

500 kV 主变压器中性点经小电抗接地 限制单相短路电流效果分析

李 燕

(国网四川省电力公司电力科学研究院 四川 成都 610072)

摘 要: 针对成都电网 500 kV 变电站 200 kV 母线单相短路电流超过三相短路电流、甚至超过开关遮断水平的问题, 分析其产生的原因, 提出了主变压器中性点经小电抗接地抑制单相短路电流的措施。根据四川规划电网数据, 运用电力系统分析综合程序软件(PSASP), 分析了 500 kV 自耦变压器中性点经小电抗接地方式对 220 kV 侧单相短路电流的限制效果, 以及中性点经小电抗接地对中性点绝缘水平的影响, 并对小电抗取值提出指导意见。

关键词: 单相短路电流; 中性点; 小电抗; 自耦变压器

Abstract: Aiming at the issue that single - phase short - circuit current at the 220 kV bus of Chengdu 500 kV substation exceeds the three - phase short - circuit current or even exceeds the breaking capacity of breaker, the reasons are analyzed and the measures of neutral grounding via small reactance for main transformer is put forward to reduce the single - phase short - circuit current. According to the planning data of Sichuan power grid, the limiting effects of neutral grounding via small reactance for 500 kV autotransformer on 220 kV single - phase short - circuit current are analyzed using the power system analysis software package (PSASP). The influence of neutral grounding via small reactance on insulation level of neutral point is also analyzed, and a directive idea about value selection of small reactor is proposed.

Key words: single - phase short - circuit current; neutral point; small reactance; autotransformer

中图分类号: TM732 文献标志码: A 文章编号: 1003 - 6954(2015) 05 - 0064 - 03

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2015.05.014

0 引 言

随着电网规模的不断扩大和电力负荷的增长, 电网的短路电流水平日益提高, 成为了制约电网发展的一个重要因素^[1-2]。当前 500 kV 及以上的电力系统中考虑经济性广泛应用自耦变压器, 由于中性点直接接地, 造成系统零序阻抗下降, 500 kV 变电站 220 kV 母线的单相短路电流急剧增大, 甚至超过三相短路电流, 严重时还会超出中压侧断路器 50 kA 的额定开断电流水平^[3-6]。

合理规划电网结构是控制短路电流的根本措施。对现有电网, 常采用两种方法解决单相短路电流超标的问题。一是将变压器的 220 kV 侧分列运行, 以减少 220 kV 侧的短路电流, 但会降低供电可靠性; 二是 500 kV 自耦变压器中性点经小电抗接地, 该方法投资小且能有效地降低单相短路电流^[7-9]。

分析了单相短路电流急剧增大甚至超过三相短

路电流的原因, 通过选择在成都电网部分 500 kV 变电站的主变压器中性点加装小电抗进行仿真试验, 根据仿真数据分析了中性点加装小电抗对限制单相短路电流的效果, 提出了小电抗参数选取的指导性建议以及由中性点经小电抗接地产生的中性点绝缘匹配问题。

1 单相短路电流大于三相的原因分析

电力系统中一般认为系统正序阻抗等于负序阻抗, 单相接地短路电流可以表示成

$$I_{k1} = \frac{3U_k}{X_{\Sigma 1} + X_{\Sigma 2} + X_{\Sigma 0}} = \frac{3U_k}{2X_{\Sigma 1} + X_{\Sigma 0}} \quad (1)$$

三相短路电流为

$$I_{k3} = \frac{U_k}{X_{\Sigma 1}} \quad (2)$$

式中: U_k 为故障前电压; $X_{\Sigma 1}$ 、 $X_{\Sigma 1}$ 、 $X_{\Sigma 0}$ 分别系统正、负、零序等值阻抗。

由式(1)、式(2)可知, 当 $X_{\Sigma 0} < X_{\Sigma 1}$ 时, 单相短

路电流将大于三相短路电流。

目前,成都电网 500 kV 变压器全是自耦变压器,220 kV 有极少部分是自耦变压器,且 500 kV 和 220 kV 降压变压器都是三绕组变压器,第 3 绕组是三角形接法。针对四川 2016 年规划电网分析可知,四川电网有部分 220 kV 母线的单相短路电流大于三相,甚至超过了断路器的额定开断水平。500 kV 站的 220 kV 侧短路电流超标更加严重。目前,普遍观点认为是自耦变压器的应用导致大量接地点增加,减小了零序等值阻抗;经深入分析发现:另一层面的原因是变压器三角形接法绕组的正序和零序等值电路不同,正序下是开路,零序下是短路,因此,零序等值网络比正序有更多的接地并联支路(若三角形侧空载)或阻抗更小的接地并联支路(若三角形侧接无功补偿装置),从而零序等值阻抗比正序更小。

