

云南玉溪红塔山变电站 220kV 母线

保护 4.23 误动分析

程利军 朱景云 冯国东 李建新 许昌继电器研究所 (461000)

随着电力系统的不断发展, 电力系统稳定问题日趋重要。发电厂或变电站的母线保护的正确动作对电力系统的影响是非常严重。如果母线保护误动或拒动将造成大面积停电事故, 危及电力系统的安全、稳定运行。本文分析了云南玉溪红塔山变电站 220kV 母线保护 4 月 23 日误动的原因, 提出了当变电站直流回路、交流回路以及各回路之间的配合不当有可能造成母线保护误动的结论, 并提出了一些改进措施, 以供电力系统同仁们参考。

1 红塔山变电站介绍

红塔山变电站承担着云南玉溪地区主要供电任务, 同时其 220kV 母线又联系了云南电网主要水电系统及火电系统, 其主接线如图 1。从图 1 可以看出 220kV 母线采用双母线专设母联接线, 110kV 母线采用单母线分段接线。正常运行时, 220kV 母线通过 271、272 开关从系统获得电源, 通过 201、202 开关主变降压至 110kV 母线向玉溪地区供电。

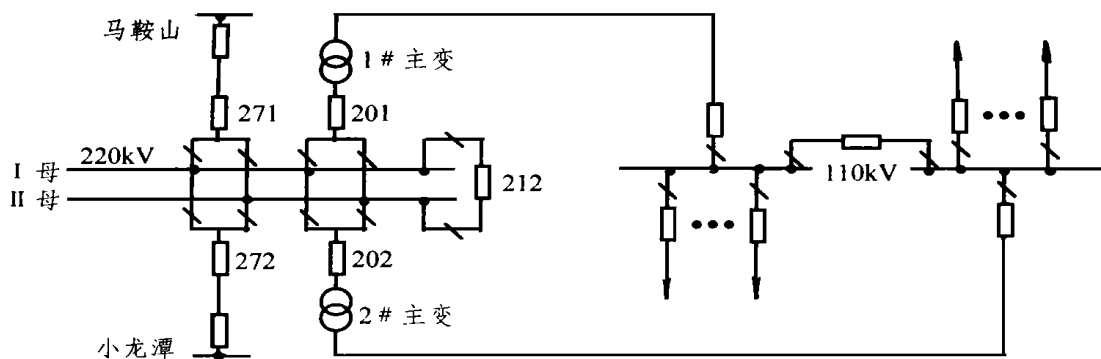


图 1 红塔变主接线

2 4.23 母线保护误动前后系统介绍

1996 年 4 月 23 日 18 时 10 分, 红塔变 220kV 母联开关 212, 红马线 271 开关, 1#、2# 主变高压侧 201 开关、202 开关跳闸, 造成红塔变全站 110kV 系统失电的事故。事故前后系统主接线如图 2。当时小龙潭侧通过小红线 272 开关送 8MW 潮流, 马鞍山侧通过马红线 271 开关送 160MW 潮流。

220kV 母线保护是许继电气股份有限公司 JMH—1 母线保护屏 PMH 14/1, 2, 3, 线路

保护采用由 $WXH-1$ 、 $WXH-15$ 型微机线路屏 $PXH-316$ 、 $PXH-325$ 屏, 构成高频闭锁距离保护、方向高频保护。 $1^\#$ 、 $2^\#$ 主变保护选用常规整流型主变保护, 故障录波采用微机故障录波屏。

根据现场值班记录, 红塔变 220kV 母线保护两段母差保护均动作, 两段母线电压闭锁均动作是造成本次事故的主要原因。鉴于当时全系统没有发现明显的事故或异常情况, 因此暂定为 220kV 母线保护误动。

为了查清本次母线保护误动的原因, 由云南省电力局中心调度所、中心试验所、昆明供电局、昆明超高压局及许继电气股份有限公司联合组成调查组, 查找事故原因。

事故发生前即 14:15 中调下令 220kV II 母 PT 停电, 检查并处理 II 母 PT B、C 相漏油, 17:56 220kV II 母 PT 恢复供电。

