

# 提高 500 kV 油浸式变压器铁芯及夹件接地 电流测量精度的方法

董小强，李超  
(雅砻江流域水电开发有限公司,四川 成都 610051)

**摘 要:**在水电站诸多设备中,主变压器是除发电机组外的重要电气设备,变压器铁芯及夹件发生故障,直接影响到变压器甚至整个水电站安全稳定运行。笔者通过对 500 kV 油浸式变压器铁芯及夹件接地电流测量原理、方法及如何提高测量精度进行了分析,对比各种测量方式的优缺点,从而改进相对于手持钳形表测量的方法,以提高接地电流测量精度,为后续变压器铁芯及夹件接地电流智能在线监测系统实施提供有力支持。

**关键词:**智能水电站;变压器;铁芯接地电流;监测方法

**中图分类号:**TM411;TM543;TM933.1      **文献标识码:** B      **文章编号:**1001-2184(2021)03-0138-03

**Analysis on the Method of Improving the Accuracy of Grounding Current  
Measurement for Iron Core and Clamp of 500 kV Oil Immersed Transformer**  
DONG Xiaoqiang, LI Chao  
(Yalong River Basin Hydropower Development Co., LTD, Chengdu, Sichuan, 610051)

**Abstract:** Second to turbine generators, transformers are the most important electrical equipment for hydropower stations. The failure of transformer core and clamp directly affects the safe and stable operation of the transformer and even the whole hydropower station. The author analyzes the principle, method and the way of improving the measurement accuracy of the grounding current of the core and clamp of 500kV oil immersed transformer, compares the advantages and disadvantages of various measurement methods, and improves accuracy of measurement for the grounding current by hand-held clamp meter. It provides strong support for the implementation of intelligent on-line monitoring system for the grounding current of iron core and clamp of the transformer.

**Key words:** intelligent hydropower station; transformer; iron core grounding current; monitoring methods

## 0 引言

在水电站诸多设备中,主变压器是除发电机组外的重要电气设备,变压器铁芯及夹件发生故障,直接影响到变压器甚至整个水电站安全稳定运行。变压器正常运行时,铁芯及固定部件、绕组的金属结构部件等,均处在强电场中,在复杂的电磁环境下,容易产生对地的悬浮电位。为了防止该悬浮电位引起放电,铁芯及夹件必须各自有且只有一点接地,以防止铁芯及夹件多点接地故障时产生涡流,从而导致局部铁芯过热,铁芯局部过热而导致绝缘油分解,造成轻瓦斯动作甚至重瓦斯动作跳闸,更有甚者,会造成主变严重损坏。为了掌握变压器铁芯、夹件运行情况及降低铁芯及

夹件多点接地故障发生率,我们需要对变压器的铁芯及夹件接地情况进行监测和分析。

## 1 变压器常见的监测方法

由于监测技术的发展,通过对变压器长期运行经验积累,变压器铁芯及夹件运行情况主要可以通过以下三种监测手段来分析判断:

### 1.1 变压器绝缘油分解气体监测

对于 500 kV 油浸式变压器来说,通过监测变压器运行绝缘油中气体含量是否超标及气体产生速率来判断变压器内部故障,根据《变压器油中溶解气体分析和判断导则》(DL/T 722—2014),油中主要特征气体有氢气(H<sub>2</sub>)、甲烷(CH<sub>4</sub>)、乙烷(C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>)、乙烯(C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>)、乙炔(C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>)、二氧化碳(CO<sub>2</sub>)、一氧化碳(CO)等,其中甲烷(CH<sub>4</sub>)、乙烷

(C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>)、乙烯(C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>)、乙炔(C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>)四种气体含量总和为总烃,根据标准规定,500 kV 变压器运行中设备油中气体含量注意值见表 1:

| 气体组分                               | 含量(μL/L) |
|------------------------------------|----------|
| 氢气(H <sub>2</sub> )                | 150      |
| 乙炔(C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> ) | 1        |
| 总烃                                 | 150      |

可以通过取油样进行气体分析或者采用油色谱在线监测手段来分析变压器绝缘油气相色谱,还包括气体产生速率,采用三比值等方法分析能够判断变压器内部故障,但通常很难判断铁芯及夹件多点接地故障。

1.2 变压器铁芯及夹件绝缘电阻测试

对于 500 kV 油浸式变压器来说,可以通过解开变压器铁芯及夹件接地连线,然后测量绝缘电阻,测量数据与历史数据对比来判断变压器铁芯及夹件多点接地故障。此监测方法简单有效,但是需要变压器停电才能实施,尤其是对大型变压器来说停电困难,因此,绝缘电阻法有一定局限性。

