

关于小电流接地系统中谐振过电压的分析与探讨

贺要锋¹, 商建华¹, 封晓东¹, 王伟²

(1. 河南省电力公司许昌供电公司, 河南 许昌 461000; 2 许继日立公司, 河南 许昌 461000)

摘要: 在小电流接地系统中出现谐振过电压时, 会造成电力设备损坏, 对电网安全运行产生不良影响。结合运行中的实例, 阐述了谐振过电压的产生原因以及出现基波谐振过电压、高次谐波或分次谐波谐振过电压时的不同特征, 提出在电磁式电压互感器的开口三角绕组接入适当阻尼电阻、在母线上加装对地电容、采取临时的倒闸措施、选用励磁特性较好的电压互感器或电容式电压互感器等可行预防措施。

关键词: 小电流接地; 谐振过电压; 设备损坏

中图分类号: TM77 **文献标识码:** B **文章编号:** 1003-4897(2006)23-0066-04

0 引言

小电流接地系统因其单相接地时并不破坏系统线电压的对称性, 系统仍可继续运行 1~2 h, 故在我国 3~35 kV 电网中普遍采用。但由于此种系统接地方式的特殊性, 运行中出现谐振过电压的几率也大大增加, 谐振过电压的特点、危害也不尽相同。在生产运行中经常会遇到改变运行方式时, 因满足谐振条件而出现谐振过电压的现象, 给设备的安全运行带来极大的危害和隐患。本文结合某变电站 35 kV 电压互感器因谐振过电压而烧毁的实例, 对此进行了分析与探讨。

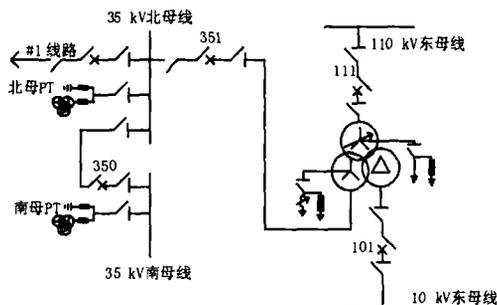


图 1 系统主接线

Fig 1 Main connection of system

1 问题的提出

2002 年 4 月 11 日, 某变电站进行对 35 kV 南母带 PT 进行充电工作, 当时运行方式为: #1 主变运行 (111、101 运行, 351 停运), 35 kV 北母带 #1 线路, 35 kV 南母通过 350 开关与北母联络, 35 kV 南母 PT 投入, 北母 PT 因故障检修退出, 35 kV 母线及线路均不带电。准备用 351 对 35 kV 母线充电 (如图 1 所示)。因现场无专用消除谐振装置, 在 35 kV

南母 PT 二次开口三角绕组处串接一 200 W 灯泡负载。送电后, 中央信号控制屏 35 kV 电压监视表计指示异常: A 相指示接近零伏, B、C 相指示高于 35 kV。开口三角处所接灯泡慢慢变亮, 后越来越亮。与此同时, 电压互感器小车柜内冒烟, 紧急停电后检查, B 相 PT 外壳断裂, 裂缝处环氧树脂融化溢出, B 相一次高压保险熔断, 现场进一步检查试验发现, B 相 PT 内部绝缘损坏电压互感器二次接线绝缘下降, 一次线圈直流电阻降低, 具体试验数据见表 1、表 2。

表 1 一次绕组直流电阻

Tab 1 DC resistance of primary windings

相别	A	B	C
正常值 /k	9	9	9
实测值 /k	8.8	1	8.9

表 2 一次绕组对地绝缘电阻

Tab 2 Insulation grounding resistance of primary windings

相别	A	B	C
正常值 /M	100 000	100 000	100 000
实测值 /M	90 000	0	89 000

现场所用电压互感器为 JDZL - 35 型, 即单相三绕组浇注绝缘式电压互感器。送电前, 该 PT 对地及相间绝缘正常, 二次回路绝缘正常, 接线正确。

2 原因分析

2.1 初步分析

从试验数据和现场指示表计来看: 单相 (A 相) 电压降低, 另两相 (B、C 相) 电压升高, 开口三角出现零序电压, 看似符合小接地电流系统中单相接地的表象特征。但发生单相接地时, 发生零点漂移, 中性点电压应为稳定量。如图 2 所示 (以 A 相接地为例)。

