

变压器直流偏磁抑制设备的应用分析

张 露¹, 阮 羚², 潘卓洪¹, 鲁海亮¹, 文习山¹

(1. 武汉大学 电气工程学院, 湖北 武汉 430072;

2. 湖北省电力公司 电力科学研究院, 湖北 武汉 430077)

摘要: 对一随机生成的虚拟电网的直流偏磁抑制措施进行理论分析和数值求解, 对中性点串联电阻/电容法、电流注入法的工作原理、实施方式、性能效果作分析。对比 3 种方法的实现方式和技术参数, 证明了电阻法的阻值对目标变电站中性点直流电流和电网中性点直流总量存在饱和效应; 全补偿的电流注入法和电容法的抑制效果没有明显区别; 实际情况下是电容法优于电流注入法和电阻法; 3 种方法均会导致交流电网局部直流偏磁危害加剧, 但电网直流电流总量下降, 总体上直流偏磁风险下降。为了更有效地开展直流偏磁治理工作, 提出了现代大型交流电网大范围采用中性点串联电阻/电容抑制直流偏磁的实施原则。

关键词: 直流输电; 变压器; 直流偏磁; 电流注入法; 中性点串联电阻/电容

中图分类号: TM 721.1

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-6047.2013.09.027

0 引言

直流输电因为输送距离长、输送容量大、损耗小、便于异步联网等优点在我国得到了越来越多的应用^[1-2]。直流输电在调试或故障情况下可能会有大量电流通过直流通地极流入大地, 可能导致交流电网内变压器直流偏磁危害, 给电网的安全运行造成一系列不良影响^[3-6]。

我国电网规模庞大, 结构复杂, 多个交直流输电网络共存。尤其是伴随我国高压直流输电工程项目的日益增多, 直流输电工程单极投运时间、故障/检修造成的单极大地回线运行总时间大幅增加, 变压器遭受直流偏磁的风险也大幅增加。

国内的学者对入地直流电流在交流电网中的分布问题已做了大量的研究^[7-15], 另外, 针对变压器直流偏磁问题, 国内外的学者提出了众多的抑制方法^[16-23]。

目前研究表明直流输电不可能完全避免直流偏磁危害, 采用合理有效的抑制措施是保证交流电网安全运行的关键。目前, 抑制交流电网直流电流分布的措施主要有变压器中性点串联电阻/电容法、直流电流注入法。从理论的角度来看, 变压器中性点串联电阻/电容法和电流注入法并不存在理论障碍, 但从应用效果来看, 抑制措施的选取、参数整定、效果评价均没有形成统一准则。研究如何限制变压器绕组上的直流电流, 对于确保电力系统及其他电力设备的安全运行将起到非常重要的作用, 经济效益和社会意义十分重大。

借助对抑制措施的理论分析和数值求解, 本文将揭示上述抑制方法的工作原理、实施方式、性能和

效果, 从而为更好地开展直流偏磁的防治工作提供参考。

1 虚拟电网直流电流分布算例

本文采用的仿真模型与算法可以参考文献[7-15]。由于目前的变压器中性点直流电流监测网络的覆盖范围有限, 故本文参考蒙特卡洛算法的思想, 随机生成一个虚拟的大型电网, 并在此基础上进行抑制措施模型的理论分析和数值求解。

本文生成的虚拟交流电网覆盖面积为 400 km×250 km。电网内共有 35 个 500 kV 变电站(使用自耦变压器)和 350 个 220 kV 变电站。所有变电站随机分布在电网覆盖区域, 所有 500 kV 和 220 kV 变压器中性点均直接接地运行, 电网的地理信息接线图如图 1 所示。