1.3 变压器铁芯及夹件接地电流测试

对于 500 kV 油浸式变压器来说,还可以通过测量变压器铁芯及夹件接地电流来分析判断,规范《电力设备预防性试验规程》(DL/T 596—1996)中表 5 变压器关于铁芯绝缘电阻要求:“运行中铁芯接地电流一般不大于 0.1 A”,正常情况下,变压器铁芯及夹件接地电流在 0~100 mA,发生故障时会增大甚至可能达到数十安培级别。因此,测量变压器铁芯及夹件接地电流,通过电流大小及与历史数据对比可以判断变压器铁芯及夹件运行故障情况,此方法简单直接有效。

当然变压器铁芯及夹件运行监测还可以辅助变压器热点监测及局部放电测量等,但都有一定局限性,不能直接反映变压器铁芯及夹件故障情况。而根据磁场毕奥—萨伐尔定律可以在其它因素不变的情况下,某点的磁场强度与距离的平方成反比。变压器本身就是一个辐射源,变压器铁芯及夹件的接地线就在变压器附近,因此,测量变压器铁芯及夹件接地电流时,常规手持钳形电流表会受到磁场干扰而测不准。

2 提高变压器铁芯及夹件接地电流监测精度的方法

综合以上分析,变压器铁芯及夹件接地运行

情况各种监测手段各有所长,但都有一定局限性。本文就针对变压器铁芯及夹件接地电流监测数据不准确的问题,如何提高测量精度,拟采取如下措施:

2.1 采用霍尔感应原理测量接地电流

根据霍尔电流传感器工作原理可知,开环的霍尔电流传感器采用的是霍尔直放式原理,闭环的霍尔电流传感器采用的是磁平衡原理。所以,闭环式在响应时间跟精度上要比开环式好。开环和闭环都可以监测交流电,一般开环式适用于大电流监测,闭环式适用于小电流监测见图 1。

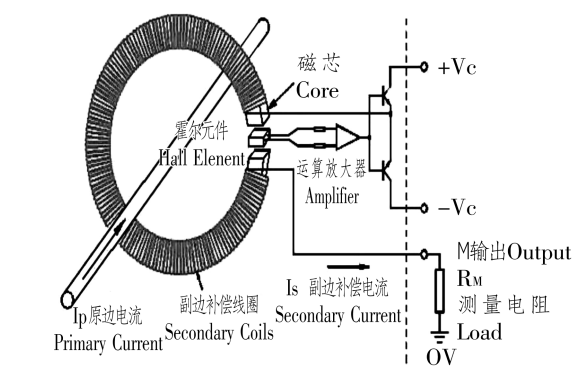


图 1 常见霍尔感应原理示意图

此方法相对于传统手持钳形电流表,可以有效提高接地电流测量精度,但是方法需要专门设计传感器,成本相对较高,不具有普遍性。

2.2 采用罗氏线圈测量接地电流

罗氏线圈是一种常见交流电流测量传感器,直接套在变压器铁芯及夹件接地导体上,根据电磁感应及安培环路定理,罗氏线圈输出感应电压与一次电流变化率成正比,通过微积分的逆运算可以将输出电压还原为输入电流成正比的电压信号,通过此信号测量可以反映变压器铁芯及夹件接地电流(图 2)。

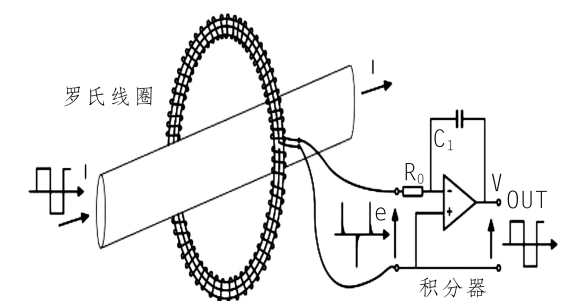


图 2 罗氏线圈测量原理示意图

此方法相对于普通电流互感器,由于罗氏线

圈没有铁芯,不存在饱和问题,可用于变化大的电流测量,也适合故障情况下铁芯及夹件接地电流测量,但感应电压信号相对电流互感器较弱,非常容易受外部杂散磁场干扰,因此,提高测量精度,可以考虑采用加强磁屏蔽或滤波的测量装置,如采用金属纤维混纺布料屏蔽测量装置或者配套使用优先数字量输出积分器即可。

