

励磁涌流抑制装置在南澳柔性直流输电工程中的应用分析

南澳多端柔性直流输电工程在充电起动过程中因投入空载变压器而产生涌流,影响系统的可靠性和稳定性。基于剩磁和偏磁互克原理的涌流抑制方法技术越来越成熟,涌流抑制效果好。在南澳多端柔性直流输电工程安装涌流抑制装置并对比安装前后涌流抑制效果,数据结果验证了涌流抑制方法的有效性和可行性,说明基于此方法的涌流抑制装置的应用效果较好。

赵 嘉 李 洁/广东电网有限责任公司汕头供电局

0 引言

南澳多端柔性直流输电工程由 ± 160 kV 塑城换流站、 ± 160 kV 金牛换流站和 ± 160 kV 青澳换流站三站组成,如图1所示。南澳多端柔性直流输电工程的起充过程是由220 kV塑城变电站通过110 kV 塑换线给 ± 160 kV 塑城换流站的换流变及换流阀充电解锁,再解锁金牛换流站和青澳换流站完成的。

在南澳多端柔性直流输电工程充电起动过程中因空载投入 ± 160 kV塑城换流站的166 kV换流变压器而产生涌流,引起220 kV塑城变电站的110 kV母线电压波动,同时影响了南亚风电场和青澳风电场风能的送出。文献[1]介绍了投入空载变压器时励磁涌流产生的机理;文献[2]介绍了励磁涌流对柔性直流输电工程的影响;文献[3]和文献[4]介绍了基于偏磁和剩磁互克原理的励磁涌流抑制方法。

本文根据实际的试验数据,介绍了采用偏磁和剩磁互克原理的励磁涌流抑

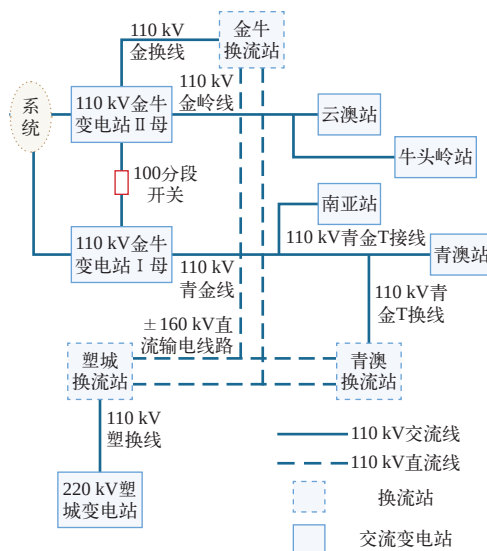


图1 柔性直流输电工程接入110 kV交流电网接线图

制方法的涌流抑制装置在南澳多端柔性直流输电工程中应用效果。

1 基于偏差和剩磁互克原理的励磁涌流抑制方法

变压器在正常带电工作时磁路不饱和,磁路中的主磁通波形与外施电源电压的波形基本相同,即是正弦波。磁路中的磁通滞后电源电压 90° ,因此可以通过监测电源电压波形实现对磁通波形的监测,进而获取在电源电压断电时剩磁的极性。变压器空载投入上电时产生的偏磁也一样,因电源电压上电时的初相角在Ⅱ、Ⅲ象限区间内产生的偏磁极性为负,而初相角在Ⅰ、Ⅳ象限区间内产生的偏磁极性为正。显然,剩磁极性可知,偏磁极性又可控,只要空载投入电源时使偏磁与剩磁极性相反,再与稳态磁通共同作用,涌流即受到抑制,这就



赵 嘉/助理工程师

关键词/Keywords

- 柔性直流输电 •
- 偏磁 •
- 剩磁 •
- 励磁涌流 •
- 涌流抑制 •

广东电网公司资助项目 (GD201420295)。

是偏差和剩磁互克原理^[5-6]。

文献[7]介绍了根据电力变压器偏磁与剩磁相消的原理,在空载投入操作过程中控制实现电压合闸相位角与前次切除电压相位角匹配的原则,从理论及实践上都证明了在使用三相联动操作断路器时能抑制励磁涌流。

