

光纤差动保护补偿电容电流的一种策略

常宝波¹, 刘力军², 韩 韞¹, 徐广腾¹

(1. 烟台东方电子信息产业股份有限公司保护部, 山东 烟台 264000;

2. 河北经贸大学信息技术学院, 河北 石家庄 050061)

摘要: 针对输电线路分布电容对差动保护的影响, 提出了一种克服电容电流对其影响的保护方案。线路正常运行时, 将相电流差动保护的定值整定为线路电容电流的 2 倍以上, 零负序差动保护的定值整定为线路电容电流的 1.5 倍以上, 可靠躲过线路正常运行时的电容电流。在线路空充时, 将各差动保护的定值提高两倍同时增加一定的时延, 可靠躲过暂态电容电流对各差动保护的影响。

关键词: 线路电流差动保护; 电容电流; 输电线路

中图分类号: TM773 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2006)15-0005-05

0 引言

为了限制工频过电压, 往往在超高压长线路负荷端或线路两端设置电抗器补偿线路发出的容性无功, 补偿度至少在 40% 以上, 多的可能达到 80%。对于只在一侧有电抗器的线路, 电抗器退出时, 线路一般也会退出运行; 两端都有电抗器的线路, 即使有电抗器的投切也是仅一端的电抗器进行投切, 一般不会出现两端电抗器都投切的情况。因此加电抗器的超高压输电线路在正常运行时电容电流未必很大。

在超高压长距离输电线路空载合闸时对地电容相当于短路, 此时保护装置感受的电流可能会比较大, 特别是暂态的电容电流。差动保护如不計及其影响, 可能会误动。

差动保护对电容电流的处理一般采用补偿的方法来实现。补偿的方法有固定半补偿、精确补偿两种。固定半补偿方法不能反应电抗器投切这一工况的变化, 精确补偿方法^[1]虽然能适应电抗器投切的变化, 但需要对侧的电压量来估计线路参数, 会增加数据包的帧长。在线路空充时, 暂态分量的电容电流可能会较大, 利用稳态方法算出的电容电流可能会失效。另外, 补偿方案需要电压量, 如果出现 PT 断线可能会降低差动保护的性能。同时在发生故障时, 当前实测电压由于各种暂态分量及跨数据窗的影响可能测不准, 此时用其来计算电容电流可能存在较大误差。

本文提出一种克服电容电流对差动保护影响的保护方案。线路正常运行时, 将相电流差动保护的定值整定为线路电容电流的 2 倍以上。由于零负序差动保护受正常工况的电容电流影响较小, 可以将

其定值整定为线路电容电流的 1 到 2 倍以上, 从而可靠躲过线路正常运行时的电容电流。在线路空充时, 将各差动保护的定值提高两倍同时增加一定的时延, 可靠躲过暂态电容电流对各差动保护的影响。

1 稳态电容电流对差动保护的影响

线路发生区内金属性或经小过渡电阻故障时, 故障相差流远大于稳态的电容电流, 相电流差动保护能可靠、快速动作。当发生重负荷区内高阻接地故障时, 故障相的制动电流可能会大于该相差流, 使得相电流差动保护拒动。在发生高阻接地故障时, 为了简化分析可以将三相解耦, 来分析故障相差流与健全相差流的大小关系, 以 A 相高阻接地故障为例来说明, 三相等效电路如图 1 中 (a) 和 (b) 所示。

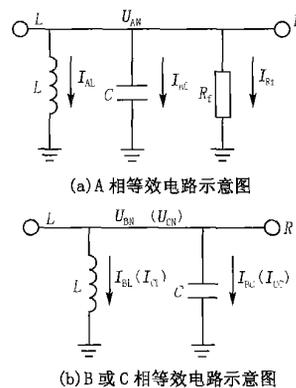


图 1 A 相高阻接地故障时的等效电路示意图
Fig 1 Equivalent circuit when phase A-grounded with high resistance

