

超高压线路单相接地故障类型的判别 ——稳态相角法

范越 施围

(西安交通大学, 陕西 西安 710049)

【摘要】 单相接地故障可分为“永久性”与“瞬时性”。本文分析了两种故障下断开相两端电压的相角差, 对一个实际的系统进行了 EMTF 数值仿真, 提出了识别两种故障的方法。

【关键词】 单相接地; 永久性故障; 瞬时性故障; 电磁暂态; 相位角

1 前言

330kV、500kV 输电线路, 由于相间距离大, 线路故障绝大部分为单相接地故障。据 1996 年全国范围内统计^[1], 330kV 及以上电压等级线路接地故障中, 单相接地所占的比例分别是: 330kV 为 94.74%, 500kV 为 97.04%。单相接地故障可分为“瞬时性”和“永久性”两种, “永久性”故障是指由于线路绝缘子损坏或断线等引起的, 在线路跳开后, 故障点的绝缘不能恢复; “瞬时性”故障大部分是由雷电引起的绝缘子表面闪络, 这类故障在线路单相跳开后, 电弧可自行熄灭, 故障点绝缘恢复到正常水平, 在这两种故障中, “瞬时性”故障占较大比例, 因此, 采用单相重合闸技术能大大提高供电可靠性和系统运行的稳定性。

但是, 目前的重合闸都是盲目进行的, 即不管是“永久性”还是“瞬时性”故障, 都要进行重合闸, 当重合闸于“永久性”故障时, 将带来一些不利的影 响, 它使电力系统又一次受到故障的冲击, 同时使断路器的工作条件更加恶劣, 因为断路器要在短时间内两次切断短路电流, 这对断路器是一种严峻的考验。因此, 区分这两种故障, 进行有选择性的重合闸, 对系统和设备都是大有好处的。

“瞬时性”故障在线路单相跳闸后, 故障相接地

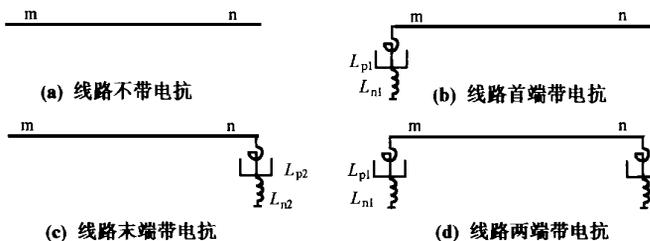


图 1 线路并联电抗器的连接方式

点消失, 永久性故障在线路单相跳闸后, 故障相接地 点不消失, 依此条件, 本文对故障两端恢复电压的相 角进行了分析, 根据恢复电压的相角差的不同来区 分这两种故障。

2 单相断开时线路两端的感应电压的相角 差

在单相重合闸过程中, 当线路中的一相由于故 障而被切除后, 健全相中的电压和负载电流分别通 过相间静电耦合和电磁耦合在被开断相上产生感应 电压, 永久性故障时, 故障相线路跳开, 但故障点不 消失; 瞬时性故障时, 故障相跳开, 故障点消失。由 于故障类型不同, 被开断相上的电压的相角差也会 有所不同。

目前我国 330kV、500kV 线路可分为不带电抗 器, 仅首端带电抗器或末端带电抗器, 两端均带电抗 器等四种接线方式, 如图 1 所示。

2.1 瞬时性故障

瞬时性故障时, 故障相开断后, 电弧很快熄灭, 线路转入两相运行状态, 其故障相上的电压为电容 耦合与电磁耦合电压的相量和。

(1) 电容耦合电压

当只考虑电容耦合电压时, 可忽略线路的电感, 对图 1 变换可得图 2。

其中: C_0 表示线路对地的电容, C_m 表示线路的 相间电容。

$$L_{mi} = \frac{L_{pi}}{L_{ni}} (L_{pi} + 3L_{ni}), \quad i = 1, 2$$

$$L_{0i} = L_{pi} + 3L_{ni},$$

当线路不带电抗器时, 则 L_{p1} 、 L_{n1} 、 L_{p2} 、 L_{n2} 不存在, 从而变换后对应的电抗器也不存 在; 首端带电抗器时, 只有 L_{p1} 、 L_{n1} , 没有 L_{p2} 、 L_{n2} ; 末端带电抗器时, 只有 L_{p2} 、 L_{n2} , 没有 L_{p1} 、 L_{n1} ; 两端带电抗器时, 则 L_{p1} 、 L_{n1} 、 L_{p2} 、 L_{n2} 都

