

由一起发电机失磁事故谈失磁和逆功率保护的设置

刘伟良, 陈宏, 刘宇, 张亮峰

(湖南省电力公司试验研究院, 湖南 长沙 410007)

摘要: 分析了某发电厂一起发电机失磁事故保护不正确动作的原因是由于程序逆功率和失磁保护设置不当。对其中涉及到的几个方面的问题展开探讨, 就程序逆功率和失磁保护的定值整定不合理问题提出建议, 强调了失磁保护减出力出口的必要性, 分析和校核了失磁保护的系统低电压的闭锁判据的灵敏度, 提出了失磁保护合理的动作逻辑。

关键词: 失磁保护; 逆功率保护; 动作逻辑; 整定

Discussion about loss-of-field and reverse-power protection configuration from the generator loss-of-field fault

LIU Wei-liang, CHEN Hong, LIU Yu, ZHANG Liang-feng

(Hunan Electric Power Test Research Institute, Changsha 410007, China)

Abstract: The reason about generator loss-of-field fault is analyzed. The unreasonable settings of the programmed reverse-power and loss-of-field protection led to incorrect actions. Several aspects about the protections are discussed including the suitable methods of protection settings, emphasizing importance of the reducing power, and checking sensitivity of system voltage blocking. Thus a suitable method is proposed about action logic of loss-of-field protection.

Key words: loss-of-field protection; reverse-power protection; action logic; setting

中图分类号: TM773 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2009)23-0164-03

0 引言

现代微机失磁保护多数采用机端阻抗圆、励磁低电压和变励磁电压作主判据, 外加系统或机端低电压作为闭锁条件, 一般来说可以可靠地检测到发电机的失磁或低励故障。保护装置根据失磁对系统和发电机的影响程度分别作用于停机、切换励磁、切换厂用电、减出力等动作出口方式, 在实际应用中, 切换励磁和减出力往往难以实现, 而最简单又安全的方法就是将发电机安全停机即解列或程序跳闸, 而程序跳闸又涉及程序逆功率保护。本文就一起大型机组励磁调节器故障引发的发电机失磁故障过程中不正常的动作行为进行深入分析, 由此来探讨失磁保护和程序逆功率保护定值和出口逻辑整定的问题。

1 事故过程及异常情况简介

某火电厂事发当天的 02 时 25 分 17 秒, ECS 发出发变组保护 A、B 失磁信号, 约 2 s 后, #1 机组发变组 A、B 屏失磁保护 III 段动作, 主汽门关闭, 到 25 分 41 秒左右, 发变组非电量 C 屏的热工保护

动作跳开发电机出口 GCB 开关和灭磁开关 MK, 动作的录波图见图 2。失磁保护 III 段的逻辑是机端阻抗圆和励磁低电压同时动作, 出口为程序跳闸, 即发主汽门命令, 同时闭锁 C 屏热工保护, 而热工保护取主汽门全关的信号作为启动信号, 动作出口为发电机全停。从上述的动作行为来看, 至少有几个异常情况: 一, 失磁保护动作出口是程序跳闸, 那么主汽门关闭后, 程序逆功率保护应该在 2~3 s 内动作, 但实际并未动作; 二, 因失磁保护动作应该闭锁了热工保护, 而最后动作的却是热工保护; 三, 热工保护为什么在失磁保护动作 24 s 后才动作跳开 GCB 和灭磁开关 MK。

2 相关保护设置探讨

2.1 程序逆功率保护

此次事故中, 在失磁保护动作后约 20 s, 发变组保护 A 屏发程序逆功率保护信号, 且只有 CPU2 动作, 报告显示动作值为 5.023 W (二次额定值为 500.50 W), CPU1 并没有动作, 发变组保护 B 屏两个 CPU 都未动作。故障录波和逆功率保护分别用的是不同的 CT 绕组。当前程序逆功率保护的整定值