从图 1 可以得出三相差流的表达形式为,

$$I_{87LA} = I_{AC} + I_{AL} + I_{Rf} = j \left(C - \frac{1}{L} \right) U_{AN} + \frac{U_{AN}}{R_f} \quad (1)$$

$$I_{87LB} = j \left(C - \frac{1}{L} \right) U_{BN} \quad (2)$$

$$I_{87LC} = j \left(C - \frac{1}{L} \right) U_{CN} \quad (3)$$

式中: I_{87LA} 、 I_{87LB} 、 I_{87LC} 分别表示 A、B、C 三相差流, U_{AN} 、 U_{BN} 、 U_{CN} 分别表示线路三相额定电压, I_{AC} 表示电容电流, I_{AL} 表示电抗器电流, I_{Rf} 表示流过过渡电阻电流, j 表示容纳, $\frac{1}{L}$ 表示感抗。对应的 A 相高阻接地故障时的矢量图如图 2。

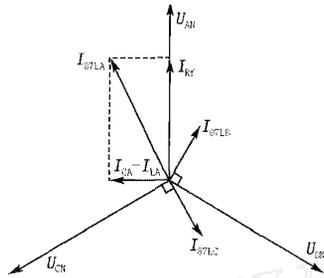


图 2 矢量图

Fig 2 Vector diagram

500 kV 及 750 kV 每 100 km 的电容电流分别为 111 A 和 193 A^[2]; 假设线路全长分别为 400 km、500 km; 电容电流的补偿度仅考虑为 40%。这样可以大体计算出线路在正常运行时的电容电流。对于 500 kV 线路, 电容电流为 266.4 A; 对于 750 kV 线路, 电容电流为 579 A。

500 kV 及 750 kV 线路仅考虑最大过渡电阻分别为 300 和 400 时, 故障相差流分别为 1 228 A 和 1 662 A。

线路差动保护的制动方程表达式一般为:

$$I_R = K(I_M - I_N) \quad (4)$$

式中: I_R 表示制动电流, K 表示制动系数, 一般取值为 0.5 到 1 之间, I_M 、 I_N 分别表示本侧和对侧电流。

在发生高阻接地故障时, 负荷电流的输送几乎没有受到太大的影响。这样可以大体算出 500 kV 及 750 kV 线路差动保护被制动时的负荷电流为 (制动系数考虑为 0.75) 819 A 和 1 108 A。如果不考虑电容电流, 线路差动保护被制动的负荷电流分别为 641 A 和 722 A。以上计算结果与用 RTDS 数字仿真结果一致。

从以上分析可以看出, 如果将差动电流定值整定为大于线路正常运行时的两倍电容电流而小于上述过渡电阻时的差流时, 电容电流的存在并不是影

响差动保护拒动的主要原因, 一定的电容电流存在可能还阻止差动保护被制动, 拒动的主要因素是大的负荷电流。

2 暂态电容电流对差动保护的影响

在线路空载合闸时, 暂态电容电流可能会较大。如对其不进行处理可能会引起差动保护的误动。暂态电容电流产生的主要原因是由于线路的电容和电感之间的充放电过程, 定量的分析、计算难度较大, 现给出 750 kV 线路在不同工况下的仿真结果。

利用 Matlab 建立了仿真模型, 该模型包括两个部分, 第一部分为一次系统模型, 如图 3 所示。模型参数源于电科院 750 kV 系统继电保护动模试验方案, M、N 两侧系统短路容量分别为 50 000 MVA、4 250 MVA, N 侧等效负荷为 2 000 MW, 500 kV 输电线路参数 (每 100 km) 为 $X_1 = 26.8$ 、 $\theta_1 = 87.4^\circ$ 、 $C_1 = 1.367 \mu F$ 、 $X_0 = 84$ 、 $\theta_0 = 72^\circ$ 、 $C_0 = 0.93 \mu F$, 线路全长 500 km, 线路 M 端都装有一台容量为 3 × 100 MVar 的并联电抗器, 线路中点装有两台容量为 3 × 100 MVar 的并联电抗器, N 侧装有一台容量为 3 × 90 MVar 的并联电抗器。第二部分为二次系统仿真模型, 利用傅氏滤波器计算两侧三相差电流相量的幅值及 M 侧三相电流。

