

文章编号:1671-251X(2017)07-0073-04

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2017.07.015

一种矿用无功补偿装置并联电容器组保护方法

何梓源, 于群, 陈志慧

(山东科技大学 电气与自动化工程学院, 山东 青岛 266590)

摘要:针对现有矿用无功补偿装置并联电容器组保护方法存在的成本高、灵敏性差、保护整定计算复杂等问题,分析了矿用低压无功补偿装置并联电容器组发生故障时的电容电流分布特性及故障特征;根据故障时会出现三相不平衡对地电容电流导致零序电流不为零,且非故障电容器组零序电流与故障电容器组零序电流不相等的结论,提出了一种以零序电流为判据的无功补偿装置并联电容器组保护方法,仿真结果验证了该方法的有效性和可行性。

关键词: 矿山电网; 无功补偿装置; 并联电容器组; 零序电流

中图分类号:TD60

文献标志码:A

网络出版时间:2017-06-27 16:55

网络出版地址:<http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20170627.1655.015.html>

A protection method for shunt capacitor bank in
mine-used reactive power compensation device

HE Ziyuan, YU Qun, CHEN Zhihui

(College of Electrical Engineering and Automation, Shandong University of Science and
Technology, Qingdao 266590, China)

Abstract: For high cost, poor sensitivity, complex protection setting calculation existed in current protection methods for shunt capacitor bank in mine-used reactive power compensation device, characteristics of capacitor current distribution and fault were analyzed when shunt capacitor bank in mine-used reactive power compensation device broke down, and conclusions were gotten including that three-phase unbalanced grounding capacitor current would result in non-zero zero-sequence current when fault occurred, and zero-sequence current of non-fault capacitor bank was different with the one of fault capacitor bank. According to above conclusions, a protection method for shunt capacitor bank in reactive power compensation device was proposed which took zero-sequence current as criteria. The simulation results verify effectiveness and feasibility of the method.

Key words: mine power network; reactive power compensation device; shunt capacitor bank; zero-sequence current

0 引言

矿山电网中的电力负荷大多是感性负荷,在整个电力系统运行过程中需要提供一定的无功功率。

在矿山电网中安装无功补偿装置,可减少输电线路输送电流,减少线路能量损耗和压降,改善电能质量,提高设备利用率。在当前矿用低压无功补偿装置中,并联电容器组因投资小、运行费用低得到广泛

收稿日期:2017-04-13;修回日期:2017-05-25;责任编辑:盛男。

基金项目:山东省自然科学基金资助项目(ZR2016EEM13)。

作者简介:何梓源(1993—),男,山东枣庄人,硕士研究生,主要研究方向为电力系统及其自动化,E-mail:642832051@qq.com。

引用格式:何梓源,于群,陈志慧.一种矿用无功补偿装置并联电容器组保护方法[J].工矿自动化,2017,43(7):73-76.

HE Ziyuan, YU Qun, CHEN Zhihui. A protection method for shunt capacitor bank in mine-used reactive power compensation device [J]. Industry and Mine Automation, 2017, 43(7): 73-76.

使用^[1-5]。然而,由于矿井工作环境恶劣、低压电网保护不完善等原因,并联电容器组经常损坏,导致无功补偿装置出现故障。因此,配置合理、完善的保护装置对提高无功补偿装置运行可靠性起到至关重要的作用。

矿用低压无功补偿装置中并联电容器组故障主要分两类:一种是不正常的运行工况对电容器组造成的危害;另一种是电容器组内部故障。电容器组内部故障表现形式包括电容器组单相接地短路故障、电容器组内部单个电容器开路或短路、电容器组内部故障电容器切除后引起的剩余电容器过载或过电压等,其中约 90% 的电容器组内部故障是单相接地短路故障^[6-8]。电容器组由多个电容器串并联组成,当个别故障电容器被相应的熔断器切除后,对整个电容器组的影响很小,但故障电容器的出现会加速其他电容器损坏。因此,必须针对电容器组内部故障设置保护措施。

