

一种用于配电变压器绕组材质诊断的新方法

何良,刘隆晨,毛强

(国网四川省电力公司电力科学研究院,四川成都 610072)

摘要:为了诊断配电变压器绕组材质,基于变压器绕组体积、质量、容量、直流电阻及其温升曲线等绕组参数提出了一种用于判定变压器绕组材质的新方法。此方法通过绕组参数测量与实验数据收集,建立配电变压器绕组参数标准数据库,并将实验配电变压器绕组参数数值与标准数据库进行比对,得到绕组参数分布的概率密度曲线,再根据绕组参数的影响因子,建立分析模型综合判定变压器绕组的材质。测试了S9-200与S11-400两类典型的配电变压器,通过上述方法诊断发现变压器绕组材质均为铜,这与绕组的金属化学成分分析结果一致,故该方法能够准确诊断出配电变压器的绕组材质。

关键词:绕组材质;直流电阻;电阻温升曲线;概率密度函数

Abstract: In order to diagnose the material of distribution transformer winding, a new method is proposed based on the winding parameters such as the volume, mass, capacity, DC resistance and temperature-rise curve. By measuring the winding parameters and collecting the test data, the standard database for winding parameters of distribution transformer is established. Through comparing the winding parameters of testing distribution transformer with standard database, the probability density curve of winding parameter distribution is obtained. And then according to the impact factor of winding parameters, the analysis model is established to determine the material of transformer winding comprehensively. S9-200 and S11-400 distribution transformers are tested, and the winding material of these two typical distribution transformers is diagnosed to be copper by the proposed method, which is consistent with the results of metal chemical composition analysis. So the proposed method can accurately diagnose the material of distribution transformer winding.

Key words: coil material; DC resistance; temperature-rise curve of resistance; probability density function

中图分类号: TM41 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2015)06-0047-04

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2015.06.011

0 引言

随着国民经济的快速发展,电力需求日益增长,配电变压器的需求越来越大^[1]。然而,近年来原材料价格上涨,铜线价格大幅攀升,变压器生产成本越来越高,而受市场约束变压器的销售价格却不能同幅度上涨。这就促使部分不负责任的企业造假,用铝线代替铜线生产变压器,却不按照标准JB 3837-2010《变压器类产品型号编制办法》规定变压器绕组含铝的型号。目前,这种趋势现已蔓延到了部分干式变压器,部分厂家的变压器采用半铝制造,如绕组一次为铝、二次为铜,或绕组一次为铜、二次为铝,甚至个别厂家全部改用铝线制造变压器。这种以次充好的行为,严重扰乱了变压器市场,不仅给消费者造成了经济上的损失,也给变压器运行带来了安全

和事故隐患。

目前,国内外对变压器绕组材质检测已开展了研究,并取得了一定进展。最直接的方法是对绕组进行破坏取样,再进行金属化学成分分析,但这种破坏性检验的人力及时间成本巨大,还给电网运维人员带来了极大不便。部分研究人员利用直流电源对变压器绕组通电,得到绕组的电阻时间曲线,再与其标准曲线对比,但其忽略了温升对绕组电阻的影响,效果不佳。此外还可利用X射线探伤机和工业射线胶片对配电变压器绕组拍照,将被测变压器绕组材料的X射线衰减系数与透照厚度曲线同铜、铝的标准曲线进行比对^[2]。由于这种方法会产生辐射,对人体健康威胁很大,且价格昂贵,现场使用不便。

因此,在不拆解变压器、不破坏绕组的前提下,掌握一种能便捷有效地检测配电变压器绕组材质的技术方法具有重要的工程实用价值。由于铜和铝物理

性质的差异性,绕组材质的改变将会影响变压器的体积、质量、容量、直流电阻及其温升曲线等参数。基于上述绕组参数提出了一种用于判定变压器绕组材质的新方法,可准确有效地诊断出变压器绕组的材质。

1 绕组材质诊断依据

电阻率是描述导体导电特性的物理量,与导体长度、横截面积等因素无关,仅与温度有关。电阻温度系数是指当温度变化时电阻值的相对变化,不同材料的电阻温度系数不同。实际中,通常采用平均电阻温度系数的概念,如公式(1)所示。铜或铝的电阻率和电阻温度系数如表1所示。

$$\alpha = \frac{R_2 - R_1}{R_1(T_2 - T_1)} \quad (1)$$

式中 R_1 、 R_2 分别表示温度为 T_1 、 T_2 时的导体电阻值。

表1 铜和铝的电阻率和电阻温度系数

电学参数	铝	铜
电阻率/($\Omega \cdot m$)	$2.83e-8$	$1.75e-8$
电阻温度系数/ $^{\circ}C$	1/225	1/235

