

本文引用格式: 杨茂昌.基于热电效应鉴别配电变压器绕组材质的方法[J].自动化与信息工程,2023,44(4):24-27.

YANG Maochang. A method for identifying winding materials of distribution transformers based on thermoelectric effects[J]. Automation & Information Engineering, 2023,44(4):24-27.

基于热电效应鉴别配电变压器绕组材质的方法

杨茂昌

(广东中质检测技术有限公司, 广东 广州, 510663)

摘要: 配电变压器绕组材质存在以铝代铜的现象, 给电力供配电系统带来安全隐患。针对传统的热电阻检测法存在耗时长、效率低; 趋肤效应检测法需要较为严格的试验条件, 变压器测试模型难以确定等问题, 提出基于热电效应鉴别配电变压器绕组材质的方法。经实测, 验证了此方法对额定容量为 400 kVA 以内的配电变压器的有效性。

关键词: 热电效应; 配电变压器; 绕组材质; 以铝代铜

中图分类号: TP271, TP277

文献标志码: A

文章编号: 1674-2605(2023)04-0005-04

DOI: 10.3969/j.issn.1674-2605.2023.04.005

A Method for Identifying Winding Materials of Distribution Transformers Based on Thermoelectric Effects

YANG Maochang

(Guangdong Zhongzhi Testing Technology Co., Ltd., Guangzhou 510663, China)

Abstract: The phenomenon of using aluminum instead of copper in the winding material of distribution transformers poses a safety hazard to the power supply and distribution system. The traditional thermal resistance detection method is time-consuming and inefficient; The skin effect detection method requires strict experimental conditions, and it is difficult to determine the transformer testing model. Therefore, a method based on thermoelectric effect is proposed to identify the winding material of distribution transformers. The effectiveness of this method for distribution transformers with a rated capacity of less than 400 kVA has been verified through actual measurement.

Keywords: thermoelectric effect; distribution transformer; winding material; using aluminum instead of copper

0 引言

配电变压器是电力供配电系统的关键设备, 其安全性和可靠性对整个配电网的正常运行至关重要。以铝代铜是配电变压器较为严重的安全隐患^[1]。铝的电阻率为 $2.82 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$, 铜的电阻率为 $1.7 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$, 在导电性、机械和热性能方面, 铜的性能均优于铝。同样规格的配电变压器, 铝材质绕组发热比铜材质绕组大, 且无法及时散热, 易造成配电变压器损坏, 引发输电用电安全事故。如何高效、准确地鉴别配电变压器绕组材质是目前迫切需要解决的

问题。

传统的配电变压器绕组材质的无损检测方法主要有趋肤效应检测法^[2]、热电阻检测法^[3-4]等。其中, 趋肤效应检测法因实际配电变压器参数与理论模型参数的差异较大, 检测准确率较低; 热电阻检测法因绕组直流电阻较低, 低压侧通常为毫欧级, 测量精度难以达到判别要求。

为此, 根据无损检测技术的研究^[5], 本文提出基于热电效应鉴别配电变压器绕组材质的方法。该方法利用热电效应, 通过测量配电变压器绕组的热电动势进行其材质的鉴别^[6-7]。

1 热电效应原理

热电效应也称塞贝克效应，是指当导体或半导体中存在温度差时，会产生电势差的现象^[1,8]，其原理示意图如图 1 所示。

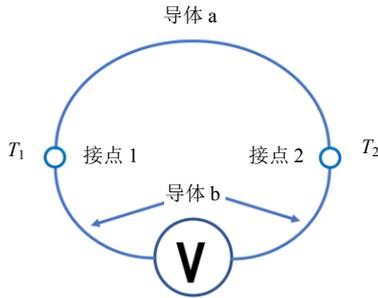


图 1 热电效应原理示意图

图 1 中，在由两种不同导体（导体 a、导体 b）串联组成的回路中，如果两种不同导体的连接点（接点 1、接点 2）处存在温差 $|T_1 - T_2|$ ，那么回路中将产生热电动势 U ^[6]。热电动势 U 的计算公式为

$$U = S_a(T_1 - T_2) + S_b(T_2 - T_1) = S_{ab}(T_1 - T_2) \quad (1)$$

式中： S_a 、 S_b 分别为导体 a、导体 b 的塞贝克系数，当温差 $|T_1 - T_2|$ 较小时，塞贝克系数近似为常数； S_{ab} 为导体 a 和导体 b 的塞贝克系数相对值。