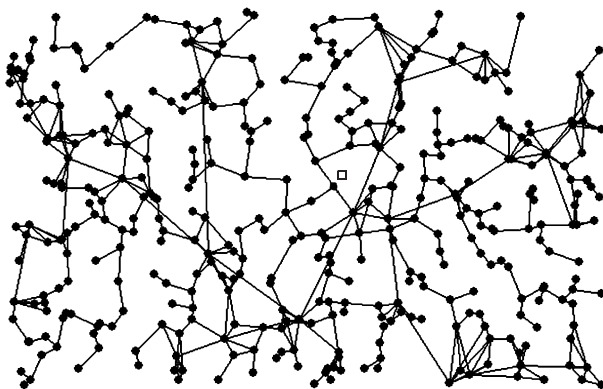


图 1 交流电网的地理信息接线图

Fig.1 Geographic information wiring diagram of AC grid

图 1 中, 圆点表示变电站, 直线表示线路, 小方框表示直流极(后同)。同一电压等级网络连接关系按某一特定原则确定, 如 500 kV 网络的地理信息接线图见图 2。线路长度取变电站间距离的 1.4 倍,

收稿日期: 2012-08-30; 修回日期: 2013-07-17

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973 计划)资助项目(2009CB724500)

Project supported by the Major State Basic Research Development Program of China(973 Program)(2009CB724500)

500 kV 自耦变压器公共绕组和串联绕组的阻值为 $0.05\ \Omega$, 220 kV 绕组阻值为 $0.1\ \Omega$ 。本文约定 500 kV 变电站接地电阻为 $0.378\ \Omega$, 220 kV 变电站接地电阻为 $0.522\ \Omega$ 。交流电网覆盖区域的等效土壤参数如表 1 所示。

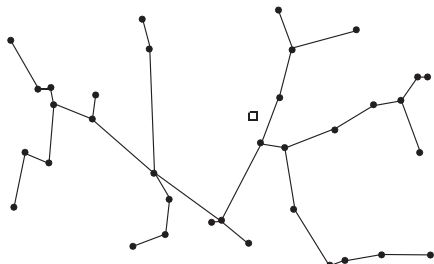


图 2 500 kV 网络的地理信息接线图
Fig.2 Geographic information wiring diagram of 500 kV network

表 1 水平 4 层土壤的参数

Tab.1 Parameters of 4-layer horizontal soil

层数	电阻率 / ($\Omega\cdot\text{m}$)	厚度 / m
第 1 层	100	50
第 2 层	400	1000
第 3 层	14000	50000
第 4 层	1	∞

2 变压器直流偏磁风险的评估量

变压器直流偏磁问题是非常复杂的非线性现象,目前难以形成统一有效的直流偏磁风险评估标准。变压器中性点直流电流是直流偏磁风险评估的重要依据,但中性点直流电流不能反映自耦变压器串联绕组上的直流电流。因此本文作如下约定:不考虑自耦变压器串联绕组直流电流的方向,取整个电网自耦变压器串联绕组直流电流总量 I_s , I_s 可细分为 500 kV 串联绕组直流总量 $I_{s,500}$ 和 220 kV 串联绕组直流总量 $I_{s,220}$ 。定义 500 kV 公共绕组入地方向(从中性点流入地网)直流总量 I_{N500+} 和出地方向(从中性点流出地网)直流总量 I_{N500-} ,类似有 220 kV 变电站 220 kV 绕组的 I_{N220+} 和 I_{N220-} 。定义 220 kV 变电站入地电流总量为 I_{220+} ,出地总量为 I_{220-} 。由于交流电网为直流无源网络,故绕组入地直流电流总量与出地直流电流总量应相等,任取其一作为电网中性点直流电流总量 I_z 。

