

10 kV 三相电磁式电压互感器并列运行时烧毁原因分析

张 丰, 郭碧媛

(福建省福州电业局, 福建 福州 350009)

摘要: 10 kV 小电流接地系统常用电磁式三相电压互感器, 本文分析了实际工作中碰到的 10kV 两段母线电压互感器一、二次侧直接通过导线并列运行, 当其中一台电压互感器发生高压侧熔丝熔断后两台电压互感器烧毁的原因, 并提出改进措施和 10 kV 母线电压互感器并列运行时的一些注意事项。

关键词: 电压互感器; 电磁式三相电压互感器; 硬连接; 熔丝熔断; 并列运行

Analysis of the cause of two electromagnetic three-phase potential transformers burnt-out when operated in juxtaposition mode in 10 kV system

ZHANG Feng, GUO Bi-yuan

(Fuzhou Electric Power Industry Bureau, Fuzhou 350009, China)

Abstract: Electromagnetic three-phase potential transformer is usually used in 10kV neutral indirectly grounding power system. This paper is focused on the analysis of the cause of two potential transformers burnt-out while per phase fuse in primary windings is broken, if the two potential transformers are directly connected by wires in primary windings and secondary windings and operate in juxtaposition mode in 10kV system. And the improved measures are put forward. Also, some matters need attention are mentioned when two potential transformers are operated in juxtaposition mode in 10kV system.

Key words: potential transformer(PT); electromagnetic three-phase potential transformer; fixed connection; fuse break; operated in juxtaposition mode

中图分类号: TM63 文献标识码: B 文章编号: 1674-3415(2009)21-0108-04

0 引言

电压互感器(Potential transformer, PT)作为电力系统一次电路与二次电路的联络元件, 向保护装置、测量装置、计量装置、绝缘监察装置提供所需的电压, 使运行人员能够实时监测电力系统的运行工况。若 PT 发生故障, 这些装置将无法得到所需的电压, 运行人员就不能监测系统的运行工况, 严重时, PT 可能发生烧毁、爆炸, 最终酿成事故。PT 故障在实际运行过程中时有发生^[1~9], 原因有很多^[9]。本文针对中性点不直接接地的 10 kV 系统常用的电磁式三相 PT, 从实际工作中碰到的一例主接线方式, 就母线 PT 并列运行时发生高压侧熔丝熔断后 PT 烧毁的原因进行分析, 并提出改进措施和 10 kV 母线 PT 并列运行时的一些注意事项。

1 原因分析

1.1 主接线方式

在变电站的主接线设计中, 会碰到这样的主接

线设计图: 主变 10 kV 侧采用双分支, 两段 10 kV 母线没有通过断路器和隔离开关连接, 而是直接用一段导线连接, 俗称“硬连接”(Fixed connection)。同时, 为了省去两段母线 PT 二次侧的电压切换, 将 PT 二次侧也通过一段导线硬连接。主接线方式见图 1。这样的主接线方式从表面上看没有什么不合理的, 但实际上, 这样的接线方式隐藏着极大的隐患, 威胁系统的正常运行。

1.2 PT 高压侧发生一相熔丝熔断分析

10 kV 电磁式三相 PT 是由 3 台单相 PT 连接而成, 用于中性点不接地系统的三相电压互感器接线方式如图 2。由于单相 PT 只有每相本身有磁耦合, 与其它相没有磁路联系, 因此, 三相 PT 相间不存在磁的相互影响^[10]。正常运行时, PT 二次侧三相电压对称, 星型绕组相电压幅值为 100 V, 开口三角绕组相电压为 33.3 V, 其两端输出电压为零^[9]。

当 PT 高压侧发生一相熔丝熔断时, 熔断相由于有零序电压的存在其相电压不会降为零, 而只是降低^[9], 据现场运行经验, 一般熔断相相电压降低

约为正常相电压的一半。正常的两相相电压不变, 与熔断相有关的线电压降低, 未熔断两相线电压不变, 开口三角形有零序电压输出, 电压值为 33.3 V [9,10]。

