

关于主设备辅助保护的几点探讨

黄玉轩¹, 俞佳芝²

(1. 华能南通电厂, 江苏 南通 226003; 2 许昌职业技术学院, 河南 许昌 461000)

摘要: 近年来我国继电保护装置水平不断发展, 开发了许多主设备的新型保护功能, 如发电机误上电和启停机保护、厂用电切换装置、轴电流保护和大电机差动保护等, 但这些保护存在一些不足, 功能过于复杂, 建议整合和简化。

关键词: 主设备; 辅助保护; 原理; 简化

中图分类号: TM772 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2006)12-0083-05

0 引言

近 10 年来, 随着计算机水平的不断提高, 我国继电保护设备也有了飞速发展。由于微机装置特有的优越性, 主要保护装置微机化已几近 100%, 同时国外的一些先进保护理念也在我国得到不断开发和完善。针对大型发电机组, 我国保护装置已普遍开发了误上电保护、启停机保护、轴电流保护、厂用电快速切换装置等。在此对这几种保护装置存在的问题提出一些看法, 以供大家探讨。

1 误上电和启停机保护

发电机误上电保护主要用于在发电机并网前可能存在的异常或故障情况下, 保护装置能有效切除故障。在发电机并网前可能存在以下一些故障:

1) 发电机未加励磁, 在盘车或升速过程中断路器突然合闸, 造成发电机异步起动, 此时发电机作为电动机运行, 存在很大的定子电流。

2) 发电机已加励磁, 断路器误合闸, 造成发电机非同期并列, 此时产生很大的冲击电流, 并可能引起机组或系统振荡。

3) 发电机在同期并列过程中, 由于发电机与系统功角拉开, 断路器断口承受两倍额定电压而引起绝缘击穿或外端口闪络, 造成很大的定子电流。

发电机启停机保护用于当发电机低转速运行时, 可能发生的发电机定子绕组、高厂变、主变和励磁变等一次回路故障。

以上两种保护装置均为在发电机并网前, 为防止发变组系统存在故障而及时切除励磁和停机的有效方法, 对于可能引起的断路器断口闪络, 应及时启动断路器失灵保护而隔离系统电源。但以上两种保

护存在以下不足:

1) 保护装置及保护原理过于复杂化。为实现各种情况下保护装置能正确判断故障, 保护装置得计算相电流、负序电流, 阻抗等值, 过多占用系统资源。

2) 保护整定计算过于复杂。为防止该保护功能在正常运行情况下不误动作, 需要进行大量细致的计算工作。

3) 动作时间过长, 不利于一次设备的安全。按照整定计算书的整定要求, 保护装置出口时间都大于 0.5 s, 延长了故障切除时间。

4) 保护装置的灵敏度较低。例如启停机保护相间电流为躲过正常不平衡电流, 保护灵敏度比差动保护还低, 未起到理想的作用。

5) 由于启停机时发电机转速变化, 增加了微机保护运行和计算的难度。

针对以上不足, 建议对以上两种保护进行整合和简化, 专门作为机组启动前的“启停机保护”, 保护逻辑如下:

1) 在发电机并网前, 保护装置仅判断发电机定子电流和发变组断路器位置信号。发电机定子电流取自中性点侧。

采用该种方式后, 保护装置的灵敏度速动性可以得到极大的提高。首先, 由于发电机升压过程中电压不会有突变, 发电机端各变压器不会出现大的励磁涌流, 保护装置的电流可以整定至很小, 仅需躲过各变压器的空载励磁即可, 定值可以整定在 $0.1 \sim 0.2 I_L$ 。其次, 它不需要与任何保护配合, 动作时间仅需避过一些干扰信号即可。第三, 它完全可以反应任何情况下相间故障电流, 对防止故障进一步发展起到重要作用, 提高了一次设备的安全性。

2) 由于发电机系统为不接地或经高阻接地的系统,相电流判断不能有效反应单相接地故障,因此采用发电机中性点电压作为另一判据,测量值反映中性点电压有效值,包括一次谐波和三次谐波分量。整定值同样只需躲过发电机并网前空载下的中性点电压即可。

该保护功能只在发电机并网前开放,机组并网后,主开关触点闭合,闭锁该保护功能。该保护带有少许延时,以保证发电机并网后,在保护未出口之前,开关位置信号已可靠返回,保护装置不会误出口。为保证断路器位置信号的正确性,可采用三取二方式。如果开关位置辅助接点不好,则机组一并网保护就会误动,对电厂影响不太,而由于保护提高了电流灵敏度和速动性,极大地提高了设备的安全性。

