

基于高压合成试验的高压交流断路器合一分时间分析

针对电网对断路器合一分时间的要求,从产品型式试验的角度简要论述高压交流断路器在合成试验过程中对断路器合一分时间的影响。介绍了高压交流断路器合成试验过程中辅助开关与高压交流断路器的配合关系,用实例证明高压交流断路器固有的合一分时间在试验过程中是怎样不断发生变化的。结果表明,高压交流断路器技术参数中的合一分时间是受到试验方法制约的,并不是机械上的最小值。

李宪普/许继(厦门)智能电力设备股份有限公司

0 引言

近年来,电网公司不断对断路器的合一分时间提出更高的要求。“十二五”以前断路器的合一分时间 ≤ 100 ms就可以满足要求,“十二五”期间将此参数提升至 ≤ 60 ms,“十三五”初期又提出将合一分时间推荐为 ≤ 50 ms。在高压交流断路器实际运行过程中合一分时间是固定不变的,可以是高压交流断路器机械上能够稳定的最小值。但是在实际的产品设计过程中,因为产品型式试验方法的限制,高压交流断路器的合一分时间会在断路器机械稳定操作的最小值的基础上增加10 ms。例如:高压交流断路器设计合一分时间为 ≤ 50 ms,实际的产品技术参数会增加至 ≤ 60 ms^[1-2]。

1 断路器切断故障过程的描述

一般电网或变电站中故障类型可以简单分为可恢复短路故障和不可恢复短路故障,为了避免因可恢复短路故障引起的大面积停电,需要断路器对短路故

障进行两次判断,当电网或变电站发生短路故障时断路器接到分闸指令将故障点断开,然后再进行合闸操作^[3]。如果短路故障已经消除则断路器不再进行分闸操作,相反短路故障仍然存在着断路器进行第二次分闸操作将故障点断开等待故障的排除^[4]。在这一系列的操作过程中断路器的反应时间快慢也会直接影响因故障对其他设备的损坏程度及故障引起的损失。其中断路器在第二次操作过程为合一分,此次操作是将故障点再次通电的过程,通电时间的长度会直接影响故障损失的大小,因此需要断路器在进行此次操作的时间越短越好^[5-6]。

2 断路器切断故障能力的验证方法

高压交流断路器产品性能的验证是在国家认可的性能检测机构进行检测的。一般制造商没有断路器短路开断能力验证的试验能力^[7]。高压交流断路器在进行产品短路开断试验时是非常危险的,因此试验室均采用合成方法进行试验,合成试验一般原理图如图1所示,图1中,被试品 T_0 的电流回路前段引入辅助开关AB用于在试验过程中保护被试品 T_0 及配合被试品 T_0 的开断。因此,从引入被试品 T_0 的短路电流波形上来看,均是从正弦交流电的零点引入的(过零点开断为高压交流断路器的开断原理在此不多解释),而被试品开断终点也是正弦交流电的零点。由此可知,被试品从带电开始到开断结束是在多个整半波后完成的,如图2所示。



李宪普/工程师

关键词/Keywords

高压交流断路器·
合成试验·
合一分时间·

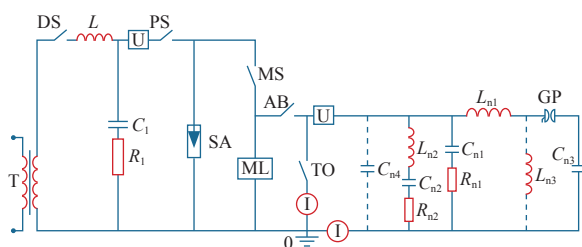


图1 一般合成试验回路

T—变压器 R—电阻 ML—延弧电流投入装置 DS—隔离开关
L—电抗器 AB—辅助开关 PS—保护开关 C—电容器 I—电流测量
MS—合闸开关 TO—被试品 U—对地电压测量 SA—避雷器
GP—点状火球隙

