

一种线路纵差保护新原理

杨 青, 郑 涛, 肖仕武, 黄少锋, 刘万顺

(电力系统保护与动态安全监控教育部重点实验室(华北电力大学), 北京 102206)

摘要: 针对超高压输电线路分布电容电流对差动保护的影响, 提出了一种从原理上完全不受电容电流影响的线路纵差保护新原理。该原理是选择线路两侧电流突变量的最大有效值与差动电流突变量的有效值进行比较来区分区内、外故障, 无需考虑分布电容的影响因素。当空载合闸与区外故障时能够可靠闭锁差动保护, 而区内故障时差动保护能够准确动作。新原理思路简明, 计算快速。经大量仿真实验验证该原理有效消除了分布电容电流对差动保护的不利影响, 提高了差动保护的可靠性。
关键词: 差动保护; 线路纵差保护; 分布电容电流; 超高压输电线路; 突变量

New principle of current differential protection for transmission line

YANG Qing, ZHENG Tao, XIAO Shi-wu, HUANG Shao-feng, LIU Wan-shun

(Key Laboratory of Power System Protection and Dynamic Security Monitoring and Control under Ministry of Education,
North China Electric Power University, Beijing 102206, China)

Abstract: Based on the study about the influence of the distributed capacitance current of UHV transmission line on differential current protection, a principle which is free from capacitance current impact is put forward in this paper. This method carries on the comparison between the maximal virtual value of current mutational volume which is chosen in the two sides of transmission line, and the virtual value of differential current mutational volume, to distinguish internal fault from external fault. Differential protection still could operate reliably regardless of the influence factor of the distributed capacitive current. When switching unloaded or a external fault occurs, the algorithm can latch up protection reliably. While a internal fault occurs, it still operate accurately. The new method needs a little calculation, a short data windows and has reliable performance. Lots of simulation results demonstrate that the algorithm can effectively eliminate the advanced influence of distributed capacitive current on the differential current protection, then it can improve the reliability of the transmission line protection.

This project is supported by National Natural Science Foundation of China(No.50277012 and No.50607006).

Key words: differential current protection; transmission line protection; distributed capacitive current; ultra-high-voltage(UHV) transmission line; mutational volume

中图分类号: TM771

文献标识码: A

文章编号: 1003-4897(2006)24-0001-05

0 引言

为了满足日益增长的电力需求, 尽可能地增大电能输送容量, 减少输电损耗, 超(特)高压输电技术得到了大力发展。作为联合输电系统或远距离输电系统的骨架, 超(特)高压系统对继电保护的性能要求很高。在各种线路保护原理中, 纵联差动保护被广泛作为高压和超高压输电线路的主保护^[1~3]。但是在保护原理上, 电流差动保护受到分布电容电流的影响。500 km 的 750 kV 或 1 150 kV 输电线路

的稳态电容电流将达到自然电流的 50%^[4]。这使得线路两端的测量电流不再满足基尔霍夫电流定律, 从而会直接影响保护的灵敏度和可靠性。

目前, 克服线路分布电容电流影响的主要方法是通过电容电流的相量补偿来做一定的弥补^[2,3,5,8,9]。但是, 在短路初始阶段, 暂态电容电流比稳态电容电流要大很多。相量补偿方法只能补偿稳态电容电流, 尤其是在单端供电或者空投于故障情况下, 基于相量补偿方法的电流差动保护的各方案(包括故障分量差动)均无法满足实际电力系统继电保护的要求。

本文提出了一种无需考虑电容电流补偿的线路差动保护新原理。该原理是通过比较线路两侧相

基金项目: 国家自然科学基金项目(基金号 50277012 与 50607006)

电流突变量的最大有效值与差电流突变量有效值的大小来区分内外部故障。大量仿真实验验证了该原理的正确有效性。

1 电容电流对线路纵差保护的影响

为提高超高压线路的传输能力,减小其电压损耗和能量损耗,使其达到最佳运行状态和最大经济效益,必须尽可能减小输电线路单位长度的电阻和电感,减小漏电导。超高压系统输电线路大都采用多根分裂导线构成相线,这使得线路感抗减小,分布电容增大。同时,超高压输电线路往往都要承担远距离大容量的电力输送任务,较长的线路使分布电容的等效容抗大大减小,导致电容电流进一步增大,从而影响电流差动保护动作正确性。