当接地电阻为某一确定值时,其等值回路相当于在图3的 C_0 、 L_0 上并联一个接地电阻,断开相两端的电容耦合电压不为零,电磁耦合电压的相位与幅值也随接地电阻而变化。

3 计算结果

对于一种确定的系统运行方式,其电源及线路的阻抗是一定的,电源的电势应满足如下条件:线路送端电压不大于 550kV,线路受端电压不小于 475kV。根据以上条件,本文通过改变两端电压的相角差,得到了线路传输功率较小和线路传输功率接近自然功率时两种运行方式。

首端电源 $E_1 = 317\text{kV}$, $R_{11} + jX_{11} = 6.139 + j40$, jX_{1030}

末端电源 $E_2 = 268.5\text{kV}$, $R_{21} + jX_{21} = 17.56 + j46.11$, $R_{20} + jX_{20} = 1.6 + j65.13$

电抗器 X_{LP1} 、 $X_{LP2} = 2016.7$, 小电抗 X_{Ln1} 、 $X_{Ln2} = 450$

500kV 线路 $R_1 = 0.0279 / \text{km}$, $R_0 = 0.253 /$

km ; $L_1 = 0.882\text{mH}/\text{km}$, $L_0 = 2.33\text{mH}/\text{km}$; $C_1 = 0.01306\mu\text{F}/\text{km}$, $C_0 = 0.0085\mu\text{F}/\text{km}$, 线路长度 300km。

考虑线路不带电抗器,线路首端带电抗器,线路末端带电抗器,线路两端带电抗器四种不同的补偿方式。

由于超高压线路的杆塔接地电阻最大不超过 30,故取接地电阻 30;又由于线路电压变化范围有限,故主要考虑线路电流变化时故障相两端电压的相位变化情况,将线路均分为六段,用 EMTP 计算在线路中间各点发生永久性故障时与瞬时性故障时断开相两端恢复电压的相位差 ∇ , 单位:度。

NK	N11	N22	N33	N44	N55	NG

- 1) 线路两端不带电抗器,计算结果如表 1。
- 2) 线路首端带电抗器,计算结果如表 2。
- 3) 线路末端带电抗器,计算结果如表 3。
- 4) 线路两端带电抗器,计算结果如表 4。

表 1 线路两端不带电抗器单相断开时线路两端电压相位差 ∇ (°)

短路点		线路输送有功功率 278.7MW $l = 300\text{km}$					线路输送有功功率 951MW $l = 300\text{km}$				
		N11	N22	N33	N44	N55	N11	N22	N33	N44	N55
故障类型	永久	113.91	118.63	121.49	121.98	114.48	154.8	158.36	159.47	160.2	159.08
	瞬时	8.04					43.36				

表 2 线路首端带电抗器单相断开时线路两端电压相位差 ∇ (°)

短路点		线路输送有功功率 272.64MW $l = 300\text{km}$					线路输送有功功率 957MW $l = 300\text{km}$				
		N11	N22	N33	N44	N55	N11	N22	N33	N44	N55
故障类型	永久	129.61	135.86	139.11	140.36	136.56	160.85	163.77	164.79	165.13	164.45
	瞬时	8.6					43.66				

表 3 线路末端带电抗器单相断开时线路两端电压相位差 ∇ (°)

短路点		线路输送有功功率 282MW $l = 300\text{km}$					线路输送有功功率 951MW $l = 300\text{km}$				
		N11	N22	N33	N44	N55	N11	N22	N33	N44	N55
故障类型	永久	129.81	135.68	138.96	140.43	137.13	163.42	165.65	166.57	167.16	167.68
	瞬时	9.2					56.93				

表 4 线路两端带电抗器单相断开时线路两端电压相位差 ∇ (°)