由于铜和铝热学、电学性能存在差异,若同型号配电变压器绕组采用不同的材质,将导致绕组参数(直流电阻、容量、体积、质量、电阻温升曲线等)存在明显不同。

对于固定型号与容量的配电变压器,由于国标严格规定了其设计与制造流程,故绕组直流电阻值存在固定范围。若绕组材质发生改变,其直流电阻值也会发生变化,即直流电阻与绕组材质直接相关。其次,改变绕组材质后,变压器的通流能力、容量也会发生变化。再次,当绕组材质改变时,若在保证变压器电阻、损耗等变化不大,必须改变绕组导线的截面积或者长度(匝数),这会导致变压器体积发生变化。最后,由于不同材料的电阻温度系数不同,不同材质绕组的电阻温升曲线也不相同。综上,绕组直流电阻、容量、体积、质量、电阻温升曲线等参数与绕组材质密切相关。

在厂家变压器绕组造假中,通常会出现以下情况:1)为保证铝绕组变压器的直阻、损耗与同型号铜绕组变压器的对应参数相等,在变比和铁心相同的情况下,部分厂家或增大铝导线截面,这会导致变压器体积增大;或减少线圈匝数,即减小线圈长度,这将导致变压器阻抗电压发生改变。2)保证变压

器器身及体积基本相同,部分厂家减小铝线截面,这将导致绕组直流电阻、损耗增大;或者在保证变比一致的情况下,减少线圈匝数,这将会导致变压器容量发生变化。

综上,不难看出,通过对比变压器的直流电阻、容量、体积、质量、电阻温升曲线等参数,可以为诊断绕组材质提供依据。因此,可将直流电阻、容量、辅助参数(体积、质量)、电阻温升曲线等参数与标准数据库进行对比,结合绕组参数分布的概率密度曲线,再根据绕组参数的影响因子,建立概率分析模型,综合判定变压器绕组的材质。用于变压器绕组材质分析的总概率函数如式(2)所示。

$$P = p_1F(r) + p_2F(s) + p_3F(f) + p_4F(t-r) \quad (2)$$

式中: $F(r)$ 、 $F(s)$ 、 $F(f)$ 、 $F(t-r)$ 分别表示直流电阻、容量、辅助参数、电阻温升曲线的概率函数; p_1 、 p_2 、 p_3 、 p_4 分别表示上述4个概率函数的权重,满足 $p_1 + p_2 + p_3 + p_4 = 1$ 。

2 绕组材质诊断试验方法与结果分析

2.1 绕组材质诊断试验方法

绕组材质诊断试验流程如图1所示,先测量变压器的体积与质量,再用高精度直流电阻测试仪测量绕组直流电阻,然后通过测量短路阻抗得到变压器容量。用短路法对变压器加热,待温度稳定后自由冷却,同步测量温度和电阻值,得到电阻温升曲线。最后将试验结果与标准数据进行对比,综合判断变压器绕组材质。

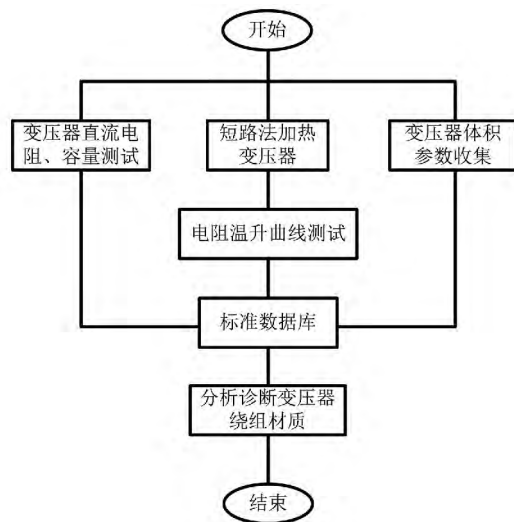


图1 配电变压器绕组材质诊断试验流程图

2.2 绕组材质诊断试验结果

选取两台典型配电变压器,按照上述试验方法进行现场测量,其铭牌参数及部分试验结果如表2所示。

表2 配电变压器铭牌参数及试验结果

型号	额定容量/kVA	短路阻抗/%	实测容量/kVA	直流电阻/ Ω	体积/ m^3	重量/kg
S9-200	200	4%	212.3	6.457	0.722	918
S11-400	400	4%	411.7	2.312	1.301	1415

