

直流输电系统对交流变压器影响的研究

王学峰¹, 余小菲¹, 周俊宇²

(1. 广东电网公司汕尾供电局, 广东 汕尾 516600; 2. 广东电网公司佛山供电局, 广东 佛山 528000)

摘要: 直流输电由于其具有输送容量大、损耗小、不受系统稳定性限制等特点, 在我国得到越来越广泛应用。但是, 交、直流混合输电系统会在交流变压器中性点产生直流电流, 造成变压器绕组直流偏磁影响变压器和整个系统的正常运行, 并对不同结构变压器产生影响的程度也不尽相同, 因此, 必须对变压器中性点直流电流进行有效的检测和抑制。就直流输电系统产生后交、直流系统中交流变压器中性点直流电流的相关问题, 进行了理论分析, 希望对变压器的运行维护有所帮助。

关键词: 交、直流输电; 直流电流; 直流偏磁; 抑制措施

Studying on the effect to transformer by DC power transmission system

WANG Xue-feng¹, YU Xiao-fei¹, ZHOU Jun-yu²

(1. Shanwei Power Supply Branch, Guangdong Power Grid Corp., Shanwei 516600, China;

2. Foshan Power Supply Bureau, Foshan 528000, China)

Abstract: In our country, DC transmission is applied more and more abroad because of the characteristic, such as the big capability, the little wastage and unlimited transportation by stabilization. But the AC and DC transmission system brings DC current in neuter spot of transformer, it will affect the natural running of transformer and whole power system, and the effect to transformer is different with different configuration, so it is necessary to measure and restrain the DC current in neuter spot of transformer. In the article, the author analyses theoretically some correlative questions about DC current in neuter spot of transformer after the application of DC power transmission system, and hopes that the article is useful to the running and maintenance of transformer.

Key words: AC and DC transmission; DC current; DC bias; Restraint measure

中图分类号: TM77; TM721.3

文献标识码: A

文章编号: 1674-3415(2008)24-0101-03

0 引言

近一段时期以来, 随着电力系统供电负荷的急剧增加, 电力系统发展迅猛, 其中, 直流输电由于其固有的某些优点, 如: 输送容量大、损耗小、无交流输电稳定性问题的制约等, 因此, 直流输电的应用愈加广泛。目前, 在广东省电网范围内就存在着±500 kV 天广直流、±500 kV 高肇直流、±500 kV 江城直流, 正在调试的±500 kV 兴安直流, 处于建设阶段的±800 kV 云广直流。随着直流输电网的不断建设、投产, 交、直流输电系统的相互影响将不可忽视, 本文对交、直流混合电力系统中交流变压器的相关问题进行探讨。

1 交流变压器中直流电流的产生

在交流电力系统中, 变压器作为核心电力设备之一, 起着变换电压、输送电能的重要作用, 因此,

必须对变压器进行有效的运行维护, 保证变压器正常运行。但是, 随着电力系统的飞速发展, 电力系统的结构也越来越复杂, 电力变压器的工作环境也相对复杂, 其中, 直流电流对变压器的影响也愈来愈受到重视, 近来成为变压器研究的一个热点问题^[1,2]。

我们知道, 在交流电力系统中, 暂态过程是绝对的, 稳态过程是相对的, 因此, 在复杂的交流系统机电暂态过程中, 交流系统内部会时刻存在一些直流电流, 由于电力系统的阻尼特性, 这些直流电流相对较小, 对电力变压器的影响也相对较小; 随着交、直流混合输电系统的应用, 如图1所示, 送、受两端的交流输电网络通过直流输电线路、整流、逆变装置连接起来。这样, 在直流输电系统中, 通过接地极的直流电流 I_3 为极I流过的直流电流 I_1 与极II流过的直流电流 I_2 的差电流, 当极I与极II流过的直流电流对称时, 即直流系统两极对称运行,

接地极流入大地中直流电流为零。极端情况下，当直流系统发生单极闭锁、单极运行时，流过接地极的直流电流将为直流输电系统中的直流电流，这样，强大的直流电流通过接地极、大地形成的电场，如图 2 所示，在接地极处的直流电压 U_0 为最高，随着离接地极距离越远，直流电压呈指数下降。因此，对于离接地极不同地点的交流变压器由于中性点直流电压的不同，通过变压器绕组及交流输电线路，在变压器中性点之间将有直流电流流过，距离直流接地极较近的变压器中性点将流过较大的直流电流。