2 轴电流保护

发电机轴电压和轴电流对机组的危害非常大。由于各种原因,汽轮发电机大轴会产生一定的轴电压,发电机大轴一端正常接地。虽然轴电压很小,但由于电机转子电阻非常小,当另一端轴承存在绝缘问题时,就会在轴和轴承座之间形成很大的轴电流,烧伤轴瓦,使大轴磁化,引起机组振动等。对于汽轮发电机,轴系的稳定至关重要,它直接危及主设备的安全和使用寿命,如发生轴系激烈振动,轻则损坏轴瓦,重则损坏汽轮机叶片和汽轮发电机转子。

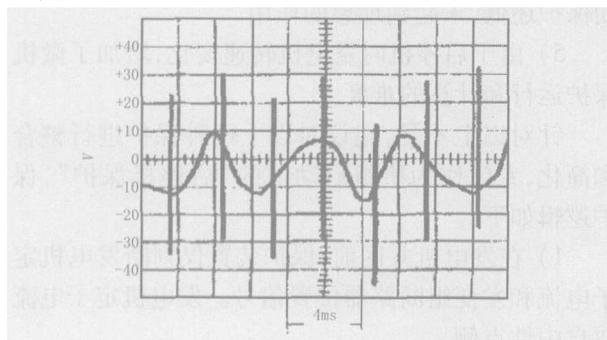


图 1 轴电压波形 1

Fig 1 Waveform of shaft voltage

发电机产生轴电压主要有以下几种原因:

1) 静态励磁引起的轴电压。近年来,静态励磁由于其响应速度快,维护量小,缩短大轴长度等诸多优点,在大型机组上越来越被广泛使用。但是在可控硅换相时,会在发电机磁场中产生很高的干扰脉冲,由于磁场等值回路相当于一个分布电感(L)、电容(C)和电导(G)的复杂网络,励磁电流的脉冲将

会在发电机大轴上产生与这些脉冲相同性质的轴电压,如图 1 所示。该电压具有快速上升的时间特性,因而对轴承油膜更具有破坏性。

2) 环绕电机轴的磁回路不对称,有与转轴相交链的旋转磁通存在,引起轴电压。它与定子接缝处的缝隙、扇形片的接缝、冲片轭部开孔(轴向通风孔或拉紧螺杆孔)、定子槽等电机设计有关。由于磁路不对称,形成交变循环磁通而产生轴电压。一般情况下,产生轴电压的条件是 $nt/q = \text{奇数}$ 或分子为奇数的最简分数,其中 n 为重迭数 t 每层扇形迭片数, q 为 nt 与极对数的最大公约数。相应轴电压的频率为奇次,如图 2、3 所示。

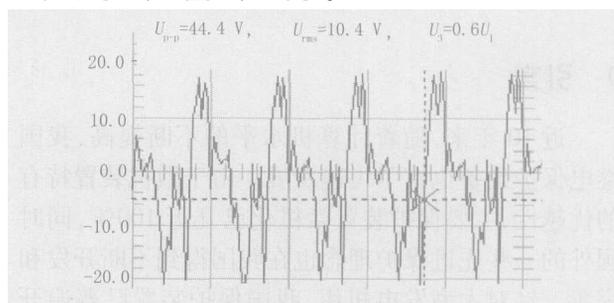


图 2 轴电压波形 2

Fig 2 Waveform of shaft voltage

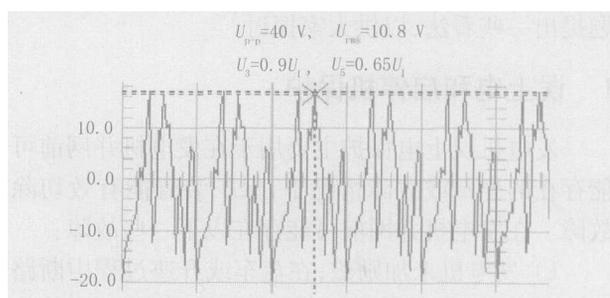


图 3 轴电压波形 3

Fig 3 Waveform of shaft voltage

3) 转子绕组不对称匝间短路或两点接地,发电机转子绕组不对称匝间短路及两点接地短路是最常见的转子绝缘故障,并导致转轴磁化。众所周知,汽轮发电机转子通常为两(四)极,每个极的槽数相等、槽形相同、绕组匝数相等,所以在正常情况下转子轴的漏磁通等于零。一旦出现不对称短路后,在转轴上出现漏磁通,产生轴电压。

