

500 kV 自耦变单相短路电流的限制效果分析

许彦,赵立飞,童伟

(国网北京经济技术研究院徐州勘测设计中心,江苏 徐州 221000)

摘要:针对由于大量使用自耦变压器而导致的500 kV变电站的220 kV母线单相短路电流大于三相短路电流的情况,结合江苏电网的连云港北(临海)500 kV变电站,利用电力系统分析综合程序软件(PSASP),详细分析了主变中性点串接小电抗对于500 kV变电站220 kV母线短路水平的限制作用,提出选取小电抗参数的建议,并对主变中性点的绝缘配合问题进行了探讨。

关键词:短路电流;500 kV自耦变;中心点;小电抗;绝缘配合

中图分类号:TM711

文献标志码:B

文章编号:1009-0665(2013)02-0015-03

近年来,随着电网的迅速发展,电源、电网规模的不断扩大,网架结构越来越紧密,电网的短路电流水平日益提高^[1,2]。特别在500 kV系统中,由于大量采用自耦变压器,其中性点直接接地,大量接地点的增加造成500 kV变电站的220 kV侧母线单相短路电流更大^[3],这样给相关电气设备的选择等均带来了一系列的问题,如何限制母线的短路水平成为了一个亟待解决的问题^[4-6]。本文以江苏电网的连云港北(临海)500 kV变电站为例,主要讨论如何对500 kV变电站的220 kV母线的短路电流进行限制,并结合仿真试验数据着重分析主变中性点进行串接小电抗对于主变220 kV母线短路电流的限制效果,以及由中性点经小电抗接地产生的中性点绝缘匹配问题,对小电抗参数提出了指导性建议。

1 问题的提出

由于江苏电网的密集度日益提高,系统短路容量也随之增长,目前苏北网由于徐连泰降压运行线路形成的220 kV联络,苏北五市的500/220 kV电磁环网运行,导致苏北地区的500 kV变电站的220 kV母线短路电流偏高。而且江苏电网的500 kV和220 kV主变多为自耦变,中性点接地的数目多,考虑到自耦变良好的经济效益,未来建设的主变将会以自耦变居多,而降压型自耦变压器的中压侧电抗常为0或接近于0,所以220 kV母线单相接地短路电流常大于三相短路电流,目前国内220 kV断路器最高遮断容量为50 kA。现国内外限制电网短路电流主要是优化网络结构和提高电网设备容量两个方面^[7]。

(1) 提高断路器的遮断容量随着短路电流水平的提高而提高断路器的遮断容量。

(2) 采用高阻抗变压器对降低500 kV变电所220 kV母线的短路电流有一定的效果。

(3) 电网分层分区运行将原电压等级的网络分成若干区,辐射形接入更高一级的电网,大容量电厂直接接入更高一级的电网中,原有电压等级电网的短路电流将随之降低。

(4) 变电站打开母线分段开关,使母线分列运行,有效降低短路电流水平。

(5) 加装变压器中性点小电抗接地对于限制短路电流的零序分量有明显的效果。

上述措施中,措施(1)与(2)投资较大;方案(3)是限制短路的根本措施,但需要开展相应工程并结合相关电网规划才能实现;方案(4)易出现500 kV主变输送能力下降的问题;而措施(5)施工便利,投资较小,特别对单相短路电流过大而三相短路电流相对较小的场合很有效^[8-10]。

2 中性点串接小电抗对短路电流的限制作用

2.1 中性点串接小电抗限制短路电流的原理

中性点经小电抗接地的自耦变压器的原理图,以及中性点经小电抗接地的自耦变压器零序等值电路图如图1、图2所示。

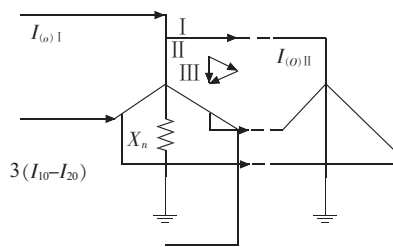


图1 中性点经电抗接地的自耦变压器原理图

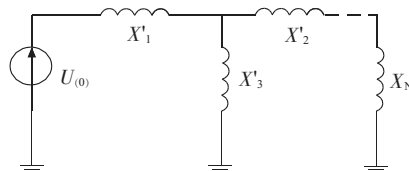


图2 中性点经电抗接地的自耦变压器零序等值电路

图 1 中, I, II, III 分别表示变压器的高、中、低压侧 3 个绕组, 设 X_I, X_{II}, X_{III} 为变压器中性点直接接地时变压器高、中、低压侧的零序等值电抗, 中性点经小电抗接地后的变压器高、中、低压侧的零序等值电抗为如图 2 所示的 X'_I, X'_{II}, X'_{III} , 首先将自耦变压器低压侧绕组 III 开路, 设变压器高、中侧端点与中性点之间的电位差的有名值分别为 U_{IN} 和 U_{IIN} , 中性点电位为 U_N , 则当中性点直接接地时 $U_N=0$, 折算到高压侧和中压侧绕组端点间的电位差为 $U_{IN}-U_{IIN} \times U_{IN}/U_{IIN}$ 。因此, 折算到高压侧的等值零序电抗为^[11-13]:

$$X_{(I-II)} = (U_{IN} - U_{IIN} \times \frac{U_{IN}}{U_{IIN}}) / I_{(0)I} \quad (1)$$