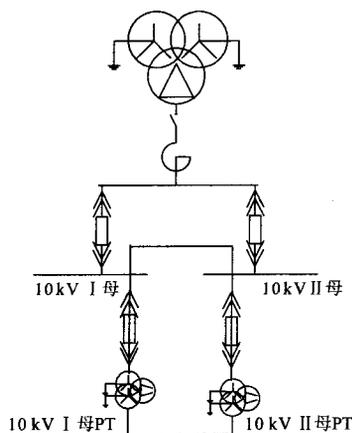


图 1 系统主接线图

Fig.1 Electric primary system

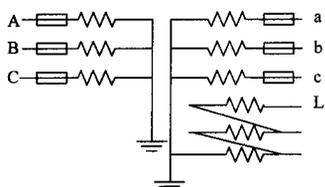


图 2 带绝缘装置的电磁式三相电压互感器接线图

Fig.2 Electric diagram of electromagnetic three-phase PT with isolated surveillance voltage

1.3 PT 并列运行时发生高压侧一相熔丝熔断

10 kV 两段母线 PT 一二次通过硬连接并列运行的电路连接图见图 3。正常运行时, 由于两段母线 PT 一次侧并列, 而两个 PT 变比、结构、性能参数等均相同, 两个 PT 星形二次侧电压相等, 不会形成环流, 开口三角形两端电压输出为零, 因此开口三角形内也不会形成环流。当 10 kV I 段母线 PT 高压侧发生 A 相熔丝熔断时, 此时, 对两段母线 PT 的 A 相绕组形成了一次侧未并列而二次侧并列的情况, 用变压器 T 型简化等值电路表示两段母线 PT 电压回路^[11], 见图 4。其中 Z_{1A} 为 I 段母线 PT 一次侧 A 相绕组的漏抗, Z_{1a} 为 I 段母线 PT 二次侧 a 相星形绕组的漏抗, Z_{1La} 为 I 段母线 PT 二次侧 a 相三角形绕组的漏抗, Z_{2A} 为 II 段母线 PT 一次侧 A 相绕组的漏抗, Z_{2a} 为 II 段母线 PT 二次侧 a 相星形绕组的漏抗, Z_{2La} 为 II 段母线 PT 二次侧 a 相三角形绕组的漏抗, \dot{U}_{2a} 为 I 段母线 PT 一次侧 A 相电压, \dot{U}_{1a} 为 I 段母线 PT 二次侧 a 相星形绕组输出电压, \dot{E}_{1La}

为 I 段母线 PT 二次侧 a 相三角形绕组电压, \dot{U}_{2a} 为 II 段母线 PT 二次侧 a 相星形绕组输出电压, \dot{E}_{2La} 为 II 段母线 PT 二次侧 a 相三角形绕组电压, Z_A 为 PT A 相负载。其它两相符号以此类推。 \dot{U}_{L1} 为 I 段母线 PT 开口三角绕组输出电压, \dot{U}_{L2} 为 II 段母线 PT 开口三角绕组输出电压。通常为提高 PT 二次侧测量的精度, PT 二次侧的内阻抗非常小, 而所接负载(各种测量仪表、电能表等)的内阻抗则非常大^[9], 因此, 运行中的 PT 可以看成是一台空载运行的变压器, 其负载 Z_A 、 Z_B 、 Z_C 相对于其漏抗可以视为无穷大的阻抗。