本文算例除了对单一站点的抑制效果作分析外,也对交流电网的变压器绕组直流电流分布作分析,抑制措施能否总体上抑制交流电网的直流电流分布也有了量化的判定依据。

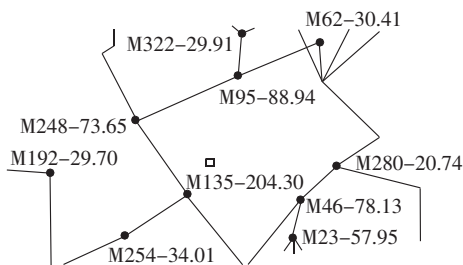
3 中性点串联电阻/电容方法

直流电流是从变压器接地的中性点进入交流电网的,故增大中性点支路直流电阻或者是隔断其直

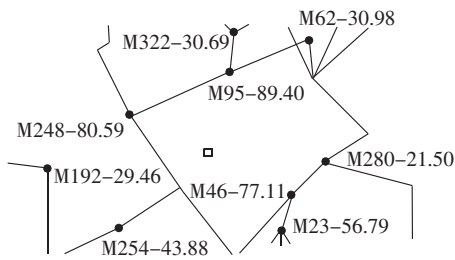
流通路是抑制直流电流进入电网的最有效手段。中性点串联电阻/电容方法的模型非常简单,中性点串联电阻法是在变压器中性点和变电站节点间接入电阻支路,电容法只是断开变压器中性点与变电站节点间的支路。

3.1 电容法的仿真分析

仿真时选取距离直流极最近的 220 kV 变电站 M135 作为电容法的实施对象。直流极附近 220 kV 变电站中性点直流电流分布的计算结果如图 3 所示,图中只显示中性点电流大于 9 A 的站点,“-”后的数字为相应站点中性点电流(A),后同。



(a) 使用电容法前



(b) 使用电容法后

图 3 局部 220 kV 变电站中性点电流分布

Fig.3 Neutral-point DC distribution of partial 220 kV substations

对比图 3(a)和(b)可以发现,变电站 M135 采用电容隔直后,与其有线路联系的变电站中性点直流电流均出现了增大的现象,不过其他变电站未受明显影响。这是由于变电站 M135 采取措施前对与其有线路连接的变电站输出电流,从而补偿了这些变电站的中性点直流电流。

电网总体直流分布参数如表 2 所示。

表 2 电网的总体直流电流分布

Tab.2 Total DC distribution of grid

工况	I_z/A	I_{s500}/A	I_{N500+}/A	I_{N500-}/A	I_{N220+}/A	I_{N220-}/A
A	1006.6	793.6	146.4	164.5	860.2	842.1
B	954.5	760.0	141.6	189.2	812.9	765.3

注:工况 A 为未采用电容的情况,工况 B 为采用电容后的情况。

图 3 和表 2 表明,虽然中性点串联电容可能会造成交流电网局部直流电流增加,但交流电网总体直流电流分布呈现下降趋势。

再观察 500 kV 变电站的直流电流分布,500 kV 变电站中性点的直流电流分布计算结果见图 4。

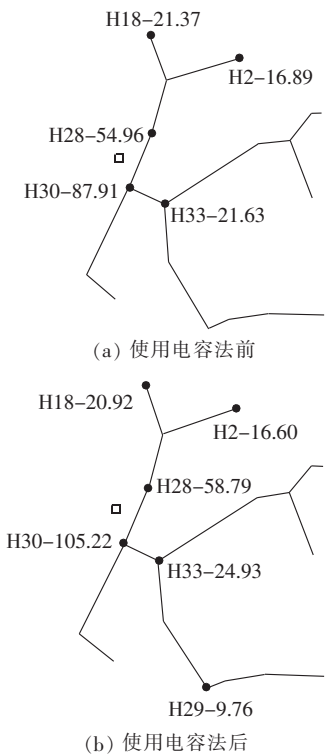


图 4 局部 500 kV 变电站中性点电流分布
Fig.4 Neutral-point DC distribution of partial 500 kV substations

从图 4 可以看出,采用电容法后,500 kV 中性点的直流电流分布有所增加。与变电站 H30 的中性点直流电流较未采取措施时大接近 20 A;相反地,变电站 H30 串联绕组的直流分布因 220 kV 变电站中性点串入隔直电容而下降超过 20 A,如图 5 所示。

