

# 一次 220kV 线路单相故障分析

李嵘

(玉林供电局, 广西 玉林 537000)

**摘要:** 玉林地区电网 2003 年 7 月份发生了一起 220 kV 线路单相接地故障, 通过故障分析, 得出一些结果, 并提出保护相应的改进措施。

**关键词:** 单相接地; 故障分析; 措施

**中图分类号:** TM77 **文献标识码:** B **文章编号:** 1003-4897(2005)16-0019-03

## 1 故障概述

在 2003 年 7 月份, 玉林地区电网 220 kV M - N 线发生 B 相单相接地故障, 当时两侧高频保护装置正确动作跳闸, 系统侧 M 变 1DL 重合成功, 弱电侧 N 变 2DL 没有重合出口, 造成全站停电, 根据查线发现了在距离 N 变侧 6.25 km 处 B 相瓷瓶爆炸, B 相导线有烧伤痕迹。图 1 为故障时系统示意图。

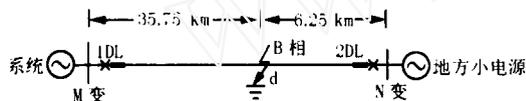


图 1 系统示意图

Fig. 1 Schematic diagram of power system

M 侧动作情况为: 15 型 51 ms 高频负序方向停信, 74 ms 后出口, 11 型 49 ms 高频零序停信, 61 ms 后出口, 15 型三跳启动重合闸, 11 型单跳启动重合闸。N 侧动作情况为: 15 型 50 ms 高频负序方向停信, 76 ms 后出口, 15 型没有启动重合闸, 11 型保护启动, 但是没有保护出口, 仅仅有不对应启动重合闸, 重合闸没有出口。两侧的后备距离和零序保护都没有动作, 都为三相跳闸, M 侧重合成功, N 侧没有重合闸。

通过两侧故障录波器记录报告, 画出了故障时电流分布图(见图 2)。M 侧 A 相电流 415 A, B 相电流 2 770 A, C 相电流 317 A, 零序电流 1 930 A, A、C 相电流波形同相位, 并与 B 相电流反相位, 零序电流  $3I_0$  与 B 相电流波形同相; N 侧 A 相电流 427 A, B 相电流 492 A, C 相电流 336 A, 零序电流 1 330 A, 三相电流和零序电流波形同相, 两侧非故障相录波有效值相同。

## 2 故障分析

在对保护报告和录波报告进行研究后, 我们以

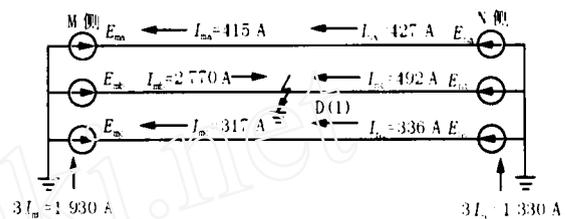


图 2 电流分布图

Fig. 2 Distribution of phase-ground short-circuit current

理论计算为基础, 进行了详细的故障分析, 下面即为分析过程。

### 2.1 故障电流分析计算

假设故障前为无负荷线路, 即  $I = 0$ 。

一侧电源系统单相(A相)接地故障的短路点边界条件为:

$$\text{故障相电压 } U_{dA} = 0$$

$$\text{非故障相电流 } I_{dB} = I_{dC}$$

根据通用的故障三序分量法可知, 由以上推出 A 相三序网是串联的电路。对于两侧有电源线路的故障分析可以依照上述分析进行, 应用叠加原理得本次 B 相故障应是两侧电源的矢量和, 即得以下故障相三序网图。