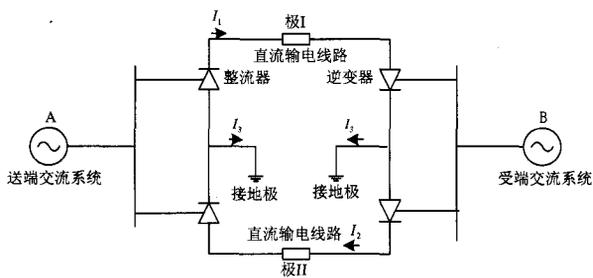


图 1 交直流混合电力系统模型
Fig.1 The model of AC and DC power system

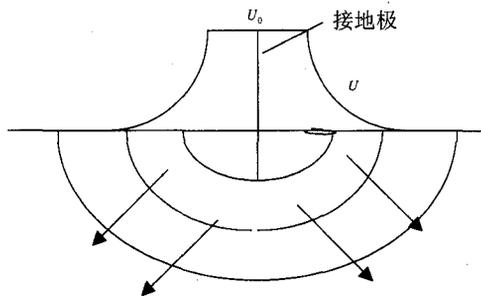


图 2 直流接地极电场模型
Fig.2 The model of electric field of DC earthing

2 直流电流对交流变压器的影响

2.1 对变压器的共性影响

当直流电流通过变压器中性点、变压器绕组以及交流输电线路形成回路，在变压器中流过时，由于直流偏磁的原因，即：直流电流的存在，导致变压器铁芯磁滞曲线发生偏移，从而产生直流偏磁。当变压器铁芯发生直流偏磁时，变压器励磁电流在某半波可能工作在铁芯的磁化曲线饱和区，从而影响变压器的正常运行，其影响主要有以下几个方面^[3-7]。

(1) 噪声、振动增大。由于变压器磁致伸缩的原因，当变压器发生直流偏磁时，变压器绕组流

过相同的交流电流，铁芯的伸缩、振动幅度将加大，从而导致变压器的噪声增大，同时，由于磁致伸缩产生的振动是非正弦的，其噪声频率包含多种谐波分量，当某一分量与变压器构件发生共振时，噪声将更大，有可能导致变压器内部零件松动、绝缘受损。

(2) 电压波形畸变。由于变压器铁芯发生直流偏磁，严重时，铁芯可能工作在饱和区，从而使变压器漏磁通增加，这样，使电压波形发生畸变，在兴安直流调试期间，广东电网部分地区电压就发生了畸变，尤其是单极调试期间。

(3) 铜耗、铁耗增加。由于铁芯发生直流偏磁，致使漏磁通增加，在铁芯、构件中会产生涡流，使铁耗增加；同时，由于直流偏磁，使变压器励磁电流增大，变压器的铜耗也随之增大。由于铜耗、铁耗的增加，造成铁芯、绕组、部件等发热严重，损坏变压器绝缘和部件使用寿命。

(4) 对继电保护的影响。主要表现在，直流系统不对称运行时，零序电压增大和电流量突变，导致母差失灵复合电压动作、线路保护起动。

2.2 对不同结构变压器影响的定性分析

由上节可知，直流电流流过变压器绕组会使变压器铁芯产生直流偏磁，从而导致变压器噪声增大、电压畸变、损耗增加。但对于不同结构的变压器，绕组中流过相同大小的直流电流时，铁芯中产生的直流偏磁程度是不同的。《高压直流接地极技术导则》不考虑变压器具体结构，统一规定从中性点流入变压器绕组的直流干扰电流小于额定电流有效值的 0.7%，这显然是不合理的^[8]。

(1) 三相芯式变压器

直流电流流过三相芯式变压器时，对变压器磁路而言，相当于零序电流，此时，直流电流产生的磁通应走幅边无三角形绕组时零序磁通的磁路（如图 3 (a) 所示）。这种变压器的零序磁路的磁阻很大，只有对应较大的直流电流才能产生足够大的偏磁影响变压器的运行，因此，这种变压器能承受较大的直流电流。

(2) 三相五柱式变压器

对于这种变压器，直流电流产生的磁通与零序磁通所走的磁路相同，都从两个边柱铁芯通过，磁阻比三相芯式变压器的小很多，因此，对于三相五柱式变压器而言，绕组中流过与三相芯式变压器相同的直流电流时，产生的直流偏磁就比较严重，对

变压器的影响也较大。

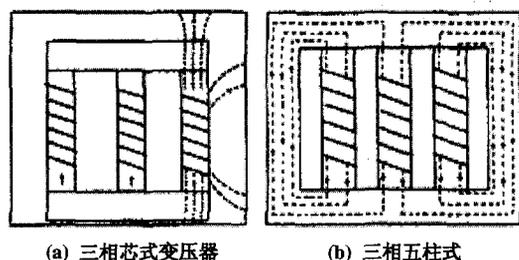


图3 直流磁路图

Fig.3 Magnetism road of DC current

(3) 三相分体式变压器

对于三相分体式变压器, 无论何种结构, 其零序磁通所走的磁路与主磁通的磁路相同, 由于技术的进步, 这种变压器的励磁电流很小 (如重庆 ABB 公司型号 ODFS-250000/525/ $\sqrt{3}$ 变压器空载电流为 0.037%, 即 0.3 A, 幅值约为 0.5 A), 因此, 0.5 A 的直流电流流过变压器绕组产生的直流偏磁就与空载磁通幅值相当, 可见, 直流电流对这种变压器的影响较大, 现在广东电网 500 kV 变压器大部分采用这种结构, 所以, 500 kV 变压器中性点基本安装了直流检测装置。

