

# 变压器有载调压分接开关动作特性交流测试 技术的研究与应用

何 良<sup>1</sup> 苏明虹<sup>1</sup> 李 健<sup>2</sup>

(1. 国网四川省电力公司电力科学研究院, 四川 成都 610072;

2. 国网四川省电力公司眉山供电公司, 四川 眉山 620010)

**摘 要:** 针对变压器有载分接开关动作特性测试, 提出了一种新的测试方法。模拟变压器的运行状态, 对变压器有载分接开关动作特性作采用交流测试技术, 从根本上解决了现场分接开关切换过程的动作特性不能准确判定、多种接线组别变压器分接开关动作特性不能测试等问题。

**关键词:** 有载调压; 分接开关; 动作特性

**Abstract:** Aiming at the operating characteristic testing of on-load tap-changer of transformer, a new testing method is proposed. The operation condition of transformer is simulated, and AC testing technology is adopted for the operating characteristics of on-load tap-changer. A thoroughly solution is provided for some problems, for instance, the operating characteristics of tap-changer during switching in site cannot be determined accurately and the operating characteristics of tap-changer of transformer in several wire connection groups cannot be tested.

**Key words:** on-load voltage regulation; tap changing switch; operating characteristic

中图分类号: TM835 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2014)05-0055-04

## 0 引 言

电力变压器是电网的主要设备之一, 有载分接开关的工作状态将直接影响变压器的运行安全。近年来有载分接开关的故障越来越多<sup>[1-3]</sup>, 因此在进行安装、检修时, 要对其进行相关试验, 以确保变压器的长期安全运行。

有载分接开关动作特性测试是一个重要的试验项目, 通过所测得的过渡波形可以看出切换开关能否正常动作, 从而判断有载分接开关是否存在异常。20 世纪 90 年代初, 电力行业普遍采用直流法测试有载分接开关的动作特性, 但由于直流测试电压较低, 导致对有异常的开关波形解析分歧较大<sup>[4]</sup>。测试仪器虽经多次改进, 然而受测试条件、仪器性能等多方面的限制, 技术人员对分接开关动作特性波形各抒己见, 分接开关故障的漏判率、误判率较高, 往往导致新建项目或预防性试验后的变压器不能按期投入运行, 甚至因直流测试波形不理想, 将有载调压变压器改为无载调压变压器运行。

近年来, 交流法测试有载分接开关动作特性得

到了发展, 其测试电压较高, 更符合变压器实际运行工况, 能反映分接开关切换过程中每一瞬间的流通状态。下面所研究的交流测试技术, 能对各种接线变压器的有载分接开关进行动作特性测试, 试验结果一致性好, 解析解唯一, 可以清晰地反映有载分接开关工作过程, 有效判断开关故障。

## 1 有载分接开关动作特性测试原理

有载分接开关是在带负载的情况下变换分接位置, 采用过渡电路的结构, 满足切换过程中负载回路不开路及分接间不短路的两个基本要求。在“架桥”、“桥接”、“拆桥”过程中, 串入回路的过渡电阻有规律地变化, 测试回路中电流亦有规律改变, 将这一变化波形记录下来, 同时测量出动作参数, 并与标准波形、设计要求进行比较, 则能判断出有载分接开关的动作是否存在异常<sup>[5-7]</sup>。

所研究的分接开关交流测试技术原理如图 1 所示, 通过单相输入、裂相输出三相标准电源, 可向被试变压器施加单相或三相工频交流电压, 测试变压器接近于空载运行状态下的分接开关切换过程, 高

速采集分接开关切换全过程的电压、电流并进行解析 根据各触头工作顺序、过渡时间、过渡电阻等 判断分接开关的动作是否出现异常。

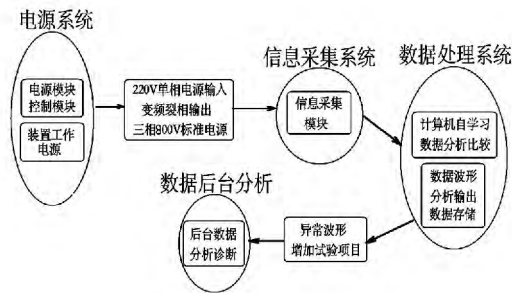


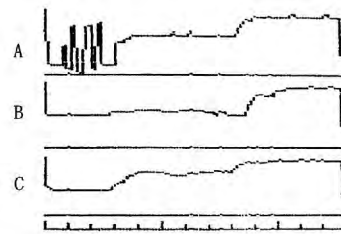
图 1 分接开关交流测试技术原理

对于动作特性波形异常的分接开关,交流测试装置提供多种测试方法复测验证,若现场试验设备允许,可进行外电源高压单相法(额定电压及以下)、外电源大电流零序法等多种模拟工况运行条件下的开关动作特性测试。

