

抑制高压直流换流站附近变压器中性线直流电流措施的研究

王 燕^{1,3}, 皇甫成², 阮江军³, 张 辉¹

(1. 西安供电局, 陕西 西安 71003; 2. 北京超高压公司, 北京 100045;
3. 武汉大学电气工程学院, 湖北 武汉 430072)

摘要: 为了减小由于直流电流经换流变压器中性线的侵入而对交流系统产生的不利影响, 笔者提出了一种抑制高压直流输电系统换流站附近交流变电站内变压器中性线直流电流的措施。对换流站附近变电站内变压器发生直流偏磁现象的原因、机理及其危害进行了分析研究。在分析了国内外学者研究现状的基础上, 提出了一种在换流变压器中性线串接小电容器并设置其旁路电路的新措施来抑制直流电流侵入的措施, 并从对系统继电保护方面的影响进行了分析。仿真试验分析结果证明了该装置的有效性, 表明了这是一种可靠有效地抑制变压器中性线直流电流的方法。

关键词: 变电站; 变压器; 直流偏磁; 抑制措施

中图分类号: TM41

文献标志码: A

文章编号: 1001-1609(2008)05-0413-04

Method for Blocking Direct Current in Substation Transformer Neutrals

WANG Yan^{1,3}, HUANGFU Cheng², RUAN Jiang-jun³, ZHANG Hui¹

(1. Xi'an Power Supply Bureau, Xi'an 710032, China;
2. Beijing EHV Power Transmission Company, Beijing 100045, China;
3. School of Electrical Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: The substation AC transformer near a high voltage DC converter station is often intruded by DC in its neutrals. This paper proposes a method to block this DC in order to reduce its negative effect. In this paper, the reasons why DC magnetic bias exists in AC power transformer are analyzed, and the DC magnetic bias principle and its hazard to transformer are also discussed. Furthermore, a new DC blocking method is developed, in which a main capacitor with a bypass circuit is connected in series with transformer neutral to block the fault current. The influence of the method on blocking DC in neutral and relay protection are analyzed. The simulation test verifies its validity for neutral grounded transformer.

Key words: Substation; power transformer; DC magnetic bias

0 引言

双极系统接线方式是传统直流输电工程通常所采用的接线方式, 但是在工程建设前期或故障情况下将利用接地极, 采用单极大地回线方式运行^[1]。采用单极大地回线方式运行时, 强大的直流电流经接地极注入大地, 在极址土壤中形成一个恒定的直流电流场。假如变电站位于接地极电流场范围内, 那么该变电站内的中性点接地变压器内将流过直流电流, 从而导致变压器产生直流偏磁现象。由此可能会引起变压器铁芯磁饱和以及导致与电磁感应式电压互感器相关的继电保护装置误动作等不利影响^[2,3]。

为了减小由于直流电流经换流变压器中性线的侵入而对交流系统产生的不利影响, 必须采取一定

的措施来抑制直流电流进入变压器绕组。近年来, 该问题得到了国内外研究人员的普遍关注, 并展开了相关的研究; 文[4]对在变压器中性点串联电容的方法进行了深入的分析, 并根据分析结果提出了有关设备的主要技术参数; 文[5]论证了在变压器中性点串接电阻器限制地中直流流入的可行性, 并从抑制中性点直流与过电压效果和继电保护角度分析及校核了中性点电阻器对系统造成的影响; 文[6]对变压器直流偏磁现象进行了理论分析研究, 提出了在变压器中性线串联电容器并设置其旁路电路等措施; 文[7]对变压器中性点隔离直流电流的装置进行了设计以及应用分析, 并考虑了该装置对交流系统的影响; 文[8]设计了在中性点安装电容器的方法隔离直流电流, 在交流侧故障情况下故障电流将与该电容器并联的间隙击穿而使电容器旁路。

收稿日期: 2007-03-05; 修回日期: 2007-12-28

作者简介: 王 燕(1981-), 女, 博士研究生, 研究方向为电压源换相直流输电技术以及电磁场数值计算。

通过以上对国内外的研究现状分析可以得知, 现有的一些抑制流入变压器中性点的方法有以下几种: ①串联电容法; ②串联电阻法; ③反向电流法^[9]等。这些方法都在一定程度上限制了通过变压器中性点进入绕组的直流电流, 取得了较好的效果。

