

# 临界条件下双套保护报警信号不一致原因分析

薛 丽 丽

(雅砻江流域水电开发有限公司,四川 成都 610051)

**摘 要:**在一次安全自动控制装置(简称安控装置)切机过程中,双套安控装置及双套发电机保护装置报警信号不同,为了确认装置报警信号是否正常,结合安控装置和发电机保护装置报警逻辑和采样数据,对机组停机过程中的报警信号原因进行分析,判定其是为正确报警,排除装置本身软硬件问题,可供检修维护及厂家人员借鉴参考。

**关键词:**停机;报警;原因;临界条件

**中图分类号:**TL411+.1;G273.3;TP277

**文献标识码:** B

**文章编号:**1001-2184(2022)06-0108-04

## Cause Analysis of Inconsistency of Two Sets of Protection Alarm Signals under Critical Conditions

XUE Lili

(Yalong River Hydropower Development Co., Ltd., Chengdu Sichuan 610051)

**Abstract:** In the process of cutting off of a safety automatic control device (safety control device), two safety control devices and two generator protection devices have different alarm signals. In order to confirm whether the alarm signals of the devices are normal or not, based on the alarm logic and sampling data of the safety control device and the generator protection device, the causes of the alarm signals during the unit shutdown are analyzed, and the alarm is confirmed to be correct. The hardware and software problems of the device are excluded, which could provide reference for maintenance and factory personnel.

**Key words:** Shutdown; Alarm; Cause analysis; Critical condition

### 1 概 述

锦屏二级水电站总装机容量  $8 \times 600$  MW。某日该电站收到远方 1 号机组电气停机流程命令,停机过程中 1 号发电机 A 套保护报“发电机过励磁报警”“管理板报警”、“机端 TV 断线”,1 号发电机 B 套保护报“机端 TV 断线”信号,安控装置 1 报“1 号发变组高压侧无故障跳闸”。电站安控装置和发电机保护装置均为双重配置,安控装置型号为南京南瑞稳定控制分公司的 SCS-500E,发电机保护装置型号为南京南瑞继保工程技术有限公司的 RCS-985GW。一般情况下,相同配置的双重保护或安控装置动作应一致,而此次停机过程中双套保护及安控装置所报信号则不一致,与一般情况有所不同。为了查清信号不一致原因,确保保护装置及安控装置的可靠性,故需对此情况进行深入分析。

### 2 事故分析

收稿日期:2022-06-16

#### 2.1 安控装置 2 未判断出 1 号发变组高压侧无故障跳闸

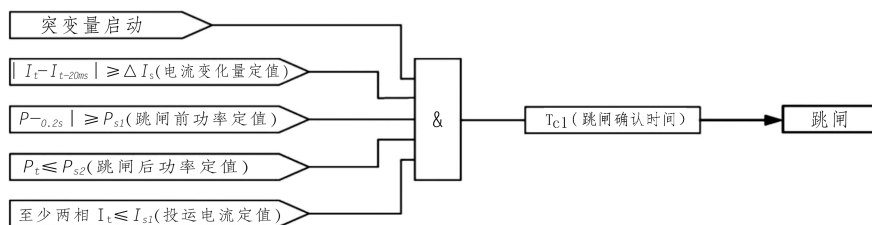
22:10:18 集控发电电气停机流程停 1 号机组,安控装置 1 成功判出 1 号发变组高压侧无故障跳闸,而安控装置 2 未判出 1 号发变组高压侧无故障跳闸。根据《锦苏直流稳控系统锦东电站安控装置技术说明书(第三版)》中<sup>[1]</sup>,机组无故障跳闸判据。机组无故障跳闸逻辑见图 1。

其中,  $\Delta I_s = 5\% I_n = 200$  A,  $P_{s1} = 100$  MW,  $P_{s2} = 40$  MW,  $I_{s1} = 120$  A,  $T_{s1} = 20$  ms, 突变量启动:  $\Delta I_s = 5\% I_n = 200$  A 或  $\Delta P_s = 50$  MW。

1 号机组停机前后,1 号发变组高压侧的电压电流在安控装置 1 内对应的采样值见表 1。

在启动前 200 ms 时,  $P_{-0.2S} = 223.9$  MW > 100 MW (满足逻辑图条件三);

在启动后 10 ms 时刻  $I_c = 224$  A, 30 ms 时刻  $I_c = 24$  A,  $I_b = 14$  A,  $I_a = 12$  A,  $P = 0$  MW;  $|I_t - I_{t-20ms}| \geq 200$  A (刚好满足逻辑图条件一、二);  $P_t$