为 5 W, 用继电保护仪模拟失磁后的电流超前电压略大于 90° 工况, 测试动作值显示: A 屏 CPU1 为 5.03 W、CPU2 为 5.02 W, B 屏 CPU1 为 5.04 W、CPU2 为 5.03 W, 而同样的量加到故障录波装置, 功率显示误差较大。通过以上数据分析可知, 主汽门关闭后, 在长达 20 s 的时间内程序逆功率保护的逆功率采样值并未达到动作值或者动作时间不到整定时间 1 s。

对发电厂来说, 非短路性的故障普遍采用程序跳闸的方式停机, 正常的停机也可以通过程序跳闸实现, 而如果程序逆功率保护拒动将造成发电机较长时间作电动机运行, 所以提高该保护的整可靠性非常重要^[1]。程序逆功率保护的整定值一般取发电机额定有功的 1%~3%^[2], 但从目前的微机保护运行情况来看, 按规程整定的程序逆功率保护, 经常有发生拒动的现象^[3], 我省也有机组在程序停机时只有一套逆功率保护动作的情况发生, 主要原因是一次互感器和微机保护测量回路的误差引起的, 特别是在 $\cos\varphi \approx 0$ 时的误差更大^[4], 本次事故中, 也充分反映了这一点。解决的办法有将逆功率保护采用精度高的专用 CT、在软件计算上采用角度分级补偿消除硬件采用回路的相角误差、适当降低动作值^[4]。对于现场来说, 由于程序逆功率保护受主汽门关闭接点的闭锁, 将动作值降低到额定有功的 0.6%~0.8%可增强保护的可靠性, 也不至于误动, 将不受主汽门接点闭锁的逆功率保护设定为 1%~2%作为后备, 现场运行情况证实, 这种措施确实可以增强其可靠性。

2.2 发电机失磁保护

2.2.1 减出力出口

在失磁保护动作时的有功变化情况如图 1 所示, 发电机在带 64%(321 W/500.5 W)有功负荷下失磁, 保护动作到主汽门关闭约 2 s 时间内, 有功有一个由正到负, 而且正反复两三次后, 最后有功稳定在 -40 W 左右, 而无功也有所振动最后维持在 -280 Var 左右, 之后, 发电机电流、电压也基本保持不变, 发电机重新拉入同步。

从上述过程可知, 发电机失磁失去静稳后失步, 如果将有功基本减到零, 发电机经过短时较小的振荡后可以重新拉入同步。文献[5]通过理论计算证明汽轮发电机在有功为零的情况下失磁不会失步。一旦发电机失磁, 在满足定子侧和转子侧判据后, 可经较短的延时动作减出力至设定值如 40%, 但应与过负荷、过流等保护的减出力至保护返回出口区别开来, 一般来说, DEH 厂家根据用户要求可以提供这样的接口。但现场为了简化设计, 或者 DEH 设计

时未全面考虑和保护的接口, 有的厂为了转速稳定不希望有外部指令来调节 DEH, 导致大多数厂没用这个接口。发电机失磁后将有功减到越小, 恢复励磁后, 发电机恢复同步的可能性约大, 机组及系统的振荡也越小, 这有利于减小发电机和系统的振荡、恢复同步和安全停机。所以建议保留或增设失磁保护减出力到设定值的逻辑和出口回路。

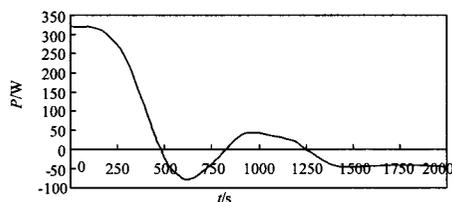


图 1 发电机有功变化趋势 (20.112 s)

Fig.1 Trend of generator power(20.112 Seconds)