现有并联电容器组内部故障保护方法有桥式差电流保护、电压差动保护、中性点不平衡保护和开口三角电压保护,但实际应用中存在以下缺陷:① 桥式差电流保护在电容器组出现对称性故障时,不平衡电压无变化,保护不动作^[9]。② 电压差动保护需要在电容器组串联的每相电容器上均安装电压互感器,成本高。③ 中性点不平衡保护一般针对双星形接线电容器组,但无法准确判断故障电容器组,且 2 组电容器组发生相同的电容器段故障时便会失去保护作用。④ 开口三角电压保护适用于单星形接线电容器组,需要将放电线圈的一次侧与单星形接线的每相电容器并联,且各电容器组要安装 3 个放电线圈,由于要避免正常运行时的不平衡电压,该保护方法灵敏度较低,需要和其他保护方法配合使用,成本过高^[10]。以上保护方法相互配合使用可有效保证无功补偿装置可靠运行,但加大了保护整定的计算难度,也大大提高了保护成本。

鉴此,本文通过分析无功补偿装置并联电容器组发生故障时电容电流分布特性及故障特征,提出了一种以零序电流为判据的保护方法,并搭建了仿真模型进行验证。

1 并联电容器组零序电流保护原理

在中低压母线上投入 N 组并联电容器组进行无功补偿,在各并联电容器组的电容器与断路器之间装设零序电流互感器,如图 1 所示。图中 $C_1—C_N$ 为 1— N 号并联电容器组的单相电容, $I_{B1}—I_{BN}$ 和

$I_{C1}—I_{CN}$ 分别为 1— N 号并联电容器组中 B 相、C 相电容电流。并联电容器组正常运行时,电容器组 A, B, C 三相电流为对地电容电流,且电容电流三相平衡,零序电流为零。当 2 号并联电容器组 A 相发生接地短路故障时,忽略负荷电流和电容电流在线路阻抗上产生的电压降,则所有并联电容器组 A 相对地电压均等于零, A 相电容电流也等于零,同时 B 相、C 相对地电压和电容电流均升高^[11-12]。

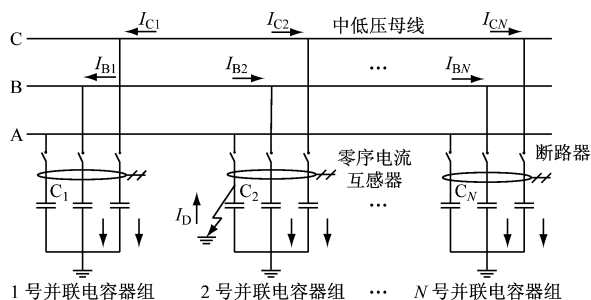


图 1 并联电容器组零序电流保护原理

Fig. 1 Zero-sequence current protection principle of shunt capacitor bank

非故障的 1 号并联电容器组零序电流为

$$3\dot{I}_{01} = \dot{I}_{B1} + \dot{I}_{C1} \quad (1)$$

在发生故障的 2 号并联电容器组中, A 相存在接地电流 I_D , 2 号并联电容器组零序电流为

$$3\dot{I}_{02} = \dot{I}_D + \dot{I}_{B2} + \dot{I}_{C2} \quad (2)$$

同理,当并联电容器组发生单相断路故障及对称性故障时,都会出现电容器组对地电容电流三相不平衡,且非故障电容器组零序电流与故障电容器组零序电流不相等^[13]。因此,可通过检测零序电流来判断电容器组是否发生故障,即零序电流不为零表明无功补偿装置并联电容器组出现故障,进一步通过比较各并联电容器组零序电流大小来判断电容器组是否处于故障状态。

2 仿真分析

通过 Matlab/Simulink 仿真软件搭建矿井 660 V 无功补偿装置模型,该模型由主回路和补偿回路组成。主回路由 10.5 kV 三相电源模块、二次侧电压 660 V 三相变压器、三相电压电流表和三相 RLC 负载组成;补偿回路由 3 组星形接线并联电容器组构成,各并联电容器组始端均装设三相电压电流表用于采集零序电流,负载有功功率为 16 kW,功率因数初始为 0.7,总投入电容为 256.9 μF 。仿真时选择离散算法^[14-15],仿真时长为 0.3 s,利用 Powergui 模块设置采样时间为 10^{-5} s。