笔者在简要分析了变压器直流偏磁现象的原理后提出了一种新的限制变压器中性点直流电流的方法。该方法的主要设计思路是在变压器中性线上串接小电容器来隔离直流电流, 同时设置其旁路电路的方法为不平衡电流提供通路。与此同时, 对该装置对交流系统的影响也做出了必要的分析。

1 直流电流对变压器的影响

如果交流变电站处于高压直流输电系统直流接地极电场范围, 那么站内的交流变压器则有可能由于直流电流经中性线的侵入而产生变压器直流偏磁现象。

1.1 直流偏磁现象

图 1 所示为三相组式交流变压器铁心磁滞回线^[10]仿真示意图, 其中图 1(a)为绕组中无直流分量时的 $B-H$ 曲线, 图 1(b)为绕组中存在 10 A 直流分量时的 $B-H$ 曲线。

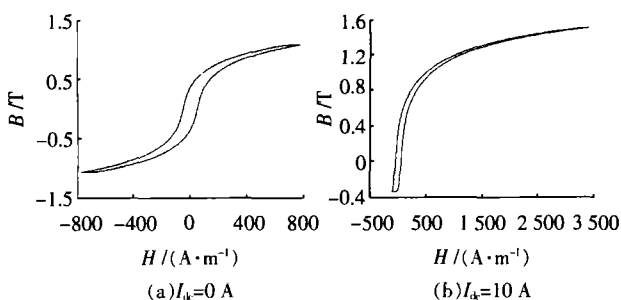


图 1 变压器铁心 $B-H$ 曲线图

从以上仿真结果可以得出, 当变压器绕组中有直流电流流过时, 由于直流电流的偏磁影响, 使得变压器工作点每隔半个周波就趋近于饱和区, 见图 1(b); 当直流电流较大时变压器工作在深度饱和区。

1.2 直流偏磁的危害

图 2 为变压器通过直流电流时 (不考虑铁磁滞), 产生直流偏磁变压器的励磁特性曲线及输出电流波形变化的情况。图 2(a)中虚线表示存在直流分量的磁通曲线, 实线表示不存在直流分量时的磁通曲线; 图 2(b)为变压器的典型励磁曲线; 图 2(c)实线表示无直流分量时的磁化电流曲线, 虚线表示有直流分量时畸变的励磁电流曲线。

当交流变压器出现直流偏磁现象时, 励磁电流每隔半个周波出现尖顶波, 并伴随着变压器铜耗增加以及噪音和振动增大等现象, 对交流系统的安全稳定运行造成了严重的不利影响; 同时如果铁心在

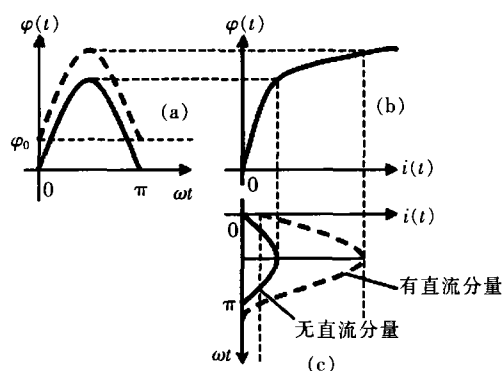


图 2 直流偏磁原理示意图

饱和期内的饱和度过深, 会增加漏磁通, 造成结构件涡流损耗增加, 出现局部过热现象, 所以非常有必要采取措施解决该问题。

2 隔离中性线直流电流装置设计

2.1 设计前提

变压器中性点串接电阻来限制直流电流的措施将会使变压器中性点不能有效接地, 且增大了其接地电阻, 对系统的继电保护装置会带来影响; 变压器中性点上装设电容的措施能将直流电流完全隔离, 但是由于交流系统发生接地短路故障时, 流经中性点的电流非常大, 所以需要容量非常大的电容器, 对实用性和经济性方面都不利; 变压器中性点注入反向直流电流限制变压器直流偏磁的措施通过测量中性点直流偏磁电流的大小和方向, 注入补偿电流, 该方法不能完全抵消入侵变压器中性点的直流电流^[9]。