可见, 直流电流对交流变压器和交流系统的运行都是不利的, 并对不同结构的变压器所产生的影响也不相同, 所以, 必须对交流变压器中性点直流电力进行有效的抑制, 保证其安全运行。

3 变压器中性点直流电流的抑制措施

由于直流电流对变压器和整个系统的正常运行产生影响, 因此, 对于变压器中性点直流电流的有效检测和抑制也成为研究的热点之一, 目前, 电力系统常用的抑制措施有以下几个方面^[9,10]。

3.1 在变压器中性点装设电阻

根据电路的基本知识, 可以知道: 当两台变压器中性点之间的电压差一定时, 通过在变压器中性点装设电阻, 可以限制流过变压器中性点直流电流大小。但是, 中性点电阻串入中性点后, 交流系统的零序阻抗将发生改变, 这对继电保护装置将产生影响。

3.2 在交流输电线路串联电容

通过在交流输电线路串联电容, 利用电容隔直流通交流的特性, 可以对直流电流进行消除; 但是, 由于自耦变压器在交流系统中的使用, 仅在一个电压等级输电线路串联电容, 其他电压等级线路上仍有直流电流流通, 另外, 串联电容也会改变系

统的阻抗参数, 从而对保护产生影响。

3.3 在变压器中性点串联电容

在中性点串联电容, 虽然可以消除直流电流, 但是, 当交流系统发生故障时, 可能在串联电容上产生较高的暂态电压, 这对于 500 kV 变压器来说, 对绝缘是一个考验; 另外, 串联电容也会改变系统阻抗, 需要对保护定值重新检验。

4 结论

现在, 在我国直流输电技术已经得到了广泛应用, 在目前这种交、直流混合输电系统中, 交流变压器中性点会流过一定的直流电流, 并对变压器产生不良影响, 严重时, 将影响变压器和整个系统的正常运行; 为了抑制变压器及交流系统上的直流电流, 可以通过在变压器中性点串联电阻、电容, 在交流输电线路串联电容的方法来减小或消除直流电流, 但这些方法都会对系统的参数、继电保护产生影响, 需要进一步的验证和研究。

参考文献

- [1] 林俊昌, 莫文雄. 天广直流输电系统对广东电网的影响[J]. 广东电力, 2003, 16(1).
LIN Jun-chang, MO Wen-xiong. Influence of TianGuang DC Transmission System on Guangdong Power Network[J]. Guangdong Electric Power, 2003, 16(1).
- [2] 李长益. 直流单极运行对变压器的影响[J]. 华东电力, 2005, 33(1).
LI Chang-yi. Effect of DC Monopole Operation on AC Transformers[J]. East China Electric Power, 2005, 33(1).
- [3] 邵家海, 吴翎. 超高压直流输电对运行变压器的影响及变压器直流抑制措施[J]. 东北电力技术, 2005, (10).
SHAO Jia-hai, WU Ling. On the Impact of UHVDC on Operating Transformers and DC Flow Suppression Measures[J]. Power Technology of Northeast, 2005, (10).
- [4] 赵杰. 输电线路地线对流入变压器中性点直流电流的影响[J]. 电网技术, 2005, 29(19).
ZHAO Jie. Influence on DC Current Through Transformer Neutrals by Earth Line of Transmission System[J]. Power System Technology, 2005, 29(19).
- [5] 胡毅, 李景录. 直流接地极电流对中性点接地变压器的影响[J]. 变压器, 1999, 36(1).
HU Yi, LI Jing-lu. Effect of DC Earthed Pole Current on the Neutral Earthed Transformer[J]. Transformer, 1999, 36(1).
- [6] 曹林, 曾嵘. 高压直流输电系统接地极电流对电力变压器运行影响的研究[J]. 高压电器, 2006, 42(5).
CAO Lin, ZENG Rong. Studying on Influence of Power Transformer by Earth Pole of HVDC Transmission System[J]. High Voltage Apparatus, 2006, 42(5).

