

# 对汽轮发电机失磁保护出口方式的探讨

孙显初

(大坝发电有限责任公司,宁夏 青铜峡 751607)

摘要: 发电机失磁是一种危险的异常运行方式。分析了大坝发电有限责任公司 #4 机因励磁机碳刷接触不良而造成失磁所引发的系列问题及可能引发的后果进行分析,提出了失磁保护应根据具体的情况决定出口方式,而不仅决定于系统电压的降低。

关键词: 失磁保护; 系统稳定; 自动减负荷

中图分类号: TM772 文献标识码: B 文章编号: 1003-4897(2006)22-0078-03

## 0 引言

发电机失磁运行是一种异常运行方式,失磁后,发电机转速上升,因转差在转子各部件中产生感应电流,引发转子过热;从系统吸收无功,使系统电压降低,危及系统安全稳定运行;失磁时端部漏磁增大,同时吸收大量无功功率引起定子电流增大,导致定子端部铁芯和金属构件以及定子绕组温度升高,可能引起局部过热;失磁后异步运行可能引发机组振动。应尽量避免失磁后运行时间过长。

### 1 一次失磁过程简述

大坝发电有限责任公司的 #4 机发电机型号为: QFS-300-2,三机励磁系统。失磁前发电机有功为 287.73 MW,无功 61.94 Mvar,系统电压为 351 kV。2006 年 3 月 16 日 10:09 分左右,因励磁机碳刷接触不良而失磁,失磁保护启动后 1 s 进行励磁切换和厂用切换,失磁原因仍未消除,此时发电机进相运行,失磁过程中最大进相功率在 374.13 Mvar,发电机有功功率基本保持在 280 MW 左右无很大的波动,发电机定子电流基本保持在 14000 A 以上 ( $I_c = 10189$ ),最大达到 18838 A,定子电压降低 ( $U_c$  为 2000 V),最低为 14746 V,运行 33 s,发电机反时限过负荷保护动作于停机,失磁后停机前的发电机转速无大的变化,由 3009 上升至 3013 转,跳闸后最高上升至 3159 转;在失磁过程中,系统电压(主变高压侧)最低降至 330 kV。失磁运行时发电机各实时电气量数据见表 1,表中  $P$ 、 $Q$ 、 $I$ 、 $U$  分别为发电机有功功率(MW)、无功功率(Mvar)、定子电流(A)、定子电压(V)。

表 1 实时电气量

Tab 1 Realtime electrical quantities

时间	$P$ /MW	$Q$ /Mvar	$I$ /A	$U$ /V
- 1	287.73	61.94	8409	20340
0	287.73	55.65	8409	20340
1	287.73	- 12.62	8581	19549
2	287.73	- 80.79	9410	18843
3	287.73	- 80.79	10108	18843
4	287.73	- 156.16	11193	17980
5	287.73	- 218.62	13333	17229
6	282.27	- 318.86	13333	15953
7	251.99	- 374.13	16491	14746
8	308.30	- 374.13	16290	14746
9	264.9	- 290.63	13755	16181
10	268.5	- 272.91	13755	16495
11	257.84	- 357.3	16011	15242
12	289.52	- 340.78	15891	15377
13	289.52	- 255.5	15891	16788
14	278.56	- 255.5	13338	16788
15	269.26	- 289.73	15035	16225
16	257.09	- 370.82	16934	14874
17	269.21	- 287.39	14530	16088
18	279.58	- 257.66	13370	16711
19	279.58	- 257.66	13370	16711
20	255.85	- 334.83	16126	15705
21	282.58	- 369.07	15802	14902
22	281.83	- 263.96	15802	16508
23	276.72	- 265.17	12980	16674
24	250.29	- 344.14	16463	15307
25	250.29	- 344.14	16463	15307
26	322.66	- 348.98	14939	14984
27	285.33	- 266.9	12850	16601
28	272.26	- 265.4	14806	16038
29	251.09	- 361.8	16262	16038
30	314.00	- 334.48	18838	14791
31	314.00	- 334.48	15309	16240
32	271.51	- 260.89	13428	16646
33	261.30	- 260.30	7718	16646