下面理论分析三绕组变压器中压侧正序和零序等值阻抗。图 1 给出了三绕组变压器正序和零序等值网络。图中 X_{H1} 、 X_{M1} 、 X_{L1} 、 X_{H0} 、 X_{M0} 和 X_{L0} 分别为变压器高、中、低压侧的正序和零序等值阻抗, X_{S1} 、 X_{S0} 和分别为 500 kV 系统侧的正序和零序等值阻抗, X_{F1} 、 X_{F0} 和分别为 220 kV 系统侧的正序和零序等值阻抗。根据图 1 可知变压器 220 kV 侧的正序等值阻抗 X_{K1} 和零序等值阻抗 X_{K0} 分别表示为

$$X_{K1} = X_{F1} // (X_{H1} + X_{M1} + X_{S1}) \quad (3)$$

$$X_{K0} = X_{F0} // ((X_{H0} + X_{S0}) // (X_{L0} + X_{M0})) \quad (4)$$

对于负荷中心地区接线方式为 YN、yn、d 的变压器,零序阻抗与正序阻抗相当,且由于 500 kV 站点的变压器高中压侧均采用星形接线方式且中性点接地,所以 500 kV 电网和 220 kV 电网的零序网络结构和正序网络结构基本相同^[10],而一般情况下零序线路参数是正序参数的 3~5 倍,因此通常有 $X_{S0} > X_{S1}$, $X_{F0} > X_{F1}$ 。式(3)、式(4)比较可知,由于 X_{L0} 并联支路的存在,使得变压器中压侧的零序等值阻抗有可能小于正序等值阻抗。从而主变压器中压侧单相短路电流大于三相。

以 2016 年成都电网的龙王站 220 kV 母线短路电流为例,基于 2016 年成都电网将解环成四片区运行,下面计算验证 500 kV 站 220 kV 侧母线单相短路电流大于三相短路电流的原因。计算得正常网架结构下龙王站 220 kV 母线的三相短路电流为 48.44 kA,单相短路电流为 56.13 kA,单相短路电流比

三相大 7.69 kA。另外龙王 500 kV 母线三相和单相短路电流分别为 48.08 kA 和 42.86 kA。

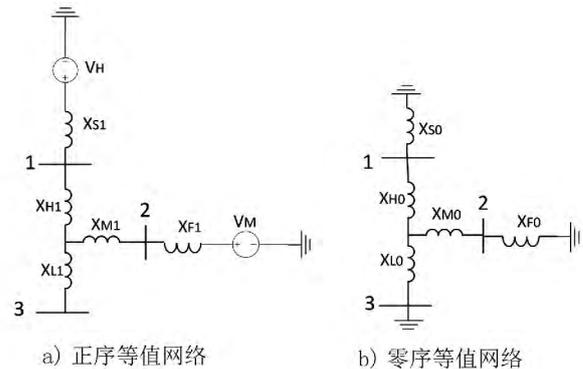


图 1 三绕组变压器正序和零序等值电路图

不同工况下龙王 220 kV 母线的短路电流情况如表 1 所示。

表 1 主变压器第 3 绕组对单相短路电流影响分析

方式	工况	三相短路 电流/kA	单相短路 电流/kA	差值 /kA
1	龙王 1 号主变压器空载	16.51	19.04	2.53
2	龙王 1 号主变压器空载, 且第 3 绕组断开	16.51	16.32	-0.19
3	龙王 1 号主变压器经一 回线路供团结站(空载)	16.50	19.34	2.84
4	龙王 1 号主变压器经 一回线路供团结站 (空载),且龙王和团结 主变压器第 3 绕组断开	16.50	16.30	-0.2

可知,当龙王 1 号主变压器空载时,龙王 220 kV 母线单相短路电流比三相大 2.53 kA,而当龙王 1 号主变压器第 3 绕组断开时,单相短路电流比三相小 0.19 kA,说明不考虑 500 kV 主变压器第 3 绕组时,220 kV 侧系统零序等值阻抗略大于正序等值阻抗,而当计及第 3 绕组时,220 kV 侧系统零序等值阻抗将小于正序等值阻抗。进一步,若龙王 1 号主变压器空载,并经一回线路供团结站,团结站主变压器也空载,此时龙王 220 kV 母线单相短路电流比三相大 2.84 kA,而当龙王 1 号主变压器和团结站主变压器的第 3 绕组都断开时,单相短路电流比三相小 0.2 kA,这说明 220kV 主变压器的第 3 绕组也降低了系统零序阻抗。