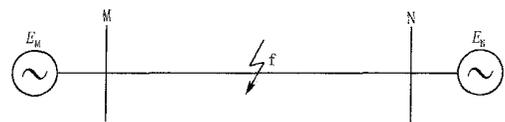


图 3 电力系统仿真模型

Fig 3 Simulated power system diagram

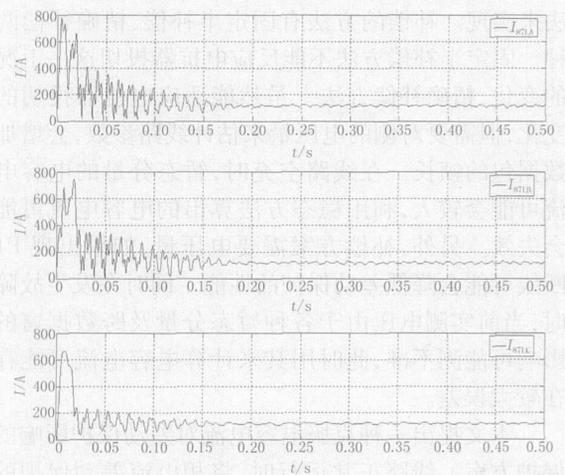


图 4 线路空充时的三相差流幅值

Fig 4 Three-phase differential current when line charging power

在仿真时,设定仿真时间为 0.5 s,同时也考虑了在线路充电时并联电抗器的投切对三相差流的影响。部分仿真结果如图 4~10 所示,两端电源电势夹角为 30° :

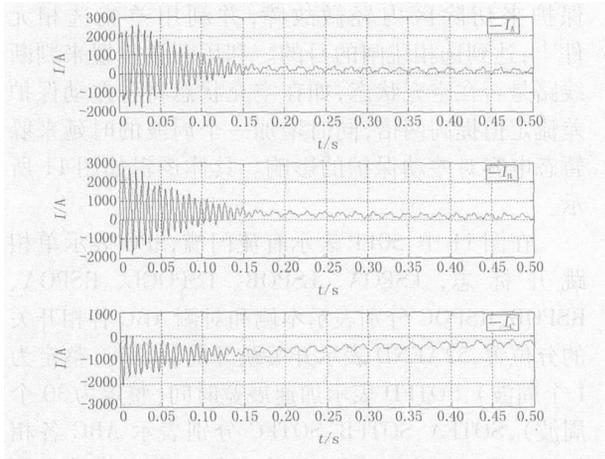


图 5 线路空充时的三相电流

Fig 5 Three-phase current when line charging power

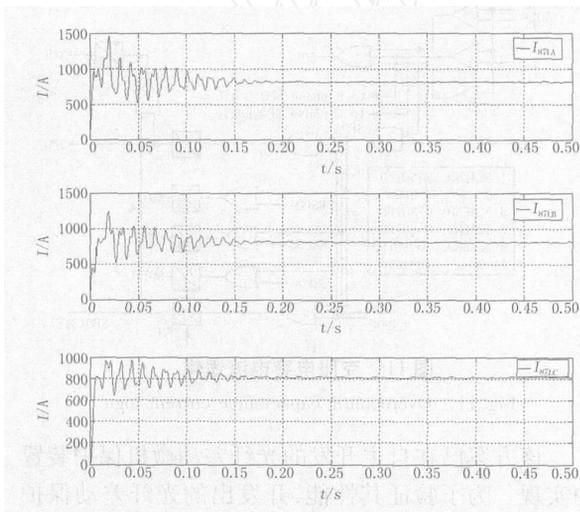


图 6 取消电抗器线路空充时的差流幅值

Fig 6 Three phase differential current when line charging power without reactor

从图 4、5 的仿真波形可以看出,线路在空充时的三相电流很大,最大峰值电流可达 2 000 A 以上。此时对应的三相差流也比较大,经傅氏算法滤出的最大峰值电流接近 800 A,由于三相电流中的非整次谐波的影响,使得三相差流的变化较大,且随着时间的推移,差流值将趋于数值较小的一个相对稳定值,小于 200 A;当切除线路两侧的电抗器后,线路空充时的三相电流(图 7)没有明显的增加,但三相差流值(图 8)增加很大,合闸瞬间的最大峰值电流