设置仿真工况 1:1 号并联电容器组在 0.05 s 时发生 A 相接地短路故障,2 号、3 号并联电容器组正常运行。设置仿真工况 2:1 号并联电容器组在 0.05 s 时发生 A 相电容断路故障,2 号、3 号并联电容器组正常运行。设置仿真工况 3:1 号、2 号并联电容器组在 0.05 s 时同时发生 A 相接地短路故障,3 号并联电容器组正常运行。仿真得到工况 1—工况 3 下各并联电容器组零序电流波形,如图 2—图 4 所示($3I_{03}$ 为 3 号并联电容器组零序电流)。

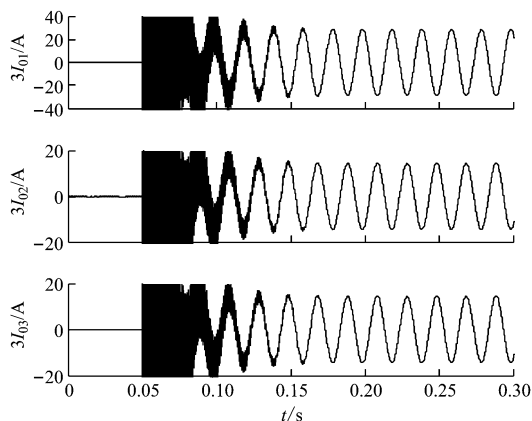


图 2 单相接地短路故障时各并联电容器组零序电流波形
Fig. 2 Zero-sequence current waveforms of each shunt capacitor bank under single-phase grounding short circuit fault

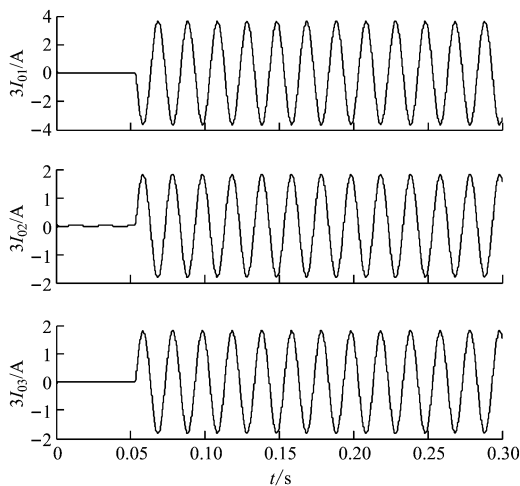


图 3 单相断路故障时各并联电容器组零序电流波形
Fig. 3 Zero-sequence current waveforms of each shunt capacitor bank under single-phase open circuit fault

从图 2—图 4 可看出,故障前各并联电容器组零序电流为零,故障暂态过程结束后的零序电流与故障前的零序电流相比变化显著,故障电容器组零序电流与非故障电容器组零序电流不同。当并联电容器组发生单相接地短路故障、单相断路故障时,各非故障电容器组零序电流相等;当并联电容器组发

生对称性故障时,各故障电容器组零序电流相等。仿真结果与理论分析一致。

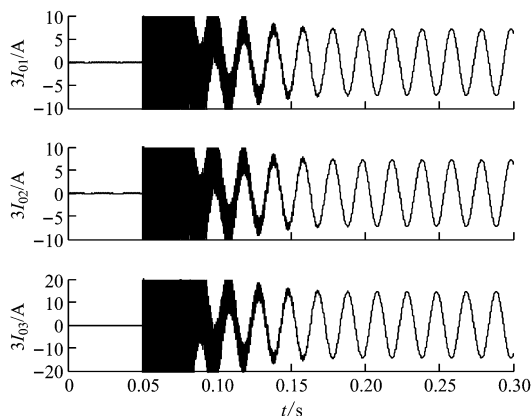


图 4 对称性故障时各并联电容器组零序电流波形
Fig. 4 Zero-sequence current waveforms of each shunt capacitor bank under symmetry fault

3 结语

基于零序电流的矿用无功补偿装置并联电容器组保护方法只需在各并联电容器组始端装设零序电流互感器,通过检测零序电流大小判断故障电容器组。仿真结果表明,该方法能有效针对电容器组单相接地短路故障、单相断路故障、对称性故障进行快速保护动作。与现有无功补偿装置并联电容器组保护方法相比,该方法降低了保护成本,简化了保护整定计算,提高了无功补偿装置运行可靠性。

