

220 kV 变压器低压侧异相两点接地分析

柳海龙¹, 黄润长²

(1. 安徽省电力调度通信中心, 安徽 合肥 230061; 2 西安市供电局, 陕西 西安 710032)

摘要: 220 kV 变压器低压侧异相两点同时接地事故较为少见, 而不同接地点中一点在变压器差动保护范围外、一点在差动保护范围内并引起变压器差动保护动作跳闸的事例更为少见也更加容易造成误判。对 220 kV 电网中的一起典型事故做了详细分析, 借助故障数据描述了事故时的故障现象, 指出了对于此类故障的分析思路, 对变压器低压侧复杂事故的分析 and 判断具有指导意义和参考价值。

关键词: 电力变压器; 接地故障; 分析

中图分类号: TM772 **文献标识码:** B **文章编号:** 1003-4897(2006)15-0017-04

1 变压器差动保护动作

2005年 4月 9日 7:03, 某山区变电站一台正常运行中的 220 kV 自耦变压器差动保护动作, 跳开主变三侧开关, 造成供电负荷损失。事故变电站电气接线如图 1 所示。

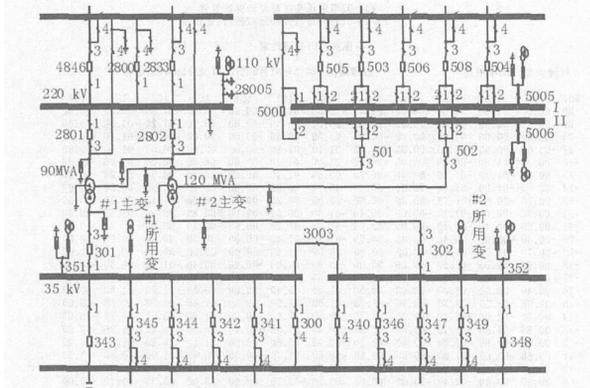


图 1 变电站电气主接线

Fig 1 Primary electrical connection

事故后主变保护装置动作信号: #1 主变保护屏发“差动”、“差动”、“差动”动作信号, 操作箱上跳闸指示灯亮, 220 kV、110 kV 故障录波器启动, 220 kV 4846 线路保护启动。

2 跳闸原因分析

由于检查后没有发现主变本体有明显故障点, 差动保护范围内的主变三侧引线等一次设备也没有明显的故障点, 维护人员在对主变及站内其它一次设备检查后也未能发现故障点, 那么, 主变差动保护是误动吗? 根据现场情况, 参照线路保护及主变保护装置的故障录波报告, 确定分析思路: 故障发

生在变压器的哪一侧? 主变三侧电压是否有突变? 是否有零序电流? 是单相故障、相间故障还是相间接地短路故障? 找出故障点。

首先, 分析 4846 线路保护故障录波报告, 主变跳闸时 4846 线路保护装置启动, 保护装置的故障录波图反映 B、C 相发生短路 (参见图 2), B、C 两相电流增大 (二次电流约为 4 A, 正常负荷电流 2.5 A, 电流值均为峰值), 并且 B、C 两相电流相位相反, 故障持续时间约三个周波 60 ms。但是线路三相电压对称并且没有明显降低, 线路保护未动作。据此可以初步断定 220 kV 线路没有发生故障, 主变差动保护动作不是由 220 kV 侧故障引起。

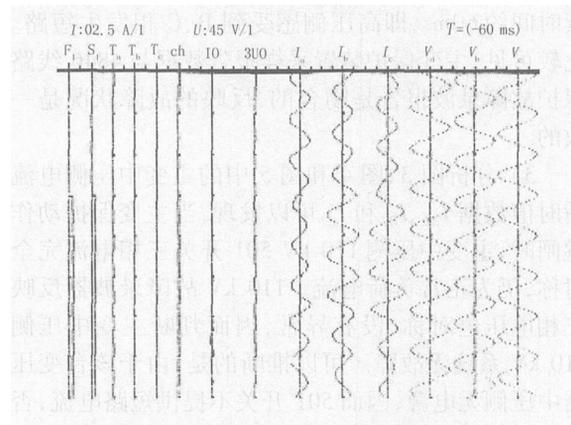


图 2 4846 线路保护装置的故障录波图

Fig 2 Fault wave of 4846 line protection

排除了主变高压侧故障可能性, 对微机主变保护装置 (WBZ-03) 的故障录波报告进行分析发现:

- 1) 主变保护装置录波报告显示主变保护 C 相差动保护动作, 主变差动保护 CPU1 的录波数据显示 C 相差动电流 3.13 A, 制动电流 2.55 A (主变差

表 1 主变差动保护 CPU1、CPU2及 CPU3的录波报告

Tab 1 Fault records of transformer protection CPU1, CPU2 and CPU3

电流	实部	虚部	有效值 /A	相角 / (°)	实部	虚部	有效值 /A	相角 / (°)	实部	虚部	有效值 /A	相角 / (°)
I_{A1}	-00.36	00.43	00.54	129.81	-00.40	00.43	00.58	132.52	-00.43	00.36	00.54	140.20
I_{A2}	00.18	-00.03	00.18	348.71	00.18	-00.03	00.18	348.71	00.18	00.00	00.18	000.00
I_{A3}	00.21	-00.40	00.43	298.62	00.21	-00.40	00.43	298.62	00.25	-00.36	00.43	305.00
I_{A4}	00.00	00.00	00.00	000.00	00.00	00.00	00.00	000.00	00.00	00.00	00.00	000.00
I_{B1}	02.99	-00.47	03.02	351.00	03.02	-00.25	03.02	355.19	03.02	00.03	03.02	000.68
I_{B2}	-00.10	-00.14	00.18	233.12	-00.10	-00.14	00.18	233.12	-00.07	-00.14	00.14	243.42
I_{B3}	-03.02	00.62	03.06	168.44	-03.02	00.40	03.02	172.46	-03.06	00.07	03.06	178.64
I_{B4}	00.00	00.00	00.00	000.00	00.00	00.00	00.00	000.00	00.00	00.00	00.00	000.00
I_{C1}	-02.55	-00.07	02.55	181.63	-02.55	-00.25	02.55	185.71	-02.51	-00.51	02.55	191.44
I_{C2}	-00.03	00.18	00.18	101.33	-00.03	00.18	00.18	101.33	-00.07	00.18	00.18	111.81
I_{C3}	-00.47	00.32	00.54	145.31	-00.51	00.29	00.58	150.26	-00.54	00.21	00.58	158.20
I_{C4}	00.00	00.00	00.00	000.00	00.00	00.00	00.00	000.00	00.00	00.00	00.00	000.00
差动电流		A相	B相	C相	差动电流	A相	B相	C相	差动电流	A相	B相	C相
制动电流	00.03	00.14	03.06	02.55	00.00	00.10	03.10	02.55	00.00	00.10	03.13	02.55
	主变保护 CPU1录波报告				主变保护 CPU2录波报告				主变保护 CPU3录波报告			

动保护动作电流整定值为 2 A),主变 A相差动电流为 0.03 A,制动电流 11.67 A,B相差动电流为 0.14 A,制动电流为 0 A。主变差动保护 CPU1、CPU2及 CPU3的录波报告(有效值)如表 1所示。

2)主变保护装置 CPU1、CPU2及 CPU3的瞬时值录波报告分别如图 3、图 4和图 5所示。数据反映在主变差动保护动作瞬间,高压侧 2801开关 A相电流基本无变化,但是 B、C两相电流明显增大,其中 B相电流由正常时的 0.7 A(峰值,下同)增至最大 5.1 A,C相电流由正常时的 0.8 A增加到 4.5 A,并且 B、C两相电流相位相差近 180°;故障持续时间约 60ms,即高压侧感受到 B、C相发生短路。比较可见,主变保护装置采样报告数据与 4846线路保护故障录波报告是吻合的,反映的故障状况是一致的。

3)分析图 3、图 4和图 5中的主变中压侧电流瞬时值数据 I_{A2} 、 I_{B2} 和 I_{C2} 可以发现,当主变保护动作跳闸时,主变中压侧 110 kV 501开关三相电流完全对称,仍为正常负荷电流。110 kV故障录波器反映三相电压也对称,没有异常,因而判断主变中压侧 110 kV系统无故障。可以推断的是,由于该台变压器中压侧无电源,因而 501开关不提供短路电流,否则中压侧 B、C相电流在故障时也应该增大。

4)分析图 3、图 4和图 5中的主变低压侧电流瞬时值数据 I_{A3} 、 I_{B3} 和 I_{C3} ,可以发现低压侧 35 kV 301开关 A相电流基本无变化,保持正常负荷电流。但是 B相电流由负荷电流 1.5 A(峰值,下同)增至最大 13.9 A,同时 C相电流由正常负荷电流 1.6 A增至最大 2.6 A。可以计算出在同一采样时刻出现零序电流 $3I_0 = I_{A3} + I_{B3} + I_{C3} = 1.1 + (-13.9) +$