为了减小长距离线路的分布电容引起的线路过电压,超高压线路两端一般装设有并联电抗器。并联电抗器在限制过电压、减小单相重合闸过程中的潜供电流的同时,也有助于平衡轻负荷时的线路无功功率。但是,一方面为了避免电抗器和分布电容形成并联谐振,不能进行全补偿。另一方面,并联电抗器并不是一直接入超高压输电线路中,而是根据系统的实际情况投入或退出,这就使得输电线路的结构随着并联电抗器的投入或退出而发生变化,从而对电流差动保护判据产生影响,保护有可能误动或拒动。

此外,并联电抗器对线路分布电容补偿作用仅仅限于对工频稳态的补偿,不能补偿暂态电容电流。在输电线路发生短路故障时,除了有工频稳态的周期分量外,还存在非周期性的暂态分量(直流分量)以及衰减的周期性的暂态分量(各次谐波分量)。因此,即使增加并联电抗器之后,差动保护在区外故障时仍可能误动^[11~14]。

2 无需考虑电容电流补偿的线路纵差保护新判据

超高压输电线路的分布电容参数受系统运行方式和外界条件(如沿线地质、气候)等因素的影响,其数值可能明显偏离给定值。这就造成电容电流固定补偿难以很精确,线路纵差保护有可能误动。本文提出一种无需对电容电流补偿的线路纵差保护新原理,理论上完全不受电容电流的影响,能够明确区分区内、外故障。

线路纵差保护新判据如下:

$$|\Delta I_d| > I_{zd} \quad (1)$$

$$|\Delta I_d| \geq \max(|\Delta I_m|, |\Delta I_n|) \quad (2)$$

式中: $\Delta I_m, \Delta I_n$ 分别为 m 侧、n 侧电流突变量的有效值; ΔI_d 为差电流突变量的有效值; I_{zd} 为制动电流门槛,其取值按照最大不平衡电流,即按线路全长的充电电流整定。

式(1)为辅助跳闸判据,主要用于防止线路空投或空载情况下装置因某种原因误动作,式(2)为主判据。若连续计算 R 点,其中 S 点同时满足式(1)与式(2)时,判为区内故障,差动保护动作。

新判据中,电流突变量采用滚动求取有效值的算法。电流采用突变量主要是为了消除两侧系统电流相位不同带来的影响。电流突变量按照式(3)求取,其中 k 指故障后第 k 周期^[6]。

$$\Delta i(n) = i(n) - i(n - kT) \quad (3)$$

所谓滚动求取有效值算法即是将一周波数据窗滑动计算电流突变量的有效值。该方法利用故障前的电流突变量为零的特征,从故障时刻开始,逐点录入故障状态,实现滚动计算有效值,即按式(4)得到电流突变量的有效值的变化规律,有效地克服了电容电流对线路纵差保护带来的不利影响。

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt} \quad (4)$$

此外,由于对端电气量传输的延迟,本端信号与对端信号的同时获取存在一定的偏差,如线路长 300 km 时,引入的最大偏差为电气角度 18° 。考虑到相差 18° 所得各电流量所引入的偏差对保护的动作灵敏度和可靠性影响较小,因而该问题对新判据判别的基本性质不会造成影响。

2.1 线路空投

线路空投包括空载合闸与合闸于故障等情况。对于上述情况,断开侧电流为零,此时差流与合闸侧电流相等,式(2)恒成立。但合闸侧在无故障合闸时只是流过线路全长的充电电流,式(1)中差流突变量小于定值,保护可靠不误动;当合闸于故障时,合闸侧流过故障电流,式(1)满足,保护可靠动作。

2.2 线路正常运行与发生区外故障

线路正常运行与区外故障时,对于传统的差动保护判据而言,这些情况下,理论上动作量等于零,保护不会误动。但由于分布电容的存在,以上情况下差流为线路上的电容电流。电容电流的存在使线路两端的测量电流不再满足大小相等方向相反的

条件,从而直接影响了保护的灵敏度和可靠性。

当采用新线路纵差保护判据时,当线路正常运行与发生区外故障时,不论在暂态过程中,还是稳态过程中,差动电流突变量有效值始终小于线路两侧电流突变量的最大有效值,式(2)始终不成立,保护能可靠地不误动。

2.3 区内故障

当发生区内故障时,不论故障在何时发生、在线路何处发生,差动电流突变量有效值始终大于线路两侧电流突变量的最大有效值,式(2)成立。且此时差动电流突变量有效值也大于制动电流门槛值,式(1)同时成立,保护可靠动作。

由以上判据可知,若区内无故障, ΔI_d 为 $\Delta I_m, \Delta I_n$ 之差的有效值,它总是小于等于 $\Delta I_m, \Delta I_n$ 的最大值,保护能够可靠闭锁;同理,当发生区内故障时, ΔI_d 为 $\Delta I_m, \Delta I_n$ 之和的有效值,它总是大于 $\Delta I_m, \Delta I_n$ 的最大值,判据能够可靠动作。