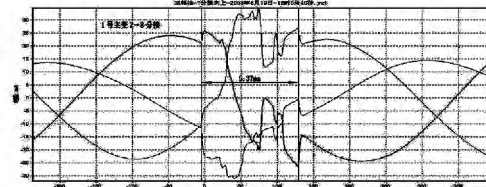
## 2 现场应用实例

案例 1: 某变压器采用 V 型有载分接开关,投运前进行交接试验,使用直流法测试其动作特性,如图 2(a) 所示,可以看出三相切换过程均异常,缺少“桥接”过程,开关动作过程不明显不完整。换用交流法进行测试,如图 2(b) 所示,三相过渡过程明显,两竖线间为“桥接”过程,时间大约为 5.37 ms,过渡电阻进入与退出“桥接”过程的瞬间,三相电流发生突变,其“桥接”相电流量突变幅值较大,其他两相则较小且大小相等方向相反。

直流法测试的波形并不能完整明显反映分接开



(a) 直流法测试波形



(b) 交流法测试波形

图 2 V 型有载分接开关动作特性测试波形的切换过程,甚至带来误判认为该有载分接开关存在故障。交流法测试的波形反映了两侧过渡电阻工作的连续性,中间跳跃部分是开关过渡电阻“桥接”时的电流突变过程,三相过渡过程明显。该变压器以交流测试的波形及数据投入运行。

案例 2: 某 500 kV 日产单相变压器 M 型有载分接开关,使用直流法测试其动作特性,测试电流大幅变化,无法采集到分接开关动作波形。使用交流法进行测试,如图 3 所示,过渡波形正常,无断流现象,“桥接”时长 20 ms,与制造商提供的试验数据相符,有载分接开关切换过程无异常。

案例 3: 对某 110 kV 变电站 1 号主变压器有载分接开关进行动作特性测试。直流法测试结果如图 4(a) 所示,A 相“桥接”过程不明显,“拆桥”过程存在明显的断流现象,持续时间将近 40 ms,可能存在后半桥过渡电阻断线情况;B 相动作波形较为完整,

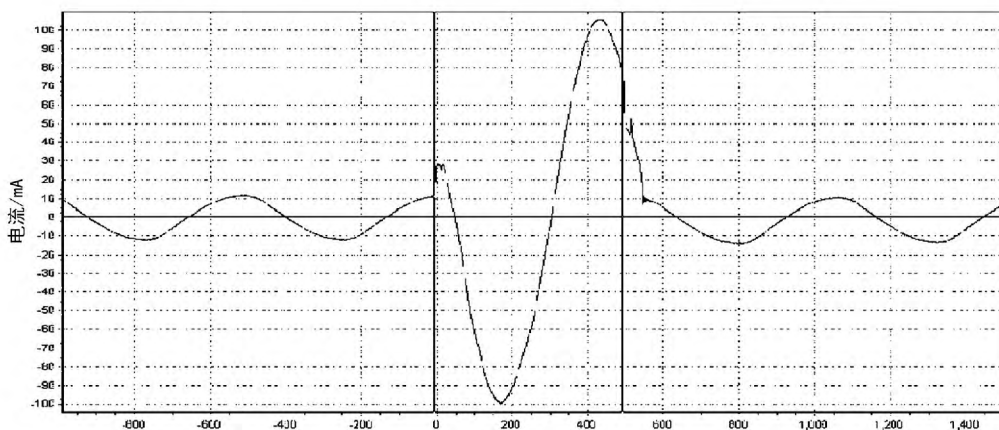
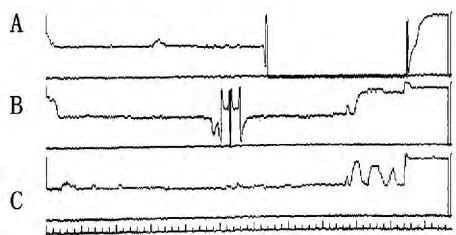