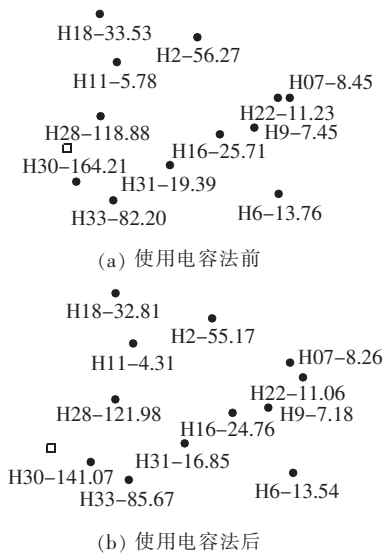


图 5 500 kV 变电站串联绕组电流分布
Fig.5 Current distribution of series winding in 500 kV substation

图 4 和图 5 表明,变电站 H30 串联绕组和公共绕组的直流电流变化相互抵消,本文近似认为 220 kV 变电站 M135 采用电容隔直基本不改变 500 kV 变压

器铁芯直流磁通。
3.2 电阻法的仿真分析
对本文随机算例中变电站 M135 使用电阻法,计算结果见表 3。

表 3 电网的直流电流分布
Tab.3 DC distribution of grid

R/Ω	I_s/A	I_z/A	R/Ω	I_s/A	I_z/A
0	-204.30	1006.6	3	-38.90	963.6
0.5	-117.90	983.8	5	-24.50	960.4
1.0	-82.90	974.7	10	-13.10	957.6
2.0	-52.00	967.1	10^4	-0.01	954.5

注: R 为中性点串入电阻阻值, I_s 为补偿站中性点直流总量, I_z 为交流电网中性点直流总量。

计算结果表明,采用中性点串联电阻抑制直流和电容法一样可能会造成交流电网局部(中性点和串联绕组)直流电流增大,但交流电网总体直流分布仍呈现下降趋势,但串入电阻阻值对目标变电站中性点直流电流和电网中性点直流总量存在饱和效应,即当电阻增大至某一程度时(一般是大于 5~10 倍接地电阻),直流电流不会明显下降,这一现象可以使用电路理论来解释:假设当外接负载远大于电源内阻时,回路电流近似与负载电阻成反比。电阻阻值取无穷大时,电网直流电流分布和电容法相同,这与电路理论分析结论一致,即电容法相当于电阻法阻值取无穷大的情况。

3.3 中性点串联电阻/电容方法的实施方式

经过大量算例和实践检验,大规模交流电网大范围采用抑制直流电流措施的原则如下:

- a. 中性点串联电阻/电容方法应从中性点直流电流最严重和距离直流极最近的站点入手;
- b. 若仿真计算与实测结果有出入,仍然按照原则 a 开展抑制工作;
- c. 交流电网抑制直流后,若仍有站点超标,则沿用原则 a 继续开展抑制工作,直到所有站点达标为止;
- d. 在抑制工作已开展但电网参数改变的情况下,抑制直流分布工作仍应按原则 a 进行。

4 电流注入法

电阻/电容法是无源方法,而电流注入法属于有源方法,其本质是通过变压器中性点注入电流补偿变电站线路间电位差,它最突出的优点是不改变中性点状态。过去对电流注入法的研究不多,这妨碍了电流注入法的应用。南方某 500 kV 变电站曾由于控制原则选择不当和参数调整时裕度不足,发生了电流发生器烧毁事故,最后不得不取消所有 500 kV 变电站的电流注入法抑制方案。

下面对本文的随机算例中的 220 kV 变电站

M135 实施电流注入法。电流注入法的补偿接地极位于变电站正东方 1 km 处,调整注入电流,观察补偿站中性点直流电流变化,计算结果见表 4。

表 4 电网的直流电流分布
Tab.4 DC distribution of grid

I_c/A	I_n/A	I_z/A	I_c/A	I_n/A	I_z/A
-200.0	-107.6	981.4	-422.4	0	955.0
-300.0	-59.2	969.3	-500.0	37.5	984.7
-400.0	-10.8	957.5	-600.0	85.9	1023.0