18:10 事故发生, 共跳开四个开关, 全站 110kV 系统停电。由于 272 开关未跳开, 事故后在 18:30 $2^\#$ 主变高压侧 202 开关合闸送电。同时将 $1^\#$ 主变倒闸至 II 母, 于 18:45 将 201 开关合闸送电。19:05 合上 212 母联开关, 19:15 红马线 271 开关合闸送电。次日 1:05 201 开关由 II 母切换至 I 母系统完全恢复至故障前状态。

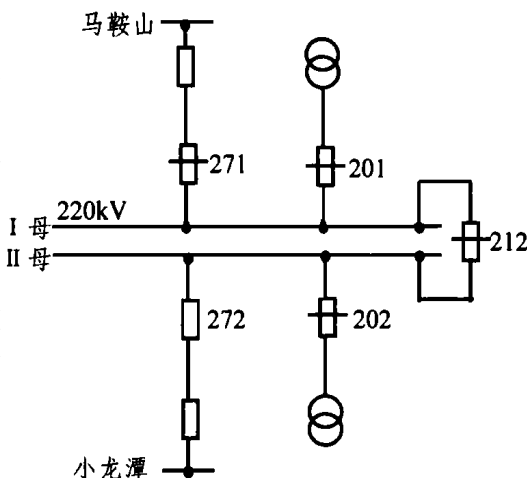


图2 事故前后系统主接线

3 事故后主要信号及光字牌动作情况

(1) 中央信号屏: 220kV I 表计量电压, 220kV 电压互感器直流消失, II 母母差动作, 220kV 故障录波器启动报警, 220kV 录波器失电报警、磁盘报警。

(2) 红小线 272 开关主控屏: 高频装置启动, 装置异常、呼唤。

(3) 红马线 271 开关主控屏: 高频装置启动, 保护跳闸出口动作、呼唤, 保护动作。

(4) $1^\#$ 主变控制屏: 110kV 电压回路断线, 冷却器全停, 操作电源故障, II 工作电源故障, I 工作电源故障, 10kV 电压回路断线。

(5) 220kV 母线保护屏: $1^\#$ 屏复合电压元件 $1YJ$ 、 $2YJ$ 灯亮, 信号元件 CKJ 、 CLJ 、 CDJ 、A、B、C 灯亮, (1, 2) SJ 灯亮, I 母母差动作掉牌。 $2^\#$ 屏复合电压元件 $1YJ$ 、 $2YJ$ 灯亮, 信号元件 CKJ 、 CLJ 、 CKJ 、A、B、C 灯亮, 失灵用电压闭锁元件 $1YJ$ 、 $2YJ$ 灯亮, II 母母差动作并掉牌。

(6) 220kV 红马线 271 开关 $PXH-316$ 屏: 高频发信指示灯亮, 跳合闸信号元件跳A、跳B、跳C 灯亮, 呼唤灯亮。 $PXH-325$ 屏呼唤灯亮, 报告灯亮。

(7) 220kV 红小线 272 开关 $PXH-316$ 屏、 $PXH-325$ 屏发信一样即高频发信指示灯亮。

(8) 红塔变 271 开关 $WXH-11$ 打印报告可以看到高频到保护启动, 距离保护启动并跳闸, 综重三跳启动。距离保护打印报告及电流、电压、波形见图 3。红塔变 272 开关 $WXH-11$ 高频打印报告及波形见图 4。从上述系统动作及记录情况可以得到以下几点:

① 271、201、202、212 四台开关跳闸, 272 开关未跳闸, 220kV 母线保护 I、II 母母差均动作, 271 开关距离保护动作。

- ② 220kV 及 110kV 两侧均有交流电压断线信号。从 W X H — 11 打印报告上也看到故障前一周波已出现交流电压断线。
- ③ 主变操作电源有故障信号。
- ④ 220kV 母线保护动作三跳，271 开关距离保护动作出口，但从打印报告及电流波形看 271 开关是由母差保护动作切除的，因此只对母差保护动作原因进行分析。
- ⑤ 220kV 母差保护动作，开关 272 不跳闸应属于不正确的工作情况。

