

超高压长线电容电流对差动保护的影响 及补偿对策仿真分析

李岩, 陈德树, 张哲, 尹项根

(华中科技大学电力系, 湖北 武汉 430074)

摘要: 采用 ATP 软件建立了超高压长线模型, 分析了超高压长线各种故障情况下, 分布电容对分相电流差动的影响, 并对比了采用电容电流补偿和不采用电容电流补偿的相量差动与故障分量差动原理的动作情况。仿真结果表明, 分相电流差动在原理上完全适用于超高压长输电线路的保护, 在各种运行工况下, 采用电容电流补偿可以有效提高差动保护的可靠性和灵敏度, 在同一工况下, 故障分量差动比相量差动有更好的选择性。

关键词: 超高压长线路; 差动保护; 电容电流

中图分类号: TM773

文献标识码: A

文章编号: 1003-4897(2001)06-0006-04

1 引言

输电线路的相与相和相与地之间都存在着分布电容, 对超高压长线路, 由于采用了分裂导线, 线路的感抗减少, 分布电容增大, 线路较长则更使分布电容的等值容抗大大减少。分布电容在暂态过程中将引起各种高频自由震荡分量, 在稳态过程中将使输电线路中的电流、电压的大小和相位都产生严重的畸变, 尤其是当线路的负荷电流和短路电流较小时, 这种影响就更为严重。

分相电流差动原理具有简单、可靠, 能够适应各种复杂接线的优点, 已被广泛应用, 但其在我国超高压长输电线路保护中的应用却很少, 在保护原理上, 主要是受分布电容电流的影响。对于电流差动保护, 分布电容不仅影响故障暂态过程中计算出的电流相量精度, 更主要的是电容电流的存在使线路两端的测量电流不再满足基尔霍夫电流定律, 从而直接影响了保护的灵敏度和可靠性。因此需要详细分析电容电流的负面影响, 并研究适当的解决办法, 促进分相电流差动在超高压长线上的应用。

目前采取的措施包括两个方面: 一是从保护方案的选择和保护定值的整定入手, 选取受电容电流影响小的保护方案, 并针对电容电流衰减特性, 自适应的调整保护判据和定值; 二是采取电容电流补偿措施, 把动作电流中的电容电流分量完全补偿。

文献^{[1]、[2]}等都从各方面进行了分析, 也得出了初步的结论, 比如文献^[1]利用 π 形等值电路对电容电流影响进行的分析表明: 在两侧保护装置中采用半补偿的方式, 既可以提高差动保护在区内故障时的灵敏度, 又可提高区外故障时的安全性; 文献^[2]分析了负荷电流对线路差动保护的影响; 文献^[3]提出

了利用计算机的智能优势具有更高灵敏性和可靠性的综合差动判据; 文献^[4]则对电容电流影响及各种补偿方案进行了总结。但目前的分析多是在简化线路模型情况下的定性分析, 缺乏直观定量分析, 并且电容电流补偿问题也尚未解决, 这是因为超高压长线暂态过程非常复杂, 线路内部故障时的电容电流受故障电压影响很大, 不易准确获得, 所以目前的电容电流补偿方法都是基于区外故障的稳态情况, 在暂态过程中和线路内部故障时则不能完全补偿电容电流。

本文用 ATP(电磁暂态仿真) 软件作为工具, 建立起分布参数的超高压长线路模型, 通过大量计算获得仿真故障数据, 对差动保护判据在有、无电容电流补偿下的动作性能进行了计算分析, 并研究了多种运行方式和各种故障情况下电容电流对差动保护动作的影响。

2 超高压长线路的 ATP 模型及仿真目标

本文按照分布参数建立了一条 340km 长的 500kV ATP 线路模型, 见图 1。按照空载线路工频过电压系数不超过 1.4 的原则, 考虑了大、中、小三种系统阻抗, 电源电势角差考虑了从 $0^\circ \sim 60^\circ$ 均匀分布的四种。对接地故障考虑了从 $0 \sim 300$ 的 10 种过渡电阻, 故障方式考虑了单相接地、两相短路、两相接地、三相短路四类共十种故障。从 S 母线至 D 母线设了 1 个外部故障点, 在 MS 线路始端、线路中点和线路末端设置了 3 个内部故障点。对于每一种运行工况, 一个短路点计算的故障情况有 400 种。总共计算了 9903 种故障情况。模型暂时没有考虑线路中含有串补电容和并联电抗的情况, 没有考虑故障转移的情况。