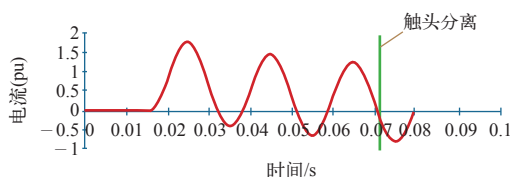


图2 短路开断电流波形

就单相替代三相试验对断路器合-开断过程进行分析。断路器的合-分时间又称金短时间，是指在进行断路器合闸操作中第一级触头接触时刻到随后的分闸操作中所有极弧触头都分离时刻的时间间隔，是断路器额定操作循环中的重要组成部分。断路器的额定操作循环是：O—0.3 s—CO—180 s—CO，在产品型式试验过程中将这个标准循环分成三个组成部分，即O，O—0.3 s—CO，CO。其中，第一个单分操作是对断路器短燃弧时间开断能力的验证；第二个分-合分操作中的第二个分闸操作是对断路器长燃弧时间开断能力的验证；第三个合分操作中的分闸操作是对断路器中燃弧时间开断能力的验证。在高压交流断路器全套合-开断试验过程中，只有极少部分试验是在非额定操作循环下进行的。

3 断路器型式试验过程的合-分时间分析

由合-分时间定义及图3所示可以看出，合-分时间是开关设备合闸触头接触开始到随后的分闸操作触头分离的时间间隔，一台断路器的合-分时间是由断路器的灭弧方式、传动质量、机构操作功、触头接触行程和运动速度来决定的，在产品初期便已经确定，是产品的固有技术参数。高压交流断路器产品型式试验过程中，在

同一个试验项目下，高压交流断路器的燃弧时间和预击穿时间也近乎为定值（一般取最小值），断路器的灭弧过程是一个非常复杂的物理、化学变化的过程。断开电流的大小不同时，熄灭电弧的时间长短也不同；断路器两端电压不同时，熄灭电弧的时间长度也有所不同；在不同的试验项目下由于对断路器所施加的电压和电流不同。因此，断路器的预击穿时间和燃弧时间不同，但是受到合成试验过程短路电流时间的限制，断路器的合-分时间必须跟随发生变化，否则不能满足产品合-开断的要求。

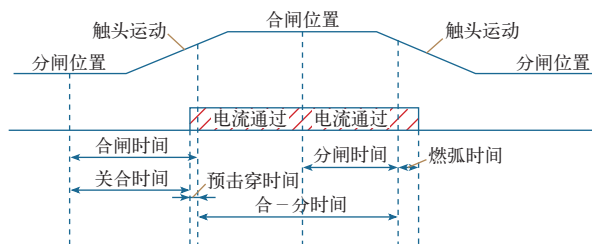
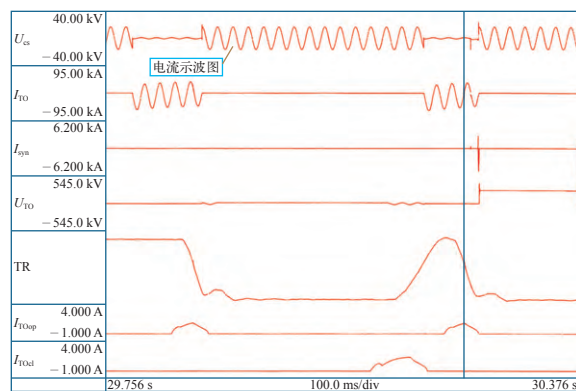


图3 断路器单相关合-开断短路电流示意图

图4为高压交流断路器T100s(b)O—CO型式试验过程中的示波图。由图4可以看出，断路器的全部开断过程是在标准的短路电流波下完成的，图4中的整个合-开断过程是在7个交流半波后完成的，7个交流半波的时间为70 ms，是该断路器在进行此项试验过程中断路器有短路电流通过的时间（又称合-开断时间）。按照图3可将断路器通流的全部过程分为预击穿时间、合-分时间和燃弧时间，可用如下公式表示，即

$$t_1 = t_2 + t_3 + t_4 \quad (1)$$

式中， t_1 为合关至开断时间，ms； t_2 为预击穿时间，



ms; t_3 为合一分时间, ms; t_4 为燃弧时间, ms。

由于受到合成回路的限制, 高压交流断路器关合—开断的时间 t_1 必须是由多个半波组合, 因此关合—开断过程时间上的最小单位为10 ms。由上文所述, 断路器在不同的试验方式下预击穿时间和燃弧时间是不同的, 因此导致断路器的合一分时间在断路器的关合—开断过程中不断地变化。例如, 一台断路器固有合分时间为 ≤ 60 ms, 某个试验方式下预击穿时间为1.5 ms, 短燃弧时间为 $t_{\text{arc,min}} = 10.5$ ms。断路器的长燃弧时间和中燃弧时间可由GB 1984给出的公式进行如下计算, 即

$$t_{\text{arc,max}} \geq t_{\text{arc,min}} + T \frac{180^\circ - \alpha}{360^\circ} \quad (2)$$

$$t_{\text{arc,med}} = \frac{t_{\text{arc,max}} + t_{\text{arc,min}}}{2} \quad (3)$$