当中性点经电抗接地时, 则折算到高压侧的等值零序电抗为:

$$X'_{I-II} = X_{I-II} + 3X_N (1 - U_{IN}/U_{IIN})^2 \quad (2)$$

将中压侧回路开路时, 折算到高压侧的高、低压侧之间零序电抗为:

$$X'_{I-III} = X_{I-III} + 3X_N \quad (3)$$

压侧绕组断开, 折算到高压侧的中、低压侧之间零序电抗为:

$$X'_{II-III} = X_{II-III} + 3X_N (U_{IN}/U_{IIN})^2 \quad (4)$$

按求三绕组变压器各绕组等值电抗的计算公式, 求得星形零序等值电路中折算到高压侧的各电抗为:

$$\begin{cases} X'_I = \frac{1}{2} (X'_{I-II} + X'_{I-III} - X'_{II-III}) = X_I + 3X_N (1-k) \\ X'_{II} = \frac{1}{2} (X'_{I-II} + X'_{II-III} - X'_{I-III}) = X_{II} + 3X_N (1-k)k \\ X'_{III} = \frac{1}{2} (X'_{I-III} + X'_{II-III} - X'_{I-II}) = X_{III} + 3X_N k \end{cases} \quad (5)$$

式(5)中: U_{IN} 和 U_{IIN} 分别为变压器高、中侧额定电压。

由式(5)分析可知, 当 $X_N=0$, 即变压器的中性点直接接地时, 其中压侧电抗经常为 0 或者接近为 0, 从而造成中压侧母线单相短路电流很大。当中性点经小电抗 X_N 接地后, 中压侧零序电抗增加的比例显著, 因此可以预测其对中压侧单相短路电流的限制效果会很明显。而由式(5)中第一式可知, 变压器中性点经小电抗接地后, 变压器的高压侧零序等值电抗有所减小, 可能会造成变压器高压侧母线对中性点提供的零序电流有所增加。根据电路原理, 中性点串接的小电抗 X_N 仅在电网发生单相接地短路, 中性点有零序电流通过的时候才会等值到零序网络中, 当中性点无零序电流通过时, 变压器零序等值阻抗等于其正序等值阻抗。所以 X'_I, X'_{II}, X'_{III} 为主变零序电抗, 而正序电抗仍是 X_I, X_{II}, X_{III} 。因此, 在主变中性点加装小电抗只增加零序等值电抗阻值, 不会改变正序等值电抗的大小, 从而对正

常运行时的网损无影响。

2.2 仿真试验

本文短路计算采用了中国电力科学研究院开发的《电力系统分析综合程序 7.0 版》中的短路计算程序包。计算不基于潮流方式, 发电机取 $E''=1 \angle 0^\circ$ (p.u.), 不计负荷影响^[14]。根据江苏电网 2015 年夏大方式下潮流数据计算的短路电流发现, 江苏网出现大量 500 kV 变电站的 220 kV 侧母线单相短路电流超过其三相短路电流的情况, 连云港北(临海)500 kV 变电站 220 kV 母线侧短路电流表如表 1 所示。

表 1 临海 500 kV 变电站 220 kV 母线侧短路电流表

故障形式	电抗器阻值/ Ω	0	4	8	12	14
三相短路	短路电流/kA	46.11	46.11	46.11	46.11	46.11
	短路电流/kA	52.40	47.75	46.86	46.31	46.10
单相短路	中性点电流/kA	3.66	3.18	3.12	3.08	3.07
	中性点电压/kV	0	12.72	24.96	36.96	42.98
两相接地	短路电流/kA	50.57	47.22	46.73	46.45	46.35
	中性点电流/kA	7.19	6.42	6.36	6.32	6.31
	中性点电压/kV	0	25.68	50.88	75.84	88.34

500 kV 自耦变压器中性点经小电抗接地, 对 500 kV 母线短路电流几乎无限制效果。这是因为 500 kV 母线短路电流主要来源于 500 kV 电网, 另一方面中性点经接小电抗接地后, 500 kV 侧零序等值电抗微弱减小造成的 500 kV 侧零序电流增长部分, 与 220 kV 侧零序电流的减小部分相抵消, 所以 500 kV 侧单相短路电流变化很小^[11]。根据中华人民共和国电力行业标准 DL/T 620—1997《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》有关规定^[15], “中性点经电抗器接地时, 其电抗值与变压器或高压并联电抗器的零序电抗之比小于等于 1/3” 临海变 4 台主变 $U_{KH-M}\%$ 均为 18% 左右, 其 1/3 阻值约为 15 Ω , 因此, 选择阻值为 8 Ω , 10 Ω , 12 Ω , 14 Ω 的小电抗分别进行短路计算和分析。由表 1 可见, 当 4 台主变, 500 kV 侧全部并列, 220 kV 侧两组并列, 临海变 4 台主变中性点均接入 14 Ω 的小电抗后, 临海变 220 kV 母线各种不平衡短路电流均可以控制在 47 kA 以内。但随着在 500 kV 自耦变压器中性点串接的小电抗阻值的增加, 其对 220 kV 侧母线单相短路电流的限制效果逐渐趋于饱和。连云港北(临海)变主变中性点按 5 Ω 级差串接小电抗试验的短路电流关系曲线如图 3 所示。当分别在各变电站的所有主变中性点串接 14 Ω 小电抗时, 临海变 220 kV 侧的单相短路电流和两相接地短路电流分别下降到 46.10 kA 和 46.35 kA, 分别减少 6.30 kA 和 4.22 kA, 下降率达到了 12.02% 和 8.34%, 且单相短路电流已低于其三相短路电流。

