线的偏移。

4 分接开关烧蚀情况下的 Matlab 仿真研究

为了验证以上分析及现场实际测试情况,利用变压器绕组等效模型^[8],对分接开关烧蚀形成的等效电容和电阻模型在 Matlab 仿真平台上进行分析,分接开关烧蚀的等效模型可以认为是一个电阻和一个电容并联,如图 3 所示。在进行仿真研究时,分别对分接开关烧蚀的等效为电阻、电容以及电阻和电容等情况进行了分析,仿真结果如图 4 所示。



R 为分接开关等效电阻; C 为分接开关等效电容
图 3 分接开关烧蚀时变压器绕组的等值电路图

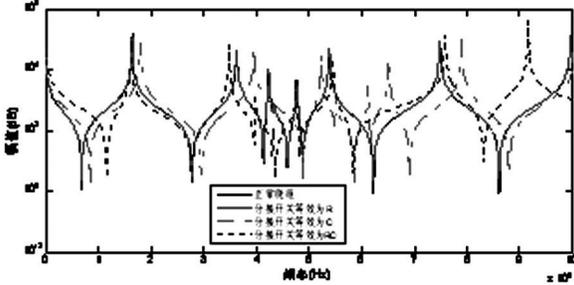


图 4 分接开关烧蚀等效模型的仿真结果

4.1 分接开关等效为电阻时的仿真结果分析

图 5 给出了频率在 6.8×10^4 Hz 以及 1.64×10^5 Hz 附近的仿真结果。从图 5 中可以看出,当分接开关仅等效为电阻时,电阻会对谐振峰值产生了影响。当仿真模型中存在分接开关等效电阻 R 时,仿真曲线比正常绕组略小一些,但其谐振频率并没有发生变化。也就是说,分接开关等效电阻 R 对幅频响应曲线只起到衰减的作用,而并不造成谐振频率的偏移。

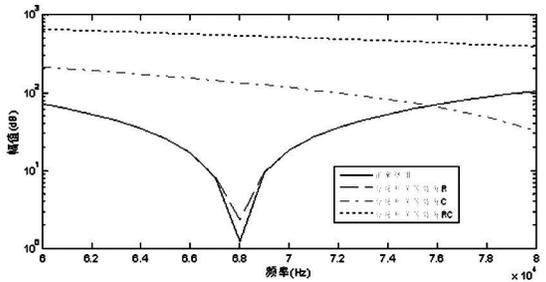


图 5 分接开关等效为电阻时的仿真结果分析

4.2 分接开关等效为电容时的仿真结果分析

图 6 给出了频率范围在 $0 \sim 3 \times 10^5$ Hz 以及 $4 \times 10^5 \sim 10 \times 10^5$ Hz 之间的仿真结果。当分接开关仅等效为电容时,仿真结果表明等效电容 C 在高频处对曲线有较大的影响,可理解为频率较低时,电容的容抗很大,电容所在支路相当于开路。

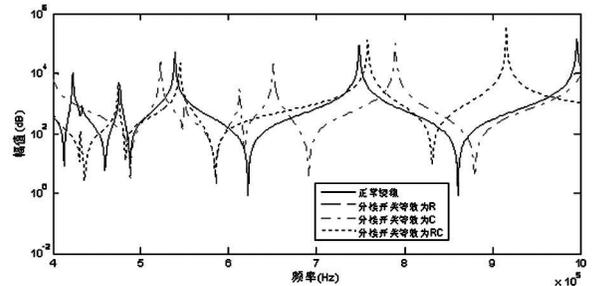


图 6 分接开关等效为电容时的仿真结果分析

4.3 分接开关等效为电阻与电容时的仿真结果分析

从仿真结果图 4 中可以看出,在低频段范围内,由于分接开关烧蚀的绕组等效模型中小电阻的存在,使得谐振曲线峰值比正常曲线峰值要小一些,但影响程度不大,两种模型曲线的总轮廓基本重合。而在 100 kHz 至 400 kHz 频率范围内由于分接开关烧蚀的绕组等效模型中分接开关形成的电容和电阻的影响,使得该模型的曲线的峰值点分贝数产生了变化,谐振曲线发生了偏移,通过对分接开关烧蚀情况下的仿真结果分析,可以清楚地反映分接开关的烧蚀对变压器绕组变形测试结果的影响程度。

5 结论

通过利用频率响应分析法对某变压器进行绕组变形测试,分析了分接开关烧蚀对绕组变形测试结果的影响。并且在 Matlab 仿真平台上建立了分接开关烧蚀时的绕组等效模型,利用计算机仿真研究了分接开关烧蚀等效为电阻及电容时在不同频率范围内对绕组变形结果的影响程度,从理论分析与实际测试结果两个方面验证了分接开关烧蚀对绕组变形产生的影响。因此分析频率响应曲线时应综合考虑其他因素的影响,以免得到误判断的结论。

参考文献

[1] 张孔林. 变压器绕组变形测试的研究 [J]. 福建电力与

电工, 1999, 19(4): 5—7.