断路器断开电源时的分闸相位角与变压器磁路极性和数值有直接联系,而合闸相位角则与偏磁的极性和数值有关。只要能够控制变压器空载合闸时电源电压的合闸相位角,并且确定了变压器末次断电时刻磁路中的剩磁极性,就能实现剩磁与偏磁极性相反,从而消除磁路饱和,由此达到抑制励磁涌流的目的。

南澳多端柔性直流输电工程安装的涌流抑制装置就是基于上述方法,取电源侧电压为基准电压,根据断路器的合闸时间来控制断路器的合闸角度接近上次断路器的分闸角度,即可达到变压器偏磁与剩磁相消的目的,如图2所示。

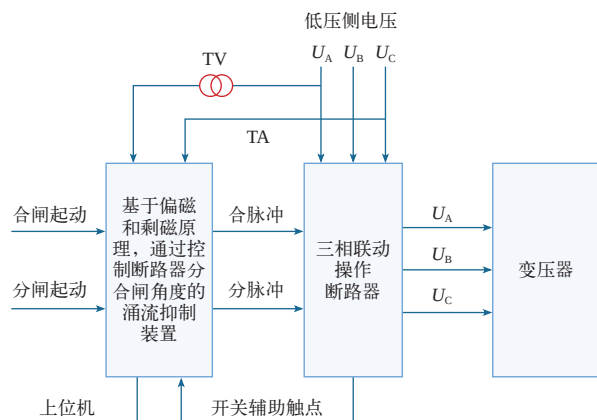


图2 涌流抑制装置的控制原理图

2 涌流抑制装置的工程应用

2.1 基于剩磁和偏磁互克原理的涌流抑制装置安装方法

涌流抑制装置安装在南澳柔性直流输电系统的继保室内,换流站的站级控制与直流保护屏,以及交流场测控屏的手合、手跳断路器出口回路的电缆终端接至涌流抑制装置,经过装置内部逻辑判断后分合闸命令开出至断路器的操作箱,完

成三相机械联动断路器的分合闸操作。结合断路器的合闸时间来控制断路器的合闸角度接近上次断路器的分闸角度,即可达到变压器偏磁与剩磁相消的目的^[8-9]。

2.2 涌流抑制装置控制定值的确定^[10]

± 160 kV塑城换流站的110 kV断路器是三相联动机构的,故取A相为控制相即可。每个断路器的分、合闸时间有差别,需根据现场断路器实际分合闸时间来设置涌流抑制装置的“开关分合闸时间”定值。而断路器的“分、合闸角度目标值”设置为 90° 。

图3和图4分别为涌流抑制装置合闸控制波形和分闸控制波形。

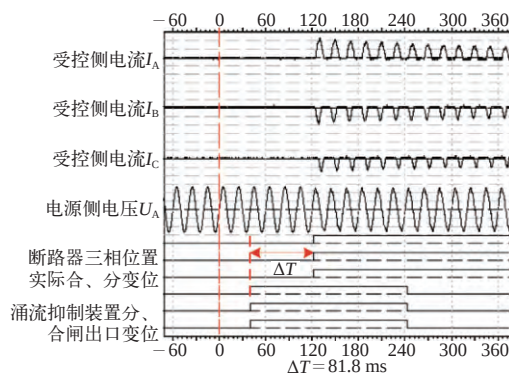


图3 涌流抑制装置的合闸控制波形

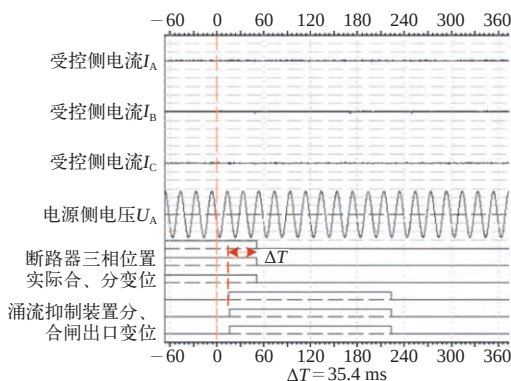


图4 涌流抑制装置的分闸控制波形

通过多次分合 ± 160 kV塑城换流站的110 kV断路器的实际分闸时间是35.4~35.5 ms,实际合闸时间是80~80.5 ms。因此励磁涌流抑制装置的断路器分闸时间定值设置为35.5 ms,合闸时间定值设置为80 ms。