$$3U_0 = U_A + U_B + U_C \text{ 即 } U_0 = -U_A$$

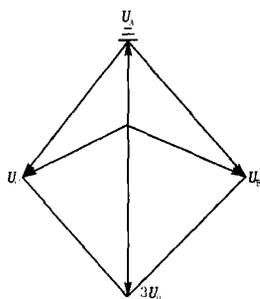


图 2 A相单相接地时电压向量图

Fig 2 Voltage vector diagram of single phase A grounding

而从现场出现的情况来看,所接灯泡由暗逐渐变亮可看出该电压是一谐振量,且 B、C相电压指示超过线电压。故可判断该故障不是由单相接地所引起。

2.2 出现谐振过电压的可能性分析

在中性点非直接接地系统中,有许多非线性电感元件,如变压器、电磁式电压互感器、消弧线圈等。为监视三相对地电压,母线上常接有 Y₀接线的电磁式电压互感器。系统简化图见图 3。

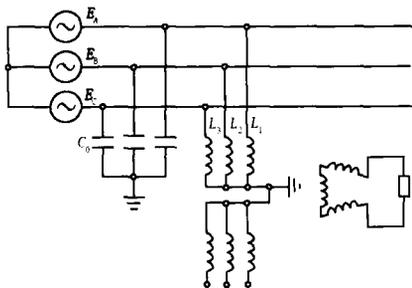


图 3 中性点非直接接地系统一次系统原理示意图

Fig 3 Schematic diagram of primary system in neutral indirectly grounded system

$L_1 = L_2 = L_3 = L$ 为电压互感器各相的励磁电感, C_0 为各相导线的对地电容。正常运行时,电压互感器的励磁阻抗很大,每相对地阻抗(L 和 C 并联后)呈容性,三相基本平衡,中性点位移电压很小。当系统运行方式改变时,如投入另外的电压互感器或用变压器对母线充电时,三相平衡状态被破坏,使得某一相或两相绕组出现较大的励磁涌流,造成电压互感器各相的饱和程度不同,就可能出现较高的中性点位移电压,从而激发起谐振过电压。

经消弧线圈补偿电网正常运行时,中性点位移电压 U_n 大小为:

$$U_n = \frac{|K_c|}{\sqrt{V^2 + d^2}} \times U_{ph}$$

式中: K_c 为电网的不对称度; V 为补偿电网的脱谐度; d 为补偿电网阻尼率; U_{ph} 为相电压有效值。

通常架空线路的不对称度 K_c 为 0.5% ~ 1.5%,个别 2.5%以上,电缆线路的 K_c 值约为 0.2% ~ 0.5%,正常架空线路的阻尼率 d 值约为 3% ~ 5%,线路污染受潮时, d 可增至 10%,在最严重情况下,系统运行方式改变又出现全补偿谐振时, $v=0$, U_n 可能超出线电压。

结合事故当天情况,刚刚下过雨,线路污染受潮比较严重。用主变对 35 kV 系统充电时,电磁式电压互感器与母线及线路对地电容满足谐振条件,出现较高的中性位移电压,从而产生谐振过电压。

2.3 谐振过电压的类型分析

根据网络零序参数的不同以及外界激发条件的不同,使得产生的谐振过电压可能为基波谐振过电压,也可能为高次谐波或分次谐波谐振过电压。

对基波谐振过电压的产生过程分析如下:

对于图 3 的等值接线,中性点位移电压 U_0 为:

$$U_0 = \frac{U_A Y_1 + U_B Y_2 + U_C Y_3}{Y_1 + Y_2 + Y_3}$$

正常运行时,

$Y_1 = Y_2 = Y_3 = Y$ 故:

$$U_0 = \frac{U_A Y_1 + U_B Y_2 + U_C Y_3}{3Y}$$

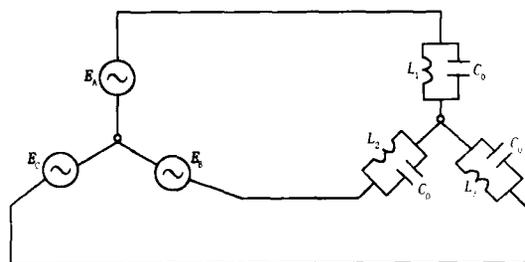


图 4 等值原理图

Fig 4 Equivalent principle diagram

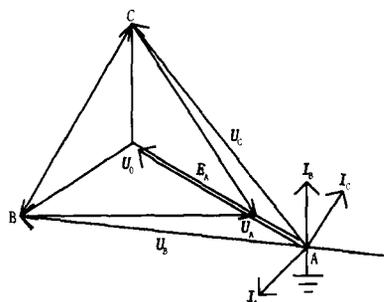


图 5 电压、电流向量图

Fig 5 Electric voltage and electric current vector diagram

各相对地导纳呈容性,由于扰动的结果使电压

互感器的某些相对地电压瞬时升高。假定 B 相和 C 相对地电压瞬时升高,由于电感的饱和使 L_2 和 L_3 减小,使流过 L_2 和 L_3 的电感电流增大,从而使 Y_2 、 Y_3 变为感性导纳,而 Y_1 仍为容性导纳,容性导纳与感性导纳的抵消作用使 $Y_1 + Y_2 + Y_3$ 显著减小,导纳中性点位移电压大大增加,当其值等于或接近于零时,则发生串联谐振,使中性点位移电压急剧上升,中性点位移电压升高后,三相导线的对地电压等于各相电源电势与中性点位移电压的相量和。

如图 5 所示,相量叠加的结果,B 相和 C 相对地电压升高,超过线电压,A 相对地电压降低,但不为零。这种结果与系统出现 A 相单相接地时的结果相仿,即出现“虚幻接地”现象。

同理可分析出,高次谐波谐振过电压时三相电压同时升高,远超过线电压;或者是一相电压上升(高于线电压),另两相电压下降。分次谐波谐振过电压时,三相电压依次轮流升高,并超过线电压,三相表针在同范围内低频摆动。

2.4 综合分析和结论

从以上分析可以看出,该变电站 35 kV 系统出现的过电压现象为基波谐振过电压,35 kV 南母 PT 为单相三绕组电磁式电压互感器,Y0 接线。当用主变对 35 kV 系统操作送电时,系统发生串联谐振,产生基波谐振过电压,使 A 相电压降低,B、C 相电压升高,使得 B、C 相电压互感器铁芯严重饱和,励磁电流剧增,铁芯过热,最终造成 B 相一次保险熔断,内部绝缘介质熔化,一次绕组匝间短路,对地绝缘破坏。

那么为什么电压互感器开口三角接入阻尼负载(200 W 灯泡),仍会出现谐振过电压呢?

经分析原因如下:电磁式电压互感器开口三角绕组中加阻尼绕组,阻值 R 应小于或等于 $0.4XT$ (XT 为互感器在额定线电压作用下换算到低压侧的单相绕组励磁阻抗),这样方可消除各中谐波的谐振过电压,对于 35 kV 及以下电网,根据经验计算,一般要求 R 阻值为 $10 \sim 100 \Omega$ 。而现场接入的灯泡阻值为 $220 \times 220 / 200 = 242 \Omega$,因此没有很好起到消除谐振的作用,致使 B 相电压互感器因谐振过电压烧毁。

3 防范措施

针对电力系统出现的此类谐振过电压,可采取下列措施进行限制和消除。

1) 选用励磁特性较好的电压互感器或改用电容式电压互感器。

2) 在电磁式电压互感器的开口三角绕组接入适当的阻尼电阻,最好采用非线性电阻原理构成的专用消谐装置,既可保证可靠地消除谐振,又能满足互感器的容量要求。

3) 如条件许可,在母线上加装一定的对地电容,使达到 $X_{c0} / X_{L1} < 0.01$,谐振也不会发生。

4) 采取临时的倒闸措施,如投入消弧线圈、将变压器中性点临时接地以及投入事先规定的某些线路或设备。

结合现场实际情况,我们采取的具体措施是,35 kV 三相 PT 更换为励磁特性更好的电压互感器,并在开口三角绕组处加装了微机消谐装置,投入运行后经多次类似操作考验,没有再次出现谐振过电压现象。

4 结束语

本文对小接地电流系统中出现的谐振过电压,结合现场实例,从产生起因、特点,到危害、防范措施等进行了分析和探讨,鉴于系统中出现谐振过电压的多样性和复杂性,文章难以一一详述,但就其一些共性的现象,望能为同行们提供一点借鉴和参考。

参考文献:

- [1] 曾祥君,周有庆,杨绮雯. 电网谐振状态与单相接地状态的识别[J]. 电力系统自动化,1998,28(8): 41-43.
ZENG Xiang-jun, ZHOU You-qing, YANG Qi-wen. Identification of Syntonic State and Single-phase Ground State of Power System [J]. Automation of Electric Power Systems, 1998, 20(8): 41-43.
- [2] 杨一尘. 高电压技术[M]. 北京:中国电力出版社.
YANG Yi-chen. High Voltage Technology [M]. Beijing: China Electric Power Press.

