

发电机失磁保护的典型配置方案

殷建刚, 彭 丰

(湖北电力调度中心, 湖北 武汉 430077)

摘要: 针对目前发电机失磁保护的配置方案较多、较杂乱的现状, 讨论了失磁保护各判据的特性以及整定计算方面的问题, 提出一套完整的失磁保护典型配置方案。该方案已成功运用于4台300MW的大型发电机组上, 取得良好运行业绩。本文将从原理上和现场运行情况分析该方案的优点, 以供有关同行参考。

关键词: 发电机; 失磁保护; 典型配置

中图分类号: TM772 **文献标识码:** B **文章编号:** 1003-4897(2002)03-0033-04

1 引言

励磁系统是同步发电机的重要组成部分, 对电力系统及发电机的稳定运行有十分重要的影响。由于励磁系统相对较为复杂, 主要包括励磁功率单元和励磁控制部分, 因而励磁故障的发生率在发电机故障中是较高的。加强失磁保护的研究, 找到一个合理而成熟可靠的失磁保护配置方案是十分必要的。

由于失磁保护的判据较多, 闭锁方式和出口方式也较多, 因此失磁保护的配置目前在所有发电机保护中最复杂, 种类也最多。据国内一发电机保护的大型生产厂家统计, 2000年中, 该厂所供的失磁保护配置方案就有20多种。如此之多的配置方案对于现场运行是十分不利的。不仅业主和设计部门难以作出选择, 而且整定、调试、运行、培训都变得复杂。这样, 现场运行经验和运行业绩不易取得, 无法形成一个典型方案以提高设计、整定效率和运行水平, 也不利于保护的成熟和完善。从电网运行中反映, 失磁保护的误动率较高。

湖北襄樊电厂4台300MW汽轮发电机组, 首次在300MW发电机组上采用国产WFB-100微机保护, 经过近3年的现场运行, 其失磁保护在试运行期间发生过误动作, 在采取一定措施后, 未再误动。近年来, 失磁保护先后经过数次严重故障的考验和进相运行实验, 都正确动作。本文将分析该厂失磁保护方案的特点, 并以此为典型方案, 以供同行借鉴参考。

2 失磁保护的主判据

目前失磁保护使用最多的主判据主要有三种, 分别是1) 转子低电压判据, 即通过测量励磁电压

U_{fd} 是否小于动作值; 2) 机端低阻抗判据 $Z <$; 3) 系统低电压 $U_m <$ 。三种判据分别反映转子侧、定子侧和系统侧的电气量。

2.1 转子低电压判据 U_{fd}

早期的整流型和集成电路型保护, 采用定励磁电压判据, 表达式为:

$$U_{fd} < K \cdot U_{fd0},$$

U_{fd0} 为空载励磁电压, K 为小于1的常数。

目前的微机保护, 多采用变励磁电压判据 $U_{fd}(P)$, 即在发电机带有功 P 的工况下, 根据静稳极限所需的最低励磁电压, 来判别是否已失磁。正常运行情况下(包括进相), 励磁电压不会低于空载励磁电压。 $U_{fd}(P)$ 判据十分灵敏, 能反映出低励的情况, 但整定计算相对复杂。因为 U_{fd} 是转子系统的电气量, 多为直流, 而功率 P 是定子系统的电气量, 为交流量, 两者在一个判据进行比较。如果整定不当很容易导致误动作。在襄樊电厂1#机试运行期间就因为该判据整定值偏大而误动2次。经检查并结合进相运行试验数据进行分析发现, 整定值 K 偏大的主要原因是在整定计算中, 发电机空载励磁电压 U_{fd0} 、同步电抗 X_d , 均采用的是设计值, 而设计值与实测值有较大的差别^[1]。如襄樊电厂1#机的设计值 $U_{fd0} = 160V$, $X_d = 1.997$ (标么值), 而实测值 $U_{fd0} = 140V$, $X_d = 1.68$ (标么值)。由此造成发电机在无功率较小或进相运行时, $U_{fd}(P)$ 判据落入动作区而误动。这种情况, 在全国其他地区也屡有发生, 人们往往因此害怕用此判据。对于水轮机组, 由于 X_d 与 X_q 的不同, 整定计算就更繁琐一些^[2]。

但是勿容置疑的是, 该判据灵敏度最高, 动作很快。如果掌握好其整定计算方法, 在整定计算上充分考虑空载励磁电压 U_{fd0} 和同步电抗 X_d 等参数的影响, 或在试运行期间加以实验调整, 不仅可以避免

误动作,而且是一个十分有效的判据。能防止事故扩大而被迫停机,特别适用于励磁调节器工作不稳定的情况。

在机组的进相运行试验时,一台机组在进相深度较深时,励磁调节器2次突然失稳, $U_{fd}(P)$ 判据迅速动作,使励磁2次成功恢复,避免了切机事故。2次现场记录如下:

1) 动作前,发电机带有功 $P=200\text{MW}$,无功 $Q=-82\text{Mvar}$,功角 $\delta=59.3^\circ$ 。继续加大进相深度时,励磁调节器失稳, U_{fd} 突然从 170V 骤减至 122V ,已低于空载励磁电压。 $U_{fd}(P)$ 判据迅速动作,发信、减出力并切换厂用电,励磁调节器工作恢复正常。

2) 动作前,发电机带有功 $P=300\text{MW}$,无功 $Q=-50\text{Mvar}$,功角 $\delta=61^\circ$ 。这时,无功 Q 突然从 -50Mvar 增至 -80Mvar ,励磁电压急剧下降。 $U_{fd}(P)$ 判据出口动作,励磁恢复正常。

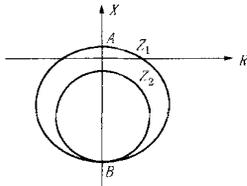


图1 阻抗圆

2.2 低阻抗判据 $Z <$

反映发电机机端感受阻抗,当感受阻抗落入阻抗圆内时,保护动作。失磁保护的阻抗圆常见有两种,一是静稳边界圆 Z_1 ;另一个是异步圆 Z_2 ,如图1所示。还有介于两者之间的苹果圆(主要用于凸极机)。发电机发生低励、失磁故障后,总是先通过静稳边界,然后转入异步运行。因此,静稳边界圆比异步圆灵敏。由于静稳边界圆存在第一、二象限的动作区,在进相运行时,当进相比较深的时候,有可能误动。

静稳边界圆 Z_1 与纵轴交于 A、B 两点, A 点为系统阻抗 X_s , B 点为 X_d (同步电抗)。在整定计算时, A 点系统阻抗 X_s 有时取最大方式下的阻抗,有时取最小方式下的阻抗, B 点 X_d 的取值有时为保证能可靠动作,乘上一个可靠系数 K (K 一般取 1.2)^[3]。若机组不将进相运行作为正常运行方式,用以上整定计算方法保护都不会误动作。但是若将进相运行作为正常的运行方式,整定计算时应充分考虑进相运行对保护的影响,以防止误动作^[4]。

以襄樊电厂 4[#] 机进相实验数据为依据,计算出在进相深度达到最大时 ($\delta=65^\circ$) 的阻抗值,看是否

会落入动作区内。如表 1。

表 1 进相运行的发电机机端感受阻抗

$P(\text{MW})$	$Q(\text{Mvar})$	δ	I_a (A,二次)	U_{bc} (V,二次)	Z (二次)
300	-53	65	3 299°	96.6 195°	18.6 -14°
250	-75	65	2.65 277°	96 165°	20.9 -22°
200	-99	65.6	2.2 172°	95.4 52°	25 -30°

1) 若 X_s 取最小系统阻抗(大方式), A 点为 $X_{s,\min}(0, 3)$, B 点不乘可靠系数 K , 则 B 点为 $X_d(0, -34)$ 。圆心 $(0, -15.5)$, 半径 18.5 。上表中三种工况所对应的感受阻抗与圆心的距离分别为 $21.1, 20.8, 21.8$ 。尚有 10% 以上的可靠系数。

2) 若 X_s 仍取最小系统阻抗, B 点乘可靠系数 1.2 , B 点为 $1.2X_d(0, -40.8)$ 。圆心 $(0, -18.9)$, 半径 21.9 。表 1 中三种工况所对应的感受阻抗与圆心的距离分别为 $23, 23.3, 22.6$ 。可靠系数小于 5% , 几乎没有裕度。

3) 若 X_s 取最大系统阻抗(小方式), A 点为 $X_{s,\max}(0, 4.7)$, B 点不乘可靠系数 K , B 点为 $X_d(0, -34)$ 。圆心 $(0, -14.7)$, 半径 19.4 。表 1 中三种工况所对应的感受阻抗与圆心的距离分别为 $20.7, 20.6, 21.76$ 。可靠系数小于 7% , 裕度很小。

4) 若 X_s 取最大系统阻抗(小方式), B 点又乘可靠系数 1.2 。表 1 中三种工况必有误动作发生。

由此可见,对进相运行的机组,以上第 4 种整定计算方法不可取。第 2、3 种整定计算方法,在系统振荡,进相深度过深,三相不平衡以及机组特性差异等因素下,也可能造成保护误动而停机解列。因此,对把进相运行作为正常运行方式的机组,宜采用异步圆跳闸,可有效保证进相运行时不误动。若采用静稳圆,须用第 1 种整定计算方法,或干脆去掉阻抗圆的第一、二象限部分,取 $X_s=0$,将系统等值为无穷大系统, B 点取 X_d 。这样不仅整定计算简化,而且不会造成进相运行时保护误动。

