

零序电压保护的改进方法分析

王华伟, 沈大中, 周勇

(郑州大学电气工程学院, 河南 郑州 450001)

摘要: 并联电容器零序电压保护是通过检测零序电压来判断电容器组内部是否出现故障, 从而给出报警信号或者跳闸信号使电容器组退出运行。零序电压保护不能识别故障相, 不能消除三相电压不平衡的影响。为克服这些缺陷, 对电容器零序电压保护进行了改进方法的研究, 分析了电容器组内部故障时的过电压和相电流的变化, 并给出了计算公式。同时, 提出了消除三相电压不平衡及识别故障相的改进方法。

关键词: 故障相; 零序电压; 三相不平衡电压

Analysis of zero-sequence voltage protection

WANG Hua-wei, SHEN Da-zhong, ZHOU Yong

(School of Electrical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: Shunt capacitor zero-sequence voltage protection can judge whether the outage of internal capacitor elements exists in banks by detecting zero-sequence voltage to send a warning signal or a trip signal for the banks' breaker to remove the bank from the system. Zero-sequence voltage protection fails to identify the faulted phase and wipe out the influence of three-phase unbalanced voltage. In order to overcome its disadvantages, a study of mended zero-sequence voltage protection scheme for shunt capacitor is made. This paper analyses the internal over voltage and changes of the phase current, and gives corresponding equations. At the same time, it gives a developed method about eliminating the three-phase unbalanced voltage and identifying the fault phase.

Key words: faulted phase; zero-sequence voltage; three-phase unbalanced voltage

中图分类号: TM77 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2009)17-0032-03

0 引言

并联电容器组通常是由许多小的电容器元件按照一定的方式串并联组成的。在电容器组发生内部故障的过程中, 随着越来越多的元件因故障退出运行, 就会造成剩余元件的过电压^[1]。由于外部的过电压保护不能反应电容器组内部电压的增大而跳闸。因此, 电容器组继电保护装置需要有能检测出电容器组内部过电压的措施, 从而决定是发出告警信号还是将整组电容器退出运行。零序电压保护由于其接线原理简单、灵敏性高并能很好地检测出电容器内部故障而得到广泛应用。可是在实际运行过程中, 当母线三相电压不平衡时, 可能会因不平衡电压的加大而引起误动作。另外, 不能分辨故障相, 使得查找故障电容器较麻烦。本文提出一种新的方法可以较好解决上面的两个缺陷。

1 并联电容器组内部故障分析

并联电容器组可以分为带内部熔丝的和不带内

部熔丝的两种, 假设限流电抗器对零序电流保护整定值选取的影响忽略不计, 下面分析两种电容器内部过电压的原理。

1.1 带内部熔丝的电容器组

图 1^[2]所示为有内部熔丝的电容器组结构示意图, 电容器组是由 M 个电容器并联组成一个单元, N 个单元

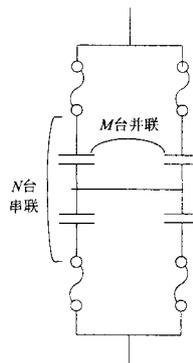


图 1 带内熔丝电容器结构

Fig.1 Capacitor bank configuration with internal fuse

串联组成的。内熔丝用来断开故障的电容器元件, 从而使别的完好的电容器元件继续运行。

设 A 相某段 K 个单台电容器熔丝熔断切除(用标么值表示, 单台电容器 $C=1$; 角频率 $\omega=1$)

故障相故障单元电容: $C_{fd} = M - K$

故障相非故障段电容: $C_{fr} = \frac{M}{N-1}$

故障相电容:

$$C_{fx} = \frac{M}{N-1} // (M-K) = \frac{M(M-K)}{N(M-K)+K}$$

非故障相电容 (A 相故障): $C_B = C_C = M/N$

下面分析计算在上述内部故障情况下的几种电量:

1) 中性点零序电压 \dot{U}_0 :

不计电阻时有中性点零序电压为

$$\dot{U}_0 = \frac{Y_A \dot{U}_A + Y_B \dot{U}_B + Y_C \dot{U}_C}{Y_A + Y_B + Y_C}$$

式中: Y_A, Y_B, Y_C 分别为三相电纳。

当 A 相故障时, $Y_A = 1/C_{fx}$, $Y_B = Y_C = 1/C_B$, 代入上式得:

$$\dot{U}_0 = \frac{-K \dot{U}_A}{3N(M-K) + 2K}$$

2) 故障相电压

$$\dot{U}_{Af} = (1 - \dot{U}_0) \dot{U}_A = \frac{3N(M-K) + 3K}{3N(M-K) + 2K} \dot{U}_A$$