注: I_c 为中性点注入电流; I_n 为补偿站中性点直流总量, $I_n=0$ 时称为全补偿; I_z 为交流电网中性点直流总量。

表 4、图 6 和图 7 表明,补偿站中性点直流电流总量与注入电流呈现线性变化;交流电网中性点直流电流总量与注入电流呈现两段式线性变化关系(先减再增),拐点(最小值)就是补偿站中性点直流电流总量过零点对应的注入电流。

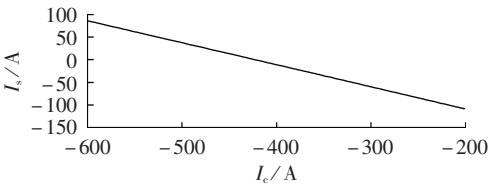


图 6 补偿站中性点直流总量随注入电流的变化
Fig.6 Total neutral-point DC of compensation substation vs. injected current

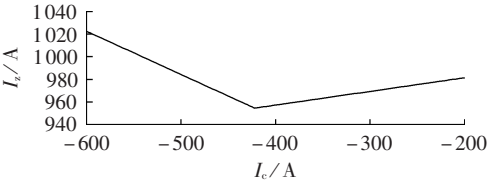


图 7 交流电网中性点直流总量随注入电流的变化
Fig.7 Total neutral-point DC of AC grid vs. injected current

图 8 为电流注入法全补偿情况下,500 kV 变电站中性点电流分布(仅显示中性点电流大于 9 A 的站点),其和图 4(b)非常相近,事实上,从整个电网的直流电流分布的角度来看,全补偿的电流注入法和电容法没有太多区别,工程上两者抑制效果是一样的。

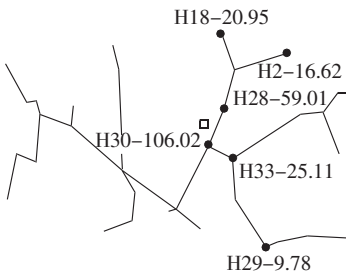


图 8 500 kV 变电站中性点电流分布
Fig.8 Neutral-point DC distribution of 500 kV substations

5 电阻法、电容法和电流注入法的对比

3 种方法对本文虚拟电网直流电流的抑制效果见表 5。综合前文的算例,表 5 数据表明,中性点串联电阻/电容法和电流注入法均可使交流电网直流电流总量下降,原因是中性点串联电阻/电容法相当于在整体上增大了交流电网地上直流网络的等效电阻,起到抑制直流电流从接地网进入交流电网的作用;电流注入法相当于从整体上降低了地下网络的电源幅值,从而使交流电网的直流电流总量下降。

表 5 3 种方法抑制效果的对比
Tab.5 Comparison of restraint effect among three methods

方法	I_z/A	I_{500}/A	I_{N500+}/A	I_{N500-}/A	I_{N220+}/A	I_{N220-}/A
无措施	1006.6	793.7	146.4	164.5	860.2	842.1
方法 1	957.6	762.2	141.9	187.6	815.6	769.9
方法 2	954.5	760.0	141.6	189.2	812.9	765.3
方法 3	955.0	761.2	141.8	190.4	813.2	764.6

注:方法 1 为 10 Ω 电阻法;方法 2 为电容法;方法 3 为全补偿电流法。

3 种方法的性能对比如下:

a. 电阻/电容法属于无源方法,通过增大中性点支路直流电阻或者是隔断其直流通路从而抑制直流电流进入电网;电流注入法属于有源方法,其本质是通过变压器中性点注入电流补偿线路两端变电站中性点间压降。

b. 3 种方法均会造成交流电网局部(中性点和串联绕组)直流电流增大,但交流电网总体直流分布仍呈现下降趋势;电阻法对目标变电站中性点直流电流和电网中性点直流总量存在饱和效应,阻值取无穷大时,电网电流分布和电容法相同;补偿站中性点直流电流总量与注入电流呈现线性变化,交流电网中性点直流电流总量与注入电流呈现两段式线性变化关系,拐点就是补偿站中性点直流电流总量过零点对应的注入电流;从电网的直流电流分布的角度来看,全补偿的电流注入法和电容法没有明显区别,工程上两者抑制效果是一样的。