短路点		线路输送有功功率 273MW $l = 300\text{km}$					线路输送有功功率 993MW $l = 300\text{km}$				
		N11	N22	N33	N44	N55	N11	N22	N33	N44	N55
故障类型	永久	153.83	156.49	158.13	159.45	160.29	170.76	171.37	171.85	171.75	172.17
	瞬时	24.24					113.05				

从计算结果可以看出:随着线路输送功率的增大,瞬时性与永久性故障时的 ∇ 都增大,这是由于线路输送功率增大时,电磁感应电压增大,而两端电磁感应电压是反相的;随着线路补偿度的增大,瞬时性与永久性故障时的 ∇ 都增大,这是由于随着线路补偿度的增大,断开相电压的电容耦合分量减小,电磁感应电压的作用增大;对于四种线路电抗器联结方式,当发生永久性故障时, ∇ 的值均大于发生瞬时性故障时的 ∇ 的值,由于接地电阻及健全相首末两端电流的相位差影响,永久性故障时 ∇ 的值小于 180° ,这在线路输送功率较小时比较明显。

4 结论

超高压输电线路发生单相接地故障断开时,断开相两端的电压相角差与故障的类型有关。当发生瞬时性故障时,由于线路电压变化范围有限,断开相两端的电压角位差与线路的补偿度、输送电流及长度有关;而在永久性故障情况下,当接地电阻较小时,电容耦合电压较小,因而断开相两端的电压相角差远大于瞬时性故障时断开相两端的电压相位差。

可通过计算整定一个角度,故障发生时,断开相两端的电压相角差大于此值判定为永久性故障,断开相两端的电压相角差小于此值判定为瞬时性故障。

[参考文献]

- [1] 周玉兰,王玉玲. 1996年全国继电保护与安全自动装置运行情况分析. 电网技术, 1997(7).
- [2] 西北电力设计院. 电机工程设计手册(电气一次部分). 水利电力出版社.
- [3] 葛耀中. 在单相重合闸过程中判别瞬时性和永久性故障的方法. 西安交通大学学报, 1984, 18(2): 23~31.
- [4] Ge Yaozhong, Sui Fenghai, Xiao Yuan. Prediction Methods for Prevention Single-phase Reclosing on Permanent Fault. IEEE Trans on Power Delivery, 1989, 4(1): 114~121.
- [5] 陈维贤. 超高压电网稳态计算. 水利电力出版社, 1993, 10.

收稿日期: 1998—10—20

作者简介: 范越(1970-), 男, 博士在读, 研究方向为电力系统数字仿真; 施围(1941-), 男, 教授, 博导, 研究方向为电力系统暂态计算。

IDENTIFICATION THE TYPE OF SINGLE-PHASE-TO-GROUND FAULT IN EHV LINES

FAN Yue, SHI Wei

(Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract There are two types of single-phase-to-ground faults in EHV lines, one is temporary, the other is permanent. The voltage angle of faulty phase was chosen to study, after the faulty phase was isolated from both terminals. Through the EMTP calculation, an example is used to explain how to find the way to identify the two types of single-phase-to-ground faults.

Keywords single phase earthing; permanent fault; instantaneous fault; electromagnetic transient; phase angle

(上接第15页)

4 结束语

这种算法的缺点是计算量比较大,目前还不适用于保护,但由于其计算结果非常精确,作为信号波形的一种分析算法(如用于故障录波中的波形分析),其优点是明显的。随着计算机硬件技术的飞速发展,微处理器速度的大幅度提高,这种算法将有可能在保护装置中得到运用。

[参考文献]

- [1] 尹项根,陈德树. 数字保护常用算法的研究. 电力系统及其自动化学报, 1991, 6.
- [2] 陈德树. 计算机继电保护原理与技术. 水利电力出版社, 1991.

收稿日期: 1998—09—22

作者简介: 冯勇(1972-), 男, 硕士研究生, 研究方向为电力系统继电保护与自动化。

STUDY ON THE NEW ALGORITHM OF DECAYING DC COMPONENTS

FENG Yong, LIU Shi-ming, CHEN Wei, ZHANG Zhe, CHEN De-shu

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

Abstract A new algorithm for calculating decaying DC components is presented in this paper. The simulation results are given.

Keywords waveform analysis; decaying DC components; algorithm