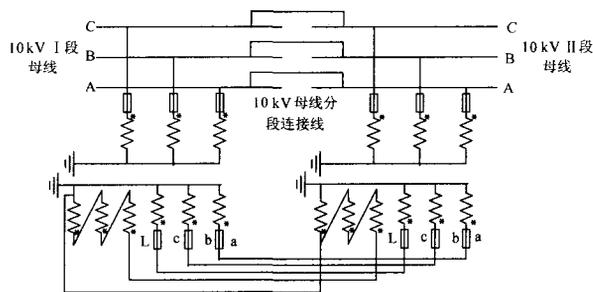


图 3 母线 PT 连接图

Fig.3 Connected diagram of PT

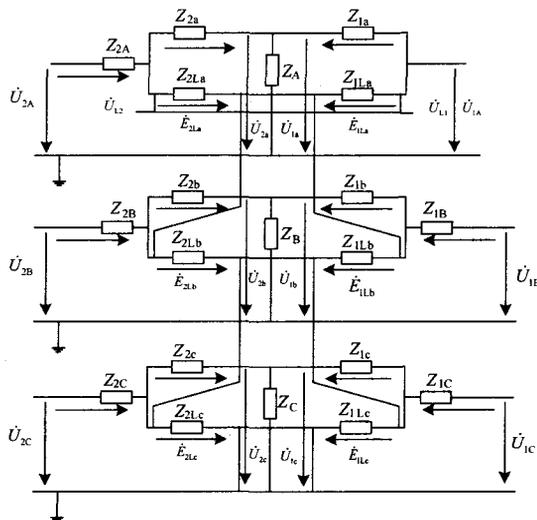


图 4 高压侧一相熔丝熔断时 PT 简化等效电路图

Fig.4 Simple equivalent circuit of PT

由本文 1.2 节中分析, 此时, 对二次星型绕组, 正常两相 (b、c 相) 的相电压 \dot{U}_{1b} 、 \dot{U}_{2b} 、 \dot{U}_{1c} 、 \dot{U}_{2c} 没有发生变化, 其幅值仍然是 100 V, 但对 a 相, \dot{U}_{1a} 幅值降低约为正常时相电压的一半, \dot{U}_{2a} 幅值仍为 100 V, 由于压差的存在, 同时由于星形二次绕组的内阻抗非常小, 一般内阻抗值约为 1~2 Ω [9], 在星型二次绕组 a 相电压回路中形成了一股电流值较大的环流^[11], 见图 5, 使两个 PT 的二次熔丝熔断,

造成两段母线 A 相测量电压无法获取。

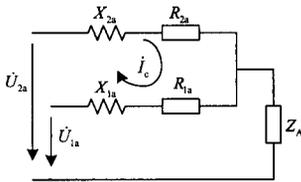


图 5 二次侧 a 相星形绕组等值电路

Fig.5 A-phase equivalent circuit of secondary wye winding

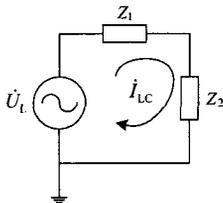


图 6 二次侧 a 相三角形绕组等值电路图

Fig.6 Equivalent transformation circuit of secondary delta winding

对开口三角形绕组，由于故障相绕组无输出电压，故可以得出：

$$\dot{U}_{L1} = \dot{E}_{1Lb} + \dot{E}_{1Lc} = -\dot{E}_{1La} \quad (1)$$

$$U_{L1} = 33.3 \text{ V} \quad (2)$$

对 II 段母线 PT 开口三角绕组，仍有：

$$\dot{U}_{L2} = \dot{E}_{2La} + \dot{E}_{2Lb} + \dot{E}_{2Lc} = 0 \quad (3)$$

通过电路等效电源定理，将两个并联的开口三角形绕组作等效变换后得到图 6 的电路图，其中，

$$U_L = U_{L1} = 33.3 \text{ V} \quad (4)$$

Z_1 为故障 PT 开口三角绕组等效漏抗， Z_2 为正常 PT 开口三角绕组等效漏抗。通常，开口三角形绕组漏抗阻值约为 $0.6 \sim 1.5 \Omega$ ^[9]。由于漏抗非常小，此时，在三角形绕组中形成比较大的环流 i_{Lc} ，而开口三角形为防止熔丝熔断使绝缘监察装置无法正常工作，因此一般不装设熔丝， i_{Lc} 将在并列的开口三角形绕组内一直存在，若不能及时将故障 PT 与系统隔离，经过一段时间后，PT 铁芯、导线将严重发热，最终使 PT 烧毁，严重时可能发展成母线故障，导致主变低压侧后备保护动作跳主变低压侧开关，扩大了故障范围，造成严重的后果。