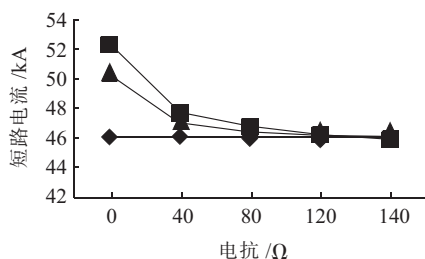


图3 中性点串接不同小电抗时 220 kV 单相短路电流曲线

2.3 变压器中性点经小电抗接地后的中性点绝缘配合

当变压器中性点经小电抗接地且发生单相接地短路时,变压器的中性点电压将会发生一定偏移。由于自耦变压器有一个公共线圈,高压侧和中压侧线圈公用一个中性点和接地阻抗,因此中性点的入地电流,应等于这两个自耦绕组零序电流之差的三倍。当自耦变压器的中性点经小电抗接地时,中性点的电位要受两个绕组的零序电流的影响,中性点电位取决于通过中性点的三倍零序电流与中性点串接小电抗阻值的乘积。根据中华人民共和国电力行业标准 DL/T 620—1997《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》有关规定,500 kV 主变若直接接地,其中性点短时工频耐受电压(有效值)约 85 kV;500 kV 主变若经小电抗接地,其中性点短时工频耐受电压(有效值)约 140 kV。当小电抗为 14 Ω 时,连云港北(临海)变 220 kV 母线单相短路时中性点电压偏移 42.98 kV,两相接地短路时中性点电压偏移 88.34 kV。为防止发生雷击时变压器中性点的过电压,可在中性点装设氧化锌避雷器。常用继电保护设备均可满足正确识别和可靠动作的要求。

3 结束语

(1) 对控制 500 kV 变电站的 220 kV 母线单相短路电流的方法,仅就降低 220 kV 母线单相短路电流而言,采用 500 kV 自耦变加装小电抗的措施是有效的。

(2) 随着在 500 kV 自耦变压器中性点串接的小电抗阻值的增加,220 kV 侧母线单相短路电流的限制

效果逐渐趋于饱和。

(3) 在具体工程设计中应考虑 500 kV 自耦变压器自身的中性点绝缘水平是否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。

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] 江林,王自强.500 kV 及 220 kV 自耦变压器对电网单相短路电流的影响[J].电力系统保护与控制,2008,36(18):108-116.
- [4] 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.
- [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] 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.
- [7] 叶幼君,鲍爱霞,程云志.广东 500 kV 电网短路电流的控制[J].华东电网,2006,34(3):11-15.
- [8] 李璇,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.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 李光琦.电力系统暂态分析[M].三版.北京:中国电力出版社,2007.
- [12] 陈珩.电力系统稳态分析[M].三版.北京:中国电力出版社,2007.
- [13] 程云志,叶幼君.500 kV 自耦变压器中性点装设小电抗的应用研究[J].华东电力,2006,34(11):59-61.
- [14] 田华,王卿,朱峰.基于 PSASP 程序的短路电流计算结果分析比较探讨[J].电力系统保护与控制,2010,38(1):56-60.
- [15] DL/T 620—1997,交流电气装置的过电压保护和绝缘配合[S].

作者简介:

许彦(1983),男,江苏徐州人,工程师,从事变电设计工作;
赵立飞(1981),男,江苏徐州人,工程师,从事变电设计工作;
童伟(1980),男,江苏徐州人,工程师,从事变电设计工作。

Research on the Effect of Single-phase Short Current Limiting of 500 kV Autotransformers

XU Yan, ZHAO Li-fei, TONG Wei

(State Power Economic Research Institute Xuzhou Survey & Design Center, Jiangsu Xuzhou 221000, China)

Abstract: Due to massive use of autotransformers, the single phase short circuit current of 220 kV buses is bigger than its three-phase one in 500 kV stations. According to north Lianyungang 500 kV stations of the Jiangsu grid, the effect of current limiting of adding low reactance at neutral point is analyzed by PSASP, proper reactance values are proposed in this paper. Also, the problem of neutral point of main-transformer insulation matching is studied as well.

Key words: short circuit current; 500 kV autotransformers; neutral point; low reactance; insulation coordination