本次试验中两台配电变压器的电阻温升曲线如图2所示。由图2不难看出,电阻和温度呈近似线性关系。通过线性拟合,S9-200与S11-400两台配电变压器电阻温度曲线的拟合函数分别如式(3)、式(4)所示。

$$R = 0.0259T + 5.941 \quad (3)$$

$$R = 0.0111T + 2.076 \quad (4)$$

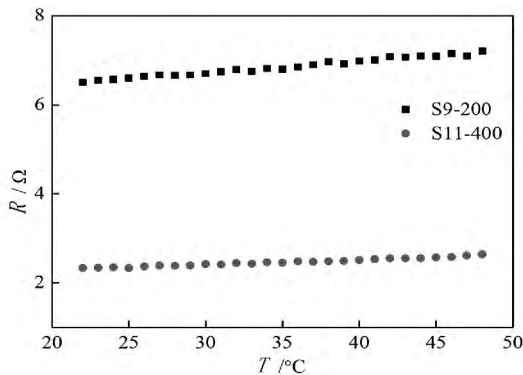


图2 配电变压器电阻温升曲线

2.3 绕组材质诊断结果分析

一般而言,直流电阻不仅与绕组材质相关,还与焊接工艺、触头间接触电阻等相关;变压器容量与绕组材质相关,同时还受铁心截面、导线散热等因素影响;变压器体积、质量亦如此,其与产品设计直接相关。因此,为研究绕组材质对上述参数的影响,通过大量试验数据统计,建立了标准数据库,再将测试结果与标准数据库进行对比。配电变压器绕组参数数值的典型分布如图3所示。图3中,柱状图为绕组参数数值分布的实验统计结果,实线为参数实验统计数据的对数正态分布(log-normal)拟合曲线。统计结果表明,直流电阻、容量、体积、质量等参数数值分布均近似服从对数正态分布函数。对数正态分布的概率密度函数如下。

$$f(d) = \frac{1}{\sqrt{2\pi d \log \sigma_g}} \exp \left[-\frac{(\log d - \log D_{50})^2}{2(\log \sigma_g)^2} \right] \quad (5)$$

式中: d 为参数数值; D_{50} 为参数的几何平均值,即

$$\log D_{50} = \frac{\sum n_i \cdot \log d_i}{\sum n_i} \quad (6)$$

σ_g 为参数的几何标准偏差,即

$$\log \sigma_g = \sqrt{\frac{\sum n_i \cdot (\log d_i - \log D_{50})^2}{\sum n_i}} \quad (7)$$

n_i 为统计样本中数值 d_i 的数目。

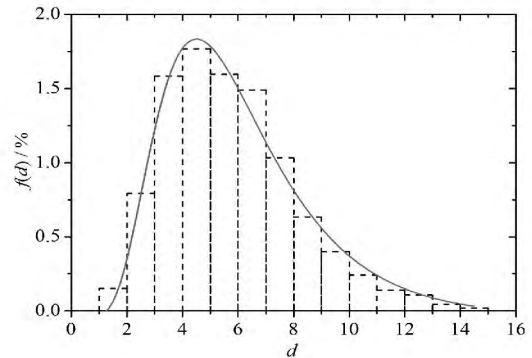


图3 变压器绕组参数的典型对数正态分布

所涉及的两种铜绕组配电变压器统计参数如表3所示。其中,S9-200与S11-400配电变压器的电阻温升曲线拟合函数分别如式(8)、式(9)所示。

$$R = 0.026T + 6.074 \quad (8)$$

$$R = 0.0098T + 2.306 \quad (9)$$

表3 铜绕组配电变压器统计参数

型号	参数	D_{50}	σ_g
S9-200	直流电阻/ Ω 20 $^{\circ}\text{C}$	6.6	0.4
	容量/kVA	208	7.3
	体积/ m^3	0.721	0.0009
S11-400	质量/kg	922	8.6
	直流电阻/ Ω 20 $^{\circ}\text{C}$	2.5	0.3
	容量/kVA	407	8.1
S11-400	体积/ m^3	1.3	0.0012
	质量/kg	1410	9.8

如前面所述,在判断绕组材质时,直流电阻、容量、辅助参数(体积、质量)、电阻温升曲线等参数所占的权重存在差异。如图4所示,通过多次研究发现,设定电阻温升曲线权重为50%,直流电阻权重为20%,容量权重为20%,辅助参数权重为10%,能有效地诊断绕组材质。