4) 汽轮机单极自激磁化。电机中存在环绕轴的各种闭合回路,如电刷装置的集电环、换向极、极间连线和补偿绕组连接线等。设计时虽然考虑让它们相互抵消,但实际上它们的磁势很难完全抵消,就会产生一个环轴的剩余磁势,使转轴磁化,并在电机

旋转时在转轴两端产生一个感应电压,其原理和单极发电机一样,故称单极电势。这种单极效应产生的轴电压在恒定负载时,表现为直流量,并随负荷电流而变化。

5) 静电荷引起的轴电压。在汽轮机的低压缸内,蒸汽和汽轮机叶片之间摩擦而产生静电荷,电荷的静电场作用又会产生轴电压,特别是现在的汽轮机末级叶片越来越长,干蒸汽产生的静电压会越来越高,轴电压值有时可达 500~700 V。该电压被加到油膜上,一旦油膜被击穿,将损坏轴承,甚至轴瓦,因此发电机大轴必须保证一点可靠接地。

因此发电机轴电压有很大的不确定性,轴电压的频率以基波和三次谐波为主,但也含有大量的尖峰脉冲,如图 2、3 为某厂不同机组的轴电压波形。由于轴电压的幅值和波形与电机安装,电机制造、励磁电流,负荷电流等因素密切相关,由轴电压引起的轴电流也各不相同,我们在制定保护措施时,必须针对这些特点来完善保护性能。轴电流保护应有以下几个特点:

1) 轴电流测量应能充分反映轴电流的有效值。任何形式的轴电流都会损伤轴承和轴瓦,包括一次谐波和三次谐波分量,因此保护装置应充分测量轴电流的有效值。根据有关研究资料记载认为,当轴电流小于 0.2 A/cm^2 时,不会损伤大轴,实际上根据轴瓦的损伤情况分析认为,尖峰脉冲对轴瓦和油膜的破坏更大。因此保护装置最好应能对轴电流的脉冲进行计数,并及时提醒运行人员。

2) 保护装置测量要简单化。如图 4 所示,在大轴接地刷和地点之间串联一分流器,这样保护装置只需测量分流器上的电压就可以反应轴电流的大小和波形,不用通过磁隔离就可直接测量电流值,可有效防止波形失真。同时装置还可以监测大轴的接地情况,出现高电压时,可以及时提醒维护人员检查接地刷。

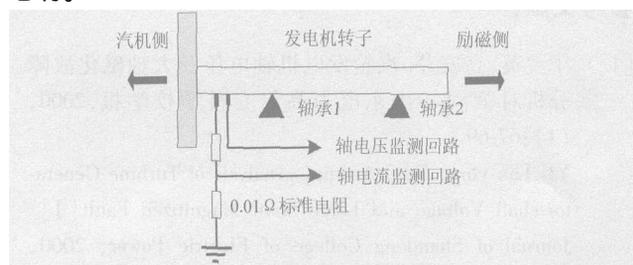


图 4 轴电压和轴电流保护接线示意图

ig 4 Connections of shaft voltage and shaft current protection

3 厂用电切换装置

自 80 年代我国从西欧引进厂用电切换装置以来,该类型装置在我国已得到大力开发和普及,它已普遍应用于各电厂的厂用电系统,分支切换回路,以及电网配电系统的分支切换上。厂用电切换装置自使用以来,对于用户用电安全,特别是电厂的厂用电安全确实发挥了巨大的作用。

在我国切换装置主要有两种类型,一类是串联切换,切换装置示意图如图 5 所示,当从 A 电源向 B 电源切换时,S1 开关分开,再允许 S2 开关合上,S1、S2 不存在同时合闸的条件。二类是并联切换,当从 A 电源向 B 电源切换时,装置同时向 S1 开关发分闸命令和向 S2 开关发合闸命令,如 S1 未能分开,一段延时后根据要求把两侧电源都跳开。

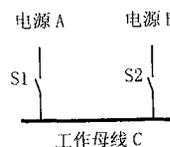


图 5 双电源切换示意图

Fig 5 Switching of double power sources

电厂厂用电切换分为快速切换和慢切,正确情况下装置监测 A、B 电源的相位和幅值,系统发出切换的请求后,装置判断备用电源 B 与工作母线 C 的同期情况,当工作母线 C 电压高于整定值时,捕捉同期并发出合闸命令;当工作母线 C 电压低于该整定值时,不再快速切换,直到母线残压降到足够低时才发出合闸命令,防止对负载和启备变造成过大的冲击。一般情况下,系统发出切换请求的同时会通过其它联锁跳开正常电源 A,因此要求装置必须快速反应并作出判断。