可得, $t_{\text{arc,max}} = 17.5$ ms, $t_{\text{arc,med}} = 14.5$ ms。

当 t_1 等于80 ms时, 分别将 t_4 的三个不同值代入方程, 合一分时间 t_3 可由下式算出, 即

$$t_3 = t_1 - t_2 - t_4 \quad (4)$$

当 $t_4 = t_{\text{arc,min}}$ 时, $t_3 = (80 - 1.5 - 10.5)$ ms = 68 ms;
当 $t_4 = t_{\text{arc,max}}$ 时, $t_3 = (80 - 1.5 - 17.5)$ ms = 61 ms;
当 $t_4 = t_{\text{arc,med}}$ 时, $t_3 = (80 - 1.5 - 14.5)$ ms = 64 ms。

然而68 ms、61 ms和64 ms均不符合产品的合一分时间 ≤ 60 ms的要求。为了满足产品的这项要求只能将 t_1 降低为70 ms。当 t_1 设置为70 ms (7个半波) 时, 断路器合分时间 t_3 可计算为: 当 $t_4 = t_{\text{arc,min}}$ 时, $t_3 = (70 - 1.5 - 10.5)$ ms = 58 ms; 当 $t_4 = t_{\text{arc,max}}$ 时, $t_3 = (70 - 1.5 - 17.5)$ ms = 51 ms; 当 $t_4 = t_{\text{arc,med}}$ 时, $t_3 = (70 - 1.5 - 14.5)$ ms = 54 ms。

因此, 在该试验中断路器的合一分时间分别为58 ms、51 ms和54 ms时才能满足该项试验成功开断的需求。

由以上分析可以看出, 高压交流断路器在产品型式试验开断过程中受到合成回路的影响, 产品合一分时间在型式试验过程中不断变化, 最大的变化范围为可达10 ms。因此, 为了满足产品在型式试验的特殊要求, 一般要求断路器将固有的合一分时间增加10 ms或者提升至可以满足试验要求的整数值, 设置为断路器的基本技术参数。同

时也可以看出, 一般高压交流断路器技术参数中的额定合一分时间并不是断路器固有的最短合一分时间, 要较固有的分—合时间大一些。高压交流断路器在固有最短合一分时间下是可以稳定运行的, 因此当高压交流断路器在运行过程中, 如果因合一分时间不能满足现场保护设置的需要, 可与供应商技术部门协商, 经供应商同意并经过机械特性测量证实, 是可以降低合一分时间的。在实际断路器运行过程中, 可以按照供应商承诺的可以稳定运行的合一分时间设置变电站保护动作的时间。

4 结束语

综上所述, 高压交流断路器固有的合一分时间的长短在实际的运行过程中对断路器的关合—开断时间起着非常重要的作用, 然而经过以上分析可知, 高压交流断路器固有的最短合一分时间受到产品型式试验中合成试验的影响, 断路器额定合一分时间与断路器固有的合一分时间相比较会相应地增加, 但如不能满足变电站运行的需要, 可以在经过供应商允许的情况下降低合一分时间。

参考文献

- [1] GB/T 2900.20—1994 电工术语—高压开关设备[S].
- [2] IEC 62271-101—2012 高压开关设备和控制设备—第101部分: 合成试验[S].
- [3] 孙梅, 李刚, 姚斯立, 等. 高压交流断路器的全电压关合试验[C]. 输变电年会论文集, 2009.
- [4] 苏宇红, 刘朴, 张海峰. 交流高压断路器三相合成试验燃弧时间的确定及整定方法简介[J]. 高压电器, 2006, 42(4): 313-314.
- [5] 王占国, 张建新, 赵建沛, 等. 高压断路器触头介质回复强度特性测试方法及试验线路研究[J]. 电工文摘, 2015(3): 31-32.
- [6] 郭贤珊, 李仲夫, 方定江, 等. 测量断路器合分时间的必要性[J]. 高压电器, 2002, 38(4): 52.
- [7] 谢超, 马一丁. 对控制SF₆断路器合分时间的分析[J]. 黑龙江科学, 2014, 5(2): 262.

(收稿日期: 2015-07-23) EA