收稿日期: 2006-06-26; 修回日期: 2006-10-24

作者简介:

贺要锋(1972-),男,工程师,从事继电保护方面的运行工作; E-mail: heyaofeng036@163.com

商建华(1957-),男,高级工程师,从事继电保护方面的运行工作;

封晓东(1962-),男,高级工程师,从事继电保护方面的运行工作。

Analysis of synton ic overvoltage in neutral indirectly grounded system

HE Yao-feng¹, SHANG Jian-hua¹, FENG Xiao-dong¹, WANG Wei²

(1. Xuchang Electricity Supply Bureau, Xuchang 461000, China; 2. XJ-Hitachi Company, Xuchang 461000, China)

Abstract: Synton ic overvoltage in neutral indirectly grounded system can make equipments damaged, and bad influence on the safety of electric power system. Combining operation example, this paper expatiates the cause of synton ic overvoltage and different characteristics of basic-flap, high-flap and centi-flap synton ic overvoltage. It puts forward the valid prevention measures of synton ic overvoltage, such as fixing a fit resistance at the openings triangle, adding capacitor on the bus, putting a electric line in use on the other bus and choosing transformer which have a good line of magnetic force.

Key words: neutral indirectly grounded system; synton ic overvoltage; equipment damage

(上接第 65 页 continued from page 65)

ray), communication and digital signal processing, the system realizes the automatic control of error calculation and printing. It avoids the manual operations of load changing and error value recording after calibration as for the traditional voltage monitor. The running results show that the error of checking equipment is 0.1 and distortion is less than 0.5%. The system is simple, convenient, reliable in data transfer and accuracy control and so on.

Key words: voltage monitor; single-chip microcomputer; checking equipment; hamonic; FPGA

关于召开第四届(2007年)全国高校电气工程及其自动化专业 教学改革研讨会的第一次通知

教育部电气工程及其自动化专业教学指导分委员会决定于 2007 年 4 月 21 日~23 日在北京召开“全国高校(2007 年)第四届电气工程及其自动化专业教学改革研讨会”,会议由教育部高等学校电气工程及其自动化专业教学指导分委员会、全国高等学校教学研究会电气工程及其自动化专业委员会、中国机械工业教育协会电气工程与自动化学科教学委员会、中国电力教育协会电气工程学科教学委员会联合主办,华北电力大学承办,并邀请教育部有关领导及本专业知名专家和有关单位领导参加会议。

会议征集以下几个方面的教学改革论文:

(1)电气工程及其自动化专业发展战略研究;(2)电气工程及其自动化专业规范研究;(3)电气工程及其自动化专业认证工作;(4)电气工程及其自动化专业评估工作;(5)本科教学工作水平评估研讨;(6)电气工程及其自动化专业人才培养目标、培养模式及本校的培养计划;(7)电气工程及其自动化专业人才培养的质量、规模、结构、效益之间的关系;(8)电气工程及其自动化专业人才培养的需求分析,办学方向与社会需求间的异同;(9)国内外本专业教学改革的比较与研究;(10)电气工程及其自动化专业的课程建设和教材建设;(11)电气工程及其自动化专业实践教学、工程训练的改革;(12)教学方法和教学手段的改革;(13)电气工程及其自动化专业教学质量评估和教学质量监督的研讨;(14)大学本科后的研究生教育和各种形式的继续教育;(15)用人单位对本专业人才素质、知识结构和实践技能的要求;(16)教学改革的其他问题。

会后,将由主办单位组织评选出质量较好可供各校参考的部分论文,交由《电气电子教学学报》出版电气工程专辑发表,发表过程中对论文具体事宜由该刊编辑部与论文作者直接联系,并须注意列入发表的论文不要再投其他刊物。

论文截稿日期:

(1)请在 2007 年 3 月 1 日前将论文打印稿和电子版寄往华北电力大学:论文打印稿请寄:北京市德胜门外朱辛庄北农路 2 号华北电力大学 88 号信箱,艾欣或刘宝柱收,邮政编码:102206。论文电子文档请通过华北电力大学电气与电子工程学院本届年会网页“教改年会论文提交系统”提交。

(2)2007 年 3 月 31 日前发出论文录用通知。

教育部高等学校电气工程及其自动化专业教学指导分委员会
全国高等学校教学研究会电气工程及其自动化专业委员会
中国机械工业教育协会电气工程与自动化学科教学委员会
中国电力教育协会电气工程学科教学委员会
华北电力大学电气与电子工程学院(代章)