(下转第 109 页 continued on page 109)

常或双位置继电器本身故障引起触点粘死, 导致两组电压非正常并列时, 以上告警信号会保持直至故障排除。

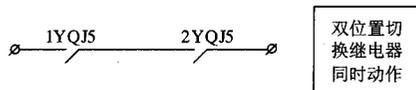


图 6 双位置“切换继电器同时动作”信号监视回路示意图

Fig.6 Sketch map of monitor circuit for two location "switch relays relay on at the same time" signal

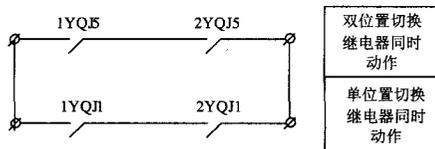


图 7 “切换继电器同时动作”信号监视回路改造示意图

Fig.7 Sketch map of the improved monitor circuit for "switch relays relay on at the same time" signal

4 总结

本文详细分析了一次 220 kV 变电站母差失灵保护误动导致全站失压的原因, 提出了相应的预防措施。“切换继电器同时动作”信号监视回路改造后,

该 220 kV 变电站安全稳定运行至今。

参考文献

- [1] 毛锦庆. 电力系统继电保护实用技术问答(第二版)[M]. 北京: 中国电力出版社, 1999.
MAO Jin-qing. Questions and Answers of Practical Technique for Power System Protection(Second Edition)[M]. Beijing: China Electric Power Press, 1999.
- [2] 贺家李, 宋从矩. 电力系统继电保护原理(第三版)[M]. 北京: 中国电力出版社, 1998.
HE Jia-li, SONG Cong-ju. Principle of Protection for Power System.(Third Edition)[M]. Beijing: China Electric Power Press, 1998.
- [3] 王维俭. 电气主设备继电保护原理与应用(第二版)[M]. 北京: 中国电力出版社, 2002.
WANG Wei-jian. Principle and Application of Protection for Electric Main Equipment(Second Edition)[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2002.

收稿日期: 2008-02-21; 修回日期: 2008-03-27

作者简介:

胡泰(1981-), 男, 硕士研究生, 工程师, 主要从事继电保护运行管理工作; E-mail: gd_hutai@163.com

林彩健(1972-), 男, 本科, 工程师, 主要从事变电站设计工作。

(上接第 103 页 continued from page 103)

- [7] 删狄正, 万达. 直流偏磁对变压器的影响[J]. 中国电力, 2004, 37(8).
KUAI Di-zheng, WAN Da. Impacts of Long-time DC Biasing Magnetism on Transformers[J]. Electric Power, 2004, 37(8).
- [8] 高压直流接地极技术导则(DL437-91)[S]. 中华人民共和国电力部, 1991.
Technology Guidance of HVDC Earth Pole[S]. Power Ministry of P.R of China, 1991
- [9] 朱艺颖, 蒋卫平, 等. 抑制变压器中性点直流电流的措施研究[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(13).
ZHU Yi-ying, JIANG Wei-ping. Studying on Measures of Restraining DC Current Through Transformer Neutrals[J]. Proceedings of the CSEE, 2005, 25(13).

(上接第 106 页 continued from page 106)

- [2] 刘小利, 姚宗溥, 祝石厚. 光纤电流差动保护在固原电网中的应用[J]. 继电器, 2007, 35(20): 68-71.
LIU Xiao-li, YAO Zong-fu, ZHU Shi-hou. Application of Line Fiber Optical Current Differential Protection to the Guyuan Power System[J]. Relay, 2007, 35(20): 68-71.
- [3] 仇群辉, 金宇航, 朱群. 光纤电流差动保护有关通道若干问题的探讨[J]. 继电器, 2007, 35(18): 57-60.
QIU Qun-hui, JIN Yu-hang, ZHU Qun. Some Discussion about the Optical Fiber Channel in Current Differential

- [10] 马志强. 消减变压器中性点直流电流抑制直流偏磁的电位补偿方法[J]. 广东电力, 2007, 20(5).

MA Zhi-qiang. A Potential Compensation Method to Eliminate Transformer Neutral Direct Current Produced by HVDC[J]. Guangdong Electric Power, 2007, 20(5).

收稿日期: 2008-02-15

作者简介:

王学峰(1979-), 男, 硕士, 主要从事变电运行与继电保护方面的工作; E-mail: wxfha@21cn.com

余小菲(1981-), 女, 学士, 主要从事高压试验方面的工作;

周俊宇(1979-), 男, 学士, 主要从事调度方面的工作。

Protection[J]. Relay, 2007, 35(18): 57-60.

收稿日期: 2008-01-14; 修回日期: 2008-03-10

作者简介:

曾锦松(1978-), 男, 工程师, 主要从事继电保护维护工作; E-mail: jxzsong@xmep.com.cn

郑南章(1977-), 男, 工程师, 主要从事继电保护维护工作。