$(-2.6) = -15.4$ A(差动保护 CPU1采样值),CPU2、CPU3的采样数据反映完全一样的趋势。根据主变低压侧 B、C两相电流瞬时值同时增大并且相位相同,初步判定主变 35 kV侧发生了 B、C两相两点同时接地短路。



图 3 主变保护装置 CPU1瞬时值录波报告

Fig 3 Instantaneous fault records of transformer protection CPU1

5)如果推断主变 35 kV侧发生 B、C两相同时接地短路,那么理论上应有 $I_{B3} = I_{C3}$,如何解释 B、C两相电流的数值大小不等呢?分析认为, I_{B3} 与 I_{C3} 不等的原因与主变 35 kV系统接地点位置有关,定性分析可以确定 35 kV系统的两个接地点中一个在变压器差动保护范围内部,另一个在差动保护范围外部,故障点位置如图 6所示。

定性分析认为,主变 35 kV出线 B相的接地点

WB2-03 微机变压器差动保护装置
2005年04月09日11时57分57秒814毫秒
—保护CPU2故障数据—

故障类型: 比率差动 故障时间: 2005年04月09日07时02分58秒635毫秒

No.	IA1	IA2	IA3	IA4	IB1	IB2	IB3	IB4	IC1	IC2	IC3	IC4
-30	00.80	01.00	01.50	00.00	00.30	00.00	-00.80	00.00	00.50	-01.00	-00.70	-00.00
-29	00.70	00.50	01.60	00.00	-00.00	00.60	-00.10	00.00	00.60	-01.20	-01.30	00.00
-28	00.40	00.00	01.00	00.00	-00.50	01.00	00.60	00.00	00.80	-00.90	-01.60	00.00
-27	00.00	-00.50	00.30	00.00	-00.70	01.20	01.20	00.00	00.70	-00.50	-01.50	00.00
-26	00.40	-01.00	-00.50	00.00	-00.80	01.00	01.40	00.00	00.20	00.10	-00.80	00.00
-25	00.70	-01.10	-01.30	00.00	-00.60	00.60	01.40	00.00	-00.10	00.60	-00.00	00.00
-24	00.80	-00.90	-01.60	00.00	-00.20	-00.00	00.90	00.00	-00.50	01.00	00.70	00.00
-23	00.70	-00.50	-01.50	00.00	00.10	-00.60	00.20	00.00	-00.70	01.20	01.30	00.00
-22	00.30	00.00	-00.90	00.00	00.50	-01.00	-00.60	00.00	-00.80	01.00	01.60	00.00
-21	-00.00	00.60	-00.20	00.00	00.70	-01.10	-01.10	00.00	-00.60	00.50	01.50	00.00
-20	-00.40	01.00	00.60	00.00	00.80	-01.00	-01.40	00.10	-00.20	-00.00	00.80	00.00
-19	-00.70	01.10	01.30	00.00	00.60	-00.50	-01.40	00.00	00.10	-00.60	00.10	00.00
-18	-00.80	01.00	01.60	00.00	00.30	00.00	-00.80	00.00	00.50	-01.00	-00.70	00.00
-17	-00.70	00.50	01.50	00.00	-00.10	00.60	-00.20	00.00	00.80	-01.10	-01.30	00.00
-16	-00.30	00.00	01.00	00.00	-00.50	01.00	00.60	00.00	00.80	-00.90	-01.50	00.00
-15	00.00	-00.50	00.30	00.00	-01.30	01.00	03.00	00.00	01.30	-00.30	-00.40	00.00
-14	00.40	-00.90	-00.50	00.00	-02.50	00.80	06.30	00.00	02.00	00.20	00.40	00.00
-13	00.70	-01.00	-01.10	00.00	-02.70	00.50	07.30	00.00	02.00	00.50	01.30	00.00
-12	00.80	-00.80	-01.50	00.00	-02.00	00.00	05.40	00.00	01.00	00.90	01.20	00.00
-11	00.70	-00.40	-01.50	00.00	-00.20	-00.60	01.10	00.00	-00.50	01.10	00.80	00.00
-10	00.40	00.00	-01.10	00.00	01.80	-00.90	-04.30	00.00	-02.30	00.70	-00.10	00.00
-09	00.00	00.50	-00.30	00.00	03.70	-00.90	-09.70	00.00	-03.70	00.30	-01.10	00.00
-08	-00.40	00.90	00.50	00.00	04.90	-00.70	-13.10	00.00	-04.40	-00.20	-02.20	00.00
-07	-00.70	01.00	01.20	00.00	05.10	-00.30	-13.60	00.00	-04.20	-00.60	-02.60	00.00
-06	-00.80	00.90	01.70	00.00	04.00	00.10	-11.90	00.00	-03.00	-01.00	-02.50	00.00
-05	-00.70	00.60	01.70	00.00	02.10	00.60	-06.20	00.00	-01.10	-01.10	-01.90	00.00
-04	-00.40	00.00	01.10	00.00	-00.20	01.00	00.00	00.00	00.80	-00.30	-00.80	00.00
-03	00.00	-00.50	00.20	00.00	-02.30	01.00	05.80	00.00	02.40	-00.40	00.40	00.00
-02	00.50	-00.80	-00.70	00.00	-03.70	00.70	09.70	00.00	03.20	00.10	01.50	00.00
-01	00.80	-01.00	-01.50	00.00	-04.00	00.40	10.70	00.00	03.00	00.60	02.30	00.00