通过对各种限制变压器中性线直流电流方法的分析研究可以得出, 限制直流电流经中性线进入换流变压器绕组的最有效、可靠的办法是在中性点引下线上串联电容器。但是串接的电容器不易过大, 主要原因是考虑到大容量电容器体积庞大且不利于在空间有限的变电站内安装, 同时也考虑到大容量电容器价格很高等因素。所以综合考虑了以上因素后, 笔者选择了容量相对较小的电容器串接在变压器中性线并采取辅助设备的措施。

同时需要考虑的问题是, 根据资料显示, 任何存在于交流系统相间的不平衡电流能够在某些变压器中性点产生 395 A 左右大小的持续不平衡电流^[11]。另外, 在换流站附近发生接地短路故障时, 流经换流变压器中性线的故障电流高达 6 300 A 并可持续 15 个周波, 且其初始峰值可以达到 18 000 A。

图 3 所示为当交流侧发生单相对地短路时, 换流变压器中性点串接小电容上的电压变化。仿真用换流变压器主参数为 840MV·A/500kV, 串接电容器为 3 200 μ F (系统频率为 50 Hz 时其容抗为 1 Ω)。仿真结果证明此时电容器上承受的最高电压峰值为 18 000 V, 如此高的过电压肯定会需要容量非常大

的电容器,且其占地面积也非常大。

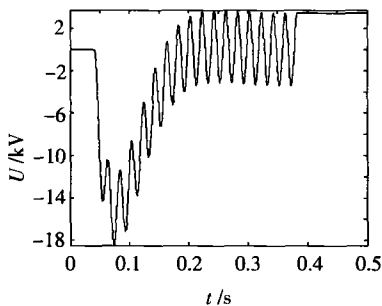


图3 电容器电压变化图

基于以上分析,笔者选择了容量相对较小的电容器串接在变压器中性线,同时设置辅助设备将发生故障时的零序电流通过该设备接入地。设计的旁路装置必须是一个可靠的被动装置,即只有当发生故障产生较大过电压时才导通,而在正常情况下则处于阻断状态,并且会对已有的控制保护装置产生不利影响。

2.2 总体设计方案

变压器中性线抑制直流电流装置的总体设计思想见图4。正常情况下,与主电容器 C_1 并联的旁路装置处于阻断状态, C_1 起到隔离直流电流的作用。当发生接地故障时,中性线上流过较大的不平衡电流,当主电容器 C_1 上的瞬时电压达到预先整定值时,电容器将非常迅速可靠地被短路,主晶闸管 T_1 导通,不平衡电流通过旁路装置接入地。

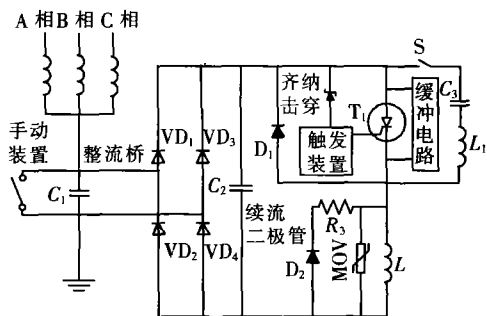


图4 中性点隔直装置设计示意图

其中,整流桥的作用是将不平衡零序交流电流转换成直流电流,且全部正向施加在反向齐纳击穿二极管上,当齐纳击穿二极管上承受的电压达到预先设定值时,该二极管被击穿,触发装置向主晶闸管 T_1 发送开通指令。主晶闸管 T_1 的触发电路见图5。