3) 故障段过电压倍数

$$U_{cb} = \frac{C_{fx} U_{Af}}{C_{fd}} \bigg/ \frac{U_A}{N} = \frac{3MN}{3N(M-K) + 2K} \quad (1)$$

4) 故障相电流

$$I_{Af} = U_{Af} / 1/C_{fx} = \frac{3M(M-K)}{3N(M-K) + 2K} \dot{U}_A \quad (2)$$

$$I_{Af} - I_A = \left(\frac{3M(M-K)}{3N(M-K) + 2K} - \frac{M}{N} \right) \dot{U}_A < 0 \quad (3)$$

其中: I_A 为额定相电流。

1.2 不带内部熔丝的电容器组

图 2^[2]所示为内部无熔丝的电容器组结构示意图。单台电容器中有 m 个元件并联, n 个元件串联。当某元件被短路时, 该单元中其余良好元件被短接, 导致该单元整体退出运行, 会造成剩余单元的过电压。

A 相单台电容器内击穿 βn 段电容后电容

$$C_f = \frac{m}{n - n\beta} \frac{n}{m} = \frac{1}{1 - \beta}$$

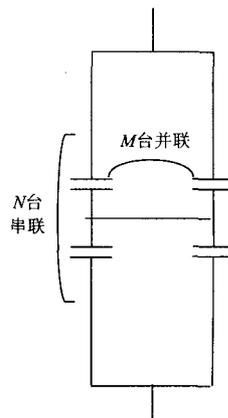


图 2 不带内熔丝电容器结构

Fig.2 Fuseless capacitor bank configuration

故障相故障段电容

$$C_{fd} = C_f + (M-1) = \frac{M(M - M\beta + \beta)}{NM(1 - \beta) + N\beta - \beta}$$

故障相电容

$$C_{fx} = C_{fd} // \frac{M}{N-1} = \frac{M(M - M\beta + \beta)}{NM(1 - \beta) + N\beta - \beta}$$

故障相电压

$$U_{fx} = (1 - U_0) U_A = \frac{3M[M(1 - \beta) + \beta] - 3\beta}{3N[M(1 - \beta) + \beta] - 2\beta} U_A$$

故障相电流

$$I_{fx} = \frac{U_{fx}}{1/C_{fx}} = \frac{MZ(3NZ - 3\beta)}{(NZ - \beta)(3NZ - 2\beta)} \quad (4)$$

式中令 $M(1 - \beta) + \beta$ 为 Z 。

将式 (4) 代入可得: $I_{fx} - I_A > 0$ (5)

由上面的分析可知, 带内熔丝电容器组发生内部故障时, 故障相电流比额定电流小; 不带内熔丝电容器发生内部故障时, 故障相电流要比额定相电流大。

2 零序电压保护存在的缺陷分析

并联电容器的常规过电压和过电流继电保护对电容器内部元件损坏引起的过电压和过电流是起不到监测和保护作用的。因为装在母线上的电压互感器对电容器组内部元件过电压是无法检测到的, 内部故障造成的电流变化也不会引起常规过电流保护启动。如图 3^[3]所示为零序电压保护的接线方式。它具有原理简单、接线容易、灵敏性高等优点, 在电容器组的内部故障保护中得到广泛应用。在正常运行时, 电容器三相容量平衡, 三相电压基本平衡, 开口三角只有很小的不平衡电压。当某相电容器因

故障被切除时,便会引起三相电容器容量不相等,从而造成三相电压不平衡,在开口三角处出现零序电压。根据电容器允许在过电压为 1.1 倍额定电压下长期运行的规定,当过电压倍数小于 1.1 时,继电保护装置发出报警信号;大于 1.1 时,发出跳闸信号,将整个电容器组退出运行^[3]。

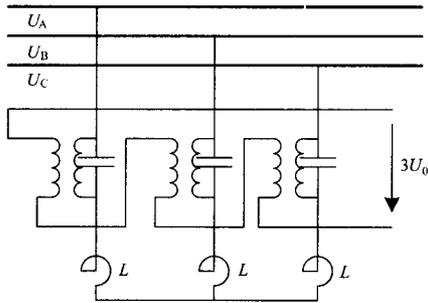


图 3 电容器零序电压保护原理图

Fig.3 Schematic diagram of zero-sequence voltage protection

在实际运行过程中,这种接线方式存在两个缺陷:当母线三相电压不平衡时,会因不平衡电压增大而引起保护误动作;不能够识别故障相。

3 对存在缺陷的改进方法

上面分析了零序电压保护自身存在的缺陷。目前的微机继电保护装置通常是将过电压保护、过电流保护、内部故障保护结合在一起的。本文提出的改进方法充分利用了装置本身的电压互感器和电流互感器,而无须另外增加互感器。