图 4 主变保护装置 CPU2 瞬时值录波报告

Fig 4 Instantaneous fault records of transformer protection CPU2

WB2-03 微机变压器差动保护装置
2005年04月09日11时57分57秒777毫秒
—保护CPU3故障数据—

故障类型: 比率差动 故障时间: 2005年04月09日07时03分00秒612毫秒

No.	IA1	IA2	IA3	IA4	IB1	IB2	IB3	IB4	IC1	IC2	IC3	IC4
-30	-00.80	00.90	01.70	00.00	00.20	00.20	-00.70	00.00	00.60	-01.10	-00.80	00.00
-29	-00.60	00.40	01.50	00.00	-00.10	00.70	00.00	00.00	00.80	-01.10	-01.40	00.00
-28	-00.30	-00.10	00.90	00.00	-00.50	01.10	00.80	00.00	00.80	-00.90	-01.00	00.00
-27	00.10	-00.60	00.10	00.00	-00.70	01.10	01.30	00.00	00.60	-00.40	-01.30	00.00
-26	00.50	-01.00	-00.70	00.00	-00.70	00.90	01.50	00.00	00.20	00.20	-00.70	00.00
-25	00.80	-01.10	-01.30	00.00	-00.60	00.50	01.30	00.00	-00.20	00.70	00.00	00.00
-24	00.80	-00.90	-01.60	00.00	-00.20	-00.10	00.70	00.00	-00.60	01.10	00.90	00.00
-23	00.60	-00.40	-01.40	00.00	00.20	-00.70	00.00	00.00	-00.80	01.10	01.40	00.00
-22	00.20	-00.10	-00.80	00.00	-00.50	01.00	00.80	00.00	00.80	-00.70	-01.40	00.00
-21	-00.10	00.70	-00.00	00.00	00.70	-01.10	-01.20	00.00	-00.60	00.40	01.30	00.00
-20	-00.50	01.00	00.70	00.00	00.70	-00.90	-01.40	00.00	-00.10	-00.10	00.70	00.00
-19	-00.70	01.10	01.40	00.00	00.60	-00.40	-01.30	00.00	00.20	-00.70	00.00	00.00
-18	-00.80	00.90	01.70	00.00	00.20	00.20	-00.70	00.00	00.60	-01.10	-00.80	00.00
-17	-00.60	00.40	01.40	00.00	-00.10	00.70	00.00	00.00	00.80	-01.10	-01.40	00.00
-16	-00.20	-00.10	00.80	00.00	-00.50	01.00	00.80	00.00	00.80	-00.70	-01.40	00.00
-15	00.10	-00.60	00.10	00.00	-01.50	00.90	03.80	00.00	01.40	-00.10	-00.20	00.00
-14	00.50	-01.00	-00.60	00.00	-02.60	00.70	06.80	00.00	02.10	00.20	00.70	00.00
-13	00.70	-01.00	-01.20	00.00	-02.70	00.50	07.10	00.00	01.90	00.50	01.30	00.00
-12	00.70	-00.80	-01.50	00.00	-01.60	-00.10	04.70	00.00	00.70	01.00	01.20	00.00
-11	00.60	-00.30	-01.40	00.00	00.10	-00.70	00.00	00.00	-00.90	01.10	00.60	00.00
-10	00.30	00.10	-00.90	00.00	02.20	-00.80	-05.50	00.00	-02.60	00.60	-00.30	00.00
-09	-00.10	00.60	-00.10	00.00	04.00	-00.90	-10.80	00.00	-03.90	00.20	-01.30	00.00
-08	-00.40	00.90	00.70	00.00	05.10	-00.60	-13.50	00.00	-04.50	-00.20	-02.30	00.00
-07	-00.70	01.00	01.40	00.00	05.00	-00.20	-13.50	00.00	-04.00	-00.70	-02.60	00.00
-06	-00.80	00.90	01.70	00.00	03.70	00.20	-10.40	00.00	-02.70	-01.00	-02.50	00.00
-05	-00.60	00.40	01.80	00.00	01.60	00.70	-04.90	00.00	-00.70	-01.10	-01.70	00.00
-04	-00.30	-00.10	00.90	00.00	-00.70	01.00	01.30	00.00	01.20	-00.80	-00.60	00.00
-03	00.10	-00.60	00.00	00.00	-02.70	01.00	06.30	00.00	02.60	-00.20	00.60	00.00
-02	00.50	-00.80	-00.90	00.00	-03.50	00.60	09.20	00.00	03.30	00.20	01.80	00.00
-01	00.90	-01.00	-01.80	00.00	-03.90	00.30	10.50	00.00	02.90	00.70	02.40	00.00