图 3 单相变压器 M 型有载分接开关动作特性测试波形

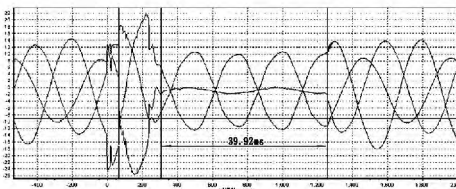
只是在“桥接”过程中存在断续、振荡现象; C相则缺少“桥接”过程,动作波形不完整。直流法测试结果能初步判断该有载分接开关切换过程异常,可能存在过渡电阻断线现象。

使用交流法进行复测,三相法测试波形如图4(b)所示, A相“拆桥”过程存在断流现象,持续时间39.92 ms, B、C相动作波形正常,表明A相后半桥过渡电阻断线。零序法测试波形如图4(c)所示,可以看出过渡电阻断线现象明显,断线时长与三相法相近。

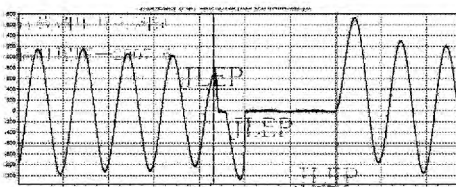
本案例是人为设置的有载分接开关A相过渡电阻单侧断线故障,交、直流法测试结果均表明存在异常,然而直流法测试结果解析解不唯一,现场测试中两种测试方法应配合使用。



(a) 直流法测试波形



(b) 交流法测试波形(三相法)

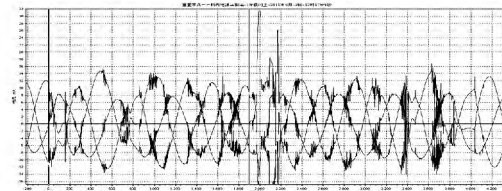


(c) 交流法测试波形(零序法)

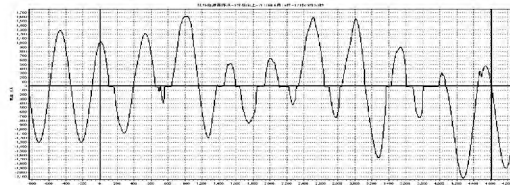
图4 有载分接开关过渡电阻断线情况  
动作特性测试波形

案例4: 某变电站变压器进行试验,用直流法测试有载分接开关动作特性测试,发现测试波形异常,但不能判定分接开关缺陷所在,制造厂家解释直流法测试波形不能反映分接开关存在质量问题,应根据交流法测试结果进行综合判定。三相法测试波形如图5(a)所示,可以看出在180 ms的切换时间内,三相电流波形连续振荡并发生回零现象,从1分接至8分接波形相似;零序法测试波形如图5(b)所

示,电流无规律振荡,出现16次电流回零,最长回零时长7.92 ms。根据交流法测试结果初步判断为分接开关正极性侧接触不良。对有载分接开关进行吊芯检查后,发现极性开关正极性侧触头安装角度不正,导致切换过程中极性开关接触点频繁跳跃,吊芯检查结果与交流法测试结果相符。



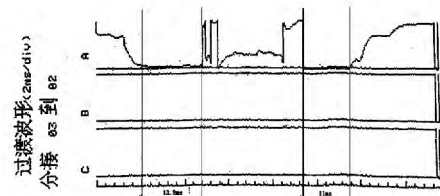
(a) 交流法测试波形(三相法)



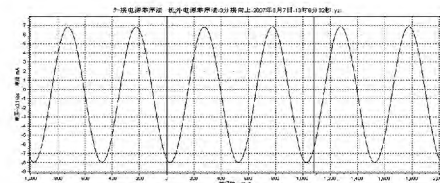
(b) 交流法测试波形(零序法)

图5 分接开关极性开关接触不良测试波形

案例5: 对某有载分接开关进行动作特性测试,直流法测试波形如图6(a)所示,可以看出A相在切换过程中出现两次电流过零现象,时长分别为13.8 ms、11 ms,初步判断为分接开关接触不良。交流法测试结果如图6(b)所示, A相切换过程中电流连续,动作过程正常,分接开关无异常。这可能是由于直流法测试电压太低,无法消除油膜等带来的接触不良的影响,往往会带来误判,而交流法测试电压高,更能反映切换过程中每一瞬间的通流状态。