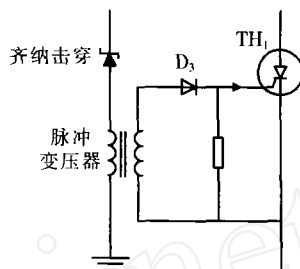


图5 晶闸管触发驱动电路

交流系统侧故障排除后,旁路装置必须重新恢复到闭锁状态,主电容器重新投入系统,隔离直流电流。由图4中所示 D_1 、 L_1 、 C_3 和 S 组成的直接耦合式强迫换流电路是用来实现将晶闸管 T_1 关断的。电抗器 L 的主要作用是限流和平波,续流二极管 D_2 是为了当主晶闸管 TH_1 关断后释放电抗器 L 上的能量。MOV 起到保护这个装置的作用。

2.3 仿真试验

为了验证设计方案的有效性,对一台 $840MV \cdot A/500kV$ 变压器中性线旁路装置(见图4)的工作特性进行仿真研究。系统在 $t=0.1s$ 时发生单相对地短路,短路故障持续15个周波后系统恢复正常运行。齐纳击穿二极管反向击穿电压整定值为 $1500V$,当主电容器 C_1 上的电压值达到 $1500V$ 时,主晶闸管 T_1 导通,旁路装置动作使电容器 C_1 被短路。

通过图6所示的仿真试验结果可以得到,当交流系统在 $t=0.1s$ 时发生单相对地短路后,电容器 C_1 上的电压迅速升高,见图6(f)。当电压达到 $1500V$ 后晶闸管 T_1 导通,主电容器被短路,故障电流通过旁路装置接入地。值得提出的是,电抗器 L 的作用是限制主晶闸管 T_1 开通时的过流现象,以及对整流桥直流侧的电压起到平波的作用。

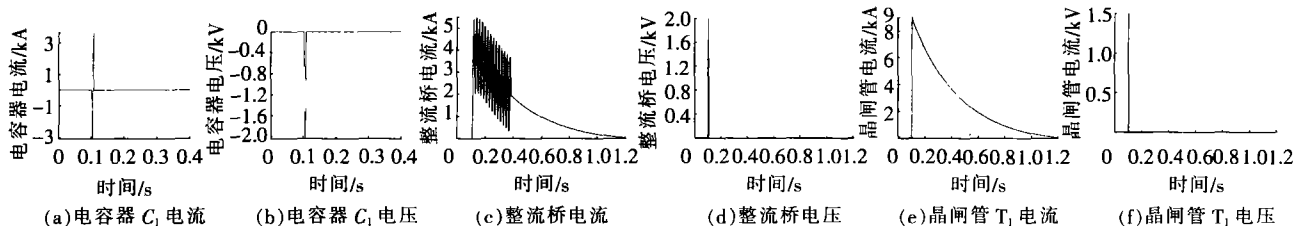


图6 隔直装置仿真试验结果

如图6(b)所示,齐纳击穿二极管导通后,由于电抗器 L 的作用使得在主电容器 C_1 的电压没有立即减小到接近零值,而是继续升至 $2kV$ 后才开始跌落。这在以后装置器件主参数选择的时候需要特别注意。同

样的效果在整流桥上也得到了体现,见图6(d)。

通过仿真试验结果,可以得出笔者提出的限制变压器中性线直流电流的理论设计方案可行,下一步可以进行实际装置的制造。

2.4 对系统继电保护方面的影响

系统的安全稳定运行依赖于继电保护系统的可靠保障。采用笔者所提的方法在变压器中性线串接小电容器后,改变了系统的部分参数,对继电保护装置的正常运行可能会产生不利影响,因此有必要对这方面进行分析研究。

笔者提出的在变压器中性点串接小电容器的容抗值为 1Ω , 根据计算分析表明^[4], 该容抗值的电容器对继电保护的影响很小, 不会影响系统已投运继电保护装置的正确动作。

3 结论

通过对抑制变压器中性线直流电流的措施进行研究, 得到以下结论:

(1) 对交流变电站内的变压器直流偏磁的机理进行了分析研究;

(2) 在比较分析了其他限制直流电流的基础上, 提出了切实可行的优化设计方案。仿真试验结果证明了该方案的有效性。

下一步的工作目标是要制造基于笔者提出的设计方案的实际装置。如果该装置投入系统挂网运行, 必将为交流系统的安全稳定运行提供有力保障。

参考文献:

[1] 张波, 赵杰, 曾嵘, 等. 直流大地运行时交流系统直流

电流分布的预测方法[J]. 中国电机工程学报, 2006, 26(13): 84-88.

