

35 kV 并联电容器组群爆故障分析 及其零序差流保护的参数整定

陈庆祺, 刘锦兰

(东莞供电局, 广东 东莞 523000)

摘要: 针对接连发生的 35 kV 双星接线并联电容器群爆事故, 计算分析了由于电容器组内部元件击穿引起的电容器过电压分布情况。零序差流保护是通过检测双星接线电容器组的中性线不平衡电流来判断电容器组内部是否发生故障, 最后提供了带内熔丝的双星零序差流保护的参数整定计算方法, 对现在执行的整定值进行了修正。

关键词: 并联电容器; 群爆; 过电压; 零序差流保护

Analysis on colony fusing failure of 35 kV parallel capacitors and parameters set on its zero sequence difference current protection

CHEN Qing-qi, LIU Jin-lan

(Dongguan Power Supply Bureau, Dongguan 523000, China)

Abstract: In order to make it clear for explosion accidents of 35 kV double-star parallel capacitors occurred frequently, this paper calculates and analyzes the distribution of overvoltage caused by breakdown of elements within the capacitor bank. Shunt capacitor zero sequence difference current protection can judge whether the breakdown of internal capacitor elements exists in banks by detecting neutral line unbalanced current. At last, it gives the setting method of double-star zero sequence difference current protection and modifies the working setting value.

Key words: parallel capacitors; colony fusing failure; overvoltage; zero sequence difference current protection

中图分类号: TM77 文献标识码: B 文章编号: 1674-3415(2010)11-0067-03

0 引言

并联电容器是目前国内采用最普遍的无功补偿设施, 它是为了减少线路上因大量无功传输而引起的电能损失, 解决地区无功电源容量不足, 提高功率因素, 保证电力系统安全经济运行的重要措施。因此保障并联电容器装置的正常运行在电网安全性和降损节能方面有着重要的意义。

由于电容器是储能设备, 内部的工作场强很高, 对冲击过电压和高频过电压冲击波都非常敏感。正常工作电压下电容器元件绝缘老化是一个长期的过程, 任何元件发生故障都将其余元件上的电压分布改变。如果保护未能及时动作, 就会造成一些电容器元件运行电压过高而加速绝缘劣化, 导致多个内部元件连续性击穿, 从而引起整组电容器群爆事故的发生。近些年来广东省 500 kV 变电站接连发生

35 kV 并联电容器群爆事故, 本文以 500 kV 横沥变电站发生的 35 kV 并联电容器群爆事故为例, 从分析电容器内部电压的分布入手, 研究内部元件故障引起的电压分布变化情况, 并对目前用于反映电容器内部故障的零序差流法保护参数整定提出了准确的整定方法。

1 电容器现场故障情况分析

500 kV 横沥站的 35 kV 无功补偿系统由于过电压引起了电容器组群爆起火事故, 整个事故燃烧约 1 个小时, 321 并联电容器组 B 相电容严重烧毁。这次事故不仅造成了设备损坏, 变电站部分停电, 事故现场的着火、浓烟、爆裂碎片还给运行人员的安全带来极大的威胁。

1.1 事故过程和保护动作情况

横沥站值班人员在接到总调投电容器组的命令

后，合上 35 kV II 母线 #1 电容器组 321 开关，四秒中后 35 kV II 母线 #1 电容器组 ISA-359F 保护零序差流保护动作，跳开 321 开关三相，现场 35 kV II 母线 #1 电容器组着火，多个电容器爆裂、漏液，并伴有浓烈的刺激性气味，多个支持绝缘子、放电 PT、不平衡 CT 等附件损坏，保护显示“零序差流保护动作 $I_p=11.38 \text{ A}$ ”。

1.2 电容器组的参数配置及结构

故障电容器安装在变电站的主变 35 kV 侧，共有 180 台，总容量为 60 120 kvar。

电容器组型号：TBB35-60120/334-BLW

单台电容器型号：EX-7Li 12 000 V 334 kvar
BIL：125 kV

电容器组接线方式为双星形接线，中性点不接地。每相电容器组先并后串，每臂 7+8 并 2 串。电容器组采用中性点零序差流保护，单台电容器采用内部熔丝保护，8 并 5 串组成一台电容器。

1.3 故障录波电流分析

由现场故障录波图及电能监测装置记录的谐波和电压数据，可以分析此次电容器组故障的发生并不是瞬时谐波过大或系统零序电压引起。同时通过分析现场录波图可以将故障电流分为四个阶段，第一阶段电流约 840 A，属于正常运行电流；第二阶段电流约 1 500 A，为故障时电流，由于整定不当，保护整定值过大，保护未能启动；第三阶段电流约 2 400 A，故障进一步扩大，保护启动；第四阶段约 10 000 A，属于三相故障电流，已发展为严重故障。