3.1 由于三相电压不平衡引起保护装置误动的改进方法

在图 3 的基础上,对零序电压保护原理的接线图作了改进,如图 4 所示,图中 PT_A, PT_B, PT_C 分别为三相电容器过电压保护采样用的电压互感器,PT_A, PT_B, PT_C 二次侧串联后与电容器组电压互感器二次侧反极性串联,假设母线三相不平衡电压为 U_mbp,三相电容器由于内部故障出现的零序电压为 U_cbp,则图 4 所示的零序电压 U₀=U_cbp-U_mbp,开口三角电压取值为 3(U_cbp-U_mbp),这样就消除了三相电压不平衡的影响,防止了因不平衡电压加大而引起误动现象的出现。

3.2 不能分相指示故障缺陷的改进方法

首先定义三个电流定值:告警定值 I₁,跳闸定值 I₂和相额定相电流值 I₃。I₁ 的值应取略小于电容器组内部出现一个元件故障时的相电流值;I₂ 的值应取电容器组内部单元承受 1.1 倍过电压时的故障相电流值。假设电流互感器采集相电流为 I_x。

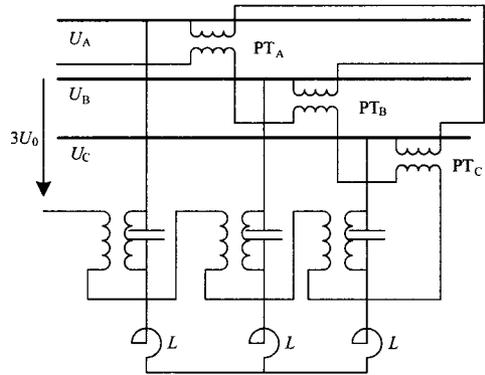


图 4 改进后电容器零序电压保护原理图

Fig.4 Schematic diagram of zero-sequence voltage protection after improvement

带内熔丝的电容器组,由式(2)^[4]可知,当电容器内部元件出现故障时 I₁<I₃,相电流变小,即:当 I₁<I_x<I₃时,电容器没有发生内部故障;当 I₂<I_x<I₁时,电容器内部出现故障,电容器内部元件没有超过 1.1 倍过电压时,保护装置发出报警信号;当 I₂>I_x时,电容器内部元件达到并超过 1.1 倍过电压时,保护装置发出跳闸信号,将整组电容器退出运行。

不带内熔丝的电容器组,由式(4)^[4]可知,当电容器内部元件出现故障时,相电流增大,即 I₁>I₃。当 I₃<I_x<I₁时,电容器没有发生内部故障;当 I₁<I_x<I₂时,电容器内部出现故障,电容器内部元件没有超过 1.1 倍过电压时,保护装置发出报警信号;当 I_x>I₂时电容器内部元件达到并超过 1.1 倍过电压时,保护装置发出跳闸信号,将整组电容器退出运行。

上面分析中,取 1.1 倍过电压作为电容器退出运行的过电压值,对于两种内部结构的电容器组来说,通过式(1)过电压倍数可以求出退出运行的电容器台数,由式(2)^[4],式(4)^[4]即可以算出 I₁, I₂ 的值。

值得注意的是,由于电流互感器的采样电流值是基波电流,所以上面提到的电流参数也均为基波电流。

4 结语

零序电压保护以其灵敏性高,动作可靠强的优点在电容器内部故障保护中得到了广泛应用。但本身也有难以克服的缺陷:受母线三相电压不平衡的影响可能导致保护误动;不能分相指示故障^[3]。本

(下转第 39 页 continued on page 39)

从图11中可以看出,当逆变器电源输出的容量不足时,对不对称电压的调节效果不佳。没有达到使电压三相完全对称的效果。在文献[4,7]中也可以得出随着分布式电源的容量的增大对不对称电压的改善程度越好。

3 结论

针对日益增加的三相不对称负荷对分布式发电系统的不利影响,本文实现了基于分布式发电的不对称电压调节器的仿真。在并网情况下实现了电压对称调节,使得分布式发电逆变装置具有良好的电压调节稳态及动态性能。并利用 Matlab/Simulink 对系统进行仿真,结果表明所设计的电压调节器针对电压三相不对称问题有明显的改善作用,有力保证了用户对电压质量的要求。可以加以推广与应用。