3 仿真分析

3.1 仿真模型

采用 750 kV 输电系统利用 ATP 仿真软件进行方案验证。系统包括一台发电机、一条 300 km 输电线路和一个无穷大系统,如图 1 所示。系统模型元件均来自 ATP 元件库。用此模型仿真线路纵差保护所经历的电容电流影响的内外部故障,以考察本文判据的有效性。仿真计算中,一周采样 108 点。

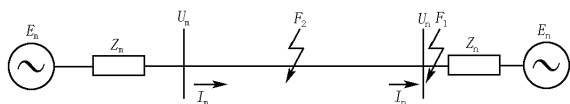


图 1 仿真系统模型

Fig.1 Simulation model

3.2 区外故障

3.2.1 区外 A 相发生金属性接地故障

图 2 所示为 F_1 点发生 A 相接地故障(区外故障)时,线路两侧 A 相电流(见图 2a)以及差电流瞬时值(见图 2b)曲线。由图 2 可见,由于分布电容的影响,当线路发生区外故障时,产生一较大差流。按照本文方法,得到的电流突变量有效值的变化曲线如图 3 所示。

由图 3 可知,由于受分部电容的影响,差流突变量有效值曲线出现上升趋势,但是它仍然小于线路两侧电流有效值的最大值,保护能够可靠闭锁。

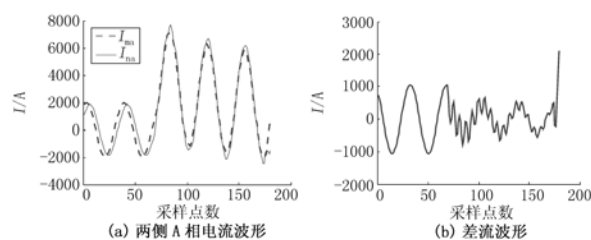


图 2 F_1 点发生区外故障时,两侧 A 相电流以及差流瞬时值

Fig.2 Current instantaneous values of two sides and the differential current when external phase A to ground fault at point F_1

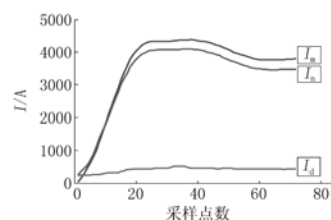


图 3 F_1 点发生区外故障时,两侧电流以及差流突变量有效值变化曲线

Fig.3 The variable curve of virtual values of two sides and the difference current when external phase A to ground fault at point F_1

3.2.2 区外 A 相经过渡电阻接地($Z_g = 300 \Omega$)

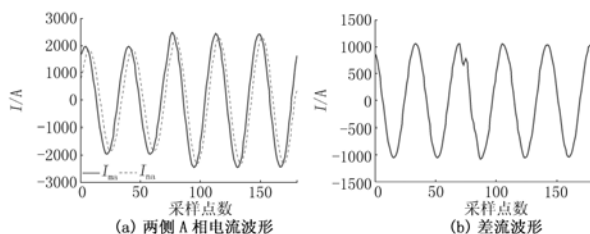


图 4 F_1 点发生区外 A 相经过渡电阻接地故障时,两侧 A 相电流以及差流瞬时值

Fig.4 Current instantaneous value of two sides when external phase A to ground fault after transition resistance at point F_1

图 4 所示为 F_1 点发生 A 相经过渡电阻接地故障时,线路两侧 A 相电流(见图 4a)以及差流瞬时值(见图 4b)曲线。由图 4 可知,经大过渡电阻接地时,故障前后电流变化较金属性接地要小。按照本文方法得到的电流突变量的有效值变化曲线如图 5 所示。

由图 5 可见,当发生区外经大过渡电阻接地故障时,即使差流突变量有效值曲线出现上升趋势,但是它仍然小于线路两侧电流突变量有效值的最大值,保护能够可靠闭锁。

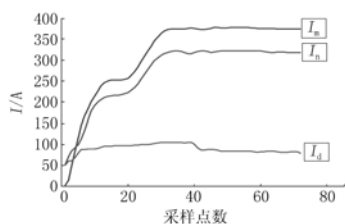


图 5 F_1 点发生区外 A 相经过渡电阻接地故障时，
两侧电流以及差流突变量有效值变化曲线

Fig.5 Variable curve of virtual value of two sides and the difference current when external phase A to ground fault after transition resistance at point F_1