2.3 系统低电压判据

反映系统(电厂高压侧母线)三相同时低电压。本判据主要用来防止由发电机失磁故障引发无功储备不足的系统电压崩溃。这种判据在系统容量较小、电厂与系统联系薄弱或系统无功不足时,能可靠动作。这种情况往往出现在远离负荷中心的水电厂或坑口火电厂的建设初期,或水电厂的枯水期^[5]。高压侧母线的三相电压严重下降将导致系统稳定运行的破坏,因此须快速跳闸。

当电厂建成后,一般有多台发电机并联运行,而且电厂能量外送的输变电工程也竣工投产,此时,一台发电机失磁不大可能将高压侧母线电压 U_m 下降到整定值 ($0.8 \sim 0.85 U_n$) 以下,本判据往往不能动作。因此,在设计失磁保护的逻辑回路时,不应将系统低电压判据和其他失磁主判据“与”来出口,以免闭锁失磁机组的停机出口。宜采用当其他失磁主判据满足时,若系统低电压判据不满足,则经一较长延时跳闸;若系统低电压判据也满足,则快速跳闸。

对于与系统联系紧密的电厂和小型机组,本判据完全可以取消。

3 失磁保护典型配置方案

3.1 逻辑回路

典型配置方案采用上节所叙述的三个主判据,并结合 PT 断线闭锁的辅助判据,组成完整的低励失磁保护。逻辑图如图 2:

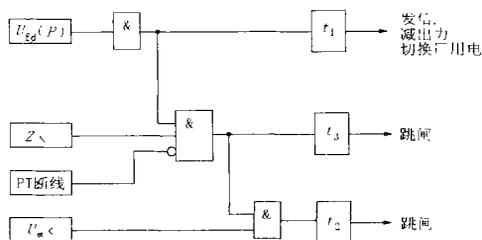


图 2 失磁保护典型配置逻辑框图

3.2 本方案的特点

$U_{fd}(P)$ 判据直接反映励磁电压,最直接地反映了一切低励和失磁故障;变励磁低电压判据也是最灵敏,动作最快的主判据,是三个主判据中唯一能可靠地反映低励故障的判据。因此,典型配置中选用这一判据,不仅可通过延时发信、减出力等(或切换励磁),可能使励磁恢复正常,或值班员采取措施以恢复励磁;同时也作为跳闸的必要条件。

失磁保护的三个主判据,其灵敏度从高到低依次为转子低电压、阻抗圆 $Z <$ 、系统低电压。鉴于系统低电压判据在较多情况下并不能可靠动作,因此不能将它作为跳闸出口的必要条件,而是作为加速跳闸的因素。

本典型方案将转子低电压“与”阻抗圆 $Z <$ 判据,经一较长延时 t_3 出口跳闸;若系统低电压判据又同时满足,表示系统无功储备已不足,则不经长延时 t_3 ,而是经短延时 t_2 出口跳闸。

本典型方案并不简化,主要适用于大型机组和

对系统影响很大的机组。在实际运用中,可尽可能地简化。对于与系统联系紧密的电厂,可省去系统低电压判据。对系统影响较小的中小型机组,可只用阻抗圆 $Z <$ 判据。

3.3 现场运行情况

采用本配置方案的失磁保护在湖北襄樊电厂 4 台 300MW 汽轮发电机组上已投运 3 年,在试运行期间,失磁保护转子低电压判据曾几次误动作^[1],经重新计算和调整其整定值,保护不再误动。其后的运行中,由于励磁调节器工作不稳定,反复故障,失磁保护多次正确动作,成功地切除故障。特别是转子低电压判据能迅速发信、减出力等,有时能使励磁恢复正常,避免停机事故。

如在 2000 年 3 月,3[#] 机 $U_{fd}(P)$ 判据动作发信,运行人员迅速将励磁调节改为手动方式,使励磁恢复正常。后经检查,励磁调节器的机笼插槽接触不好,使 CPU 故障,触发脉冲丢失两相。

其后,2000 年 7 月,3[#] 机励磁调节器再次故障,励磁变过流保护动作,转子低电压判据动作,励磁仍不能恢复正常,最后阻抗圆 $Z <$ 判据动作停机。经检查,励磁调节器的 CPU 损坏。更换励磁柜 CPU 插件。

2001 年 4 月,4[#] 机励磁调节器的 CPU 损坏,励磁调节器发故障信号,随后转子低电压判据动作,阻抗圆动作停机。退出该励磁柜,更换励磁柜机笼、CPU 插件、网卡等。