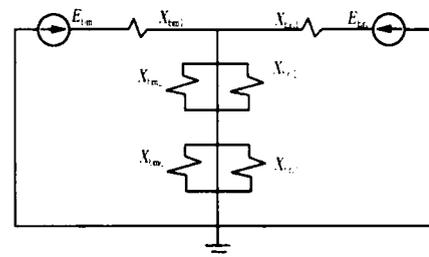


图 3 故障相序网图

Fig. 3 Network in single-phase ground fault

图 3 中, 下标“m”表示 M 变侧参数, 下标“n”表示 N 侧参数。

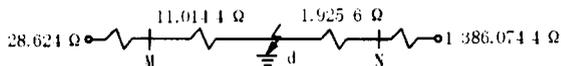


图4 系统正(负)序阻抗图

Fig. 4 Impedance diagram of positive sequence and negative sequence

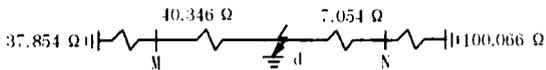


图5 系统零序阻抗图

Fig. 5 Diagram of zero-sequence impedance

$$X_{d1} = X_{d2} = (28.624 + 11.014) // (1.925 + 1386.074) = 38.538 \Omega$$

$$X_{d0} = (37.854 + 40.346) // (7.054 + 100.066) = 45.2 \Omega$$

B 相接地短路各序总电流:

$$I_{dB1} = I_{dB2} = I_{dB0} = E_B / j(X_{dB1} + X_{dB2} + X_{dB0}) = 230000 / [j1.732(2 \times 38.538 + 45.2)] = -j1086.6 \text{ A}$$

B 相接地短路总电流:

$$I_{dB} = I_{dB1} + I_{dB2} + I_{dB0} = -j3259.8 \text{ A}$$

M 侧电流分配系数:

$$K_{m1} = K_{m2} = 1388 / (39.6384 + 1388) = 0.972$$

$$K_{m0} = 107.12 / (78.2 + 107.12) = 0.578$$

根据以上数据,按照序网图可以容易计算出两侧各相电流,通过计算值与录波值的比较,可以清楚地看出,计算出的电流相位关系符合录波图中电流波形相位关系,两侧非故障相的电流值录波基本一致,少许差值应为 CT 电流传送误差,是正常的,A 相和 B 相的计算值与录波值(取同一时刻值)较为接近,只有 C 相有一定差值,根据上述理论计算 C 相电流应等于 A 相电流,但是两侧 C 相录波电流值接近,应不单单为 CT 电流传送误差,估计还与参数不对称、负荷、回路中总正序阻抗、总负序阻抗不相等等因素有关,具体原因至今没有一个详细的分析和解释,在此不做详细讨论。表 1 列出了录波值与计算值的比较说明,其中相电流前加“-”表示电流流向本侧母线,无符号表示电流流向线路,零序电流不作标示。

表 1 电流的计算值和录波值

Tab. 1 Computation results and fault wave record of circuit current

	A							
	$I_{ma}$	$I_{mb}$	$I_{mc}$	$3I_{m0}$	$I_{na}$	$I_{nb}$	$I_{nc}$	$3I_{n0}$
录波值	-415	2770	-317	1930	427	492	336	1330
计算值	-428	2740	-428	1884	428	520	428	1376

通过计算还知,当  $K_{m1}$  不等于  $K_{m0}$  时,两电源之间非故障相(A、C 相)电流不等于零,当对侧中性点不接地时,非故障相电流达最大值,短路点在电路上

的移动可以影响到两侧电流的相位关系,若  $K_{m1} > K_{m0}$  时,N 侧非故障相电流流向 M 侧,若  $K_{m1} < K_{m0}$  时,M 侧非故障相电流流向 N 侧。而在故障点 D,非故障相对地电流总是为零。

### 2.2 保护动作分析

社大线两侧均配置 WXB-11C、WXB-15 型微机线路保护装置,11 型为高频闭锁距离、零序保护,15 型为高频突变量方向、负序方向、零序方向保护,两侧均为高频负序方向出口三跳,M 侧高频零序出口单跳。两侧高频保护整定值相同,突变量启动值为 144 A,零序启动值为 240 A,高频距离值为 130 Ω,零序(方向)电流值为 375 A,突变量方向值为 288 A,负序方向值为 120 A。

保护在故障刚发生时是采用相电流差突变量原理选相:

计算突变量  $\Delta I_{ab}$ 、 $\Delta I_{ca}$ 、 $\Delta I_{bc}$  并进行大小比较。

判据:  $5 \times \text{小} < \text{中}$ ——单相故障,故障相别为“小”不涉及的相别。

$2 \times \text{小} > \text{中}$ ——相间故障。

为分析方便,假设故障前电流为 0,直接到达故障稳态值。

对 M 侧:  $\Delta I_{ab} = 2355 \text{ A}$ 、 $\Delta I_{ca} = 98 \text{ A}$ 、 $\Delta I_{bc} = 2453 \text{ A}$ ,按以上判据,有:

$5 \times 98 = 490 < 2353$ ,则为 B 相接地故障,应单跳 B 相。

$2 \times 98 = 196 < 2353$ ,不为相间故障,不应三跳。

对 N 侧:  $\Delta I_{ab} = 65 \text{ A}$ 、 $\Delta I_{ca} = 91 \text{ A}$ 、 $\Delta I_{bc} = 156 \text{ A}$ ,按以上判据,有:

$5 \times 65 = 325 > 91$ ,则不为单相接地故障。

$2 \times 65 = 130 > 91$ ,为相间故障,应三跳。

15 型突变量方向元件原理:

故障分量  $\Delta U$  与  $\Delta I$  存在如下关系:

正方向故障时, $\Delta U$  和  $\Delta I$  的极性相反, $\Delta = \Delta U / \Delta I = -Z_s$ 。

反方向故障时, $\Delta U$  和  $\Delta I$  极性相同, $\Delta = \Delta U / \Delta I = Z_1 + Z_{s1}$ 。

表 2 M 侧 15 型从故障时刻 0 s 开始的 6 个保护采样

Tab. 2 Sampling values of phase current on relay after fault

采样点	$I_a$	$I_b$	$I_c$	$U_a$	$U_b$	$U_c$
0	0	0.36	0.38	46.5	40.3	-87
1	-0.18	1.78	0	1.6	55.3	-79.5
2	-1.07	7.47	-0.18	-42.3	43.8	-48.3
3	-2.14	14.38	-0.71	-73	35	-3.8
4	-2.67	18.13	-1.6	-86	23.6	40.3
5	-2.84	18.13	-2.31	-76.5	6.9	74

表 3 M 侧对应的相间突变量  $\Delta$ 

Tab. 3 Values of phase-to-phase current on relay after fault

采样点	$\Delta I_{ab}$	$\Delta I_{bc}$	$\Delta I_{ca}$	$\Delta U_{ab}$	$\Delta U_{bc}$	$\Delta U_{ca}$
1-0	-1.6	1.8	-0.2	-47.5	7.5	52.4
2-1	-6.58	5.87	0.71	-32.4	-42.7	75.1
3-2	-7.98	7.44	0.54	-21.9	-53.3	75.2
4-3	-4.28	4.64	-0.36	-1.6	-55.5	57.1
5-4	-0.17	0.71	-0.54	26.2	-83.8	24.2

从表中可以看出一开始  $\Delta U_{ab}/\Delta I_{ab} > 0$ , 判断是反方向故障,  $\Delta U_{bc}/\Delta I_{bc} < 0$ , 表明是正方向故障,  $\Delta U_{ca}/\Delta I_{ca}$  负和正交替, 由于反方向元件优先于正方向元件, 因此 15 型判断为线路反方向故障, 根据理论计算结果也说明 A、C 相电流流向母线, 方向保护因此会不动作。

由于两侧电源线路接地故障使得非故障相电流并不为零甚至很大, 而且方向并不一定指向故障点, 这次非故障相电流从 N 侧流向 M 侧, 根据保护采样点进行选点计算  $\Delta U/\Delta I$ , M 侧 15 型保护突变量方向元件判断为反向故障不出口, 30 ms 内不动作程序自动转到高频负序方向元件和零序方向元件, 此时高频负序停信并经过 20 ms 延时出口跳三相, 而 11 型保护的零序方向元件判断为单相接地不动作, 采取零序方向判据使高频零序出口。由于 N 侧为小电源, 提供的短路电流小, 相间突变量值不是很明显, 突变量方向元件不出口, 30 ms 内不动作程序自动转到高频负序元件出口跳三相, 11 型保护判断为线路相间故障, 因此不进入零序元件程序, 而是进入高频距离程序, 但是由于距离测量值太大, 高于距离整定值而没有出口。M 侧的后备距离, 零序由于并不保全线, 因此灵敏度不足, 仅仅是启动, 没有出口; N 侧为小电源, 其距离测量值大于相间距离整定值, 没有动作, 仅仅是启动。