3.3 区内故障

3.3.1 区内 A 相金属性接地故障

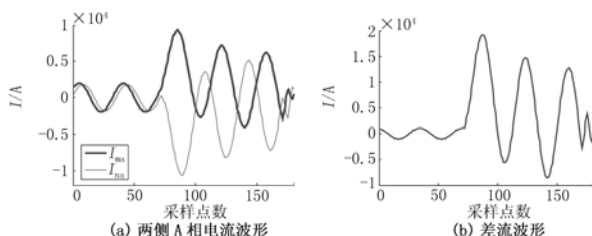


图 6 F_2 点发生区内故障时，两侧 A 相电流以及差流瞬时值
Fig.6 Current instantaneous value of two sides when inner phase A to ground fault at point F_2

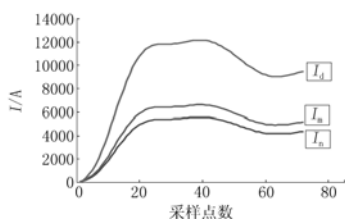


图 7 F_2 点发生区内故障时，两侧电流以及
差流有效值变化曲线

Fig.7 Variable curve of virtual value of two sides and the difference current when inner phase A to ground fault at point F_2

图 6 所示为在 F_2 点发生 A 相接地故障(区内故障)时，线路两侧 A 相电流(见图 6a)以及差电流瞬时值(见图 6b)曲线。按照本文方法，得到电流突变量的有效值变化曲线如图 7 所示。

由图 7 可知，当线路发生区内故障时，即使受电容电流的影响，差流突变量有效值仍大于两侧电流突变量的最大有效值，本文提出的判据能够可靠动作。

3.3.2 区内 A 相经过渡电阻接地故障($Z_g = 300 \Omega$)

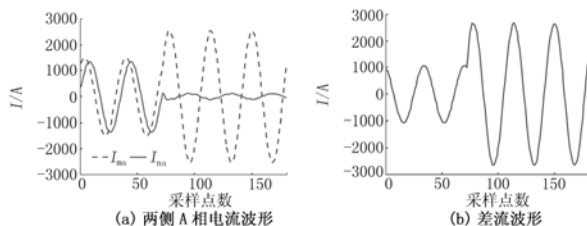


图 8 F_2 点发生区内 A 相经过渡电阻接地故障时，
两侧 A 相电流以及差流瞬时值

Fig.8 Current instantaneous value of two sides when internal phase A to ground fault after transition resistance at point F_2

图 8 所示为 F_2 点发生 A 相经过渡电阻接地故障时，线路两侧 A 相电流(见图 8a)以及差流瞬时值(见图 8b)曲线。由图 8 可知，经大过渡电阻接地时，故障前后电流变化较金属性接地要小。按照本文方法得到的电流突变量的有效值变化曲线如图 9 所示。由图 9 可见，当发生区内经大过渡电阻接地故障时，差流突变量有效值仍大于线路两侧电流突变量有效值的最大值，保护能够可靠动作。

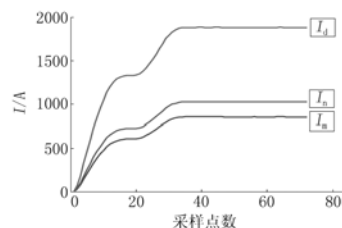


图 9 F_2 点发生区内 A 相经过渡电阻接地故障时，
两侧电流以及差流有效值变化曲线

Fig.9 Variable curve of virtual value of two sides and the difference current when internal phase A to ground fault after transition resistance at point F_2

4 结语

本文提出了一种从原理上不受分布电容电流影响的线路差动保护新原理，详细分析了在区内外故障以及空投时，判据均可以正确区分，保护可靠动作。针对电容电流对线路差动保护的影响，传统的方法都是对电容电流进行补偿。本文方法跳出电流补偿的传统思维，通过对电流突变量的滚动计算，利用差流突变量有效值与两侧电流突变量的最大有效值进行比较，实现差动保护区内外故障的准确识别。