3.4 与其他配置方案的比较

目前失磁保护配置方案很多,不下 20 多种。其主判据也不外乎上节所说的几种,主要是逻辑组合与闭锁方式的差别。除本文所提的配置方案外,目前大机组上应用较广泛的方案有:采用静稳边界圆发信,异步圆跳闸。这种方案主要是担心转子低电压判据太灵敏,易误动。静稳圆与异步圆从原理上没有很大的差别,反映的都是机端感受阻抗,只是静稳圆比异步圆灵敏一些,动作稍快一些。如果用静稳边界圆发信,到减出力或采取措施,恐怕已不能使励磁恢复正常了,停机事故将在所难免。另外静稳圆与异步圆都采用定子侧判据,可靠性显然不如转子侧和定子侧判据“与”出口跳闸。而且转子侧判据是最直接的,任何低励失磁故障都首先来自转子侧,然后影响到定子侧,再波及系统侧。

4 结论

本文所提出的失磁保护方案,经历了实际运行中多种类型低励失磁故障的考验和进相运行实验,

具有良好的运行业绩。我省将它作为典型配置方案,运用于近年来新建、改造的大型机组保护中。采用典型配置,不仅给设计、整定、调试、运行带来很大方便,而且便于技术的成熟和运行经验的提高。

另外需指出的是,失磁保护对整定计算的要求较高,如整定不当,易造成误动作,尤其是 $U_{fd}(P)$ 判据。本典型方案主要适用于大型机组和对系统影响很大的机组。在实际运用中,并非所有的判据都一定要采用。合理地简化不仅利于整定和运行,也可最终减少误动发生的可能性。

参考文献:

- [1] 殷建刚,彭丰. 发电机失磁保护的動作分析和整定计算的研究[J]. 继电器,2000,(7).

- [2] 姚晴林,张学深,张项安. 微机 $U_L - P$ 型转子低电压失磁继电器动作方程及整定计算的研究[J]. 继电器,2000,(7).
- [3] 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.
- [4] 殷建刚,彭丰,等. 进相运行对发电机变压器保护的影响的讨论[J]. 湖北电力,2001,(1)
- [5] 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,1996.

收稿日期: 2001-07-11

作者简介: 殷建刚(1971-),男,本科,主要从事电力系统继电保护整定计算与运行管理工作; 彭丰(1963-),男,本科,高级工程师,主要从事电力系统运行与管理工作。

Research on the typical configure of generator loss of field protection

YIN Jian-gang, PENG Feng

(Hubei Electric Power Dispatch Center, Wuhan 430077, China)

Abstract: This paper discusses the character of the criteria of generator lose of field protection and problems of setting about it. An integrated scheme is proposed against the mess situation in configure of loss of field protection. The loss of field protection facility based on this scheme has been successfully applied to 4 large generator unit of 300MW, which has made good performance. The advantage of this scheme will be analyzed from theory and application.

Key words: generator; loss of field protection; typical configure

(上接第 32 页) 综合保护装置中得到了应用。其特点是软硬件思路明确,调试方便,实际应用效果较好。本装置的软件除了全波傅式算法和开方算法采用嵌入式汇编语言以外,其他程序均为 C 语言编制。由于高级语言的固有优势,使得程序可读性和可维护性更高,而这并没有以牺牲保护装置的性能作为代价。

参考文献:

- [1] 黄益庄. 变电站综合自动化技术[M]. 中国电力出版社,2000,3.
- [2] 李华. 微型机继电保护装置软硬件技术探讨[J]. 电力建设,2001(5):44-47.

- [3] 陈皓,汪波,黄洲. 微机保护装置硬件结构[J]. 电力自动化设备,2000(4):32-36.
- [4] 沈鲁豫,王忠,等. 介绍一种新型综合保护装置[J]. 电力自动化设备,1999(6):44-46.
- [5] 吴建军,陈一光. 微机保护中的单片机实时多任务编程[J]. 电子与自动化,1998(6):33-35.

收稿日期: 2001-08-24

作者简介: 张楠(1977),男,硕士研究生,研究方向为电力系统综合自动化; 黄益庄((1939-),女,教授,研究方向为电力系统综合自动化、电能质量和调度自动化; 李璇华(1977-),女,硕士研究生,研究方向为电力系统综合自动化。

Multi-task processing in the integrated protection device

ZHANG Nan, HUANG Yi-zhuang, LI Xuan-hua

(Department of Electrical Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: This article introduced the different tasks in the new kind of integrated protection device in detail. And with these tasks, a resolving scheme is presented based on software and hardware. The specialty for this scheme is its clear structure, high efficiency and good coordination. And this scheme can also be extend in other fields.

Key words: multi-task; parallel processing; hardware structure; interrupt response; serial communication