注:  $I_t$ : 当前电流有效值;  $I_{t-20ms}$ : 一个周波前电流有效值;  $P_{-0.2s}$ : 启动前 200ms 有功功率;  $P_t$ : 当前有功功率。

图 1 机组无故障跳闸逻辑图

( $0 \text{ MW} \leq P_{s2}$  (40 MW) (满足逻辑图条件四); 30 ms 时刻三相电流均小于  $I_{s1}$  (120 A) (满足逻辑图条件五)。

机组判无故障跳闸的五个条件均满足, 经跳

闸确认时间 20 ms 判出 1 号机组无故障跳闸, 因此, 安控装置 1 正确判出无故障跳闸。

1 号机组停机前后, 1 号发变组高压侧的电压电流在安控装置 2 内对应的采样值见表 2。

表 1 安控装置 1 内对应的采样值

时间 /ms	$U_a$ /kV	$U_b$ /kV	$U_c$ /kV	$I_a$ /A	$I_b$ /A	$I_c$ /A	$P$ /MW
-200	314.0	313.7	313.7	241	236	236	223.9
0	313.8	313.9	313.7	239	234	234	221.7
5	314.1	313.3	313.7	239	219	231	216.8
10	313.6	313.6	313.2	197	188	224	165.0
15	314.1	312.9	313.2	180	163	173	119.4
20	313.4	313.4	313.0	102	90	148	53.9
25	313.4	313.4	313.0	102	90	148	11.7
30	313.4	313.5	313.1	12	14	24	0.0

表 2 安控装置 2 内对应的采样值

时间 /ms	$U_a$ /kV	$U_b$ /kV	$U_c$ /kV	$I_a$ /A	$I_b$ /A	$I_c$ /A	$P$ /MW
-200	313.8	313.8	314.1	236	239	239	224.1
4	314.1	313.2	314	239	224	236	217.8
9	313.5	313.1	314.0	192	156	234	177.5
11	313.9	313.2	313.3	178	178	207	140.9
14	314.1	312.7	313.5	173	156	175	113.0
19	313.4	313.0	313.7	136	68	163	66.4
24	313.8	312.8	313.4	68	31	73	14.4
29	313.3	313.4	313.8	65	17	48	8.3
34	313.6	313.2	313.7	65	17	48	7.8

根据安控装置 2 在 1 号机组停机前后的采样值, 可以看出任一时刻点无法满足  $|I_t - I_{t-20ms}| \geq 200 \text{ A}$  的条件, 导致安控装置 2 无法判断出机组无故障跳闸。原因为: 安控装置 1、2 的 1 号发变组高压侧电流取自不同的 CT 绕组, 加之两套安控的采样时间也略有差别, 导致电流采样值不完全相同, 任一时段 20 ms 之内的电流突变量均未满足  $\geq 200 \text{ A}$  的条件, 而安控装置 1 的电流突

变量刚好达到临界值, 从而导致安控装置 2 无法判断出机组无故障跳闸, 因误差在合理范围内, 故确定安控装置 2 没有问题。

## 2.2 1 号发电机保护 A 套过励磁报警

22 : 10 : 18 远方发 1 号机电气停机流程, 22 : 10 : 19 1 号机端断路器分位到达, 22 : 10 : 19 作用于 1 号机组关导叶, 22 : 17 : 42 1 号机灭磁开关分位到达, 因此, 1 号发电机电流为

零,1 号发电机转子转速和频率不断下降,1 号发电机机端电压也不断下降;发电机相电动势  $E_p = 4.44 f N k_{w1} \varphi$ , (其中  $f$  为频率;  $N$  为发电机每相绕组总匝数;  $k_{w1}$  为绕组基波绕组因数;  $\varphi$  为磁通) 由于在 1 号机组停机过程中,1 号机灭磁开关未跳开。根据发电机相电动势公式,机组频率下降导致发电机机端电压下降,此时励磁调节目标是维持机端电压不变,励磁系统将增加励磁电流进而调节机端电压,因此,  $\varphi$  磁通量增大,由于励磁系统调节能力有限,而频率一直不

断下降,最终发电机相电动势  $E_p$  下降,但机端电压下降幅度小于频率变化。当达到过励磁报警定值 1.1 时,经过励磁报警信号延时 10 s 动作于报警,从而 1 号发电机 A 套过励磁报警。通过分析监控 22 : 11 : 00 数据进行佐证:1 号发电机机端线电压、频率,可以计算出过励磁倍数为 1.1 倍,因此,1 号发电机保护 A 套过励磁保护报警正确。发电机出口电压、频率、导叶开度、励磁电压、励磁电流监控采样表见表 3。