c. 电流注入法在实际运行时采用欠补偿的方式运行(即注入电流增加至中性点直流电流小于某一限值就不再增加),故在实际情况下是电容法优于电流注入法。

d. 3 种方法中,电阻/电容法性能较优且可靠性和经济性较高,电流注入法造价昂贵且可靠不高,3 种方法均不能完全抑制自耦变压器串联绕组的直流电流。

6 结论

a. 使用电流注入法时,补偿站中性点直流电流总量与注入电流呈现线性变化,交流电网中性点直流电流总量与注入电流呈现两段式线性变化关系,

电网最小电流总量对应的注入电流就是补偿站中性点直流电流过零点对应的注入电流。

b. 分析了3种方法的实现方式和技术参数,证明了采用抑制措施后,交流电网局部直流偏磁危害加剧,但电网直流电流总量下降,总体上直流偏磁风险下降。

c. 为了更有效地开展直流偏磁治理工作,提出了大规模交流电网大范围采用电阻法/电容法抑制直流偏磁的原则。

d. 对比分析了3种方法的性能,电阻法对目标变电站中性点直流电流和电网中性点直流总量存在饱和效应;全补偿的电流注入法和电容法的抑制效果没有明显区别;实际情况是电容法优于电流注入法和电阻法。

参考文献:

- [1] 浙江大学发电教研组直流输电教研组. 直流输电[M]. 北京:水利电力出版社,1985:155-163.
- [2] 赵晓君. 高压直流输电工程技术[M]. 北京:中国电力出版社,2004:27-56.
- [3] 蒯狄正,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.
KUAI Dizheng,WAN Da,ZOU Yun. Analysis and handling of the impact of geomagnetically induced current upon electric network equipment in DC transmission[J]. Automation of Electric Power Systems,2005,29(2):81-82.
- [4] 王明新,张强. 直流输电系统接地极电流对交流电网的影响分析[J]. 电网技术,2005,29(3):9-14.
WANG Mingxin,ZHANG Qiang. Analysis on influence of ground electrode current in HVDC on AC power network[J]. Power System Technology,2005,29(3):9-14.
- [5] 曹林,曾嵘,赵杰,等. 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):346-348.
CAO Lin,ZENG Rong,ZHAO Jie,et al. Study on the influence of HVDC system grounding electrode current on power transformer operation[J]. High Voltage Apparatus,2006,42(5):346-348.
- [6] 鲁海亮,文习山,蓝磊,等. 变压器直流偏磁对无功补偿电容器的影响[J]. 高电压技术,2010,36(5):1124-1130.
LU Hailiang,WEN Xishan,LAN Lei,et al. Impact of transformer DC bias on reactive compensation capacitor[J]. High Voltage Engineering,2010,36(5):1124-1130.
- [7] 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.
ZHANG Bo,ZHAO Jie,ZENG Rong,et al. Estimation of DC current distribution in AC power system caused by HVDC transmission system in ground return status[J]. Proceedings of the CSEE,2006,26(13):84-88.
- [8] 何俊佳,叶会生,林福昌,等. 土壤结构对流入变压器中性点直流电流的影响[J]. 中国电机工程学报,2007,27(36):14-17.
HE Junjia,YE Huisheng,LIN Fuchang,et al. Influence of soil structure on direct current flowing into neutral point of power transformer[J]. Proceedings of the CSEE,2007,27(36):14-17.
- [9] 刘曲,李立涅,郑健超. 复合土壤模型下 HVDC 系统单极大地运行时的电流分布[J]. 中国电机工程学报,2007,27(36):8-13.
LIU Qu,LI Licheng,ZHENG Jianchao. DC currents distribution in HVDC systems of monopolar operation with ground return in complex soil structure[J]. Proceedings of the CSEE,2007,27(36):8-13.
- [10] BO Zhang,JIE Zhao,RONG Zeng,et al. Numerical analysis of DC current distribution in AC power system near HVDC system[J]. IEEE Transactions on Power Delivery,2008,23(2):960-965.
- [11] 曾嵘,张波,赵杰,等. HVDC 地中直流对交流系统的影响及规律分析[J]. 高电压技术,2009,35(3):678-682.
ZENG Rong,ZHANG Bo,ZHAO Jie,et al. Influence and characteristics analysis of effect of the HVDC ground return current on AC system[J]. High Voltage Engineering,2009,35(3):678-682.
- [12] 郝治国,余洋,张保会,等. 高压直流输电单极大地方式运行时地表电位分布规律[J]. 电力自动化设备,2009,29(6):10-14.
HAO Zhiguo,YU Yang,ZHANG Baohui,et al. Earth surface potential distribution of HVDC operation under monopole ground return mode[J]. Electric Power Automation Equipment,2009,29(6):10-14.
- [13] 任志超,吴广宁,甄威,等. 直流入地电流经交流电网分流计算模型的简化及算法分析[J]. 高电压技术,2011,37(4):1008-1014.
REN Zhichao,WU Guangning,ZHEN Wei,et al. Model simplification and calculation method analysis about the shunt of DC grounding current via AC grid[J]. High Voltage Engineering,2011,37(4):1008-1014.
- [14] 潘卓洪,张露,谭波,等. 高压直流输电入地电流在交流电网分布的仿真分析[J]. 电力系统自动化,2011,35(21):110-115.
PAN Zhuohong,ZHANG Lu,TAN Bo,et al. Simulation and analysis of HVDC earth-return current's distribution in AC power grid[J]. Automation of Electric Power Systems,2011,35(21):110-115.
- [15] 潘卓洪,张露,林进弟,等. 多层水平土壤对交流电网直流分布的影响[J]. 高电压技术,2012,38(4):855-862.
PAN Zhuohong,ZHANG Lu,LIN Jindi,et al. Influence of horizontal multi-layer soil on DC current distribution in AC power grid[J]. High Voltage Engineering,2012,38(4):855-862.
- [16] 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 Transactions on Power Delivery,1991,6(3):1271-1281.
- [17] BOLDUC L,GRANGER M,PARE G,et al. Development of a DC current-blocking device for transformer neutrals[J]. IEEE Transactions on Power Delivery,2005,21(1):163-168.
- [18] 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.
ZHU Yiyang,JIANG Weiping,ZENG Zhaohua,et al. Studying on measures of restraining DC current through transformer neutrals[J]. Proceedings of the CSEE,2005,25(13):1-7.
- [19] 赵杰,黎小林,吕金壮,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.
ZHAO Jie,LI Xiaolin,LÜ Jinzhuang,et al. Applying series resistor to restrain power transformer DC biasing[J]. Automation of Electric Power Systems,2006,30(12):88-91.

[20] 杜忠东,董晓辉,王建武,等. 直流电位补偿法抑制变压器直流偏磁的研究[J]. 高电压技术,2006,32(8):69-72.
DU Zhongdong,DONG Xiaohui,WANG Jianwu,et al. Test and analysis on restraining transformer DC bias by changing electric potential of grounding grid[J]. High Voltage Engineering, 2006,32(8):69-72.

[21] 曾嵘,赵杰,尚春,等. HVDC 地中直流对交流系统影响的防范措施[J]. 高电压技术,2009,35(4):919-925.
ZENG Rong,ZHAO Jie,SHANG Chun,et al. Measures to restrain the neutral current of the AC transformer in HVDC ground return system[J]. High Voltage Engineering,2009,35(4): 919-925.

[22] 潘卓洪,梅桂华,张露,等. 抑制变压器直流偏磁的电流注入法[J]. 电力系统自动化,2009,33(20):88-91.
PAN Zhuohong,MEI Guihua,ZHANG Lu,et al. A current injection method to restrain transformer DC bias[J]. Automation of Electric Power Systems,2009,33(20):88-91.