2.3 涌流抑制装置效果分析

图5为未安装励磁涌流抑制装置前，南澳多端柔性直流输电工程合闸时的涌流情况。从电流波形中可以看出A、B相的电流很大，四五千安培，同时也引起交流电网电压波动。

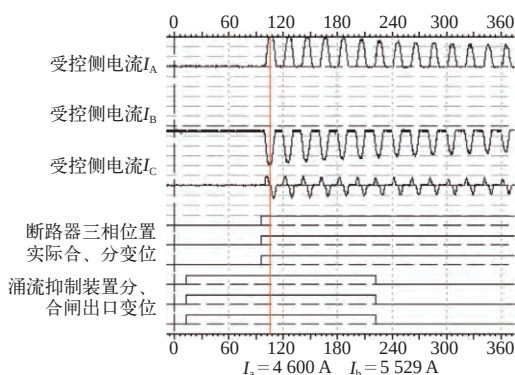


图5 涌流抑制装置未安装前的分闸控制波形

下表为南澳柔性直流输电工程安装励磁涌流抑制装置后的应用效果统计，其中第2次分合闸出现5 kA的涌流，造成换流阀闭锁，柔性直流输电工程起动失败。分析原因是因为在充电起动过程中，断路器的合闸角度发生变化，造成偏差无法抵消上次分闸时剩磁，从而造成励磁涌流抑制装置控制效果不好。针对这种问题，需要动态调整励磁涌流抑制装置中的断路器分合闸参数，做到误差在允许的范围内。

通过分析对比涌流抑制装置在南澳多端柔性直流输电工程安装前后，随着涌流抑制装置的合闸时间定值设置的越来越接近断路器实际动作时间，柔性直流输电系统起动过程中引起的励磁涌流也越来越小。同时也说明了随着励磁涌流的减小，交流电网电压也从十几千伏降到三四千伏，

表 涌流抑制装置应用效果统计表

分合闸次数	控制模式及 合、分闸	装置设置的 时间/角度定值	开关实际动作 时间/角度	三相涌流最大值	三相电压跌幅最大值
第1次分合闸	合闸（相控）	80.0 ms/90°	80.8 ms/31.2°	A相/1.79 kA（约为额定电流峰值 的1倍）	A相电压由65.00 kV跌倒 61.57 kV， $\Delta U=3.43$ kV
	分闸（相控）	35.5 ms/90°	35.4 ms/93.3°		
第2次分合闸	合闸（相控）	80.0 ms/90°	81.6 ms/41.3°	A相/5.67 kA（约为额定电流峰值 的3.15倍）	A相电压由64.96 kV跌倒 53.11 kV， $\Delta U=11.85$ kV
	分闸（相控）	35.5 ms/90°	35.4 ms/90°		
第3次分合闸	合闸（相控）	80.0 ms/90°	80.1 ms/87.1°	C相/2.02 kA（约为额定电流峰值 的1.13倍）	A相电压由65.06 kV跌倒 60.43 kV， $\Delta U=4.63$ kV
	分闸（相控）	35.5 ms/90°	35.4 ms/91.2°		
第4次分合闸	合闸（相控）	80.0 ms/90°	80.2 ms/92.8°	B相/1.80 kA（约为额定电流峰值 的1.01倍）	C相电压由65.00 kV跌倒 61.57 kV， $\Delta U=3.43$ kV
	分闸（相控）	35.5 ms/90°	35.5 ms/95.8°		
第5次分合闸	合闸（相控）	80.0 ms/90°	80.1 ms/96°	B相/1.76 kA（约为额定电流峰值 的0.99倍）	A相电压由65.10 kV跌倒 61.82 kV， $\Delta U=3.28$ kV
	分闸（相控）	35.5 ms/90°	35.4 ms/92.6°		