## 2 失磁保护的一般出口方式

《继电保护和安全自动装置技术规程》规定,“对汽轮发电机,失磁后母线电压低于允许值时,带时限动作于解列或程序跳闸。失磁后当母线电压未低于允许值时,动作于信号、切换厂用电源,在有条件时也可动作于自动减出力。”

失磁保护一般采取转子低电压和异步(静稳)阻抗圆作为判据,发电机全部或部分失磁后转子电压降低,发生无功反向,同时发电机的机端测量阻抗进入阻抗圆,此时一般采取的措施是进行厂用电源切换,防止厂用机械设备因厂用电源电压降低而导致出力不足,进行励磁切换,以消除失磁的原因,若此时失磁依然存在,则保护一般的动作方式为在高压侧母线电压降低到  $0.85 \sim 0.9U_0$  时,才动作于停机。

## 3 失磁后的过程简析

发电机电磁功率公式如下式所示:其中  $P_s$  为发电机电磁功率,  $E_0$  为发电机电势,  $U_s$  为系统电压,  $X_d$  为发电机同步电抗与系统联系电抗之和,  $\delta$  为功角。

$$P_s = \frac{E_0 U_s}{X_d} \sin \delta$$

发电机正常运行时,机械输入转矩与电磁制动转矩保持平衡,转子保持同步转速。当发电机失磁后,定子电势  $E_0$  逐渐衰减,因而电磁功率将随之减少,电磁转矩减小,转子上出现转矩不平衡的情况,引起转子加速,使  $E_0$  与  $U_s$  之间的夹角  $\delta$  增大,力图使发电机的电磁功率与原动机功率之间保持平衡,在  $\delta$  小于  $90^\circ$  时,  $\sin \delta$  增大,使电磁功率与原动机功率基本保持不变,转速有轻微的波动但基本保持同步,当  $\delta$  大于  $90^\circ$  时,电磁功率随着  $\delta$  的增大  $\sin \delta$  逐渐减小,电磁转矩小于机械转矩,因而转子加速超过同步转速运行,发电机转子与定子旋转磁场间出现了转差,在发电机定子回路中出现与转差成正比的转差电动势,并随着转差  $s$  的增加而增大,对感应电动势的衰减起了补偿作用,转差电动势延缓了发电机电磁功率的衰减和发电机的加速过程;当  $\delta$  接近于  $180^\circ$  时,  $\sin \delta$  接近于零,转差电动势的增加已不能补偿  $E_0$  的逐渐减小,发电机的电磁功率接近于 0 值,转子立即滑极失步,发电机进入失步运行状态。

国内外有关研究和实践表明:发电机失磁后若

能将有功功率迅速减小到额定功率的  $40\% \sim 50\%$ ,就可能在低转差下保持稳态异步运行。对于绝大多数自动化程度低的机组来说,有的只存在液调,或存在 DEH 调节,失磁后可通过关调门实现自动减负荷到允许值,但是必然引起锅炉侧的压力大幅升高,无法保证锅炉等主设备安全。

## 4 允许失磁后异步运行的原因

因为机组突然甩负荷、停机对电力系统的稳定运行不利;并且机组启停次数多将降低机组的寿命。

## 5 失磁后可能导致的后果分析

1) 发电机失磁后将向系统吸收无功功率,机组较高负荷下失磁后随着进相深度的增大,发电机定子绕组必然过流,失磁发电机本身无法控制,过流的程度决定于电网的无功储备,系统其他非失磁发电机的微机励磁调节器将自动增加励磁电流,当非失磁发电机的无功功率自动增加到“过励限制值”时,其他发电机将不能再提供无功功率,若无功储备越多,则发电机过流越严重,若无功储备越少,则系统电压降低越多,可能引起系统电压崩溃,同样对系统的稳定运行不利。

2) 若失磁运行时间过长,在系统电压较低时 ( $0.9U_0$ ) 发生故障,将造成继电保护的灵敏性降低。

3) 失磁运行时间过长将造成发电机-变压器组过流,绕组过温,进相运行将造成发电机端部漏磁增大,端部铁心温度升高,虽立即检查无异常,但影响机组寿命。

4) 引起发电机失步、振荡。失磁是导致失步的主要原因之一,失步保护从现场运行经验、失步保护原理、保护装置的实现方面来说,调度和运行部门均无足够的把握保证失步保护在发生失步时正确动作,并且失步所造成的后果无法预计,若失磁后运行时间过长,则失步的几率就越大;发电机失磁前输出的有功功率越大,或输出的无功功率越低,则失磁到失步所经过的时间越短,失磁后将很快失步。有关资料表明,发电机失磁后,一般经  $2 \sim 6$  s 后才失去同步。