事故是在电容器正常投入 4 s 内发生的，我们可以认为电容器组在合闸过程中的过电压造成了电容器的击穿。根据内部熔丝电容器的特点，我们可以分析知道当单台电容器内部故障元件数目超过最多允许的数目，其余元件承受的过电压将超过最大允许值。从以上电流的变化过程分析看，当个别电容器元件发生故障时，由于内部故障保护零序差流保护的定值设置偏大，从而不能及时有效地起到保护作用，导致先有一台电容器单体完全被短路，电容器组两串结构变为一串结构，电流增大一倍，约 1 500 A。剩余一串在过电压下运行，有连续击穿故障，然后发生短路，电流继续增到 2 400 A，并迅速发展为三相短路故障，电流达 10 000 A。

2 电容器内部元件故障引起的电压分布变化

电容器上的过电压既与运行时的母线电压水平及串联电抗器的电抗率有关，又与电容器发生内部故障时的不均匀电压分布有关。由于无功补偿电容

器装置一般由数只电容器串、并联组成，而每台电容器内部一般又由多个电容器元件按需要串联、并联构成。因此电容器中的任何一个元件出现故障都将引起电压在各电容元件上的重新分布，给电容器的正常运行带来潜在的危險。

带内部熔丝的 35 kV 无功补偿电容器组接线如图 1 所示，单台电容器由 M 个带内熔丝的元件并列而成，每臂再由 N 台电容器串联而成，分析由于电容器内部元件故障引起的电压分布变化情况。图中， U_a 、 U_b 和 U_c 分别为电容器组的三相支路电压， U_0 为中性点电位。接线方式为双 Y 形中性点不接地方式，如对于 A 相，A1 和 A2 各为其中一个 Y 臂。

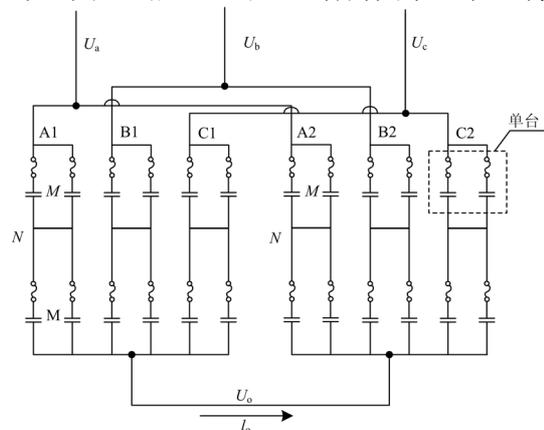


图 1 带内部熔丝的无功补偿电容器组结构

Fig.1 Frame of capacitors compensation with internal fuse

当 35 kV 系统三相对称且电容器组三相完全平衡时，35 kV 补偿电容器组的中性点电位 U_0 为零，流过双 Y 中性点连线的电流 I_0 也为零。如有电容器发生故障， U_0 及 I_0 均不再为零。内部熔丝是用来断开故障的电容器元件，从而使该电容器单元的其余部分以及接有该电容器单元的电容器组继续运行。设电容器组母线相电压为 1.0 (标么值)，每元件容量为 c ，假设 A 相一单元内部有 F 个元件故障被熔丝断开，故障单元电压值、故障单元过电压值倍数分别由算式 (1)、(2) 可以求得。

无故障时单相单臂电容器组总容抗：

$$X_{c\Sigma} = \frac{N}{M\omega c}$$

故障单元容抗：
$$X_{cf} = \frac{1}{(M-F)\omega c}$$

故障后其它完好单元的总容抗：

$$X_{c\Sigma-1} = \frac{N-1}{M\omega c}$$

故障单元电压：

$$V_{\delta} = \frac{X_{cf}}{X_{cf} + X_{c\Sigma-1}} = \frac{M}{N(M-F) + F} \quad (1)$$

故障单元过电压倍数:

$$K_v = \frac{V_{cf}}{1/N} = \frac{MN}{N(M-F) + F} \quad (2)$$

由分析可知, $K_v > 1$, 即带内部熔丝的电容器组内部某些元件故障后被熔丝断开退出运行, 故障元件所在单元剩余完好的电容元件将承受过电压。随着 F 的增多, 剩余完好电容元件承受的过电压也越大。根据电容器内部元件可以承受的过电压倍数, 利用公式 (2) 可以计算出电容器组正常运行最多允许故障元件的个数。

3 双星零差电流保护的整定计算

单台电容器内部元件击穿的最有效保护手段是电容器的零序差流保护, 该保护也是整台电容器组故障最有效的保护手段。双星接线电容器中性线零差电流保护的整定, 对电容器故障的可靠切除起着决定作用。