图 5 主变保护装置 CPU3 瞬时值录波报告

Fig 5 Instantaneous fault records of transformer protection CPU3

在主变差动保护范围之外,因此 B 相的接地电流对主变差动保护来说只是穿越性电流,由于全部接地短路电流都穿越主变差动保护 B 相 CT,因此在保护录波图上反映 B 相电流最大,达到 13.9 A,但是 B 相差动电流却近乎为零(穿越电流不构成主变差动电流),因此主变 B 相差动保护不动作。而主变 35 kV 出线 C 相的接地点在主变差动保护范围之内,因此 C 相的接地电流对主变差动保护来说就是差动电流,但是由于另有 B 相同时接地,C 相 CT 中的部分接地短路电流被 B 相接地点分流,因此 C 相 CT 测量到的差动电流大大减小,仅有 3.13 A,然而这

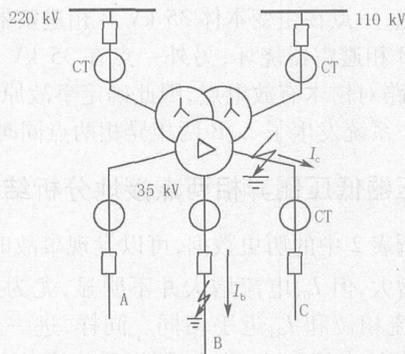


图 6 主变 35 kV 系统接地点位置示意图

Fig 6 Location of ground point in 35 kV system

个电流已经大于 C 相差动保护动作电流整定值 2 A,因此主变 C 相差动保护动作。

事故后对一次设备反复检查,最终发现并确认故障点在 35 kV 的 B、C 相,其中 B 相故障点在差动保护外,位于 35 kV 出线上,B 相线路对地放电引起短路,所以主变 B 相差动保护未动。C 相故障点在差动保护范围内,位于主变 35 kV 侧套管上,在 C 相套管底部发现明显放电点,主变 C 相差动保护动作切除故障。

3 历史故障对上述定性分析的支持

2003 年 5 月 26 日 23 时 41 分 25 秒 975 毫秒,同一变电站的同一台主变在运行中突然跳闸,跳闸信号显示主变比率差动保护动作,分析录波数据发现主变 B 相差动保护动作跳闸,当时的故障录波数据如表 2 所示。

表 2 历史故障录波数据

Tab 2 Data of historical earth fault

电流	实部	虚部	有效值 /A	相角 / (°)
I _{A1}	05.18	-01.60	05.40	342.79
I _{A2}	00.00	-00.10	00.10	270.00
I _{A3}	-05.51	01.07	05.76	163.06
I _{A4}	00.00	00.00	00.00	000.00
I _{B1}	-04.92	01.16	05.03	166.67
I _{B2}	-00.10	00.00	00.10	180.00
I _{B3}	-00.69	00.32	00.76	154.66
I _{B4}	00.00	00.00	00.00	000.00
I _{C1}	-00.29	00.18	00.32	148.00
I _{C2}	00.03	00.10	00.10	071.55
I _{C3}	00.21	-00.32	00.36	303.70
I _{C4}	00.00	00.00	00.00	000.00
		A相	B相	C相
差动电流	00.32	05.91	00.03	