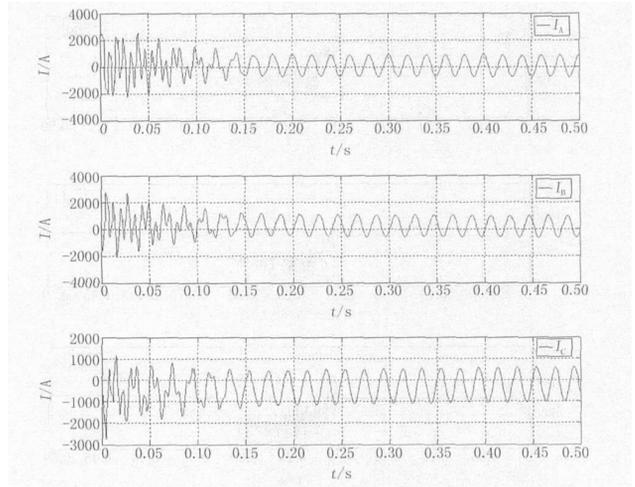


图 7 取消电抗器线路空充时三相电流

Fig 7 Three phase current when line charging power without reactor

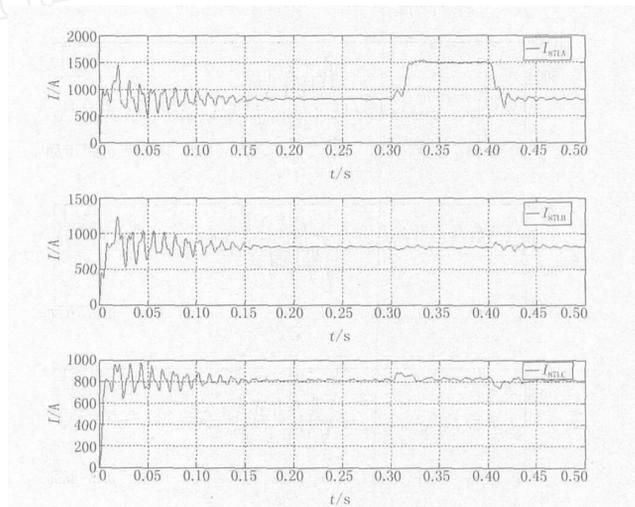


图 8 取消电抗器线路空充并发生 400 高阻接地故障时的差流幅值

Fig 8 Three phase differential current when phase A grounded fault with high resistance

可达 1500 A,稳态的差流电流达 800 A 左右;在 0.3 s 时发生 400 高阻接地故障时的故障相差流与线路空充的瞬间最大的差流相当,都接近 1 500 A,如图 8 所示。

当在 0.2 s 时发生区外三相故障,由图 9 可以看出故障时的差流值减少,在故障消失时,此时线路一侧母线电压恢复,此时的差流值变化幅度不大,差流值缓慢地恢复到正常运行的水平,这种情况与线路空充时相比由于另外一侧母线接近正常,电容电流的暂态变化要小得多。