以 500 kV 横沥站 35 kV 电容器组 321 为例, 实际结构如图 2 所示, 保护方式是双星零差电流保护 (内熔丝), 正确的整定方法如下:

- 电容器组额定相电压 U_{EX} : 24 kV
- 电容器组额定容量 Q_N : 60 120 kvar
- 单台额定电压 U_n : 12 kV
- 单台额定容量 Q_n : 334 kvar
- 单台额定电流 I_n : 27.8 A
- 元件允许过电压倍数 K_v : 1.5
- 单台串联数 N : 2 单台并联数 M : 7+8
- 元件串联数 n : 5 元件并联数 m : 8
- 电流互感器变比 n_l : 20/5
- 电流互感器精度 σ (%): 0.5
- 臂间电容偏差 ΔZ_{dz^*} (%): 0.5
- 允许内熔丝动作根数最大值:

$$k = \frac{MNmn}{MN(n-1) + 2(N-1) + 1/3} \frac{K_v - 1}{K_v} =$$

3.27, 取 4。

零差电流保护整定值 (二次):

$$\Delta I = \frac{M}{2} \frac{kI_n}{MNn(m-k) + (M-2)Nk + 5k/3 n_l} \frac{1}{n_l} =$$

0.2515 A

初始不平衡值 (二次):

$$\Delta I_{bp} = \frac{1}{2} \frac{\Delta Z_{dz^*}}{100} \left(1 + \frac{\sigma}{100}\right) \frac{MI_n}{n_l} = 0.2624 \text{ A}$$

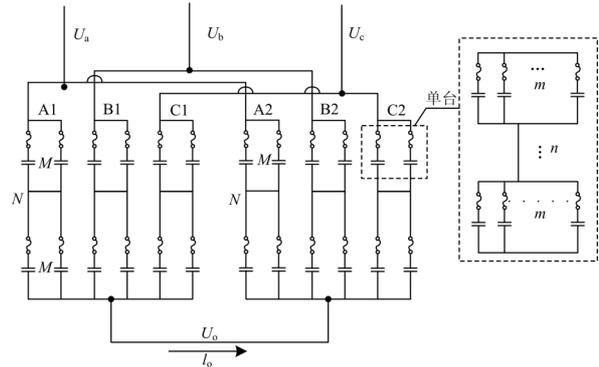


图 2 500 kV 横沥站 35 kV 电容器组结构

Fig.2 Frame of 35 kV capacitors in 500 kV Hengli substation

由于电容器组实际上三相不可能完全平衡, 因此需要考虑初始不平衡值, 若按照以上计算结果, 不平衡电流应取 $0.2515 + 0.2624 = 0.5139$ A (二次), 取 0.5 A, 一次值为 2 A。虽然原来整定的二次零差电流保护定值为 0.27A, 但原来使用的电流互感器变比为 30/1, 所以实际上零差电流保护一次整定值为 8.1 A, 远远高于内部元件发生故障发生时可以承受的零差电流。当个别电容器元件发生故障时, 内部故障保护整定值太高, 不能及时地起到保护作用, 使得故障进一步扩大。

4 结论

电容器组零序差流保护是反映电容器组一个或几个电容元件损坏后, 引起电容器组三相不平衡, 从而在中性点产生较大的不平衡电流量, 以此不平衡量作为保护动作量构成的一种保护。该保护是反映电容器内部故障的一种经济而有效的方法, 但由于目前很多供电局对带内熔丝双星接线的电容器组缺乏现场运行经验, 没能根据现场实际的情况对保护参数进行正确整定, 保护不能及时起到保护作用, 导致在群爆事故接连发生时, 造成重大经济损失。为此本文对该类型的电容器组进行了深入的分析研究, 并对目前使用的零序差流保护提出了正确的整定方法。

参考文献

- [1] 徐林峰, 林一峰. 500 kV 变电站电容器组爆裂的故障分析[J]. 电力电容器, 2004(4): 43-44.
XU Lin-feng, LIN Yi-feng. Failure analysis of capacitor bank in 500 kV substation [J]. Power Capacitor, 2004 (4): 43-44.
- [2] 杨宇, 闫晓玲, 韩富春. 变电站无功补偿装置过电压保护探讨[J]. 太原理工大学学报, 2001, 32 (4): 414-416.

(下转第 74 页 continued on page 74)

[3] 刘小园, 章勇高, 朱鹏程, 等. UPFC 并联侧控制器设计及仿真[J]. 华东交通大学学报, 2005, 22(1): 76-79.
LIU Xiao-yuan, ZHANG Yong-gao, ZHU Peng-cheng, et al. Control design and simulation of shunt inverter of UPFC[J]. Journal of East China Jiaotong University, 2005, 22(1): 76-79.