参考文献

- [1] Jouanne A, Banerjee B. Assessment of Voltage Unbalance[J].IEEE Trans on Power Delivery, 2001, 16 (4): 782-790.
- [2] 赵剑锋,蒋平,唐国庆.基于电压型逆变器的可持续运行的动态电压恢复器(UDVR)的研究[J].电工技术学报,2002,17(3):88-92.
ZHAO Jian-feng, JIANG Ping, TANG Guo-qing. Research on VSI-based Uninterrupted Dynamic Voltage Restorer[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2002, 17(3): 88-92.
- [3] 杨杰,赖声礼,李心广,等.三相电压不对称时谐波与基波有功、无功电流的精确检测方法研究[J].继电器,2003,31(4):6-9,20.
YANG Jie, LAI Sheng-li, LI Xin-guang, et al. Research on Precision Detection Method of Harmonics, Fundamental Active Current and Reactive Current in the Case of Unsymmetrical Three Phase Voltage[J]. Relay,

- 2003, 31(4): 6-9,20.
- [4] 白丹,蔡志开,彭力.三相逆变电源不平衡负载研究[J].电力系统自动化,2004,28(9):53-57.
BAI Dan, CAI Zhi-kai, PENG Li. Study on Unbalanced Load of a Three Phase Inverter[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(9): 53-57.
- [5] 何建剑,吴为麟.分布式电源并网系统的研究[J].研究与探讨,2007,(3):1-6.
HE Jian-jian, WU Wei-lin. Distributed Power Systems and Network Research[J]. Research and Discussion, 2007, (3): 1-6.
- [6] 张国荣,张铁良,丁明,等.具有光伏并网发电功能的统一电能质量调节器仿真[J].中国电机工程学报,2007,27(14):82-86.
ZHANG Guo-rong, ZHANG Tie-liang, DING Ming, et al. A Grid-connected PV Function of Unified Power Quality Regulator Simulation[J]. Proceedings of the CSEE, 2007, 27(14): 82-86.
- [7] 彭力,白丹,康永.三相逆变器不平衡抑制研究[J].中国电机工程学报,2004,24(5):174-178.
PENG Li, BAI Dan, KANG Yong. Reach on Three Phase Inverter on Unbalanced Load[J]. Proceedings of the CSEE, 2004, 24(5): 174-178.

收稿日期:2008-08-20; 修回日期:2008-11-10

作者简介:

干磊(1983-),男,硕士研究生,研究方向为电力系统分析与控制、分布式发电、电能质量治理;
E-mail:ganlei9199@163.com

吴政球(1963-),男,博士,教授,博士生导师,研究方向为电力系统分析与控制,分布式发电;

曾议(1984-),男,硕士研究生,研究方向为分布式发电、孤岛检测。

(上接第34页 continued from page 34)
文通过对零序电压保护原理接线图的改进及对相电流的判断,较好地解决了其存在的问题。最重要的是利用了原保护装置中的电压互感器和电流互感器,弥补保护装置缺陷的同时并没有增加装置的成本。

参考文献

- [1] 陈艳霞,尹项根,郭琳云.新型并联电容器组微机保护[J].电力自动化设备,2002,22(10):33-35.
CHEN Yan-xia, YIN Xiang-gen, GUO Lin-yun. New Microprocessor Based Protection for Shunting Capacitor[J]. Electric Power Automation Equipment, 2002,(10):33-35.
- [2] 马晋辉.高压并联电容器组保护的分析及参数计算[J].电气应用,2007,(10):44-47,104.

- MA Jin-hui. Analysis and Calculation of High Voltage Shunt Capacitor Protection[J]. Electric Application, 2007, 22(10): 44-47, 104.
- [3] 高友权,高华,魏燕.配电系统继电保护[M].北京:中国电力出版社,2005.
- [4] 王维俭.电气主设备继电保护原理与应用(第二版)[M].北京:中国电力出版社,2002.

收稿日期:2008-10-09; 修回日期:2008-11-04

作者简介:

王华伟(1982-),男,硕士研究生,研究方向为电力系统电能质量分析; E-mail:Wanghuawei112@yahoo.com.cn

沈大中(1955-),男,工程师,研究方向为电力电子技术应用;

周勇(1956-),男,教授,硕士生导师,研究方向为电力系统谐波分析。