[2] 刘曲, 李立程, 郑健超. 考虑海洋影响的直流输电单极大地运行时变压器中性点直流电流研究[J]. 电网技术, 2007, 31(2): 57-60.

[3] 马玉龙, 肖湘宁, 姜旭, 等. 用于抑制大型电力变压器直流偏磁的接地电阻优化配置[J]. 电网技术, 2006, 30(3): 62-65.

[4] 朱艺颖, 蒋卫平, 曾昭华, 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): 1-7.

[5] 赵杰, 黎小林, 吕金状, 等. 抑制变压器直流偏磁的串接电阻措施[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(12): 88-91.

[6] 皇甫成, 阮江军, 张宇, 等. 变压器直流偏磁的仿真研究及限制措施[J]. 高压技术, 2006, 32(9): 117-120.

[7] EITZMANN M A, WALLING R A, HUYNH H, et al. Alternatives for Blocking Direct Current in AC System Neutrals at the Radissoni/LG₂ Complex [J]. IEEE Trans, 1992, 7(3): 1328-1337.

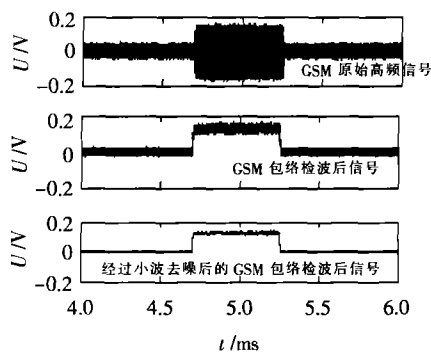
[8] KAPPENMAN J G, NORR S R, SWEEZY G A et al. GIC Mitigation: A Neutral Blocking/Bypass Device to Prevent the Flow of GIC in Power Systems [J]. IEEE Trans, 1991, 6(3): 1271-1281.

[9] 鞠狄正, 万达, 邹云. 直流输电地中电流对电网设备影响的分析与处理[J]. 电力系统自动化, 2005, 29(2): 81-82.

[10] 皇甫成, 魏远航, 钟连宏, 等. 基于对偶性原理的三相多芯柱变压器暂态模型[J]. 中国电机工程学报, 2007, 27(3): 83-88.

[11] BOLDUC L, GRANGER M, PARE G, et al. Development of a DC Current-blocking Device for Transformer Neutrals [J]. IEEE Trans, 2005, 21(1): 163-168.

(上接第 408 页)



(b) GSM 手机干扰信号的包络信号

图 6 包络信号

等。从图 6(a)和图 6(b)可以看出, 手机信号的包络检波信号特征与高压导体表面针尖缺陷模型局部放电信号的包络特征有明显的差别, 其分别的时域指纹特征参数也会有较大的不同; 因此比较容易通过基于 BP 神经网络的模式识别方法进行区分, 去除手机信号的干扰。

3 结论

(1) 研制了适用于 GIS 局部放电信号检测的超高频包络检波电路, 该检波电路性能可靠, 检波峰值误差小。

(2) 提出了基于包络检测的 GIS 局部放电检测方法, 该方法通过对放电信号的包络进行分析可以识别局部放电, 并有效区分 GSM 手机等干扰信号。

参考文献:

[1] SAKAKIBARA T, NAKAJIMA T, MARUYAMA S, et al. Development of GIS Fault Location System Using Pressure Wave Sensors [J]. IEEE Trans. on Power Delivery, 1999, 14(2): 371-377.

[2] 钱勇, 黄成军. GIS 中局部放电在线监测现状及发展[J]. 高压电器, 2004, 40(6): 453-456.

[3] Technical Data of HSMS-282x Datasheet[EB/OL]. www.agilent.com/semiconductors.

[4] 李信, 李成榕. 基于超高频信号检测 GIS 局放模式识别[J]. 高压电器, 2003, 29(11): 26-30.