电压波动也越来越小。需要注意的是在第2次分合闸的时候因断路器的实际合闸时间从80.8 ms降到81.6 ms，造成励磁涌流过大。可以得出涌流抑制装置在涌流抑制方面效果明显的结论。

需说明的是柔性直流输电工程运行起来后其断路器分闸的命令大多是交、直流保护因系统故障而发的。保护动作命令断路器跳闸是不经过励磁涌流抑制装置的，因此就无法确定断路器的分闸时刻和角度，从而就无法确定变压器末次断电时刻磁路中的剩磁极性，也就无法实现涌流抑制的目的^[11-12]。

3 结束语

基于剩磁和偏磁互克原理的励磁涌流抑制方法是目前主要的变压器涌流抑制方法。本文通过分析对比南澳柔性直流输电工程所安装的励磁涌流抑制装置的应用效果，充分说明该装置的励磁涌流抑制效果是较好的，为后续的柔性直流输电工程在涌流抑制方面提供参考。

参考文献

- [1] 杨祺金. 变压器励磁涌流产生机理及抑制措施[J]. 科技与创新, 2015 (1): 103-104.

- [2] 樊丽娟, 黄莹, 徐迪臻. 送端励磁涌流对溪洛渡直流50 Hz保护的影响[J]. 南方电网技术, 2015, 9(6): 34-38.
- [3] 梁志豪, 陈少华. 变压器涌流识别技术的研究现状及趋势[J]. 广东电力, 2013, 26(7): 13-17.
- [4] 由恒远, 毕孝辉. 基于偏磁和剩磁相消的变压器投切技术[J]. 电子技术与软件工程, 2015(19): 147.
- [5] 叶念国. 抑制变压器励磁涌流的新方法[C]. 中国电力系统保护与控制学术研讨会, 2006.
- [6] 乌云高娃, 刘涤尘, 叶念国. 基于变压器励磁涌流成因的涌流抑制策略[J]. 武汉大学学报: 工学版, 2008, 41(6): 83-86.
- [7] Guzman A, Zocholl S, Benmouyal G, et al. A current-based solution for transformer differential protection, part II: description and evaluation[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2002, 17(4): 886-893.
- [8] Bronzeado H, Yacamini R. Phenomenon of sympathetic interaction between transformers caused by inrush transients[J]. IEEE Proceedings, Science, Measurement and Technology, 1995, 142(4): 323-329.
- [9] 黄金, 方春恩, 李天辉, 等. 计及剩磁的变压器励磁涌流的仿真研究[J]. 变压器, 2009, 46(11): 40-43.
- [10] 张慧, 李俊华. 基于PSACD的单相变压器励磁涌流仿真分析[J]. 华北水利水电学院学报, 2011, 32(6): 73-75.
- [11] 翁汉琰, 林湘宁. 换流变压器差动保护异常动作行为分析及对策[J]. 中国电机工程学报, 2009, 29(31): 87-94.
- [12] 宋洁. 涌流抑制装置在换流站直流输电的应用[J]. 云南电力技术, 2014, 42(3): 67-70.
- (收稿日期: 2016-12-27) EA

广告 | AD



Weidmüller

魏德米勒MultiMark标记系统 —使电气柜内的联接清晰可见

工业4.0使电气柜内的联接布线越来越复杂, 电气元件及其联接的标记能有效降低误操作的风险并帮助现场维护。魏德米勒MultiMark标记系统, 在整个工程阶段的初期, 就提供针对这些需求的专业解决方案, 150种新的标记产品几乎可以涵盖所有的标识需求。MultiMark标记系统包括软件、标记号和打印机, 快速打印, 快速标记, 简便的操作以及清晰的打印内容使整个标记流程得以优化。

扫一扫, 关注魏德米勒官方微信



Let's connect.

魏德米勒电联接(上海)有限公司

电话: 86 21-22195008 网址: www.weidmueller.com.cn