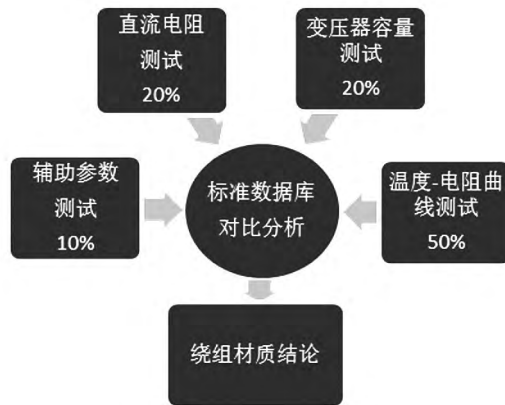


图4 绕组参数权重因子设定

基于上述方法,测试了S9-200与S11-400两台典型配电变压器,发现其绕组材质为铜的概率分别为82%和76%。随后通过金属化学成分分析,发现两台配电变压器的绕组材质确实为铜,这表明所提方法能准确有效地诊断出配电变压器的绕组材质。

3 结论

基于变压器绕组体积、质量、容量、直流电阻及其温升曲线等绕组参数,将实验配电变压器绕组参数数值与其标准数据库进行比对,并根据不同绕组参数的影响因子,建立分析模型计算了绕组材质为铜的概率,判定了变压器绕组的材质。通过实际测试S9-200与S11-400两类典型的铜绕组配电变压器,发现该方法能够准确诊断出配电变压器的绕组材质。

参考文献

[1] 陈民铀,李霞,王平,等. 配电变压器短路和开路损耗在线测量系统[J]. 电机与控制学报, 2012, 16(3): 36-41.
 [2] 张仁奇,李小军,蒋欣,等. 配电变压器线圈用材的X射线鉴别方法[J]. 无损检测, 2015, 37(1): 49-55.
 (收稿日期: 2015-08-10)

(上接第42页)

在LED芯片两端产生的感应电压,且发光元件可以可靠关断,但闪烁频率仍不稳定;

3) 采取电路集成化、多芯片堆放(MCM)再厚膜封装等措施,可显著提升控制元件的抗干扰能力,控制电路可以稳定工作,闪烁频率得到有效控制;

4) 通过增加铁磁材料的金属箔、前端增加瞬变抑制二极管(TVS)的措施,可进一步减小强磁场和瞬时过电流对验电器的影响;

5) 电磁干扰必须从金属屏蔽、电子元件集成和封装、电路设计等各方面整体设计来综合解决。

参考文献

[1] 国家电网公司. 国家电网公司电力安全工作规程(变电部分) [M]. 北京: 中国电力出版社, 2009.
 [2] 王凤歌. 一种LDO线性稳压器的研究与设计[D]. 西安: 西北大学, 2010.
 [3] 沈建,刘伟东,刘鸿斌,等. 直升机巡视1000 kV交流特高压线路的安全作业距离[J]. 中国电力, 2011, 44(5): 41-45.
 [4] 万保权, 鄢雄, 张广洲, 等. 特高压变电站的电磁环境影响[C]. 中国电机工程学会高电压专业委员会2009年学术年会, 2009.
 [5] 邵方殷. 我国特高压输电线路的相导线布置和工频电磁环境[J]. 电网技术, 2005, 29(8): 1-7.

[6] 万保权, 路遥, 鄢雄, 等. 500 kV同塔4回线路无线电干扰和工频电场[J]. 高电压技术, 2007, 33(3): 113-116.
 [7] 王洪泽, 杨丹. 论法拉第笼的防雷作用及其局限性[J]. 广西电力建设科技信息, 2006, 29(2): 13-16.
 [8] 袁宝生, 杨柳湖. 漫谈电磁屏蔽方舱[J]. 方舱与地面设备, 2004(3): 1-10.
 [9] 蔡建爽. 高压变电站无线测温装置的电磁兼容性和有限元分析[D]. 天津: 天津大学, 2008.
 [10] 程丽丽, 江玲. 黄铜和不锈钢丝网电磁屏蔽效能的研究[J]. 电子质量, 2006(9): 72-74.
 [11] 张国宾. 强磁场对典型电子器件影响机理的研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2011.
 [12] Azizi H, Belkacem F, Tahar, Moussaoui D. Electromagnetic Interference from Shielding Effectiveness of a Rectangular Enclosure With Apertures - circuital Approach, FDTD and FIT Modeling[J]. Journal of Electromagnetic Waves and Applications, 2014, 28(3): 494-514.
 [13] 沈雪梅, 姜宁浩, 肖保明. 变电站中通信设备的电磁兼容问题研究[J]. 电工电气, 2013(12): 10-12.
 [14] 黎明秀, 贾颖, 陈凯. 瞬变电压抑制器的发展与应用[J]. 电子元器件应用, 2009, 11(4): 77-80.

作者简介:

张大堃(1991), 硕士, 从事高电压设备传感器和智能电网研究;

张文胜(1969), 高级工程师, 从事高压电技术研究。

(收稿日期: 2015-09-22)