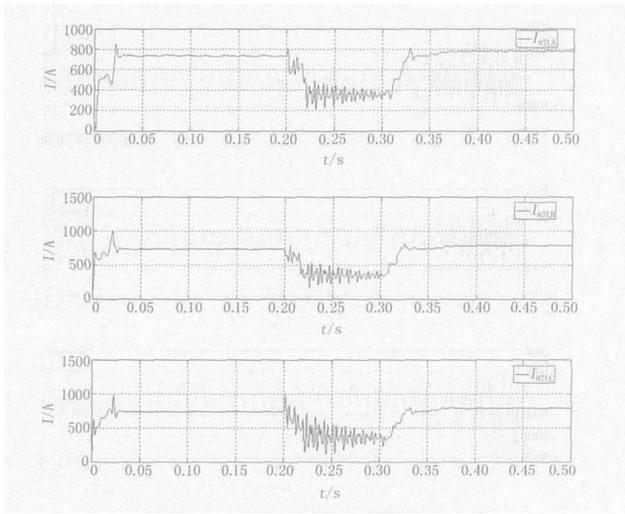


图 9 取消电抗器后,线路区外出口
瞬时性三相短路故障时的差流幅值

Fig 9 Three phase differential current when external ABC fault

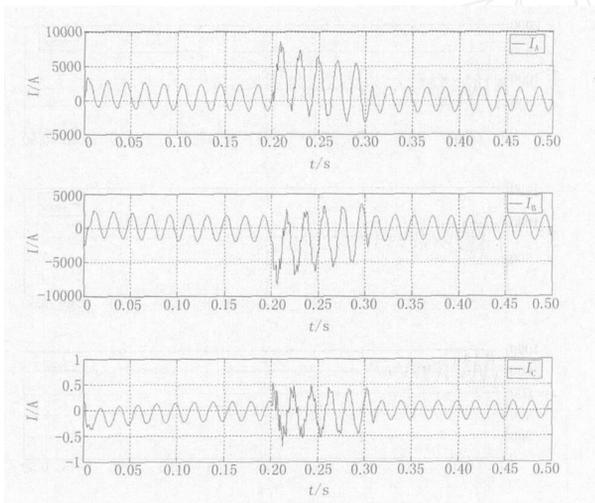


图 10 取消电抗器后,线路区外出口
瞬时性三相短路故障时的三相电流

Fig 10 Three phase current when external ABC fault

500 kV 线路与 750 kV 线路相比暂态电容电流要小,本文不再示出试验结果。

3 克服电容电流策略

由以上分析可知,线路正常运行时的差流与发生区内故障时的差流相比,还是有比较明显的区别。线路空充时产生的暂态差流可能与高阻接地故障时产生的差流相当,但暂态差流存在一衰减的过程,趋于稳态后的差流值较小。为此,采用下面的保护方案来克服电容电流对差动保护的影响。

采用较高差流定值的相电流差动保护来快速切除区内金属性及较低过渡电阻的各种故障。由于零、负序差动保护受正常运行的电容电流影响较小,因此利用低差流定值、带 20 ~ 30 ms 时延的零、负序差动保护来切除区内轻微故障,并利用差流选相元件^[3],达到选相跳闸的目的。利用开关位置来判断线路是否在空充状态,如在空充状态将各差动保护差流定值提高两倍,同时增加一个周波的时延来躲暂态电容对差动保护的影响。具体逻辑如图 11 所示。

在图 11 中,50LP 表示有流门槛, SPO 表示单相跳开标志, LSPOA、LSPOB、LSPOCL、RSPOA、RSPOB、RSPOC 分别表示本侧和对侧 ABC 各相开关的分位置, 52AEND 表示开关跳开确认时间(整定为 1 个周波), SOTFD 表示加速展宽时间(整定为 30 个周波), SOTFA、SOTFB、SOTFC 分别表示 ABC 各相加速逻辑(该标志置位后,将本相差动定值及序分量差动定值抬高)。