* * * CPU 2

16 1ZKJCK

7271	CJ	X = E M A X		R = E M A X		A B	D = E M A X K _m		
	DATE TIME	14, I _a	04, I _b	24, I _c	05, 3I ₀	05, U _a	30, U _b	27 U _c	3U ₀
	- 12	1.79	2.86	- 5.53	- 0.54	- 0.1	- 0.1	- 0.1	- 0.2
	- 11	- 1.07	4.47	- 4.28	- 0.71	- 0.1	- 0.3	- 0.1	- 0.4
	- 10	- 3.58	4.81	- 2.14	- 0.54	- 0.3	- 0.3	- 0.1	- 0.2
	- 9	- 5.00	3.75	0.54	- 0.36	- 0.1	- 0.3	- 0.1	- 0.2
	- 8	- 5.00	1.61	3.03	- 0.36	- 0.3	- 0.3	- 0.3	- 0.2
	- 7	- 4.13	- 1.07	4.28	- 0.36	- 0.3	- 0.3	- 0.3	- 0.2
	- 6	- 1.97	- 3.58	4.66	- 0.18	- 0.1	- 0.1	- 0.1	- 0.4
	- 5	0.89	- 5.00	3.58	- 0.36	- 0.1	- 0.1	- 0.1	- 0.2
	- 4	3.22	- 5.38	1.25	- 0.54	- 0.3	- 0.3	- 0.3	- 0.2
	- 3	4.81	- 4.47	- 1.25	- 0.36	- 0.3	- 0.1	- 0.3	- 0.4
	- 2	5.00	- 2.14	- 3.75	- 0.54	- 0.1	- 0.1	- 0.1	- 0.4
	- 1	3.70	0.54	- 5.19	- 0.18	- 0.3	- 0.3	- 0.1	- 0.2
	0	2.14	2.50	- 5.19	- 0.18	- 0.3	- 0.3	- 0.1	- 0.2
	1	0.71	3.58	- 3.94	- 0.54	- 0.3	- 0.3	- 0.1	- 0.4
	2	- 0.18	3.39	- 1.79	1.79	- 0.1	- 0.1	- 0.1	- 0.2
	3	- 0.36	2.14	- 0.36	1.79	- 0.1	- 0.1	- 0.1	- 0.2
	4	- 0.36	0.54	- 0.18	0.18	- 0.3	- 0.3	- 0.1	- 0.2
	5	- 0.36	- 0.54	- 0.36	- 0.71	- 0.3	- 0.3	- 0.3	- 0.2
	6	- 0.18	- 0.54	- 0.36	- 0.54	- 0.3	- 0.3	- 0.3	- 0.4
	7	- 0.18	- 0.36	- 0.36	- 0.54	- 0.1	- 0.3	- 0.1	- 0.4
	8	- 0.36	- 0.36	- 0.18	0.54	- 0.1	- 0.1	- 0.0	- 0.2
	9	- 0.36	- 0.36	- 0.18	- 0.54	- 0.3	- 0.1	- 0.1	- 0.2
	10	- 0.18	- 0.36	- 0.36	- 0.54	- 0.1	- 0.3	- 0.1	- 0.4
	11	- 0.18	- 0.36	- 0.36	- 0.54	- 0.3	- 0.3	- 0.1	- 0.4
	12	- 0.36	- 0.36	- 0.18	0.54	- 0.3	- 0.3	- 0.3	- 0.4
	13	- 0.36	- 0.36	- 0.18	- 0.54	- 0.1	- 0.3	- 0.3	- 0.4
	14	- 0.36	- 0.36	- 0.36	- 0.71	- 0.3	- 0.3	- 0.3	- 0.4
	15	- 0.36	- 0.54	- 0.36	- 0.71	- 0.3	- 0.3	- 0.1	- 0.2
	16	- 0.36	- 0.54	- 0.36	- 0.54	- 0.3	- 0.1	- 0.1	- 0.2
	17	- 0.18	- 0.36	- 0.36	- 0.54	- 0.1	- 0.3	- 0.1	- 0.4
	18	- 0.18	- 0.36	- 0.36	- 0.54	- 0.1	- 0.3	- 0.1	- 0.4
	19	- 0.36	- 0.36	- 0.18	- 0.54	- 0.1	- 0.3	- 0.1	- 0.2
	20	- 0.36	- 0.36	- 0.18	- 0.54	- 0.3	- 0.2	- 0.1	- 0.2
	21	- 0.18	- 0.36	- 0.36	- 0.54	- 0.3	- 0.3	- 0.1	- 0.4
	22	- 0.18	- 0.36	- 0.36	- 0.54	- 0.3	- 0.3	- 0.1	- 0.4
	23	- 0.36	- 0.54	- 0.36	- 0.54	- 0.3	- 0.3	- 0.1	- 0.4