### 2.3 重合闸分析

M 侧判断为 B 相接地故障, 因此 11 型高频零序动作单跳 B 相, 保护单跳启动重合闸, 15 型为负序出口三跳断路器, 保护三跳启动重合闸, 两者皆有重合闸出口, M 侧重合闸投“综重”位置, 即单跳单重, 三跳则三重, M 侧投检无压方式, 两侧都是三跳, 满足线路无压条件, M 侧两套重合闸因此均发重合出口命令, 三相重合成功。N 侧判断为相间故障, 15 型为负序出口三跳断路器, 因为 N 侧投检同期重合, N 侧地方小电源不能维持与线路重合的同期条件, 故未发重合命令, 由于 11 型保护没有动作, 是 15 型保护出口跳闸, 因此由 11 型的重合闸引入

三跳位置开入量判断断路器位置不对应, 从而启动重合闸, 此时也要检查同期, 如上分析自然是无法满足条件, 不发重合命令。

### 3 小结

此次事件为典型的带地方小电源的 220 kV 终端变电站线路故障造成全站失压事故。对于两侧电源的单相故障, 其故障电流与故障地点的关系密切, 各相电流不一定为零, 各相电流也可能相差不大, 其流向也不一定一致, 所以保护判据就需要考虑复杂些, 便于正确选相。对于此次故障, 一侧为大电源, 一侧为小电源, 两侧三相均有电流通过, B 相电流流向故障点, A、C 相电流从 N 侧流向 M 侧。根据上述分析, 11、15 型主保护判据不满足导致保护不动作, 也不能正确选相, 说明保护原理略显不足, 只能由高频负序三跳, 检无压侧能够重合成功, 但是造成检同期侧却无法重合成功。因此本人认为在超高压线路上有必要使用两套原理不同的线路保护达到原理相互弥补, 而且要针对一大一小的普遍情况, 应该在小电源侧加装弱馈保护, 采用电压选相的办法, 采取重合闸检同期不满足转检母线无压的方式, 等等, 尽量提高保护动作可靠性, 避免类似事故的发生。

### 参考文献:

- [1] 崔家佩, 孟庆炎, 等. 电力系统继电保护与安全自动装置整定计算[M]. 中国电力出版社, 2000.  
CUI Jia-pei, MENG Qing-yan, et al. Power System Relay Protection and Setting Calculation for Safe-and-Auto Device[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2000.
- [2] 贺家李, 葛耀中. 超高压输电线路故障分析与继电保护[M]. 北京: 科学出版社, 1987.  
HE Jia-li, GE Yao-zhong. Fault Analysis and Relay Protection for EHV Transmission Lines[M]. Beijing: Science Press, 1987.
- [3] 华北电力学院. 电力系统故障分析[M]. 北京: 电力工业出版社, 1980.  
North China Electric Power College. Fault Analysis for Power System[M]. Beijing: Power Industry Press, 1980.

收稿日期: 2004-11-18; 修回日期: 2005-05-11

作者简介:

李 嵘(1975-), 男, 本科, 工程师, 现为继电保护管理工程师, 主要从事电网继电保护的整定计算和运行管理。

E-mail: lirong.ylg@gxep.com.cn

(下转第 30 页 continued on page 30)