[23] 梅桂华,梁文进,刘艳村,等. 变压器直流偏磁电流阻容抑制装置的开发应用[J]. 高电压技术,2009,35(10):2581-2585.

MEI Guihua,LIANG Wenjin,LIU Yancun,et al. Development of the DC current blocking device in capacitor-resistor for transformer[J]. High Voltage Engineering,2009,35(10):2581-2585.

作者简介:

张 露(1986-),女,湖北潜江人,博士研究生,从事电力系统高压绝缘技术方面的研究工作;

阮 玲(1961-),男,湖北武汉人,高级工程师,长期从事电力系统高压绝缘技术方面的研究工作;

潘卓洪(1982-),男,广东佛山人,博士,从事电力系统接地和直流输电技术方面的研究工作(E-mail:leekey2@163.com);

鲁海亮(1982-),男,湖北鄂州人,博士,从事电力系统高压绝缘技术方面的研究工作;

文习山(1962-),男,湖北仙桃人,教授,博士研究生导师,博士,研究方向为防雷接地、过电压保护、电缆绝缘监测与电磁场数值计算。

Evaluation of DC bias restraint equipment application

ZHANG Lu¹,RUAN Ling²,PAN Zhuohong¹,LU Hailiang¹,WEN Xishan¹

(1. School of Electrical Engineering,Wuhan University,Wuhan 430072,China;

2. Electric Power Research Institute of Hubei Power Grid Corporation,Wuhan 430077,China)

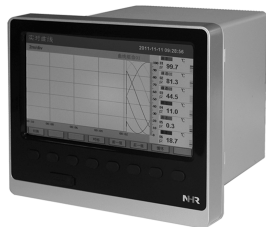
Abstract: Based on the theoretical analysis and numerical computation of DC bias restraint measurement for a randomly generated virtual grid,the working principle,implementation and performance of three DC bias restraint methods,i.e. neutral-point series resistor/capacitor and current injection,are analyzed. Their implementation and technical parameters are compared,which shows that,the resistance of neutral-point series resistor method has saturation effect to the neutral-point DC of substation or grid;the performance of fully compensated current injection method is similar to that of neutral-point series capacitor method;in practice,the performance of neutral-point series capacitor method is superior to neutral-point series resistor method and current injection method;all of three method lead to possible higher local DC bias but lower total DC bias in AC grid. It is proposed to widely apply the neutral-point series resistor/capacitor method in the DC bias restraint of large-scale AC grid.

Key words: DC power transmission; electric transformers; DC bias; current injection method; neutral-point series resistor/capacitor

NHR 彩色无纸记录仪介绍

主要产品:NHR-8100 系列 12 路彩色无纸记录仪,NHR-8300 系列 8 路彩色定点/程序段调节无纸记录仪,NHR-8600 系列 8 路彩色流量无纸记录仪,NHR-8700 系列 48 路彩色数据采集无纸记录仪。

产品特点:采用新型大规模集成电路,国际名厂元器件和新型开关电源设计,对输入、输出、电源、信号采取可靠保护和强抗干扰设计;画面响应时间小于 0.3 s,瞬时流量和累积流量计算准确度 0.07‰,总体准确度 ±0.2% F.S.;大容量 FLASH 闪存芯片存贮历史数据,丰富的棒图显示,支持汉字拼音输入;支持 USB2.0 格式接口转存历史记录,支持 FAT/FAT32 文件类型,Windows 可识别历史记录文件;无需专用驱动,支持 iFIX 等流行专业组态软件;支持标准 MODBUS RTU 协议 RS-485/RS-232 通信方式,支持 TCP/IP 协议的以太网输出,可外接微型打印机;软件密码锁保证用户组态安全,蒸汽计量采用对饱和到过热的自动判断,天然气的测量精度达到贸易结算的 A 级标准等。



(福建顺昌虹润精密仪器有限公司)