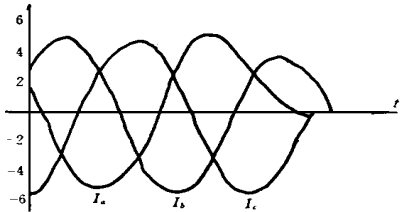


图 3 红马线线路保护录波及波形图

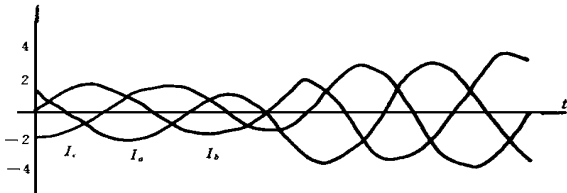


图 4 红小线线路保护录波及波形图

4 红塔变 220kV 母线保护试验情况

PM H — 144/1~ 3 母线保护包括三面屏, 含有母差保护、充电保护、失灵保护以及电压闭锁等。

保护主要定值如下:

(1) 差动继电器动作值 $I_{cdJ} = 0.47I_n$, 差流继电器动作值 $I_{CLJ} = 0.38I_n$, 制动系统 $S = 0.67$ 。

(2) 电压闭锁继电器整定为 $70\%U_n$

(3) 断线闭锁继电器整定为 $5\%I_n$

(4) 母线保护在 2 倍电流整定值、0.5 倍电压整定值下整组动作时间不大于 $10m_s$ 。

* * * CPU 2

116 1ZKJC X = 0.01 R = 0.02 AB D

DATE	20,	20,	19,	15,	40,	07,	399	
TIME	I_a	I_b	I_c	$3I_0$	U_a	U_b	U_c	$3U_0$
- 12	1.07	0.18	- 1.43	0.00	0.0	- 0.1	0.0	0.0
- 11	0.36	0.89	- 1.61	0.00	0.1	0.0	0.0	0.0
- 10	- 0.36	1.61	- 1.43	- 0.18	0.1	0.0	0.0	0.0
- 9	- 1.25	1.61	- 0.71	- 0.18	- 0.1	0.0	- 0.1	- 0.2
- 8	- 1.79	1.25	0.18	- 0.18	0.0	- 0.1	- 0.1	- 0.2
- 7	- 1.79	0.71	1.07	- 0.18	0.1	0.0	0.0	0.0
- 6	- 1.61	0.00	1.43	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0
- 5	0.89	- 0.89	1.61	0.00	0.0	- 0.1	0.0	0.0
- 4	0.00	- 1.43	1.43	- 0.18	0.0	0.0	0.0	- 0.2
- 3	0.54	- 1.43	0.54	0.18	0.1	0.0	0.0	- 0.2
- 2	1.07	- 1.25	- 0.18	0.00	0.1	0.0	0.0	0.0
- 1	0.89	- 0.71	- 0.71	- 0.36	0.0	- 0.1	- 0.1	0.0
0	- 0.18	0.18	- 1.25	- 0.89	0.0	- 0.1	- 0.1	0.0
1	- 1.43	1.43	- 1.07	- 1.07	0.0	0.0	0.0	0.0
2	- 2.86	2.14	0.00	- 0.71	0.0	0.0	0.0	- 0.2
3	- 3.39	1.61	1.43	- 0.18	0.0	0.0	- 0.1	- 0.2
4	- 2.86	0.36	2.50	0.00	0.0	0.0	- 0.1	0.0
5	- 1.79	- 1.43	3.03	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0
6	- 0.18	- 2.69	2.86	0.18	0.1	0.0	0.0	0.0
7	1.61	- 3.03	1.61	0.18	0.1	0.0	0.0	0.0
8	2.86	- 2.69	- 0.36	0.00	0.0	- 0.1	0.0	0.0
9	3.22	- 1.43	- 1.97	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0
10	2.50	0.18	- 3.03	0.00	0.0	0.0	0.0	- 0.2
11	1.25	1.97	- 3.58	- 0.18	0.0	- 0.1	0.0	- 0.2
12	- 0.36	- 3.22	- 3.03	- 0.18	0.0	0.0	- 0.1	0.0
13	- 2.14	3.75	- 1.79	0.00	0.0	- 0.1	- 0.1	0.0
14	- 3.22	3.22	0.00	0.18	0.0	0.0	0.0	0.0