参考文献(References):

- [1] 孟祥侠,李鹏,张全柱,等. SVC 与传统无功补偿装置在煤矿系统中组合配置[J]. 煤矿安全,2014,45(10): 83-84.
MENG Xiangxia, LI Peng, ZHANG Quanzhu, et al. Combination allocation of SVC and traditional reactive compensation in coal mine[J]. Safety in Coal Mines, 2014,45(10):83-84.
- [2] 孔庆柱. 低压无功补偿装置在选煤厂的应用分析[J]. 山东煤炭科技,2015(6):127-128.
KONG Qingzhu. Application of low voltage reactive power compensation device in coal preparation plant [J]. Shandong Coal Science and Technology, 2015 (6):127-128.
- [3] 王杰,张玉超. 动态无功补偿装置在煤矿电网中的应用[J]. 煤炭科学技术,2010,38(5):107-110.
WANG Jie, ZHANG Yuchao. Application of dynamic idle compensation device to mine electric power grid [J]. Coal Science and Technology, 2010, 38 (5):

- 107-110.
- [4] 李响初,邓宗寿,李彪. 有色金属矿山电力谐波治理与抑制及解决方案研究[J]. 电力电容器与无功补偿, 2016,37(5):103-106.
- LI Xiangchu, DENG Zongshou, LI Biao. Study on the control suppression and solution of power harmonic in non-ferrous metal mines [J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2016,37(5):103-106.
- [5] 杨昌兴,郭秀霞,王明毫. 新型电容保护的形制与整定[J]. 电力电容器与无功补偿, 2016,37(1):1-5.
- YANG Changxing, GUO Xiuxia, WANG Minghao. Protection form and setting of a novel capacitor[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2016,37(1):1-5.
- [6] 倪学锋,盛国钊,林浩. 我国电力电容器的运行与改进建议[J]. 电力设备, 2004,5(9):10-13.
- NI Xuefeng, SHENG Guozhao, LIN Hao. Operation and improving suggestion for power capacitor in China[J]. Electrical Equipment, 2004,5(9):10-13.
- [7] 范俊华. 电力电容器测控保护装置的原理与设计[D]. 合肥:合肥工业大学, 2012.
- [8] 韩明明,李清泉,刘洪顺,等. 特高压混合无功补偿线路接地故障开断特性[J]. 电力系统自动化, 2016,40(12):158-164.
- HAN Mingming, LI Qingquan, LIU Hongshun, et al. Interrupting characteristics of ground fault on UHV transmission line with hybrid reactive compensation [J]. Automation of Electric Power Systems, 2016,40(12):158-164.
- [9] 张杰,刘相枪,张耀山,等. 桥差保护电容器组初始不平衡电流调整方法研究[J]. 电力电容器与无功补偿, 2014,35(5):40-43.
- ZHANG Jie, LIU Xiangqiang, ZHANG Yaoshan, et al. Research on adjustment method of initial unbalanced current of H type protection power capacitor bank [J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2014,35(5):40-43.
- [10] 张利生. 电网无功控制与无功补偿[M]. 北京:中国电力出版社, 2012:139-148.
- [11] 徐缓. 20 kV 并联电容器组保护装置的配置与计算[J]. 电力电容器与无功补偿, 2009,30(5):26-29.
- XU Huan. Discussion on configuration and calculation of protective device for 20 kV shunt capacitor bank [J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2009,30(5):26-29.
- [12] 贺家李,李永丽,董新洲,等. 电力系统继电保护原理[M]. 4版. 北京:中国电力出版社, 2010:85-86.
- [13] 何梓源. 一种基于零序电流的并联电容器保护装置: 201620308853. 6[P]. 2016-10-26.
- [14] 王中礼,段慧达,高玉峰. MATLAB 应用技术——在电气工程与自动化专业中的应用[M]. 北京:清华大学出版社, 2007.
- [15] 于群,曹娜. MATLAB/Simulink 电力系统建模与仿真[M]. 北京:机械工业出版社, 2011:115-120.