5) 若发电机与系统联系紧密,则失磁后线路和其他发电机的后备保护动作的可能性很小,若发电机与系统联系较弱,则失磁后线路和其他发电机的后备保护可能动作,引发事故扩大。

## 6 对失磁保护电压判据的建议

若发电机与系统联系紧密,失磁后引起系统电

压的降低不明显,失磁发电机吸收大量的无功功率可能引起发电机过流则采用发电机低电压判据;若与系统联系较弱则采用系统电压判据。

## 7 合理的失磁保护出口方式

失磁保护逻辑框图如图 1 所示。

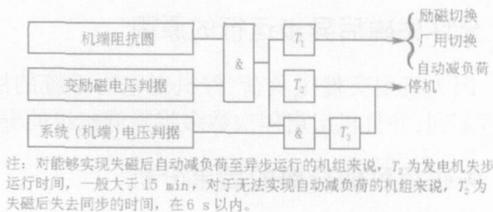


图 1 失磁保护出口逻辑框图

Fig 1 Outlet logic of loss of excitation

按照规程要求,失磁后首先进行励磁切换和厂用切换,进行励磁切换为消除可能的失磁原因,厂用切换为保证厂用设备的出力,同时避免因厂用电源电压的下降而引起的厂用电动机的过流而跳闸。因发电机失磁后,一般经 2~6 s 后才失去同步,若汽轮发电机无法实现自动减负荷或无法保证自动减负荷的可靠性和锅炉的安全性,则失磁判据(转子低电压和定子阻抗圆)满足后可不通过低电压条件,在 6 s 左右实现停机;若失磁判据满足后同时低电压判据满足则经短延时停机;对可实现失磁后自动

减负荷的机组,经发电机允许异步运行的延时后依然不能消除失磁原因后停机。

## 8 结论

失磁保护的跳闸(停机)方式不应仅根据系统电压降低到 0.85~0.9 $U_0$  以下时进行,应综合考虑发电机与系统联系的紧密程度、机组的自动化程度、主设备和系统的安全等因素决定。

## 参考文献:

- [1] 王维俭. 发电机变压器继电保护应用 [M]. 北京: 中国电力出版社, 1998  
WANG Wei-jian Application of Relay Protection in Generator Transformer [M]. Beijing: China Electric Power Press, 1998
- [2] 周德贵, 巩北宁. 同步发电机运行技术与实践 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2004  
ZHOU De-gui, GONG Bei-ning Techniques and Applications of Synchronous Generator Operation [M]. Beijing: China Electric Power Press, 2004

收稿日期: 2006-06-16

作者简介:

孙显初 (1972 - ), 男, 工程师, 从事电气设备的检修、管理工作。E-mail sunxc1972@126.com

## Discussion on trips way of the loss of field of steam turbine generator

SUN Xian-chu

(Daba Power Generation Co., Ltd, Ningxia 751607, China)

**Abstract:** The loss of excitation of generator is a kind of dangerous operation way. In this paper, the consequences of loss excitation in generator 4# caused by the exciter carbon brush bad contact are analyzed. Trip way of loss of field protection should be decided according to the concrete situation, not only decided by system voltage reducing.

**Key words:** loss of field protection; system stability; automatically reducing the load

(上接第 55 页 continued from page 55)

## Design of configuring method and implementation of IED configurator based on IEC61850

CA I Zi-liang

(School of Information and Electrical Engineering, Xuchang University, Xuchang 461000, China)

**Abstract:** IEC 61850 is one of technology of the new substation automation system (SAS). The configurations of SAS and IEDs play an important role in IEC 61850. Based on substation automation system engineering and the study of IEC 61850, the configuring method is designed. This paper also introduces the design and implementation of an IED configurator in detail. The function design, information model and software structure of the IED configurator are presented.

**Key words:** IEC 61850; intelligent electronic device; substation configuration description language; IED configurator