所以,受自耦变压器的广泛应用和三绕组变压器

三角形接法侧绕组的正序与零序等值电路图不同两个原因,出现四川电网部分500 kV站220 kV母线单相短路电流大于三相的现象,而后者原因不仅体现在500 kV主变压器的三角形绕组,其他220 kV主变压器的三角形绕组也有相似的增大单相短路电流的作用。

2 中性点串接小电抗对短路电流的限制效果

下面通过计算说明不同阻抗大小的小电抗对降低单相短路电流的效果。

以成都电网解环方案1中龙王、新都片区为例,分析结论如表2和图2所示。

表2 主变压器中性点加小电抗对单相短路电流的限制效果

龙王和新都各主变压器所加小电抗值/ Ω	龙王220单相短路电流/kA	新都220单相短路电流/kA
0	53.93	48.80
2	51.32	45.55
4	49.61	43.39
6	48.39	41.85
8	47.48	40.70
10	46.77	39.79
12	46.2	39.07
14	45.73	38.47
16	45.33	37.98
18	45.00	37.55
20	44.71	37.19

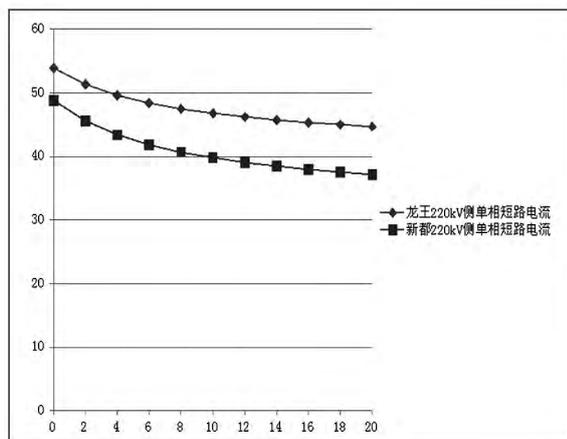


图2 主变压器中性点加小电抗对单相短路电流的限制效果
可知,随着变压器中性点小电抗值的逐步增大,

其降低单相短路电流的效果趋于弱化,即存在“饱和”效应,同时,变压器中性点在不对称故障时承受的过电压值越大。因此,综合考虑降低短路电流效果和中性点耐压水平,小电抗取值适宜在10~15 Ω 之间,这里取值14 Ω 。

下面分析500 kV主变压器中性点加装小电抗后对中性点绝缘的影响。

经收集相关资料,目前成都环网500 kV主变压器的中性点绝缘水平LI/AC 325/140 kV,即工频过电压耐受水平为140 kV。以2016年龙王和新都片区为例,分析龙王和新都两站的每台主变压器中性点加装14 Ω 小电抗后的过电压和电流情况,仿真结果如表3所示。

表3 龙王220 kV母线发生单相和两相故障时中性点电压和电流

故障类型	工况	中性点电压有效值/kV	中性点电流有效值/kA
龙王220 kV 母线单相故障	加电抗前	0.0	10.0
	加电抗后	43.8	3.2
龙王220 kV 母线两相故障	加电抗前	0.0	10.9
	加电抗后	42.4	2.9

可知,龙王和新都站主变压器都加装14 Ω 的小电抗后,电网发生不对称故障时,龙王主变压器中性点的过电压最大值为43.8 kV,低于中性点绝缘水平的过电压值,而且安全裕度很大。

3 结 论

1) 分析了220 kV单相短路电流急剧增大甚至超过三相短路电流的原因。一是由于自耦变压器的广泛应用导致接地点大量增多;另一个原因是变压器三角形接法的第三绕组正序和零序等值电路不同,导致系统零序等值阻抗可能小于正序等值阻抗。

2) 500 kV自耦变压器中性点接小电抗可以有效降低220 kV侧母线单相短路电流。计算可知,成都地区主变压器中性点经小电抗接地可以很好的解决短路电流超标的问题,建议作为主要措施应用。但是分析发现随着小电抗阻值的增加,其对220 kV侧母线单相短路电流的限制效果逐渐弱化,因此小电抗取值要综合考虑降低短路电流效果和中性点耐压水平。成都地区龙王和新都选定小电抗阻抗值

(下转第85页)

浅析[J]. 华东电力 2009 37(10): 1672 - 1678.

[3] 寇凌峰,刘自发,周欢. 区域电动汽车充电站规划的模型与算法[J]. 现代电力 2010 27(4): 44 - 48.