由公式(1)可计算金属单质的塞贝克系数。但在实际工程应用中，纯铜或纯铝均含有一定的杂质^[1]，同时导体合金或表面镀层也会影响金属材料的塞贝克系数，因此常采用实际测试值。

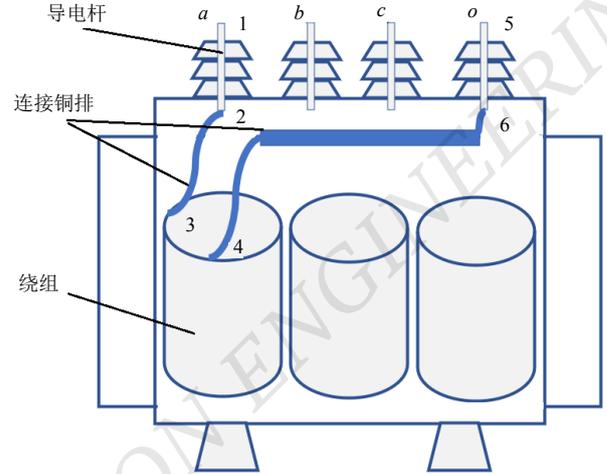
由热电效应原理可知，相同金属材料间的塞贝克系数相对值 S_{ab} 应该等于零。考虑到同一种金属材料型号不同，所含杂质也不同，虽然可能导致其塞贝克系数相对值 S_{ab} 不为零，但是 S_{ab} 比较小，如铜绕组和铜接头、铝绕组和铝接头的导体热电动势为零或很小的值；而不同金属材料间的塞贝克系数相对值较大，如铜绕组和铝接头、铝绕组和铜接头，在铜、铝接头处会产生较大的热电动势^[6]。

2 测量模型及硬件设计

基于热电效应原理，设计鉴别配电变压器绕组材

质的硬件设备，以测出导体间的热电动势，从而鉴别配电变压器绕组是铜材质还是铝材质。

测量前，先对配电变压器进行简化处理，如图 2 所示，单个绕组的简化测量模型已包括了关键连接点。



1—导电杆；2—铜排与导电杆的连接处；3、4—铜排与变压器绕组连接处；5—公共导电杆；6—铜排与公共导电杆连接处。

图 2 配电变压器简化测量模型

如果配电变压器绕组材质为以铝代铜，即 3-4 绕组为铝材质，在温差大于 20°C 时，3、4 之间会产生较大的热电动势。4、5、6 距离加热端导电杆 1 较远，根据热力学原理分析，热量无法通过绕组传导至 4、5、6，因此，可认为 4、5、6 的温度相同，不用计算其热电动势。

根据配电变压器简化测量模型的连接情况，建立配电变压器单绕组测量回路的模型如图 3 所示。

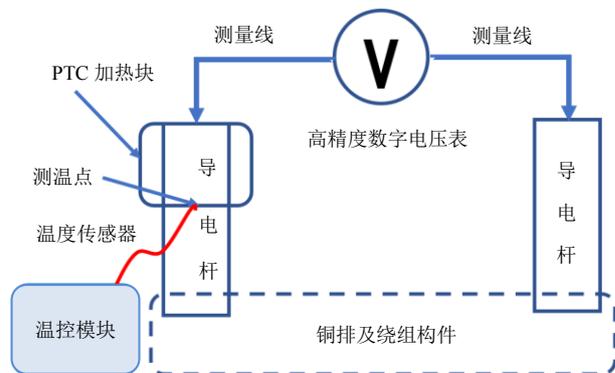


图 3 配电变压器单绕组测量回路模型

如图 3 所示, 配电变压器单绕组测量回路的模型主要包括 PTC 加热块、温度传感器、温控模块、高精度数字电压表等。其中, PTC 加热块给导电杆加热; 温度传感器和温控模块对导电杆加热过程进行控制和测温; 到达实验目标温度时, 高精度数字电压表测量热电动势。