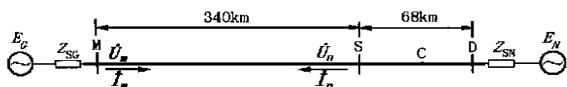


图1 500kV 系统模型

具体参数如下:

系统阻抗一: $Z_{m1} = 1.2675 + j 100.2350$

$$Z_{m0} = 0.5595 + j 33.6050$$

系统阻抗二: $Z_{m1} = 0.4225 + j 33.4117$

$$Z_{m0} = 0.1865 + j 11.2017$$

系统阻抗三: $Z_{m1} = 2.374 + j 187.73$

$$Z_{m0} = 1.047 + j 62.939$$

线路分布参数:

正序: $R_1 = 0.027 / \text{km}$ $X_L = 0.2783 / \text{km}$

$$Y_C = 3.99\mu / \text{km}$$

零序: $R_0 = 0.195 / \text{km}$ $X_L = 0.6946 / \text{km}$

$$Y_C = 2.82\mu / \text{km}$$

通过仿真,希望验证如下几个问题:

1) 线路空载合闸时,分布电容的暂态充电电流的特性以及在进行电容电流补偿前后对差动保护动作情况的影响。

2) 对单、双端电源线路内、外部故障时,电容电流特点、对差动保护判据的影响情况及补偿前后效果对比。

3) 故障分量差动和相量差动保护判据在进行电容电流补偿和不补偿情况下的动作分析对比,以及使判据临界动作的整定值情况。

3 差动判据和电容电流补偿方案

本文选择了目前常用的相量差动判据和故障分量差动判据进行比较。

相量判据如式(1)、(2):

$$I_m + I_n > I_0 \quad (1)$$

$$I_m + I_n > K |I_m - I_n| \quad (2)$$

故障分量差动判据如式(3)、(4):

$$I_m + I_n > I_0 \quad (3)$$

$$I_m + I_n > K |I_m - I_n| \quad (4)$$

I_m 、 I_n ——线路两端电流;

I_m 、 I_n ——线路两端电流的故障分量;

K ——制动系数;

I_0 ——制动电流门槛;

电容电流补偿方案选取了半补偿方式,即在线路两端各补偿一半。具体如下:

$$I_m = I_m - U_m \frac{Y_C}{2} \quad (5)$$

$$I_n = I_n - U_n \frac{Y_C}{2} \quad (6)$$

I_m 、 I_n ——补偿前线路两端电流相量;

I_m 、 I_n ——补偿后线路两端电流相量;

U_m 、 U_n ——线路两端电压;

Y_C ——整条线路电容;

对故障分量判据,则采用线路两端的故障分量电压、电流同样按照上式计算。在实际计算中,需要按照序网图计算出各序补偿电流,再合成各相补偿电流。考虑实际线路为具有均匀分布参数的超高压长线,各序电容计算如下:

$$Y_{c1} = Y_{c2} = \frac{2(\text{ch}_{-1} l - 1)}{Z_{c1} \text{sh}_{-1} l} \quad (7)$$

$$Y_{c0} = \frac{2(\text{ch}_{-0} l - 1)}{Z_{c0} \text{sh}_{-0} l} \quad (8)$$

式中: Z_{c1} 、 Z_{c0} ——正序和零序线路波阻抗;

ch_{-1} 、 sh_{-1} ——正序和零序传播系数;

Y_{c1} 、 Y_{c0} ——正序和零序等值电容;

当被保护线路外部发生故障时,不考虑故障后暂态影响,补偿后两端电流相加为零,即可以完全补偿。当线路空载合闸于无故障线路时,如果TY在线路侧,仍可以用两端补偿电流之和完全补偿。因此电容电流补偿是可以有效防止保护误动。

4 仿真结果

仿真过程是首先按照三种系统阻抗的ATP模型计算出了线路内、外部故障数据,然后计算了不补偿电容电流和补偿电容电流两种情况下,故障分量差动判据和相量差动判据的临界动作时的整定值,系统阻抗一的动作结果参见表1,其他两种系统阻抗情况类似,本文不再一一列出。

表1说明:

1) 系统阻抗一参见上文。最大负荷电流为905.93A。

2) 区内故障和区外故障两栏是指双侧电源的情况。

3) 表中各栏整定值,对区内故障和空合于故障是指不出现区内拒动的临界整定值,对区外故障、空载合闸和单侧电源区外故障指不出现外部误动的临界整定值。

表1 系统阻抗一保护动作情况

故障类型	补偿与否	相量差动临界整定值	故障分量差动临界整定值
区外故障	否	K 0.45 I_0 398A	K 0.088 I_0 135.9A
	是	K 0.51 I_0 188A	K 0.087 I_0 136A
区内故障	否	K 0.265 I_0 396.9	K 1 I_0 622A
	是	K 0.3685 I_0 584.8A	K 1 I_0 501.2
单侧电源区外故障	否	K 0.089 I_0 175.3A	K 0.089 I_0 319.9A
	是	K 0.12 I_0 103A	K 0.068 I_0 170.2A
空载合闸	否	K 1 I_0 393.2A	同相量 差动
	是	K 0.56 I_0 175.8A	同相量 差动
空合于故障	否	K 1 I_0 612.28A	同相量 差动
	是	K 0.942 I_0 618A	同相量 差动

5 仿真结果及其分析

通过对仿真结果的综合分析可以发现:

1) 对仿真结果的综合分析表明,对于相量差动判据,不采用电容电流补偿时,区外故障不误动的最小制动电流为 398A,区内故障不拒动的最大整定电流为 396.9A,两者冲突,无法满足线路保护要求;采用电流补偿时,区外故障不误动的最小制动电流变为 188A,区内故障不拒动的最大整定电流为 584.8A,性能明显改善,可以满足线路保护要求。

2) 仿真结果的综合分析表明,对于故障分量差动判据,不采用电容电流补偿时,区外故障不误动的最小制动电流为 393.2A,区内故障不拒动的最大整定电流为 612.28A,可以满足线路保护要求;采用电流补偿时,区外故障不误动的最小制动电流变为 136A,区内故障不拒动的最大整定电流为 501.2A,性能明显改善。

3) 仿真结果还表明,不论各种故障,故障分量差动判据都比相量差动判据有更高的灵敏性和选择性,是一种性能更优越的保护判据。

4) 对单侧电源线路空合于故障,补偿程度受短路点位置影响,距电源侧越远,补偿程度越小,所以本文只考虑了故障发生在线路末端的情况,这时半补偿的方式无法完全补偿电容电流,其补偿程度随故障点电阻的不同而变化,但仿真结果表明,补偿后

差流增大,可以满足保护动作要求。

5) 线路空载合闸的情况,仿真表明,由于线路分布参数影响,充电电流含有高频震荡分量,暂态电流峰值可以达到 1554.5A,参见图 2。通过数字低通滤波器和差分滤波器后,可以明显削弱非工频分量的影响。没有电容电流补偿时,动作电流和制动电流相同,都是电容电流,差动保护变为过流保护, I_0 的整定必须超过三相中最大值,这时三相中最大动作电流为 393.2A;在通过电容电流补偿后,动作电流明显减小,三相中最大动作电流只有 175.83A,由于采用半补偿的方式制动电流变化不大仍有 314.28A,制动系数最大为 0.559,因此通过电容电流的补偿和适当的选择电流门槛就完全可以不考虑它的影响。

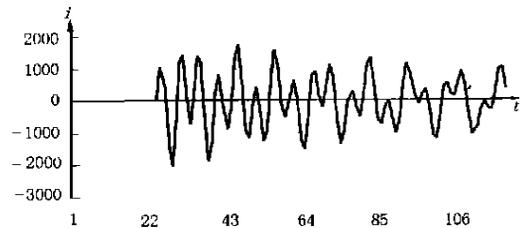


图2 线路空载合闸 A 相电流

图中:纵坐标为电流(A),横坐标为采样点。

6) 单侧电源时考虑了区外故障,因为区内故障情况和空合于线路故障情况类似。结果表明,单电源故障时由于线路电压下降较多,电容电流比较小,在故障后第一个周波对电容电流的补偿效果不是很理想,但动作电流仍有明显下降不会引起保护误动。在故障后第二周波,电容电流可以基本上被完全补偿,差流已经非常小。

7) 双端电源线路仿真表明,低通滤波对保护的真正动作有很大影响,当不采取滤波措施时,稳态电容电流可以达到 472A,在故障后和故障切除后的暂态电容电流约为 970A,采取滤波措施后可以显著减小暂态电流的影响。