首先我们假设一次系统确有故障,造成 I、II 母线差动作, I、II 母电压闭锁动作,重点检查母线、开关、隔离刀闸、母联 CT、线路、主变等一次设备是否有明显的闪络现象,检查的结果没有。同时小龙潭、马鞍山侧在 4.23 事故前后也无故障或异常。

母线保护检查包括以下几个方面:

(1) 整组试验检查:

I、II 母差动继电器均能正确动作。

I、II 母电压闭锁继电器均能正确动作。

各连接元件均能正确出口。

(2) 绝缘检查满足系统要求。

(3) I 母、II 母失灵保护均能正确动作及出口。

(4) 带负荷测量差流及系统六角图检查各连接元件 CT 极性均正确。与母线保护相关的二次回路检查均无异常。

(5) 母联 CT 回路极性均正确,母联死区保护能正确动作。

(6) 母线充电保护均能正确动作及出口。

(7) 在各种干扰下母线保护均能正确工作,没有误动作或误发信号。

(8) 自检回路正确,没有引起母差保护误动作。

(9) 拉合直流试验:当模拟事故前潮流时快速拉合直流达百余次,但仅有十几次使差保护

出口并掉牌, 仅有几次使信号元件 CKJ 、 CLJ 、 CDJ 、 A 、 B 、 C 信号灯亮。这个现象可以解释母差保护误动作(见后面分析)。

(10) 当直流下降至 $80\% U_n$ 时, 母线保护能正确动作。

(11) 母线保护各试验结束后, 昆明供电局又组织人员对母线保护进行了定检, 对屏内每个插件、每个继电器都进行检查, 并对各定值进行检查, 母线保护均无异常, 定值均在给定范围内。

5 220kV 系统其它回路检查

(1) 微机故障录波装置检查: 录波器没有录到 18:10 的波形, 但录到系统恢复时的波形。录波器由于磁盘满而告警。

(2) 由于 272 开关未跳开, 因此又对 272 开关做了联动试验。即由母线保护出口跳 272 开关, 结果完全跳开 272 开关。

(3) II 母 PT 倒闸检查

II 母 PT 投入或退出运行时, 母差保护、线路保护、主变保护均无异常。但当 PT 并列运行时系统有较大的零序电压, 故障录波器录得 $3U_0$ 值为 60V 左右。

(4) 线路保护报告检查: 通过打印出 271、272 开关四套微机线路保护装置报告, 日期、时间均不正确。

红马线 271 开关 $WXH-11$ 打印报告表明: 24:04:24:5:5:30 为故障时间, 各分报告动作如表 1。

表 1 271 开关 $WXH-11$

项目 内容 保护类型	动作情况	动作时间	PT 情况
高频保护(CPU ₁)	GBDQ 高频保护启动	$11 \times 1.677 = 19.3ms$	A、B、C 三相, PT 失压
距离保护(CPU ₂)	I 段距离保护出口 1ZKJCK	$16 \times 1.677 = 27ms$	A、B、C 三相 PT 失压
零序保护(CPU ₃)	没启动, 但有报告		A、B、C 本相 PT 失压
综重(CPU ₄)	三跳启动重合闸 T3QDCH	$42 \times 1.677 = 70ms$	A、B、C 三相 PT 失压, 但线路抽取电压正常