3 实验与分析

根据图 2 和图 3 进行测试实验, 主要测试内容包括: 配电变压器单个绕组的热电效应测试; 配电变压器绕组材质的鉴别测试; 配电变压器高低压侧不同绕组的连接方式对测试结果的影响。

3.1 配电变压器单个绕组的热电效应测试

对铝、铜绕组的塞贝克系数进行测试和定量分析。经测试, 配电变压器的导电杆、铜排与铜绕组间的塞贝克系数相对值小于 $0.4 \mu\text{V}/\text{C}$; 铝-铜材质间的塞贝克系数相对值较大, 取 $4 \mu\text{V}/\text{C}$ 进行定量计算分析。

利用 PTC 加热块给导电杆加热, 使配电变压器绕组两端的温差达到 $20 \sim 80 \text{ }^\circ\text{C}$ 。考虑到加热端导电杆与铜排距离较小, 材质相同且温差也较小, 导电杆和铜排间的热电动势可忽略不计。当配电变压器绕组材质为铜时, 取温差上限值进行计算, 此时绕组处的热电动势值小于 $40 \mu\text{V}$; 当配电变压器绕组材质为铝时, 取温差下限值进行计算, 此时绕组处的热电动势值大于 $80 \mu\text{V}$ 。综合配电变压器的实际情况并考虑一定的裕度, 当加热端铜排温度达到 $160 \text{ }^\circ\text{C}$ 时, 绕组可达到 $40 \sim 60 \text{ }^\circ\text{C}$ 的温差。热电动势经过量化处理, 取 $80 \mu\text{V}$ 为判断阈值, 即热电动势大于 $80 \mu\text{V}$ 为铝绕组变压器, 小于 $80 \mu\text{V}$ 为铜绕组变压器。

3.2 配电变压器绕组材质的鉴别测试

为验证本文方法的有效性, 对 6 款铜材质、铝材质的配电变压器在低压侧进行测试, 结果分别如表 1 和表 2 所示。

由表 1、表 2 可知, 铜-铜材质的热电动势基本小于 $40 \mu\text{V}$, 铝-铜材质的热电动势均大于 $100 \mu\text{V}$ 。结合前面分析取配电变压器绕组两端的温差 $20 \text{ }^\circ\text{C}$ 计算, 铝-铜材质变压器绕组的热电动势为 $80 \mu\text{V}$, 与实验

结果比较分析相差大于 $60 \mu\text{V}$ 的裕度, 验证了本文方法从定量分析到定性判断的有效性。

表 1 铜材质配电变压器的测试结果

配电变压器 功率/耐压 kVA/ $^\circ\text{C}$ V	加热时间/ min	加热终端 温度/ $^\circ\text{C}$	稳定后热 电动势/ μV	绕组材质
1# 100/10	21	160.3	36	铜
2# 125/10	23	159.2	37	铜
3# 200/10	25	160.9	41	铜
4# 400/10	27	161.6	39	铜

表 2 铝材质配电变压器的测试结果

配电变压器 功率/耐压 kVA/ $^\circ\text{C}$ V	加热时间/ min	加热终端 温度/ $^\circ\text{C}$	稳定后热 电动势/ μV	绕组材质
5# 125/10	24	160.2	146	铝
6# 200/10	25	161.1	148	铝

3.3 配电变压器高低压侧不同绕组的连接方式对测试结果的影响

配电变压器一般为三相结构, 连接方式有“三角形接法” ABC 和“星型接法” abc , 如图 4 所示。

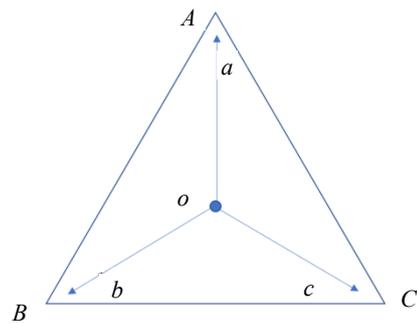


图 4 配电变压器的等效连接模型

配电变压器一般高、低压侧的连接方式不同, 高压输入端一般采用“三角形接法”, 低压输出端一般采用“星型接法”。由于“星型接法”没有形成回路, 低压侧绕组可以进行 ao 、 bo 、 co 单独连接测试。