[2] 曾雄杰, 李福权, 等. 变压器绕组变形测试的理论分析与现场试验研究 [J]. 华中电力, 2008, 3(21): 32—35.

[3] 张琛. 变压器绕组变形测试方法及应用 [J]. 变压器, 2007, 44(2): 35—37.

[4] 贺春光摘译. 在役变压器绕组变形的监测——影响 FRA 测试的关键因素 [J]. 国外电力选译, 2006(4): 33—37.

[5] 吴晓东, 魏泽民. 影响变压器频率响应测试结果的因素分析 [J]. 电力设备, 2004, 10, 5(10): 60—63.

[6] DL/T 911—2004, 电力变压器绕组变形的频率响应分析

法 [S].

[7] Syed M. Islam, Gerard Ledwich. Locating Transformer Faults through Sensitivity Analysis of High Frequency Modeling Using Transfer Function Approach [C]. IEEE International Symposium on Electrical Insulation, Canada, 1996, 38—41.

[8] M. Wang, A. John Vandemaar, K. D. Srivastava. Improved Detection of Power Transformer Winding Movement by Extending the FRA High Frequency Range [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2005, 7(20): 1930—1938.

(收稿日期: 2010—05—13)

(上接第 12 页)

性, 以确保系统实际运行时的安全性、稳定性及可靠性等, 这需要对种类繁多、特性各异的 DER 单元及相关单元级控制器进行建模, 也需要对微网系统级控制器及管理系统进行建模, 建立系统整体运行控制和能量优化管理模型。

4.1 微网单元级

首先需要对微网系统中的各种供热、供电、储能单元及相关单元级控制器进行单元级建模, 包括系统各组成单元的数学模型以及可再生能源为初始能源的 DER 单元出力的随机模型、储能单元的充放电控制模型等。对以可再生能源为初始能源的 DER 单元的能量预测是其中一个重要的方面。准确预测长期、短期甚至超短期太阳能、风能发电单元的发电能力, 是合理规划微网系统的基础, 也是保证微网系统可靠运行的关键之一。

4.2 微网系统级

微网系统有多种 DER 单元的存在, 监控系统的控制方式也不完全相同于常规电力系统分层控制的方式, 因而需要为各 DER 单元间的协调、系统的集成运行开发相应的微网系统级运行控制及能量优化管理软件, 如短期甚至超短期的可再生能源的能量预测和负荷需求预测、机组组合、经济调度、实时管理等应用软件。电力电子变换器的控制是微网系统运行控制尤其是动态运行过程中需重点考虑的一个问题。

5 结 论

以上详细介绍了微网的概念、结构、关键性技术, 并建立了基于分布式发电的微网系统模型, 对微网研究的发展方向提出了可行性的建议。微网技术为分

布式发电技术及可再生能源发电技术的整合和利用提供了灵活、高效的平台, 是电力产业可持续发展的有效途径, 符合当前“节能减排, 建设集约型社会”的能源利用方式。

中国应加快发展包括新型能源发电技术、微网运行控制技术和保护协调技术等相关微网关键技术的研究, 同时建立示范性工程, 研究微网在重要民用设施、防震减灾以及国防工程等方面的应用, 开发相应的安全评估和微网规划软件, 制订微网并网及自治运行的标准规范。

参考文献

[1] 鲁宗相, 王彩霞, 等. 微电网研究综述 [J]. 电力系统自动化, 2007, 31(19): 100—107.

[2] 丁明, 张颖媛, 等. 微电网研究中的关键技术 [J]. 电网技术, 2009, 33(11): 6—11.

[3] 赵宏伟, 吴涛涛. 基于分布式电源的微网技术 [J]. 电力系统及其自动化学报, 2008, 20(1): 121—128.

[4] Y. Zhu, K. Tan. Development of Models for Analyzing Load-following Performance of Micro Turbines and Fuel Cells [J]. Electric Power Systems Research, 2002, 62(1): 1—11.

[5] 雷亚洲, Gordon Lightbody. 国外风力发电导则及动态模型简介 [J]. 电网技术, 2005, 29(12): 27—32.

[6] 王长江. 基于 MATLAB 的光伏电池通用数学模型 [J]. 电力科学与工程, 2009, 25(4).

[7] 金晓东, 丁明, 茆美琴. 分布式发电系统中的蓄电池模型 [J]. 仪器仪表用户, 2008, 15(2): 88—90.

作者简介:

陈亚宁 (1983—), 硕士研究生, 广西省南宁市供电局。

(收稿日期: 2010—02—03)