2.2.2 机端阻抗圆

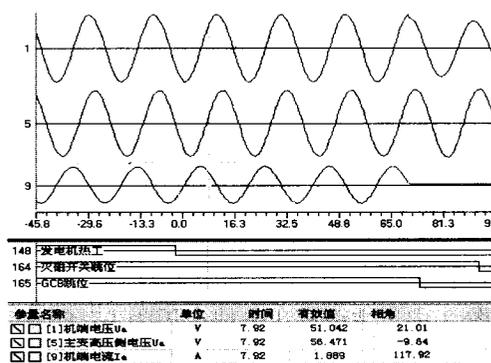


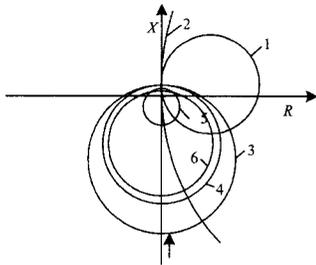
图 2 保护动作录波 (41.113 s)

Fig.2 Protection action record (41.113 Seconds)

由故障录波图 (图 2) 可知, 在 GCB 开关跳闸前, 发电机已重新回到同步, 有功基本为零, 进相无功为 -280 Var, 则计算: $X_d = -U^2/Q = 27.9 \Omega$, 实际机端测量阻抗为: $Z = 27.01 \Omega \angle -96.91^\circ$, 已经超出了机端阻抗圆 Z_B 整定值 24.12Ω , 此时, 经转子低电压闭锁经较长时间 (2.5 s) 动作失磁 III 段一直动作到约 20 s 才返回, 也就解除了热工保护的闭锁, 所以最后是热工保护将发电机解列。按发电机产品说明书提供的参数计算 X_d 为 30.2Ω , 按导则^[2] Z_B 整定应该等于 X_d , 现在的整定值 24.12Ω , 缩小了机端阻抗圆的动作区域。

如图 3 所示, 该系统的参数如下: 系统电抗 $X_s = 1.19 \Omega$, 变压器电抗 $X_T = 2.27 \Omega$, $X_d = 30.2 \Omega$, 如果在 10%有功下失磁, 等有功圆半径约为 100Ω , 机端测量阻抗从阻抗圆的下方进入, 此时测量阻抗很可能不会进入整定区域, 在极限情况 $P=0$ 时, 机端测量阻抗沿负 X 轴方向 (如图 3 中箭头所示) 达到

临界静稳而不会失步^[5]。发电机有功较小时失磁，由于等有功圆半径很大，如果动作区域缩小，机端测量阻抗很可能不会进入动作区域，也就不能可靠检测到失磁故障。所以，对静稳圆来说，按正常的参数整定 Z_B 有利于确保低负荷失磁时机端测量阻抗可靠进入阻抗圆；而对异步圆来说，由于失磁后进入到异步圆的时间较晚，另外，发电机失磁失步运行时，发电机除发出异步功率之外，尚有正、负变化的同步功率，从而使机端的测量阻抗不断的变化，在某种工况下可能忽而进入异步圆，忽而又跑到圆外，所以 Z_B 一般按 1.2 倍 X_d 整定^[6]。



1-等有功圆(50% P_n) 2-等有功圆(10% P_n) 3-静稳圆
4-0.8 倍静稳圆 5-等压圆(高压侧) 6-等压圆(机端)

图 3. 机端测量阻抗圆

Fig.3 Generator extremity measure impedance circle

2.2.3 三相同时低电压

在图 2 中，主变高压侧线电压为 97.80 V，机端线电压为 88.40 V，且在失磁的初始阶段当有功和进相无功最大时高压侧线电压为 97.37 V，机端线电压为 85.79 V，与整定的系统低电压定值相差较大，即使取机端低电压也会不满足，所以经系统电压闭锁经较短时间（1.5 s）动作的失磁 I 段始终未动作。对该机组的三相低电压机端测量阻抗圆计算^[1,7]如下：