- 负荷预测[J]. 电力系统自动化, 2000, 24(2): 32-35.  
DING Jun-wei, SUN Ya-ming. Short-term Load Forecasting Using Chaotic Learning Algorithm for Neural Network [J]. Automation of Electric Power Systems, 2000, 24(2): 32-35.
- [29] 尤勇, 盛万兴, 王孙安. 基于人工免疫网络的短期负荷预测模型[J]. 中国电机工程学报, 2003, 23(3): 26-29.  
YOU Yong, SHENG Wan-xing, WANG Sun-an. Short-term Load Forecasting Using Artificial Immune Network [J]. Proceedings of the CSEE, 2003, 23(3): 26-29.
- [30] Park Jae-gyun, Park Jong-keun, Kim Kwang-ho, et al. A Daily Peak Load Forecasting System Using a Chaotic Time Series[J]. IEEE, 1996.
- [31] Camastra F, Colla M. Neural Short-term Prediction Based on Dynamics Reconstruction[J]. Neural Processing Letters, 1999, (9): 45-52.
- [32] 蒋传文, 侯志俭, 李承军. 基于混沌理论的电力负荷短期预报的神经网络方法[J]. 水电能源科学, 2001, 19(3): 59-61.  
JIANG Chuan-wen, HOU Zhi-jian, LI Cheng-jun. Short-time Power Load Neural Network Forecasting Method Based on Chaos Theory[J]. International Journal of Hydro Electric Energy, 2001, 19(3): 59-61.
- [33] Michano S P, Tsakoumis A C, Fessas P, et al. Short-term Load Forecasting Using a Chaotic Time Series[J]. IEEE, 2003.
- [34] 张智晟, 孙雅明, 王兆峰, 等. 优化相空间近邻点与递归神经网络融合的短期负荷预测[J]. 中国电机工程学报, 2003, 23(8): 44-49.  
ZHANG Zhi-sheng, SUN Ya-ming, WANG Zhao-feng, et al. A New STLF Approach Based on the Fusion of Optimal Neighbour Points in Phase Space and the Recursive Neural Network [J]. Proceedings of the CSEE, 2003, 23(8): 44-49.
- [35] Lim Young-do. A Predictive Demand of the Maximum Electric Power Using Chaos-fuzzy [A]. International Fuzzy Systems Conference, IEEE. 2001.
- [36] Iokibe T, Mochizuki N. Short-term Prediction Based on Fuzzy Logic and Chaos [A]. Proc of FAN Symp. Tsukuba; (Japan) 1994. 77-82.
- [37] Iokibe T, Kanke M, Fujimoto Y, et al. Short-term Prediction on Chaotic Time Series by Local Fuzzy Reconstruction Method [A]. Proc of the 3rd Internat Conf on Fuzzy Logic, Neural Nets and Soft Computing. Iizuka (Japan); 1994. 491-492.
- [38] Iokibe T, Fujimoto Y, Kanke M. Short-term Prediction of Chaotic Time Series by Local Fuzzy Reconstruction Method [J]. J Intell Fuzzy Systems, 1997, 5: 3-21.

收稿日期: 2004-11-29

作者简介:

杨红英(1980-), 女, 博士研究生, 主要研究方向混沌理论与应用、电力负荷预测 E-mail: yanghy02@mails.tsinghua.edu.cn

### Applications of chaos theory to load forecasting in power system

YANG Hong-ying, YE Hao, WANG Gui-zeng

(Department of Automation, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

**Abstract:** Chaos theory can demonstrate the inherent randomness of a deterministic nonlinear system. As the bridge of deterministic and stochastic manner, it has the characteristics of the sensitivity to initial conditions, ergodicity, orderliness and so on. All of these characteristics meet the intrinsic requirements of electric load forecasting. Based on conventional prediction technique, this paper surveyed the applications of the chaos theory in power system load forecasting, including the key issues of chaotic time series and electric load forecasting based on the combinations of chaotic time series with traditional prediction technique, neural networks, and fuzzy theory respectively. Its development and applications were proposed.

**Key words:** chaos theory; load forecasting; chaotic time series; neural networks; fuzzy theory; Lyapunov exponent

(上接第 21 页 continued from page 21)

### Analysis of the single-phase-to-ground fault for 220 kV transmission line

LI Rong

(Yulin Power Supply Bureau, Yulin 537000, China)

**Abstract:** A single-phase-to-ground short happened on power-system in Yulin in 2003. The reason of the fault was found by fault analysis. Some proposals were put forward to improve the relay protection.

**Key words:** single-phase-to-ground fault; fault analysis; measure