该原理具有简单易行、灵敏度高、可靠性好等优点，ATP 仿真实验验证了该方法的可行性和有效性。

参考文献

- [1] 于艳莉.超高压线路电流差动保护原理的研究(硕士学位论文)[D]. 北京:华北电力大学, 2004.
- [2] 毕天姝, 于艳莉, 黄少锋, 等. 超高压压里差动保护电容电流的精确补偿方法[J]. 电力系统自动化, 2005, 29(15): 30-34.
BI Tian-shu, YU Yan-li, HUANG Shao-feng, et al. Novel Accurate Compensation Method of Capacitance Current of UHV Transmission Line[J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(15):30-34.
- [3] 苏斌, 董新洲, 孙元章. 适用于特高压线路的差动保护分布电容电流补偿算法[J]. 电力系统自动化, 2005, 29(8): 36-40, 59.
SU Bin, DONG Xin-zhou, SUN Yuan-zhang. Distributed Capacitive Current Compensation Algorithm for Current Differential Relay of UHV Transmission Line[J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(8):36-40, 59.
- [4] 贺家李, 李永丽, 李斌, 等. 特高压输电线路继电保护配置方案(二)保护配置方案[J]. 电力系统自动化, 2002, 26(20):4-9.
He Jia-li, LI Yong-li, LI Bin, et al. Relay Protection for UHV Transmission Lines, Part Two:Disposition of Relay Protection[J].Automation Electric Power Systems, 2002,26(20):4-9.
- [5] 索南加乐, 张怪宁, 齐军, 等. 基于时域电容电流补偿的电流差动保护研究[J]. 西安交通大学学报, 2005, 39(12): 1370-1374.
SUONAN Jia-le, ZHANG Yi-ning, QI Jun, et al. Current Differential Protection Based on Time-domain Algorithm of Capacitive Current Compensating[J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2005, 39(12):1370-1374.
- [6] 朱声石. 高压电网继电保护原理与技术[M]. 北京:中国电力出版社, 2005.
ZHU Sheng-shi. Relay Protection Theory and Techniques for High-voltage Power Network[M]. Beijing:China Electric Power Press, 2005.
- [7] 高中德. 超高压电网继电保护专题分析[M]. 北京:中国电力出版社, 1990.
GAO Zhong-de. Analysis on Relay Protection for UHV Power Network[M]. Beijing:China Electric Power Press, 1990.
- [8] 吴通华, 郑玉平, 朱晓彤. 基于暂态电容电流补偿德线路差动保护[J]. 电力系统自动化, 2005, 29(12): 61-67.
WU Tong-hua, ZHENG Yu-ping, ZHU Xiao-tong. Current Differential Protection Based on Transient Capacitance Current Compensation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(12):61-67.
- [9] 李岩, 陈德树, 张哲, 等. 超高压长线电容电流对差动保护德影响及补偿对策仿真分析[M]. 继电器, 2001, 29(6):8-11.
LI Yan, CHEN De-shu, ZHANG Zhe, et al. The Emulation Analysis for the Influence of Capacitance Current of UHV Transmission Line on Differential Current Protection and Compensating Countermeasure[J]. Relay, 2001, 29(6):8-11.
- [10] 杨奇迹, 黄少锋. 微型机继电保护基础[M]. 北京:中国电力出版社, 2004.
YANG Qi-xun, HUANG Shao-feng. Base of Microcomputer-based Relay Protection[M]. Beijing:China Electric Power Press, 2004.
- [11] 郑玉平, 吴通华, 丁琰, 等. 基于贝瑞隆模型的线路差动保护使用判据[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(23): 50-55.
ZHENG Yu-ping, WU Tong-hua, DING Yan, et al. Applied Criterion of Current Differential Protection Based on Bergeron Model[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(23): 50-55.
- [12] 袁荣湘, 陈德树, 张哲. 高压输电线路新型差动保护的研究[J]. 中国电机工程学报, 2004, 20(4): 9-13.
YUAN Rong-xiang, CEHN De-shu, ZHANG Zhe. Study on a New Differential Protection for Transmission Line[J]. Proceedings of the CSEE, 2004, 20(4):9-13.
- [13] 丁琰, 郑玉平, 唐国庆, 等. 自适应短数据窗抗电流互感器饱和和线路差动保护算法[J]. 电力系统自动化, 2005, 29(21): 67-73.
DING Yan, ZHENG Yu-ping, TANG Guo-qing, et al. Short Data Window Based Adaptive Differential Protection Algorithm with Current Transformer Saturation in EHV Transmission Lines[J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(21):67-73.
- [14] 李瑞生, 路光辉, 王强. 用于线路差动保护的电流互感器饱和判据[J]. 电力自动化设备, 2004, 24(4): 70-73.
LI Rui-sheng, LU Guang-hui, WANG Qiang. Transformer Saturation Criterion for Line Differential Protection[J]. Electric Power Automation Equipment, 2004, 24(4):70-73.

收稿日期: 2006-08-08; 修回日期: 2006-10-19

作者简介:

杨青(1982-), 女, 硕士, 主要研究方向是变压器保护与仿真等; E-mail: yangqing0401@126.com

郑涛(1975-), 男, 博士, 讲师, 主要研究方向为微机变压器保护与仿真等;

肖仕武(1974-), 男, 博士, 讲师, 主要研究方向为电力系统继电保护及电力系统仿真研究等。

欢迎投稿

欢迎订阅

欢迎刊登广告