表 3 1 号发电机出口电压、频率、导叶开度、励磁电压、励磁电流监控采样表

时间	发电机电压 $U_{ab}$ /kV	发电机频率 /Hz	过励磁倍数	导叶开度 /%	励磁电压 /V	励磁电流 /A
22 : 10 : 56	20.14	46.77	1.076	-1.4	183.33	1 884.06
22 : 10 : 57	20.14	46.77	1.076	-1.4	183.33	1 884.06
22 : 10 : 58	20.16	45.97	1.096	-1.4	190.95	1 952.81
22 : 10 : 59	20.16	45.96	1.096	-1.4	190.95	1 952.81
22 : 11 : 00	20.10	45.43	1.106	-1.4	174.45	1 948.75
22 : 11 : 01	20.10	45.43	1.106	-1.4	174.45	1 948.75
22 : 11 : 02	19.93	45.43	1.096	-1.4	174.37	1 948.75
22 : 11 : 03	19.80	44.62	1.109	-1.4	174.60	1 950.62
22 : 11 : 04	19.80	44.62	1.109	-1.4	174.60	1 950.62
22 : 11 : 05	19.72	44.62	1.104	-1.4	173.77	1 950.62
22 : 11 : 06	19.50	43.91	1.110	-1.4	173.85	1 953.31
22 : 11 : 07	19.32	43.91	1.099	-1.4	174.71	1 955.31
22 : 11 : 08	19.25	43.91	1.095	-1.4	174.37	1 954.06
22 : 11 : 39	16.42	37.21	1.103	-1.4	175.27	1 972.81
22 : 11 : 40	16.36	37.21	1.099	-1.4	175.35	1 974.37
22 : 11 : 41	16.36	37.21	1.099	-1.4	175.35	1 974.37
22 : 11 : 42	16.29	36.66	1.110	-1.4	175.27	1 974.68

### 2.3 1 号发电机保护 B 套未报过励磁报警及 1 号发电机保护 A 套报管理板报警分析

根据表三监控采样数据可以计算出过励磁倍数,在 1 号发电机保护 A 套报“过励磁”信号期间(22 : 10 : 57~22 : 11 : 07),可以看出过励磁倍数在 1.1 倍左右变化,处于临界值附近,同时 1 号发电机保护 A、B 套电压量取自不同的 PT,由于不同 PT 特性差异,保护装置采样计算的差异,造成两套保护过励磁保护动作情况不一致。因此会出现 1 号发电机 A 套保护装置过励磁报警,1 号发电机保护 B 套装置过励磁不报警。

RCS-985 保护装置包含两个独立的 CPU

系统:低通、AD 采样、保护计算、逻辑输出完全独立,CPU<sub>2</sub> 系统作用于启动继电器,CPU<sub>1</sub> 系统作用于跳闸矩阵。任一 CPU 板故障,装置闭锁并报警,杜绝硬件故障引起的误动。当 CPU<sub>1</sub> 板未启动而 CPU<sub>2</sub> 板启动超过 10 s 时,装置将发管理板报警信号。1 号发电机 A 套装置出现管理板报警的原因是本装置两个 CPU 系统在保护定值临界值附近动作不一致导致<sup>[2]</sup>。

### 2.4 1 号发电机保护 A、B 套报“机端 TV 断线”报警分析

在 22 : 16 : 31 时刻 1 号发电机保护 A、B 套装置报警“机端 TV 断线”,根据机端电压回路 TV 断线报警动作判断:(1)正序电压小于 18 V,

且任一相电流大于  $0.04 I_n$ ; (2) 负序电压  $3U_2$  大于  $8\text{ V}$ , 满足以上任一条件延时  $10\text{ s}$  发相应 TV 断线报警信号, 异常消失, 延时  $10\text{ s}$  后信号自动返回<sup>[3]</sup>。在 1 号机组停机过程中, 1 号机端断路器跳开后, 机端、中性点电流消失, 因此, 不满足动作判据 (1)。经查看 1 号发电机保护 A、B 套 CPU 启动波形文件分析<sup>[4]</sup>, 机端负序电压  $U_2$  在  $3\text{ V}$  左右,  $3U_2=9\text{ V}$ , 满足负序电压  $3U_2$  大于  $8\text{ V}$  条件, 经检查 1 号机组故障录波形, 在  $22:16:21$  时刻  $U_2$  为  $3.11\text{ V}$ ,  $3U_2=9.33\text{ V}$ , 满足负序电压  $3U_2$  大于  $8\text{ V}$  条件, 正确启动; 经  $10\text{ s}$  延时在  $22:16:31$  报“机端 TV 断线”, 1 号发电机保护 A、B 套正确报出; 在  $22:16:54$  时刻  $U_2$  为  $2.581\text{ V}$ ,  $3U_2=7.743\text{ V}$ , 不满足负序电压  $3U_2$  大于  $8\text{ V}$  条件, 开始返回; 经  $10\text{ s}$  在  $22:17:04$  ( $3U_2=7.464\text{ V}$ ) 延时“机端 TV 断线”报警复归。