2 改进措施

由本文第 1 章中分析，图 1 的主接线设计存在严重的故障隐患。当高压侧发生一相熔丝熔断时，两个并列的 PT 二次侧会产生过电流，不仅使低压侧熔丝烧断，还会引起 PT 烧毁事故，严重时可导

致母线发生故障。当高压侧发生两相熔丝熔断时，同样会引起低压侧熔丝熔断，最终导致 PT 烧毁事故。而 PT 高压侧熔丝熔断在实际运行中时有发生，属于较常见的故障。随着无人值守变电站的推广，运行人员将不能及时赶到现场察看故障情况，使故障 PT 及时隔离。为了消除故障隐患，防止过电流产生，必须将图 1 中的主接线设计方案进行改进，打破两个 PT 一、二次同时“硬连接”的局面，可以考虑在两个 PT 低压侧绕组并列连接处加装一个空开，当发生过电流时空开跳闸，过电流消失，故障就不会进一步发展，如图 7。这种改进措施改动范围小，实用性高，易于实现。

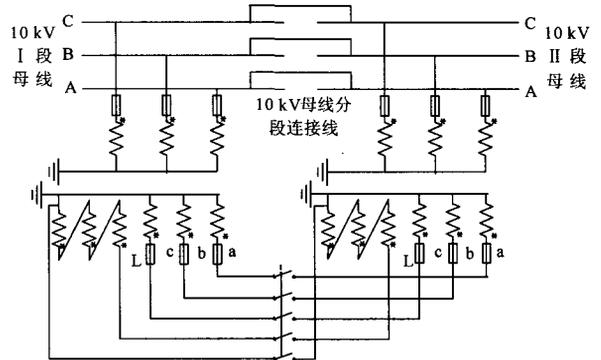


图 7 改进后的母线 PT 连接图

Fig.7 Modified connected diagram of PT

3 PT 并列运行时的一些注意事项

(1) 对本文中讨论的两段母线 PT 一、二次硬连接运行的情况，应及时采取改进措施，日常运行中应加强 10kV 母线电压的监控，一旦发现高压侧熔丝熔断，应及时采取防范措施，将故障 PT 与系统隔离，防止事故进一步扩大。

(2) 对本文中讨论的改进后的接线方式，日常运行中，应将并列空开断开。当发现其中一组 PT 高压侧熔丝熔断需要更换熔丝时，若需要将 PT 二次并列切换电压回路以满足测量装置和计量装置的需求时，绝对不能先将 PT 二次侧先并列，然后再去隔离故障 PT。如果这样做，就会出现本文第 1 节中讨论的情况，将 PT 烧毁。正确的做法应该是先将故障 PT 退出运行，然后再将 PT 二次侧并列切换电压回路。切换好电压回路后，再更换熔丝，恢复正常的运行。

(3) 当两段母线通过一组隔离开关连接时，PT 二次侧也是通过导线硬连接，见图 8。当合上隔离开关之后，情况如同本文中讨论的情况，也应及时采取改进措施，在两个 PT 二次绕组并列处加装

空开。

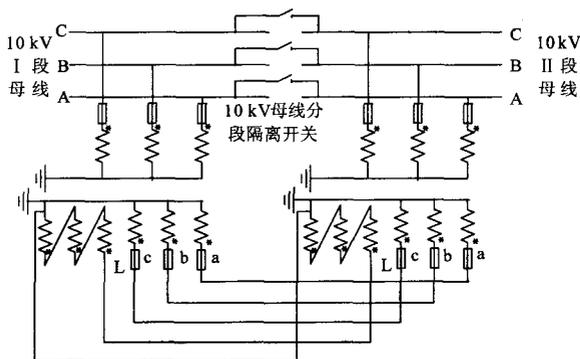


图 8 母线 PT 连接图

Fig.8 Connected diagram of PT

(4) 两段母线经过断路器、隔离开关或者经手车断路器连接, PT 二次侧经过电压切换装置连接时, 若二次电压要并列运行, 通常的做法是先将一次母线并列运行, 然后通过电压切换装置将 PT 二次并列, 最后将其中的一个 PT 退出运行。当 PT 一二次侧并列之后、其中一个 PT 退出之前, 若发生一个 PT 的高压侧熔丝熔断, 情况与本文讨论的情况一样。因此在切换 PT 二次电压的过程中应加强母线电压的监控, 尽量缩短两个 PT 一、二次并列运行的时间。