(a) 直流法测试波形



(b) 交流法测试波形

图6 分接开关动作特性测试波形

### 3 判断方法及应注意的问题

(1) 有载分接开关在切换过程中,过渡电阻发生规律性的变化,回路电流值亦发生规律性变化,通过检测电流值判定分接开关进入和退出“桥接”的顺序、“桥接”过程时间  $t_2$ 、三相最大不同步时间等。由于分接开关的前半桥过渡电阻工作时间  $t_1$ 、后半桥过渡电阻工作时间  $t_3$  与过渡电阻“桥接”时间  $t_2$  是由机械机构的角度来固化的,相互间存在固定的时间关系,测量出任一时间满足试验参数即可证明其他过渡电阻工作时间满足试验要求。

(2) 当试验电压较低时,测得的电流波形可能会出现不圆滑的区域,但只要电流不出现回零现象,应判断为有载分接开关动作过程正常,各工作触头、过渡电阻回路接触状态良好。

(3) 电流波形出现长时间零值区域或频繁过零现象,应判断为分接开关切换过程对应的触头接触不良或过渡电阻断线。但当试验电压较低时,上述结论准确性不高,应使用高电压、大电流试验方法进行验证。

4) 有载调压消弧线圈分接开关动作特性测试,由于其存在空气间隙,交流测试只能使用零序法接线测试,试验电流较大,级差电流被淹没在测试电流中,不能显示过渡电阻“桥接”处的变化,应采用电流连续性分析和判断分接开关交换过程的正确性。

\*\*\*\*\*

(上接第 41 页)

[2] 国家电网公司. 智能变电站技术导则[S]. 北京: 国家电网公司 2009.

[3] 林知明, 蒋士林. 基于 SCL 模型的配置工具的设计与实现[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(12): 82 - 85.

[4] A. Apostolov, D. Tholomier. Simplifying the Configuration of Multifunctional Protection Relays [C]. Annual Conference for Protective Relay Engineers, 2005, College Station, TX, United states: 281 - 286.

[5] 孟正华. 智能变电站虚端子设计初探[J]. 科技情报开发与经济, 2012, 22(7): 138 - 140.

[6] 张海东, 张鸿, 宋鑫, 等. SCD 模型到 CIM/E 模型的转换方法[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(15): 91 -

### 4 结 论

直流法测试有载分接开关的动作特性,由于存在测试电压低、使用范围窄、波形解析解不唯一等问题,使得技术人员对测试波形持不同意见,往往导致漏判误判。交流法具有测试电压高、符合变压器实际运行工况,能反映分接开关切换过程中每一瞬间的通流状态,解析结论唯一,能可靠地反映开关切换过程中的技术状态。在现场试验中,两种测试方法应配合使用。

#### 参考文献

[1] 冯仲民. 有载分接开关的应用[M]. 北京: 中国电力出版社 2004.

[2] 张德明. 有载分接开关国内现状及发展动向[J]. 变压器 2000, 37(1): 36 - 39.

[3] 陈敢峰, 姚集新. 变压器分接开关实用技术[M]. 北京: 中国水利水电出版社 2002.

[4] 梁之林. 变压器有载调压开关交、直流测试波形分析[J]. 吉林电力 2007, 35(4): 31 - 33.

[5] 王世阁, 钊洪壁. 电力变压器故障分析与技术改进[M]. 北京: 中国电力出版社, 2004.

[6] 吉锋. 有载分接开关直流波形测试及其判断[J]. 变压器 2007, 44(1): 55 - 57.

[7] 张锋. 有载分接开关触头烧损事故的分析及预防[J]. 变压器 2003, 40(4): 30 - 31.

(收稿日期: 2014 - 06 - 05)

95.

[7] 宋杰, 靳希, 鲍伟, 等. 基于 IEC61850 的智能继电保护装置协同测试系统的研究[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(5): 59 - 63, 68.

[8] 高亚栋, 朱炳铨, 李慧, 等. 数字化变电站的“虚端子”设计方法应用研究[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(5): 124 - 127.

[9] Q/GDW 396 - 2009, IEC 61850 工程继电保护应用模型[S].

#### 作者简介:

郑永康(1977), 博士, 高级工程师, 研究方向为智能变电站二次系统、继电保护、自动化。

(收稿日期: 2014 - 06 - 26)