[4] 北京市质量技术监督局. DB11 /Z 728 - 2010 电动汽车电能供给与保障技术规范: 充电站[S]. 北京: 国家标准出版社 2010.

[5] 冯超,周步祥,林楠,等. Delphi 和 GAHP 集成的综合评价方法在电动汽车充电站选址最优决策中的应用[J]. 电力自动化设备 2012 32(9): 25 - 29.

[6] 应夏晖,李锦霞,陈锦生. 电动汽车充电站的选址优化研究[J]. 交通科技与经济 2014 16(1): 43 - 46.

[7] 周洪超,李海峰. 基于博弈论的电动汽车充电站选址优化模型研究[J]. 科技和产业 2011 11(2): 51 - 54.

[8] 康继光,卫振林,程丹明,等. 电动汽车充电模式与充电站建设研究[J]. 电力需求侧管理 2009 11(5): 64 - 66.

[9] NANSIAK, TOHNOB, KONOCM, et al. Life - cycle Analysis of Charging Infrastructure for Electric Vehicles [J]. Applied Energy 2010 70(3): 251 - 265.

[10] 王芳芳. 多等级纯电动公交充电站选址问题研究[D]. 北京: 北京交通大学 2014.

[11] 默哈莫德·夏班,刘皓明,李卫星,等. 静态安全约束下基于 Benders 分解算法的可用传输容量计算[J].

中国电机工程学报 2003(8): 8 - 12.

[12] 王成山,张义. 基于 Bender's 分解和内点法的无功优化规划[J]. 电力系统及其自动化学报 2003(4): 46 - 50 62.

[13] 张义. 基于 Bender's 分解和内点法的无功优化规划[D]. 天津: 天津大学 2003.

[14] Binato, S.; Pereira, M. V. F. Granville, S., A New Benders Decomposition Approach to Solve Power Transmission Network Design Problems [J]. Power Systems, IEEE Transactions on 2001 16(2): 235 - 240.

[15] Yuan Li; McCalley, J. D. A General Benders Decomposition Structure for Power System Decision Problems [C]. Electro/Information Technology, EIT 2008, IEEE International Conference on 2008: 71 - 77.

作者简介:

张择策(1992),西安交通大学在读硕士生,主要研究方向为特高压直流过电压、电力系统可靠性;

武泽辰(1991),西安交通大学在读硕士生,主要研究方向为电力市场、新能源并网;

聂克剑(1992),西安交通大学在读硕士生,主要研究方向为电力系统稳定性与控制;

沈天时(1993),西安交通大学在读硕士生,主要研究方向为电力系统无功优化。

(收稿日期: 2015 - 07 - 23)

(上接第 66 页)

14 Ω,可以降低 220kV 侧短路电流 8 kA 以上。

3) 500 kV 自耦变压器自身的中性点绝缘水平能够满足因变压器中性点经小电抗接地造成的中性点电压偏移的绝缘要求。

参考文献

[1] 王非,李群炬. 京津唐电网限制短路电流问题探讨[J]. 华北电力技术 2007(4): 17 - 19.

[2] 袁娟,刘文颖,董明齐,等. 西北电网短路电流的限制措施[J]. 电网技术 2007 31(10): 42 - 45.

[3] 张弘,甘德强. 500 kV 变压器经小电抗接地的应用分析[J]. 电力建设 2009 29(11): 38 - 40.

[4] 朱天游. 500 kV 自耦变压器中性点经小电抗接地方式在电力系统中的应用[J]. 电网技术 1999 23(4): 15 - 18.

[5] 杨雄平,李力,李扬絮,等. 限制广东 500 kV 电网短路电流运行方案[J]. 电力系统自动化 2009 33(7):

104 - 107.

[6] 胡志广,王峰,蔡泽祥. 变压器直流偏磁抑制装置及其对继电保护影响的分析[J]. 广东电力 2007 20(10): 20 - 23.

[7] 周坚,胡宏,庄侃沁,等. 华东 500 kV 电网短路电流分析及其限制措施探讨[J]. 华东电力 2006 34(7): 55 - 59.

[8] 吴荻. 限制大电网的短路电流水平的措施的研究[D]. 杭州: 浙江大学 2005.

[9] 李琥,黄河,张谦. 江苏电网限制单相接地短路电流措施的研究[J]. 江苏电机工程 2009 28(1): 19 - 21.

[10] 郑玉成,潘瑾. 对大型变压器零序阻抗与正序阻抗之间的关系研究[J]. 河北电力技术 2001 20(1): 4 - 6.

作者简介:

李燕(1986),工程师,从事电力系统分析相关工作。

(收稿日期: 2015 - 07 - 21)