经查询监控数据, 确认在  $22:16:21$  发电机频率已经下降至  $13.67$ , 由于 1 号发电机保护 A、B 套及 1 号故障录波装置采样频率均在工频 ( $50\text{ Hz}$ ) 下进行采样, 工频条件下采样值精确; 如果在低频下进行采样, 采样值会出现较大偏差。当机组频率在  $13.67\text{ Hz}$  时 1 号发电机保护 A、B 套及 1 号故障录波装置采样, 将出现三相电压采样不准确的问题, 即在同一时刻点机端三相电压采样变化较大, 容易出现三相电压不平衡, 从而导致产生负序电压 (即虚假负序电压)<sup>[5]</sup>; 在正常停机过程中灭磁开关跳开, 机端电压下降较快并消失, 保护及故障录波装置在低频状态下采样电压时间较短, 达不到判断 TV 断线延时报警时间  $10\text{ s}$ , 故未报出; 但此次 1 号机灭磁开关在  $22:17:43$  时刻才断开, 机组

机端电压持续降低时间较长, 因此, 保护和故障录波装置在低频状态下采样时间较长, 当采样的机端三相电压不平衡度达到  $3U_2 > 8\text{ V}$  时即延时  $10\text{ s}$  报出, 故 1 号发电机保护 A、B 套报“机端 TV 断线”报警为正确报出。

### 3 结 语

经过认真分析对比数据, 确认 1 号机组停机过程中各元件动作正确, 装置报警不一致原因为临界条件下的采样偏差, 不存在误动和拒动, 动作正确率  $100\%$ 。对于双重化配置的保护及自动化装置, 在同一系统条件下, 因为处于临界点而造成两套装置信号不一致, 此时专业人员应全面收集电气量数据, 结合装置原理进行详细分析, 确保继电保护及自动化元件动作的准确性, 及时发现和处理异常问题, 保障设备高可靠性和可利用率。

#### 参考文献:

- [1] 南瑞稳定控制分公司.《锦苏直流稳控系统锦东电站安控装置技术说明书(第三版)》[R]. 2014.
- [2] 南京南瑞继保电气有限公司.《RCS-985 系列水电机组保护(国内标准版 R3.20)》[R]. 2010.
- [3] 薛峰.怎样分析电力系统故障录波图[M]. 中国电力出版社, 2014, (12): 47-57.
- [4] 国家电力调度通信中心. 继电保护培训教材[M]. 中国电力出版社, 2010, (6): 113-124.
- [5] 刘万顺. 电力系统故障分析[M]. 中国: 北京电力出版社, 1998.
- [6] 王荣超. 双重化配置的保护动作行为不一致时的分析[J]. 电工技术, 2018, (7): 33-35.

#### 作者简介:

薛丽丽(1984-), 女, 吉林德惠人, 高级工程师, 本科, 从事水力发电厂继电保护维护及技术管理工作。

(责任编辑:卓政昌)

## 首台国产 50 兆瓦重型燃气轮机在四川德阳完工发运

历时 13 年自主研发, 被誉为“争气机”的首台国产 F 级 50 兆瓦重型燃气轮机, 11 月 25 日在东方电气集团东方汽轮机有限公司成功下线, 从四川德阳发运交付。

重型燃气轮机是发电和驱动领域的核心设备, 体现了一个国家的重工业整体能力。今年 5 月国家能源局正式公告, 东方电气集团研发的 G50 重型燃气轮机(50 兆瓦)进入 2021 年度能源领域首台(套)重大技术装备项目名单。这台 F 级 50 兆瓦重型燃气轮机正式交付进入实际应用, 标志着我国在重型燃气轮机领域实现了零的突破。

该整机有 2 万多个零部件, 工作压力 18 个大气压, 等于海底 180 米深水压; 工作温度超过  $1\ 300$  摄氏度, 以  $6\ 000$  转/分钟的转速高速旋转。和同功率火力发电机组相比, F 级 50 兆瓦重型燃气轮机 1 小时发电量超过 7 万千瓦时, 每年可减少碳排放超过 50 万吨。

(摘自新华网)