事故后技术人员对主变本体及相关线路进行仔细检查,最终发现引起主变差动保护动作跳闸的两

个故障点,一点在主变本体 35 kV B相避雷器上,检查发现 B相避雷器烧坏,另外一点在 35 kV 线路 A相上,线路对树木有放电点,因此确定事故原因是主变 35 kV 系统发生了 A、B 两相异相两点同时接地。

4 变压器低压侧异相两点接地分析结论

分析表 2 中的历史数据,可以发现事故时 I_{A3} 电流急剧增大,但 I_{B3} 电流增大并不明显,尤为显著的是 I_{A3} 电流相位和 I_{B3} 近乎相同。同样,进一步分析表 1 中的 I_{B3} 电流和 I_{C3} 电流,可以看出事故时 I_{B3} 电流急剧增大,但 I_{C3} 电流增大并不明显,尤为显著的是 I_{B3} 电流相位和 I_{C3} 近乎相同。

因此对主变差动保护而言,当中性点不接地的 35 kV 系统发生异相两点同时接地短路并且一点在主变差动保护范围内、一点在差动保护范围外时,可以断定低压侧短路电流相位近乎相同的两相就是故障相,而且差动电流小的那一相的故障点在变压器差动保护范围内部,差动电流大的那一相的故障点在变压器差动保护范围外部。这一结论对分析判断

变压器低压侧中性点不接地系统异相两点同时接地短路故障具有指导性意义。

参考文献:

- [1] 许正亚. 变压器及中低压网络数字式保护 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2004.
XU Zheng-ya Digital Protection for Power Transformer and MediaLow Voltage Electric Power Net [M]. Beijing: China Water Power Press, 2004.
- [2] 王维俭. 电气主设备继电保护原理与应用 (第二版) [M]. 北京: 中国电力出版社, 2001.
WANG Wei-jian Electric Main Equipment Protection Their Theory and Application, Second Edition [M]. Beijing: China Electric Power Press, 2001.

收稿日期: 2005-12-14; 修回日期: 2006-02-27

作者简介:

柳海龙 (1964 -), 男, 硕士, 高级工程师, 从事电力系统继电保护运行管理工作; E-mail: liuhl@ahpc.com.cn
黄润长 (1965 -), 男, 高工, 从事电力系统自动化工作。

Analysis of double-phases earth fault in the low-side of a 220 kV-transformer

LU Hai-long¹, HUANG Run-chang²

(1. Anhui Electric Power Dispatching and Communication Center, Hefei 230061, China;

2. Xi an Power Supply Bureau, Xi an 710032, China)

abstract: Double-phases earth fault in the low-side 35 kV busbar of a 220 kV-transformer is not very often, and among the faults which one earthing contact located inside the transformer differential protection area and the another one outside of the area is even more seldom. With the demonstration of some real-time fault data, this paper presents a detailed analysis of a typical power outage caused by that kind of earth fault and describes the whole process of the trouble. A way to analyze other similar power transformer faults is proposed. It has a reference value to deal with power grid failures.

Key words: power transformer; earth fault; analysis

(上接第 13 页 continued from page 13)

作者简介:

李冬辉 (1962 -), 男, 副教授, 主要从事电力电子应用, 计算机控制等方面的研究。E-mail: inuwab@126.com
王波 (1981 -), 男, 硕士研究生, 主要从事电力电子应用, 计算机控制等方面的研究。

Loop net grounding fault diagnosis of DC system based on wavelet entropy

LI Dong-hui, WANG Bo

(School of Electrical Engineering and Automation, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: According to the influence of loop net on DC system fault detection, a new method based on wavelet entropy theory to detect grounding fault in loop net of DC power system is proposed in view of traditional low frequency signal injection method. The method combines wavelet analysis with entropy theory to accomplish signal characteristic mining by exploiting the time-frequency localization ability of wavelet analysis and the ability of entropy to token system state. By injecting low frequency signal and gathering state of loop net, wavelet entropy is calculated as system characteristic parameter and then the fault branch can be found. It is verified by simulation results that wavelet entropy can reflect the system change of grounding fault of loop net. The method is effective for extraction and recognition of fault information of loop net.

Key words: DC system; grounding fault diagnosis; loop net; wavelet transform; wavelet entropy