8) 对于双端电源线路区外故障,通过仿真发现:a) 相量差动判据在无电容电流补偿时,易出现误动的是小负荷电流,小接地电阻类型的故障,并且出现误动的时刻是故障切除时。这是因为小负荷电流导致制动量不足,小接地电阻使故障暂态情况严重,故障切除时分布电容在充电,线路电压在恢复,暂态分量影响更大。参见图 3。b) 对于相量差动判据,若不采取电容电流补偿,不仅要躲过稳态电容电流,还必须考虑躲过暂态电容电流。但当采取电容电流补偿时,故障电流显著下降,非故障相电流则可

以忽略。c) 对于故障分量判据,是否进行电容电流补偿对保护动作影响不大。

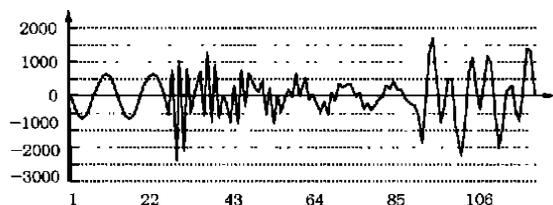


图3 区外 AB 相间故障——A 相电流

图中:纵坐标为电流(A),横坐标为采样点。

9) 对于双端电源线路区内故障,通过仿真发现:(a) 对于相量差动判据容易出现拒动的是大电势角、高接地电阻的情况,主要是因为高接地电阻使故障电流很小(小于最大负荷电流),大电势角使得负荷电流很大,这时的制动系数就不容易满足要求(部分故障要求小于 0.3)。(b) 对相量差动判据,采取电容电流补偿可以产生改善动作特性,但效果并不明显。(c) 故障分量判据结论类似相量差动判据。

6 结论

通过大量的仿真可以得出如下结论:

1) 电流差动原理完全可以用于超高压长线路的保护。

2) 当电流差动原理用在超高压长线保护时,电容电流补偿是必不可少的条件,它有效地防止了区

外保护的误动,提高了保护的可靠性。在各种电容电流补偿方案中,电容电流半补偿方案是一种可行的方案。

3) 从仿真结果看,在各种情况下,故障分量差动判据都比相量差动判据有更好的灵敏性和选择性。

4) 从仿真数据看,故障分量差动的整定值容易选取,相量差动的整定裕度较小,具体制动特性要根据线路的实际情况进行选择。

参考文献:

- [1] 伍叶凯,邹东霞. 电容电流对差动保护的影响及补偿方案. 继电器,1997,25(4):4.
- [2] 高厚磊,江世芳. 负荷电流对电流差动保护动作性能影响的分析. 继电器,1999,27(1):14~16.
- [3] 王绪昭,杨明玉,杨奇逊. 三端系统数字式分相电流差动保护跳闸判据研究. 继电器,1992,3:2~8.
- [4] 廖泽友,鲍伟廉,杨维娜等. 高压线路电流差动保护的现状及其前景展望. 继电器,1999,27(1):4~7.

收稿日期: 2000-12-08; 改回日期: 2001-01-09

作者简介: 李岩(1973-),男,博士研究生,主要从事电力系统继电保护的研究; 陈德树(1930-),男,教授,博士生导师,中国电机工程学会常务理事,IEEE高级会员,主要从事电力系统继电保护和综合自动化的研究工作; 尹项根(1956-),男,教授,博士生导师,主要从事电力系统继电保护和综合自动化的研究; 张哲(1962-),男,副教授,主要从事电力系统继电保护和综合自动化的研究。

The emulation analysis for the influence of capacitance current of UHV transmission line on differential current protection and compensating countermeasure

LI Yan, CHEN De-shu, ZHANG Zhe, YIN Xiang-gen

(Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: Basing on the long UHV transmission line model of ATP, this article analysed the influence of capacitance current on current differential protection in various faulted of long UHV transmission line, contrasted the performance diversity between the current phase differential protection and the fault component differential protection with/ without capacitance current compensation. The result shows that differential current protection is applicable for UHV transmission line, and capacitance current compensation can improve the security and sensitivity of differential protection, and in any case the fault component differential protections have better distinguishability than current phase differential protection.

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

书 讯

由中国电力出版社出版的《中国电力企业与产品采购通讯目录》汇集全国电力行业企事业单位的通讯及产品信息,是电力行业及相关单位拓展商机的良师益友,欢迎订购。邮购请寄:北京 100037 信箱分箱 谈晓庆 收
优惠订阅价:128.00 元/册(含邮费) 邮编:100037