切换装置的实际运行中,我们过多地考虑了以下几种情况:

1) 串联切换中,我们非常担心备用开关 S2 会在 S1 分闸之前合上。为保证有一定的时间裕度,所以采取了先判断 S1 开关分开,再经一短延时后合上 S2 开关的切换方式,这样人为增加了切换时间,这一切换时间完全可能造成厂用低压系统的接触器自动释放,起不到快速切换的应有目的。

2) 切换装置对备用电源 B 与工作母线 C 之间的相位差,频率差等因素考虑过多,要求过于苛刻反而降低了切换的成功率。

在电厂的实际运行中,厂用电的切换功能主要是在机组跳闸后能确保重要负荷安全运行,保证系

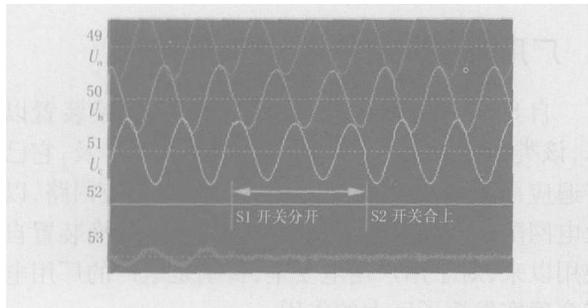


图 6 厂用母线切换时电厂波形

Fig 6 Waveform on busbar switchover in power plant

统在可控制状态。从录波图看,机组跳闸后,由于有大批的高压厂用马达在惰走,工作母线电压虽然突变到 80%,但之后衰减很慢,相位也不会发生快速变化,如图 6 所示。此时快速合上备用开关 S2 后,不会对系统造成任何冲击。因此建议对厂用电切换装置作如下改进:

1) 充分考虑 S1、S2 的分合闸时间。华能南通电厂 1988 年在江苏电网上第一次从 ASEA 公司引进厂用电切换装置时,一个重要的因素是考虑了开关的分合闸时间。由于工作母线的进线开关分闸时间为 65 ms,而合闸时间为 45 ms,合闸命令必须经一短延时 (50 ms) 才能发出,否则两开关就会碰头造成并列。1999 年从美国引进二期设备时,就没有考虑安装单独的快切装置,因为开关的分闸时间为 35 ms,而合闸时间为 60 ms。如果系统要求切换,则同时发出分合闸命令,正常情况下两开关都不会并列,如出现并列情况,则经一短延时 (100 ms) 后再跳开两开关。因此如果厂用电系统是第二种情况时,可考虑充分简化切换回路,确保切换的成功率。

2) 切换时的冲击电流主要来自 U , 切换装置只须根据 U 以及 U 的变化率就可判断是否能发出 S2 的合闸命令;而且切换越早,马达表现的阻抗越大,越利于切换。

3) 在慢切时,启备变最好不带全部高压马达启动,因为启动电流比较大,对设备安全反而不利,当然电厂也可以通过厂用电进行自启动的计算来确定。不过此时高压马达再启动意义已经不大。相反低压马达如油泵、盘车、空预器、闭冷水泵、仪用机等负荷的自启动或后备马达自启动却非常有意义。因此在系统整定计算时母线低电压第一时段跳开高压马达负载,第二时段切换厂用电,这样有利于厂用电快速恢复。

4 高压电动机差动保护

对于 2 000 kW 以上的高压电机,为提高保护的

灵敏度,弥补过流保护的不足,一般装设纵联差动保护,很多电厂在使用该保护时,在马达启动过程中出现了保护误动的情况,造成保护误动的主要原因有以下几点:

1) 纵联差动保护两侧 CT 二次回路不对称,开关后的 CT 安装在开关柜内,电流回路一般不超过 5 m,而马达中性点的 CT 安装在就地,二次电流电缆数百米,负载不可能匹配,启动时不平衡电流增加。

2) 厂用电系统的 CT 要求不高,伏安特性的饱和点较低,在启动过程中容易出现失真,增大了不平衡电流。

3) 马达距离开关柜很远,高压电缆较长,由于分布电感和分布电容的影响,两侧 CT 电流的幅值和相位都会有偏差,特别是相位偏差,使不平衡电流增加。

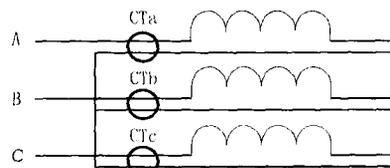


图 7 大容量高压电动机差动保护原理图

Fig 7 Differential protection principle of large HV motor

因此采用普通的纵联差动保护时,既增加了保护整定计算的难度,也降低了差动保护应有的灵敏度。而采用如图 7 所示的电动机差动保护原理时,则完全摆脱了传统差动保护的局限性,它变成一个非常简单的过流保护,既容易整定,保护也不易误动,提高了保护的灵敏度。