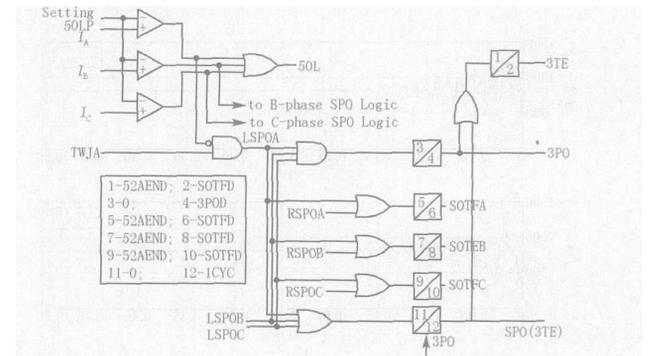


图 11 克服电容电流逻辑

Fig 11 Overcoming capacitance current logic

该方案已在自主开发的光纤差动微机保护装置中实现。为了验证其性能,开发出的光纤差动保护已经历了多次的 RIDS 和动模试验及现场试运行的考验,效果良好。

4 结语

本文针对电容电流对线路差动保护的影响,提出了一种克服电容电流影响的差动保护方案。该方案无需交流电压来补偿电容电流,该方案保留了差动保护只与电流有关的这一特点。大量的仿真、RIDS 试验及动模试验验证了本方案的正确性。目前该元件已在自主开发的光纤差动保护装置中得以应用,具有实用性。

参考文献:

- [1] 毕天姝,于艳莉,黄少锋,等.超高压线路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.
- [2] 樊占锋,李瑞生,张红霞,等.特高压输电线路保护的方案研究——纵联差动保护[J].继电器,2005,33(19):5-9.
FAN Zhan-feng, LI Rui-sheng, ZHANG Hong-xia, et al Research on UHV Transmission Line Protection——Pilot Differential Protection[J]. Relay, 2005, 33(19): 5-9.
- [3] 常宝波,段玉倩,贺家李,等.一种用于零、负序电流纵

差保护的实用选相元件[J].电力系统自动化,2005,29(20):76-80.

CHANG Bao-bo, DUAN Yu-qian, HE Jia-li, et al An Applied Fault Type Selection Method for Line Zero or Negative Sequence Current Differential Protection [J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(20): 76-80.

收稿日期: 2006-03-22; 修回日期: 2006-04-20

作者简介:

常宝波(1971-),男,硕士,工程师,研究方向为高压继电保护产品开发;E-mail: changbaobo@dongfang-china.com

刘力军(1968-),女,硕士,讲师,研究方向为电子技术;

韩 韪(1961-),女,硕士,高级工程师,研究方向为继电保护及工程设计。

A method for compensating capacitance current influence on line current differential protection

CHANG Bao-bo¹, LU Li-jun², HAN Yun¹, XU Guang-teng¹

(1. Yantai Dongfang Electronics Information Industry Co., Ltd, Yantai 264000, China;

2. School of Information Technology, Hebei University of Economy & Business, Shijiazhuang 050061, China)

Abstract: Based on the analysis about the influence of the distributed capacitance current of EHV transmission line on differential current protection, a protection scheme is proposed. The setting value of segregated phase current differential protection is setted 2 times than capacitance current of line while normal operating, negative or zero differential protection setting value are setted 1.5 times than capacitance current. When line charging power, all differential current setting values increase double with some time delay it can avoid the influence of transient capacitance current on all differential protection.

Key words: line current differential protection; capacitance current; transmission line

(上接第4页 continued from page 4)

收稿日期: 2006-02-14; 修回日期: 2006-03-20

作者简介:

张胜宝(1972-),男,硕士,现从事继电保护运行维护与管理工作;

王 钢(1966-),男,博士,教授,博士生导师,主要研究方向为电力系统继电保护及自动化、电力电子;

丁茂生(1977-),男,博士,目前从事电力系统运行管理工作。E-mail: dingmaosheng@nxepc.com.cn

Protection system reliability and protection operation reliability

ZHANG Sheng-bao¹, WANG Gang², DING Mao-sheng³, LI Xiao-hua²

(1. Shenzhen Power Supply Bureau, Shenzhen 518001, China;

2. School of Electric Power Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China;

3. Ningxia Electric Power Dispatching Center, Yinchuan 750001, China)

Abstract: Based on the character of relay protection, the protection reliability is divided into protection system reliability and protection operation reliability. The protection system reliability index is protection mis-operation failure rate and protection mal-operation failure rate and the protection operation reliability index is protection mis-operation frequency and protection mal-operation frequency respectively. The hardware and software model is set up to calculate the protection system reliability. The Markov models are established to calculate the protection operation reliability indices. The research is applicable for protections comprehensive assessment and quantitative management.

Key words: relay protection; system reliability; operation reliability