$$Z_{A(高)} = Z_t + K_m Z_s / (K_m + 1) = 2.82 \Omega$$

$$Z_{B(高)} = Z_t + K_m Z_s / (K_m - 1) = -4.47 \Omega$$

$$Z_{A(机端)} = K_m (Z_t + Z_s) / (K_m + 1) = 1.59 \Omega$$

$$Z_{B(机端)} = K_m (Z_t + Z_s) / (K_m - 1) = -19.60 \Omega$$

如图 3 所示，机组失磁时，机端测量阻抗很难进入高压侧低电压阻抗圆 5，在有功较小时也不会进入机端低电压阻抗圆 6。

大多数厂的保护定值在基建投产设定就一直没有改变，且规程上也没有特别要求核算三相低电压的灵敏度，即使基建投产时满足要求，但随着系统容量的迅速扩大，系统电抗越来越小，机组一旦失磁，高压侧电压往往不会下降至设定值，所以经常发生失磁保护拒动的事件^[8]。所以强烈建议按最新

的系统电抗重新核算三相同低电压的设定值，按上述方法计算等压圆，在 $R-X$ 平面上描绘其与测量阻抗之间的关系，以此来决定是否满足要求。

2.2.4 动作逻辑

由前述所知，在本次事故中，无论是机端电压和系统电压都难以下降至 85%，那么在失磁保护动作逻辑中该如何处理系统低电压判据？一般的做法就是改为机端电压，但为了满足各种运行方式下的灵敏度的要求，机端电压一般整定得较低，这种做法实际上忽略了机组失磁对系统的影响。当在系统最小运行方式下机组失磁，在经机端低电压闭锁的失磁保护动作前系统电压很可能低于 85%，但如果这时机组还不解列，系统电压也就可能面临崩溃的危险，所以这种解决方法不可取。如果在系统最大运行方式下机组失磁系统电压低于 85%，采用阻抗圆经系统低电压闭锁出口不可避免存在如下问题：失磁后在系统电压肯定会先于机端阻抗圆动作，也就是说，系统电压已面临崩溃时还要等机端阻抗圆满足条件才切除发电机，可这种延误是不允许的^[7]。

本文推荐一种动作逻辑：系统电压最低允许值认为是机组失磁后加速机组解列的判据，不与阻抗圆与门出口，但为防止误动，与较为灵敏的励磁低电压与门出口解列；而机端电压认为是厂用电不安全的判据，应该动作于切换厂用电源；阻抗圆、励磁低电压及有功功率三者与门出口第一时间动作减出力，较长时间动作程序跳闸，而阻抗圆、励磁低电压作为失磁保护的总后备段，延时也最长。

3 结束语

本文剖析了一起发电机失磁事故导致保护不正确动作行为的原因，举一反三，就逆功率、失磁保护阻抗圆及系统低电压定值整定作深入探讨，进一步强调了失磁保护减出力出口的重要性，最后提出了失磁保护合理的动作逻辑。

参考文献

- [1] 王维俭. 电气主设备继电保护原理与应用[M]. 北京: 中国电力出版社, 2002.
- [2] DL/T684-1999 大型发电机变压器继电保护整定计算导则[M]. 北京: 中国电力出版社, 2005.
- [3] 殷建刚, 彭丰, 等. 逆功率保护和发变组断路器失灵保护整定计算的讨论[A]. 2004 全国电力主设备保护学术研讨会[C].
- [4] 屠黎明, 戴超超, 等. 提高微机型逆功率继电器的可靠性[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(9):87-90.