红小线 272 开关 $WXH-15$ 微机保护报告有一次是 20:20:19:15:40:0 ZKQD, 11 点 AB 故障起动。

从 271 开关、272 开关线路保护录波看, 220kV 母线 I 母、II 母 PT 确定出现了失压, 但事故发出时刻电流值不是太大, 可以证明系统无明显故障或异常。

(5) 直流系统检查

红塔变直流系统采用美国“大力神”蓄电池作直流电源的后备电源。同时正常运行时, 交流 380V 通过浮充机向蓄电池充电, 并提供直流电源。当强行拉开浮充机交流电源时, 监视母差屏、控制屏的直流电源有无失压, 试验结果表明直流系统无异常现象。

6 事故分析

通过检查运行记录以及上述试验表明, 红塔变 220kV 开关跳闸原因有以下几种可能:

(1) 由于系统发生振荡, 造成母线保护误动

红塔变 220kV 系统 PT 采用电容式电压互感器。当 PT 操作时对系统产生瞬态冲击或者

与系统构成电磁谐振,引起快速母线保护误动作。

这种分析很快就被否定,因为电容式 PT 电容量极小,构成电磁谐振频率必然很高,此时振荡电流不会太大,不致于使母差保护误动,从 $WXH-11$ 保护录波看系统没有出现振荡。同时瞬态冲击之说也不能使人信服,因为母差动作是在 PT 完成操作 10 分钟之后。

但是红塔变 220kV II 母 PT 在四月份经常处于检查状态即 PT 处于异常状态,可以肯定 PT 是造成母差保护误动的必然原因。

(2) 红塔变 220kV 系统确实出现异常(非明显故障),造成母线保护动作,此时母线保护正确动作。

从线路保护录波看, I、II 母在事故前确定失压。271 开关线路保护 $PXH-316$ 屏确实动作, 271 开关控制屏也表明“保护跳闸出口动作”, 220kV 故障录波装置启动告警。

小龙潭侧、马鞍山侧线路保护没有录到任何波形,也不能完全说明系统的确无故障或异常。从误动角度来看,线路保护、母线保护(A、B、C 三相故障, I、II 母同时故障)、故障录波同时误动概率很小,因此红塔变 220kV 系统一定有过异常(或故障)。但因母线保护动作跳闸引起 $WXH-11$ 保护及故障录波启动是可能的。