“三角形接法”绕组已串联组成一个回路, 在测量 AB 、 BC 、 CA 时, 如果无法将其中一路断开, 则无法组成单绕组串联测试电路, 那么实际的测量结果就会包含多个连接点的热电动势, 以致无法对配电变压器绕组材质进行鉴别。如果“三角形接法”的配电变压器出厂时不是内部固定连接在一起, 而是通过铜排

连接,那么可以实现单绕组串联测试电路,采用热电效应鉴别配电变压器绕组材质的方法还是适用的。

同时,大于 400 kVA 的配电变压器的铜排面积和体积都较大,根据热传导模型分析,热量很难传导到配电变压器绕组,达到足够的温差,因此大于 400 kVA 的配电变压器,在进行铜-铝热电动势阈值判断时,鉴别结果与实际有较大偏差。

4 结论

本文介绍了基于热电效应鉴别配电变压器绕组材质的方法,操作简单,无特殊的试验限制条件,适合配电变压器绕组材质现场测试和鉴别。通过实验验证了该方法对 400 kVA 以下的小容量配电变压器绕组铜-铝材质鉴别的有效性和实用性。为无法通过外观等手段判断配电变压器绕组材质的情况下,提供了一种新的方法和思路。

作者简介:

杨茂昌,男,1972 年生,本科,高级工程师,主要研究方向:电力设备检测技术、电力电子技术。E-mail: 13903015705@139.com

(上接第 12 页)

作者简介:

张红伟,男,1981 年生,本科,高级工程师,主要研究方向:新能源工程设计、管理等。E-mail: zhanghwsj@powerchina-hb.com

(上接第 23 页)

[8] 周希辰,张志武,翟刚毅,等.基于 FPGA 与高速 AD9144 的信号源设计[J].雷达与对抗,2018,38(1):30-33.

[9] 张新,吴凤云,王帆.基于 FPGA 与谐波合成信号发生器的实现[J].现代电子技术,2018,41(2):174-178;182.

[10] 史伟,房强,李锦辉,等.激光雷达用高性能光纤激光器[J].红

参考文献

[1] 余欣玺.基于热电效应的配电变压器绕组材质检测方法研究[D].重庆:重庆大学,2016.

[2] 夏越婷,郑志曜,尹忠东.基于电流趋肤效应的变压器绕组材质辨识方法[J].科学技术与工程,2022,22(1):184-191.

[3] 杨春尧,蒋强,文哲,等.基于电阻系数法的配电变压器绕组材质鉴别研究[J].变压器,2020,57(8):52-54.

[4] 罗健铿,吴文辉.变压器温升试验时绕组热电阻的测量[J].机电工程技术,2002(S1):153-154.

[5] 关晓全,徐德才,桂敏.基于热电效应的渗铝层无损检测技术研究与应用[J].航空维修与工程,2021,366(12):103-105.

[6] 伍鸿飞,韩凌云,李国彬,等.热电效应法配变绕组材质现场鉴别测试研究[J].云南电力技术,2018,46(2):89-91.

[7] 杜林,王棣生,陈伟根,等.基于 Seebeck 效应的配电变压器绕组材质无损鉴别装置及测试分析[J].电力自动化设备,2019,39(2):8-13.

[8] 徐立,王淑香,张卫卫,等.边缘效应对电容式叉指状微纳力测量装置的影响与分析[J].中国测试,2020,46(S1):153-157.

外与激光工程,2017,46(8):9-13.

[11] 万玮华,仇振安,郝培育,等.一种 kHz、窄脉宽、高能量激光器的研究[J].电光与控制,2018,25(4):74-77;91.

[12] 冉自博,马游春,刘红雨,等.基于 FPGA 三角波周期随机变化数字信号发生器的设计[J].计算机测量与控制,2013,21(9):2604-2606.

作者简介:

苗鑫,男,1987 年生,硕士研究生,工程师,主要研究方向:集成电路。E-mail: the3try@163.com