参考文献

- [1] 文继杰. 10-66 kV 电压互感器烧损原因分析 [J]. 黑龙江电力, 2002, 24(5):370-371.
WEN Ji-jie. Causes for Burnt-out of Voltage Transformers in 10-66kV Systems[J]. Heilongjiang Electric Power, 2002, 24(5):370-371.
- [2] 梁雨林, 林霞, 陈长材. 电压互感器二次回路异常的原因及对策 [J]. 电力自动化设备, 2001, 11(11):73-74.
LIANG Yu-lin, LIN Xia, CHEN Chang-cai. The Causes of TV Secondary Wire Abnormity and Its Countermeasures[J]. Electric Power Automation Equipment, 2001, 11(11):73-74.
- [3] 白晶, 高扬. 互感器二次回路反事故分析 [J]. 华北电力技术, 2006, (4):50-54.
BAI Jing, GAO Yang. Countermeasure of Instrument Transformer Secondary Circuit Fault[J]. North China Electric Power, 2006,(4):50-54.
- [4] 茅雷, 姚衡宇. 一起电压互感器烧毁事故分析及反思

[J]. 电力安全技术, 2006, 8(10):27-28.

MAO Lei, YAO Heng-yu. Analysis and Reflection of a Burning-out Accident of Potential Transformer[J]. Electric Safety Technology, 2006, 8(10):27-28.

- [5] 刘和平. 10 kV 电压互感器在投运时的一例不常见的问题[J]. 电力学报, 2005, 20(3):321-322.

LIU He-ping. A Rare Problem in Applying 10 kV Voltage Transformer[J]. Journal of Electric Power, 2005, 20(3): 321-322.

- [6] 郭滨滨. 电压互感器故障分析及处理[J]. 山西电子技术, 2001,(5):38-39.

GUO Bin-bin. An Analysis of Electromagnetic PT Failure and Countermeasures[J]. Shanxi Electronic Technology, 2001, (5): 38-39.

- [7] 王剑. 母线电压互感器事故分析及预防措施[J]. 东北电力技术, 2005, (5): 45-47.

WANG Jian. Cause Analysis and Counter-measures of Bus Voltage Transformer[J]. Northeast Electric Power Technology, 2005,(5):45-47.

- [8] 卜凡文. 中性点不接地电网电压互感器烧毁原因浅析[J]. 煤炭科技, 2001,(1):19-21.

BU Fan-wen. Analysis of Burnt-out Reason of Voltage Transformer in Non-Earth Electric Network at Neutral Point[J]. Coal Science & Technology Magazine, 2001, (1): 19-21.

- [9] 陈化刚, 张开贤, 程玉兰. 电力设备异常运行及事故处理[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1998.

- [10] 李洪波. 35kV 及以下变电站运行中几种相近异常现象的分析[J]. 电力科学与工程, 2005, (2): 14-18.

LI Hong-bo. Analysis of Several Similar Abnormal Phenomena in Substations of 35 kV and Lower Voltage Grade[J]. Electric Power Science and Engineering, 2005, (2): 14-18.

- [11] 叶东. 电机学[M]. 天津: 天津科学技术出版社, 1994.

收稿日期: 2008-11-19; 修回日期: 2008-12-15

作者简介:

张丰(1971-), 男, 高级技师, 研究方向为电力系统继电保护、电力系统分析与控制、变电站综合自动化等;

郭碧媛(1979-), 女, 硕士, 工程师, 研究方向为电力系统继电保护、电力系统分析与控制、变电站综合自动化等。

E-mail:biyuan_guo@126.com