2.3 采用双电流互感器测量接地电流

由于 500 kV 油浸式变压器铁芯及夹件接地电流正常是 0~100 mA,发生故障时,会增大甚至可达到数十安培级别,一般电流互感器很难准确测量正常和故障时电流,因此,必须选用既能测量毫安级别电流也能测量安培级别电流的互感器才能提高测量精度。为此,采用双电流互感器,一个测量小电流,一个测量大电流,为防止大电流损坏小电流互感器,可加上辅助电流处理隔离电路(图 3)。

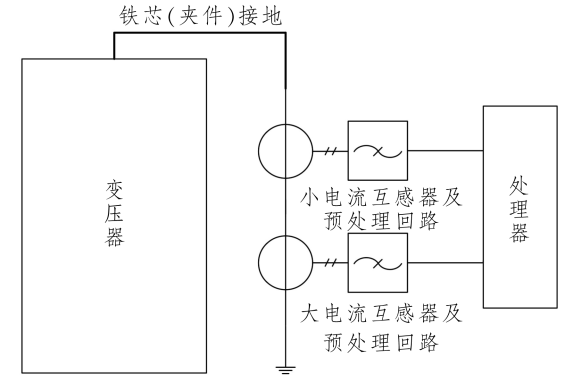


图 3 双电流互感器测量原理示意图

为减少磁场的影响,通过增加磁屏蔽,以提高电流互感器抗干扰能力,也可采用金属纤维混纺布料或者类似材料来屏蔽测量装置,以提高测量精度。

3 结 语

在智能水电站快速发展的今天,随着大数据技术的推广应用,在传统水电站机电设备运营管理基础上,引入智能化技术实现对机电设备运行状态评估、趋势分析及检修维护辅助决策等,解放人员劳动力,提高设备可靠性,提高经济效益,成

为水电站的发展趋势。本文通过对 500 kV 油浸式变压器铁芯及夹件接地电流测量原理、方法及如何提高测量精度进行了分析,对比各种测量方式的优缺点,从而改进相对于手持钳形表测量的方法,以提高接地电流测量精度:

(1)采用霍尔变送器原理,但成本较高不具普遍性;

(2)采用罗氏线圈原理,辅助屏蔽和滤波措施,效果很好;

(3)采用双电流互感器,辅助屏蔽抗干扰措施,效果更好。

当然,提高变压器铁芯及夹件接地电流测量精度的方法还有很多,如人工测量加强测量仪器保管和维护,也可以延长仪器使用时间,从而提高测量精度等等。随着技术的不断提高,尤其是智能水电站的发展,各种智能监测装置应运而生,坚信变压器铁芯及夹件接地电流高精度的测量方法会越来越多,越来越好。

参考文献:

[1] 国家能源局,DL/T 722—2014 变压器油中溶解气体分析和判断导则[S]. 中国电力出版社,2015.

[2] 中华人民共和国电力工业部,DL/T 596—1996,电力设备预防性试验规程[S]. 中国电力出版社,1997.

[3] 邓琳,陈光贵. 数字钳形表交流测量结果的不确定评定[J]. 计量与测试技术,2019,38(4): 57-60.

[4] 李富安. 闭环霍尔电流传感器的设计与测试[D]. 华中科技大学,2012.

[5] 周有庆,刘琨,吴桂清,等. 基于 Rogowski 线圈电子式电流互感器的研究[J]. 电气应用, 2006,25(6): 106-110.

[6] 崔闻雯. 变压器铁芯接地电流在线监测装置的设计[D]. 大连交通大学,2018.

[7] 吉凤,吴伟力. 提高变压器铁芯接地电流测量准确度的方法[J]. 现代商贸工业. 2011(15): 258-260.

作者简介:

董小强(1984-),男,湖北孝感人,武汉大学电气工程与自动化专业,工程师,主要从事水电站电气设备检修管理工作;

李 超(1993-),男,江西婺源人,西安理工大学电气工程及其自动化专业,助理工程师,主要从事水电站电气设备检修管理工作.

(责任编辑:卓政昌)

两河口水电站实现第二阶段下闸蓄水

2021 年 6 月 10 日,四川雅砻江两河口水电站实现第二阶段下闸蓄水。据悉,两河口水电站是雅砻江中下游的“龙头”水库,是雅砻江干流中游规划建设 7 座梯级电站中装机规模最大的水电站,也是我国藏区开工建设综合规模最大的水电站工程,总装机容量 300 万千瓦,多年平均年发电量 110 亿千瓦时,计划 2021 年实现首台机组发电,2023 年实现竣工。

(北极星水力发电网)