[4] 马凡, 谷双魁, 刘黎明, 等. UPFC 控制及动态特性实验研究[J]. 电网技术, 2007, 31(17): 64-69.
MA Fan, GU Shuang-kui, LIU Li-ming, et al. Experimental study on control and dynamic characteristic of UPFC[J]. Power System Technology, 2007, 31(17): 64-69.

[5] Dizdarevic N, Majstrovic M, Andersson G. FACTS-based reactive power compensation of wind energy conversion system[J]. IEEE Tech Conference Proceedings, 2003, 6(2): 23-26.

[6] Papantoniou A, Coonick A. Simulation of FACTS for wind farm applications[J]. IEE Colloquium on Power Electronics for Renewable Energy, 1997, 6(16): 81-85.

[7] Papantoniou A, Coonick A. Fuzzy logic control of a unified power flow controller for wind farm applications[J]. IEE Colloquium on Power Electronics for Renewable Energy, 1997, 6(16): 91-96.

[8] LI Da-yi, TIAN Jun. A novel variable reactor with transformer and inverter control[J]. IEEE International Conference on Electrical Machines and Systems, 2008, 10: 4440-4443.

[9] 朱鹏程, 刘黎明, 刘小元, 等. 统一潮流控制器的分析与控制策略[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(1): 45-51.
ZHU Peng-cheng, LIU Li-ming, LIU Xiao-yuan, et al. Analysis and study on control strategy for UPFC[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(1): 45-51.

[10] 姚尧, 邱昊, 陈柏超, 等. 一种新型统一潮流控制器[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(16): 78-82.
YAO Yao, QIU Hao, CHEN Bai-chao, et al. A novel unified power flow controller[J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32(16): 78-82.

[11] Ba A O, Tao Peng, Lefebvre S. Rotary power-flow controller for dynamic performance evaluation—part I: RPF modeling[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 2009, 24(3): 1406-1416.

[12] Ba A O, Tao Peng, Lefebvre S. Rotary power-flow controller for dynamic performance evaluation—part II: RPF application in a transmission corridor[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 2009, 24(3): 1417-1425.

[13] Namin M H. Using UPFC in order to power flow control[J]. IEEE International Conference on Industrial Technology, 2006, 10: 1486-1491.

[14] LIU Li-ming, ZHU Peng-cheng, KANG Yong, et al. Unified power flow controller: comparison of two advanced control schemes and performance analysis for power flow control[C].//CES/IEEE 5th International Power Electronics and Motion Control Conference. 2005.1-10.

[15] Kannan S, Jayaram S, Salama M M A. Real and reactive power coordination for a unified power flow controller [C].//IEEE/PES on Transmission and Distribution Conference and Exhibition: Asia and Pacific. 2008.1-5.

[16] 蔡松, 段善旭, 康勇. 统一潮流控制器在动态模拟系统中的应用[J]. 电网技术, 2007, 31(9): 64-69.
CAI Song, DUAN Shan-xu, KONG Yong. Application of UPFC in dynamic simulation system[J]. Power System Technology, 2007, 31(9): 64-69.

[17] 刘天琪. 现代电力系统分析理论与方法[M]. 北京: 中国电力出版社, 2007.

[18] Hagh M T, Lafzi A, Milani A R. Dynamic and stability improvement of a wind farm connected to grid using UPFC[J]. IEEE International Conference on Industrial Technology, 2008, 4: 1-5.

收稿日期: 2009-07-02; 修回日期: 2009-09-11

作者简介:

顾威(1986-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向: 电力系统稳定与控制及分布式发电; E-mail: xiaozhuzhiyi@163.com

李兴源(1945-), 男, 博士生导师, 中国电机工程学会理事, IEEE 高级会员, 主要研究方向: 电力系统稳定和控制;

魏巍(1984-), 男, 博士研究生, 主要研究方向: 电力系统稳定与控制及分布式发电。

(上接第 69 页 continued from page 69)

YANG Yu, YAN Xiao-ling, HAN Fu-chun. Discussion on the improvement of substation reactive power compensation overvoltage protections[J]. Journal of Taiyuan University of Technology, 2001, 32(4): 414-416.

[3] Bishop M, Day T, Chaudhary A. A primer on capacitor bank protection[J]. IEEE Trans on Industry Applications, 2001, 37(4).

[4] 贺家李, 宋从矩. 电力系统继电保护原理[M]. 北京: 中国电力出版社, 2001.

[5] 李磊. ISA-359F 型分散式微机保护测控装置技术说明书 V2.20[Z]. 深圳: 深圳南京自动化研究所, 2003.

收稿日期: 2009-07-03; 修回日期: 2009-09-17

作者简介:

陈庆祺(1980-), 男, 硕士研究生, 工程师, 从事变电设备运行维护工作; E-mail: king_c@tom.cn

刘锦兰(1970-), 女, 本科, 助理工程师, 从事继电保护管理工作。