(下转第 169 页 continued on page 169)

备;

对端传输设备输出对输入大环路自环——检查通道及对端传输设备。

大环路自环, 将是上下行两个通道相加, 所以误码率将叠加。但也是现场调试经常使用的方法之一。

3.3 通信网络传输方式的检查

除了以上两种传输方式外, 目前还大量采用通信网络传输, 因此还必须考虑以下几点:

3.3.1 各类设备之间的接口故障

作为一个电力系统的通信网络, 它是由不同的通信设备组成的, 这样在这个网络中就有多种不同的接口, 根据运行经验, 通信网中大部分的故障是由接口引起的。为此, 当通信网发生故障时, 要有一个正确的分析、测试检查程序, 不可盲目动手。首先对照如下几条进行分析、测试、检查。

1) 接口之间的各种不同连线是否正常。

2) 口之间应该采用的信令方式是否和实际采用的信令电路相吻合。

3) 送到各接口上的信号电平、传输速率以及波形是否符合指标要求。

通过对上述三个方面的认真分析、检查和测试, 一般可以发现接口上的问题。

3.3.2 不同的设备在接口处分别自环

在进行第一点所提到的各项检查之后, 应对每种设备在接口处进行自环, 通过自环, 就可以分开正常设备与故障设备。对故障的设备, 可按电路故障判断的方法进行故障点的判断。

3.3.3 传输距离远、转接次数多的电路

对于传输距离远、转接次数多的电路要从中间查起, 然后再逐步检查。

3.3.4 通道电路迂回

所谓通道电路迂回, 就是某调度室至某变电站(或县调)主通信通道故障时, 采用转接通道或环路通道等备用通道沟通二者的通信联系。

4 结论

本文讨论的只是远动信息传输明显故障的分析和检查, 对传输过程中出现的质量(误码)问题则要通过现场在线测试和离线设备校验的方法来解决。在运行中应该切实加强维护和检验管理, 发现问题及时处理, 才能保证调度自动化系统的各种参数实时和准确地传输。

参考文献

- [1] 刘健. 远动原理与电力系统自动化[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2000.
- [2] 袁世仁. 电力线载波通信[M]. 北京: 中国电力出版社 1998.
- [3] 毕丽红. 通信网络技术[M]. 北京: 中国电力出版社 2007.

收稿日期: 2008-11-24; 修回日期: 2009-02-16

作者简介:

李明珍(1954-), 男, 高级技师, 专业方向为远动调度自动化; E-mail: liminzli@126.com

李雨舒(1986-), 女, 助理工程师, 专业方向为电力系统及自动化;

谢宇昆(1962-), 男, 工程师, 专业方向为调度自动化。

(上接第 166 页 continued from page 166)

TU Li-ming, DAI Chao-chao, et al. On the Improvement Reliability of Microcomputer-based Reverse-power Relay[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(9): 87-90.

- [5] 姚晴林, 张学深, 等. 微机 UL-P 型转子低压失磁继电器动作方程及整定计算的研究[J]. 继电器, 2000, 28(7): 31-34.

YAO Qing-lin, ZHANG Xue-shen. Study on the Setting Calculation and Operation Equation of Microprocessor Based UL-P Rotor LV Loss of Excitation Relay[J]. Relay, 2000, 28(7): 31-34.

- [6] 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]. 北京: 水利电力出版社, 1993.

- [7] 王维俭. 失磁保护中系统判据(3<)的再议[J]. 继电器, 2002, 30(7): 1-3.

WANG Wei-jian. Discussion Once and Again for

System Criterion(U3<)in Loss of Field Protection[J]. Relay, 2002, 30(7): 1-3.

- [8] 殷建刚, 彭丰, 等. 发电机失磁保护中系统低电压判据的探讨[J]. 电力自动化设备, 2003, 23(12): 28-31.
- YIN Jian-gang, PENG Feng. Discussion on Low Voltage VCriterion in Field-loss Protection[J]. Electric Power Automation Equipment, 2003, 23(12): 28-31.

收稿日期: 2008-12-14; 修回日期: 2009-02-22

作者简介:

刘伟良(1974-), 男, 硕士, 工程师, 从事电力继电保护技术工作; E-mail: luwelang@163.com

陈宏(1974-), 男, 本科, 高级工程师, 从事电力继电保护技术工作;

刘宇(1958-), 男, 专科, 工程师, 从事电力继电保护技术工作。