由于马达短引线都采用软导线,根据上述要求对马达进线盒进行改造不会有太大的工作量和难度,因此上述磁平衡原理的高压马达差动保护是非常实效可行的保护原则,建议各电机制造厂大力推广。

参考文献:

- [1] 于兰英,高安芹.汽轮发电机轴电压及大轴磁化故障分析对策[J].山东电力高等专科学校学报,2000,(1):67-69.
YU Lan-ying, GAO An-qin. Analysis of Turbine Generator-shaft Voltage and Large Shaft Magnitized Fault[J]. Journal of Shandong College of Electric Power, 2000,(1):67-69.
- [2] 刘正超,李福祺.发电机气隙距离、磁场强度和轴电压的在线监测[J].大电机技术,2003,(2):6-9.
LIU Zheng-chao, LI Fu-qi. On-line Monitoring of Gener-

ator Gap Distance, Magnetic Field Strength and Shaft Voltage[J]. Large Electric Machine and Hydraulic Turbine, 2003, (2): 6-9.

- [3] 胡高举,郑才刚,韦云隆. 大电机轴电压研究[J]. 机械, 2001, 28(3): 65-67.

HU Gao-ju, ZHENG Cai-gang, WEI Yun-long Study on Axis Voltage of Large Electric Machine[J]. Machinery, 2001, 28(3): 65-67.

收稿日期: 2005-12-29; 修回日期: 2006-04-19

作者简介:

黄玉轩(1967-),男,高级工程师,从事电气专业工作;
Email: hyx2205@163.com

俞佳芝(1956-),女,高级讲师,主要从事机电一体化
的研究。

Discussion on auxiliary protection of main equipment

HUANG Yu-xuan¹, YU Jia-zhi²

(1. Huaneng Nantong Power Plant, Nantong 226003, China; 2. Xuchang Vocation Technical College, Xuchang 461000, China)

Abstract: In recent years, the level of relay protection equipment in our country is continuously rising, and many new types of protective functions for the main equipment have been developed, such as protection for generator faulty energization, protection for startup and shutdown, switch change, shaft current protection and large motor differential protection, etc. However, these protections may still appear to be insufficient and complicated in functioning. Renovation and simplification are recommended.

Key words: main equipment; auxiliary protection; principle; simplification

(上接第 79 页 continued from page 79)

Analysis of regulating and controlling of voltages in South China AC/DC Hybrid Power Grid

WANG Bin

(Department of System Operation, China Southern Power Grid, Guangzhou 510623, China)

Abstract: China Southern Power Grid is the first long-distance and huge capacity power grid with AC and DC power networks in parallel in China. There are many factors that affect the voltages of the AC/DC hybrid power grid, and regulating and controlling of voltages is a difficult problem of the system operation. The paper analyzes the characteristic of the system operation in China Southern Power Grid. The main measures for regulating and controlling of voltages are brought forward. Its difficulties to be settled are analyzed, and some relevant suggestions are proposed.

Key words: China Southern Power Grid; voltage; regulating and controlling; AC/DC hybrid power grid

(上接第 82 页 continued from page 82)

Applying design patterns to the development of the relay plot library

ZHU Zhong-ting¹, PENG Lu-chang², WANG Jian-fang¹, ZHU Yong-rong¹, ZHANG Pei-chao³

(1. East China Electric Power Design Institute, Shanghai 200063, China; 2. State Power Corporation of Xinjiang Bingtuan, Bachu 843803, China; 3. Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China)

Abstract: With the help of many new technologies, digital relays can perform much better than traditional relays. A large number of new relays have been developed recently. The operating behaviors of different relays vary a lot, which makes it difficult to develop flexible software for protective relay testing. So it is valuable to develop a library which is applicable to all kinds of relays. The library should be well encapsulated, easily reusable and expandable. Captured by experienced object-oriented designers, design patterns can be applied to solve some kinds of object-oriented design problems. During the development of the RelayPlot library many problems came out. By using the following design patterns of Facade and Strategy, the problems have been solved. The library, has been successfully used in a relay testing software.

Key words: design patterns; relay; characteristic curve; object-oriented