(3) 直流系统短时失压或压降过低造成母差保护误动。

红塔变 220kV PT 控制回路采用隔离刀闸位置接点重动中间继电器,用中间继电器触点切换电压回路,其原理图如图 5。

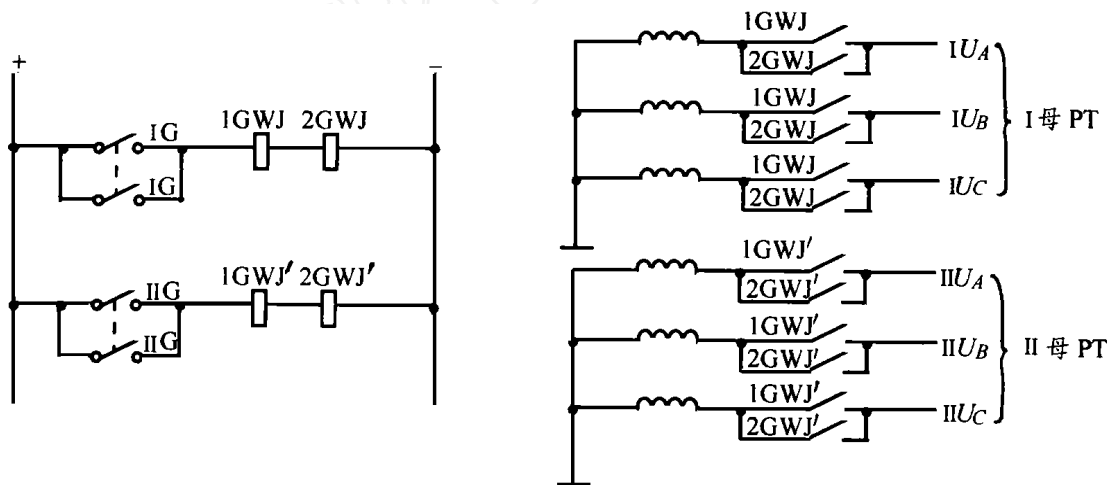


图 5 PT 控制回路

母线保护切换是磁保护继电器重动中间继电器,其原理如图 6。

此外母线保护还设有总直流监视回路。当直流上电时延时开放母差保护出口电源。直流失压时发直流失去信号,原理如图 7。同时当 PT 回路长期动作(10s)未复归时,闭锁母差保护出口。上述几种继电器参数如表 2

表 2 各继电器参数

型 号	动作时间	返回时间
$DJJ DZS-229$	0.11s	1.2s
$QHJ DZ-410$	$\leq 60ms$	$\leq 60ms$
$GWJ DZY-210$	$\geq 45ms$	$\geq 0.5s$

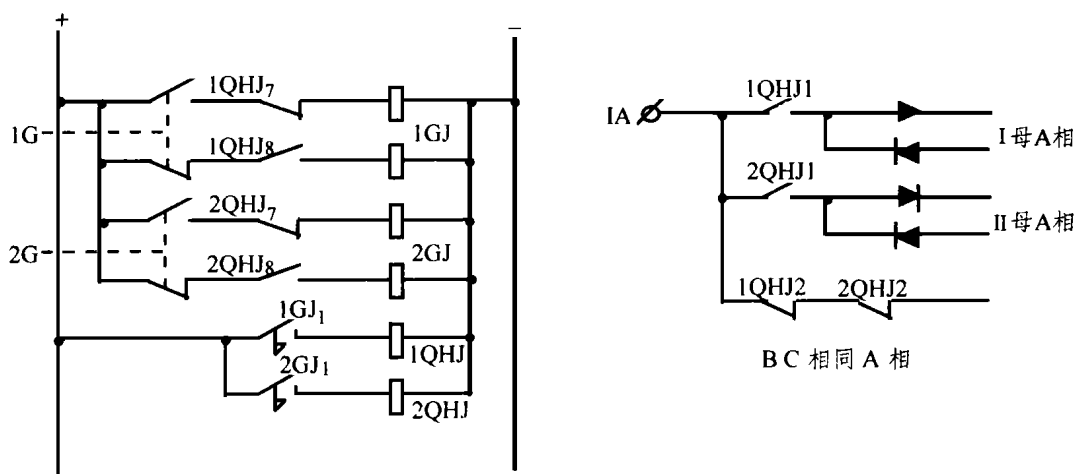


图 6 母线保护切换回路

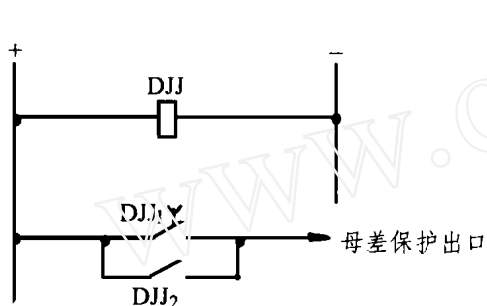


图 7 直流监视回路

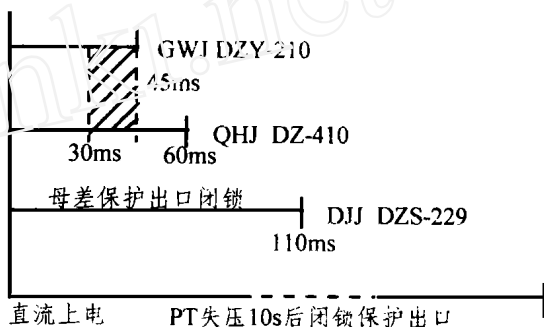


图 8 各继电器动作时间

各继电器在直流上电时动作时序如图 8。

而 QHJ (DZ-410) 典型动作时间为 30ms 左右, 这样当 PT 投入时, 由于 QHJ、GWJ 动作时间不一致, 造成有 15ms 左右的重叠区, 如图 8 的阴影区。此时只要潮流足够大, 就可能使差动继电器动作。而 4.23 母线保护误动前潮流满足动作条件: 当时红马线送有功 160MW, 则一次电流为:

$$I = \frac{P}{3IU \cos \varphi} \approx \frac{P}{3UI} = \frac{160 \times 10^6}{3 \times 220 \times 10^5} = 420A$$

主 CT 变比为 600/5, 则二次电流为:

$$I_2 = \frac{420}{600} I_n = 0.7 I_n$$

而差动继电器定值为 $I_{CDJ} = 0.47$, 差流继电器定值为 $I_{AJ} = 0.38 I_n$, 所以当 $0.7 I_n$ 通过差动回路时, 必然造成母差保护出口跳闸。

但是上述情况在直流上电时不会发生。因为直流监视继电器 DJJ 在直流上电 110ms 以后才开放母差保护出口。

要满足 4.23 母线保护误动条件, 系统必须满足以下前提: ① PT 失压 $\leq 10s$, ② DJJ 未复归, ③ 潮流足够大。DJJ 返回时间为 1.2 秒, 所以仅在直流掉电 1.2 秒, 即直流电源输出有个缺口, 手动拉合直流开关试验也证实上述结论。

从上述记录操作电源有过故障和 PT 失压, 失去浮充电等情况看这个可能性最大。但实际实验没有模拟到真实的误动情况, 对直流系统短时消失或压降低原因尚未查清, 有待于今后运行进一步考察。

此外, 272 开关不跳闸是否与直流操作电源有关也值得考虑。

红塔变 220kV 母线保护已运行 1 年多了, 在此期间经历过多次区外故障的考验, 保护均能正确工作, 没有出现任何异常情况。

红塔变 220kV 母线保护误动原因仍然扑朔迷离。上述分析都有可能, 但都不能使人信服。但可以肯定红塔变 220kV 系统直流系统, PT 二次回路等缺陷是造成 220kV 母线保护误动的主要原因。同时半周波母线保护在我国电力系统运行经验还不十分丰富, 电力系统中的某些异常情况对快速保护正确动作的影响还不十分清楚, 这都有待于进一步考验。

这次事故我们可以得到以下几点经验教训:

1) 直流系统在整个变电站中至关重要。这一点在变电站设计及运行中应得到充分重视。

2) 许继公司 $JMH-1$ 型母线保护在双母线系统中采用磁保持继电器重动电梯中间继电器作为切换继电器采用如图 9 的措施使动作时间由 30ms 典型值延长至 60~80ms, 消除图 8 的阴影区, 有利于即使碰上这样情况也不会误动。此外, 当选取延时动作, 瞬时返回的继电器代替 DJJ 时也可以起到同样的效果。当双位置继电器经验成熟后也可用双位置继电器取代现行方案。

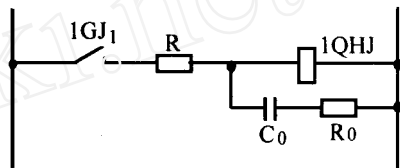


图 9

3) 微机故障录波装置、微机线路保护装置等微机产品的运行维护一定要加强, 并予以足够重视。当系统发生故障或异常事故时, 可以根据录波获得事故分析的依据, 进一步正确分析事故, 处理事故。

参考文献

- 1 $JMH-1$ 型母线保护装置 许继电气股份有限公司, 1994
- 2 110~220kV 变电站定型屏. (上册) 许昌继电器厂, 1987. 12

本 刊 启 事

为适应国内改革开放经济发展形势之需要, 应广大读者和用户的要求, 本刊从 1997 年起由原来季刊改为双月刊, 欢迎订阅! 欢迎投稿! 欢迎刊登广告!