

# G60 发电机保护在大型机组中的应用与运行分析

杨涛<sup>1</sup>, 刘栋<sup>2</sup>

(1. 浙江省电力试验研究院, 浙江 杭州 310014; 2. 金华电业局, 浙江 金华 321001)

**摘要:** G60 数字式发电机保护在现代大型机组中应用广泛, 对其应用进行分析总结有着重要的现实意义。简要介绍了 G60 发电机保护装置的软件、硬件构成及其特点, 着重对发电机定子单相接地保护、失磁保护、失步保护等模块的原理进行了分析研究, 提出了在保护模块选用、逻辑构成及整定中应当注意的问题, 并针对实际应用中出现的具体问题, 提出了相应的意见与建议。以期对 G60 发电机保护的应用提供有益参考, 促进发电机保护运行水平的不断提高。

**关键词:** 发电机保护; 大型机组; G60; 应用; 分析

## Application and running analysis of G60 relay in large-scaled generating unit

YANG Tao<sup>1</sup>, LIU Dong<sup>2</sup>

(1. Zhejiang Province Electric Power Test & Research Institute, Hangzhou 310014, China;  
2. Jinhua Electric Power Bureau, Jinhua 321001, China)

**Abstract:** G60 digital generator protection relay has been abroad applied in modern large-scaled generating unit, thus analysis and summary are practically necessary in the application. The software and hardware architecture and their feature are briefly presented firstly. This paper emphasises the research on the theory of generator stator ground protection, loss of excitation protection and out-of-step protection. And then, some problems needed to pay attention to in the process of the choice of protection block, logic and setting are presented. In allusion to concrete problems in the application of G60, relevant ideas and suggestions are presented. It is expected to do something useful to the application of G60 generator protection relay and promote the running level of generator protection.

**Key words:** generator protection; large-scaled generating unit; G60; application; analysis

中图分类号: TM77 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2009)11-0112-04

## 0 引言

大型发电机组造价昂贵结构复杂, 是现代电力系统最重要的组成部分之一, 其一旦发生故障, 不但经济损失巨大, 而且会对电力系统的稳定运行产生严重影响。因此, 发变组保护对维护大型发电机组的安全运行、保障电力系统的稳定都有着十分重要的意义。目前, 随着发电机单机容量的不断增大, 对发电机保护的要求也越来越高, 功能配置完备、运行可靠、维护方便、微机化的发电机保护才能满足现场的实际应用需求。GE 公司推出的 G60 发电机保护在大型机组中得到了相当广泛的应用, 嘉兴电厂二期 (4×600 MW)、半山燃机 (3×390 MW)、兰溪电厂 (4×600 MW)、玉环电厂 (2×1000 MW)、宁海电厂二期 (2×1000 MW)、北仑电厂三期 (2×1000 MW) 等机组均采用了 G60 作为其发电机保护。因此, 深入探讨分析 G60 发电机保护的相关

保护功能, 及时研究总结在调试与运行中出现的具体问题, 对提高发电机保护的运行水平、保证电气主设备的安全生产运行有着重要意义。

## 1 G60 保护装置简介

G60 保护装置是 GE 公司推出的新一代通用型 UR 系列继电器中的一种, 主要用于大型发电机保护。其采用模块化的硬件设计, 如图 1 所示, 模块主要由电源 (POWER)、主处理器 (CPU)、数字信号处理器 (DSP)、开关量 I/O (DIGIO)、模拟量 I/O (ANAIO) 等六个基本模块及人机接口 (MODULAR HMI) 组成, 模块之间采用高性能的高速数据母线通讯, 保护与通讯不会发生“瓶颈”问题。硬件具有可扩展性, 可根据现场实际应用灵活配置各种插件。模块采用抽屉式封装, 便于插拔与维护。另外 G60 还具有强大快速的以太网通讯功能。

G60 采用了面向对象的程序设计技术, 将各种不同功能模块化的实现。其功能强大, 能够实现保护、测量、控制、通讯等多种功能, 其中保护主要由差动保护 (Stator Differential)、振荡检测 (Power Swing Detect)、失磁 (Loss of Excitation)、定子接地 (Stator Ground)、突加电压 (Accidental Energization)、距离 (Distance)、电压 (Voltage elements) 等模块构成。G60 保护装置具有很强的用户开放性, 具有面向用户开放的可编程源、可编程 LED、可编程逻辑 (FLexLogic)、可生成的保护 (FlexElement)、可编程曲线等功能, 以满足不同用户的实际应用要求。G60 还具有完备的故障录波与事件记录功能, 并配有功能强大的通讯软件 URsetup, 可以方便的通过软件完成定值设定、逻辑编程、录波与事件的获取、实时值监视、实验调试、波形分析等工作。

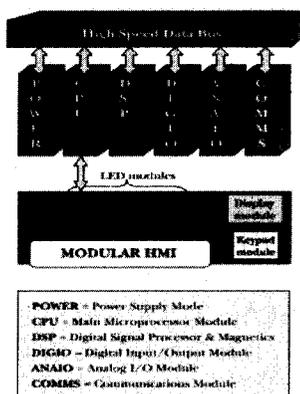


图 1 G60 的硬件架构

Fig.1 G60 hardware architecture

## 2 相关保护分析

### 2.1 定子单相接地保护

G60 发电机保护中没有专用于 95% 定子单相接地保护的模块, 要用其内部提供的电压模块及可编程逻辑来实现此功能。100% 定子接地保护由装置内部定子接地 (Stator Ground) 模块实现, 此模块包含三次谐波电压比较式 (100% stator Ground) 与机尾三次谐波低电压 (Third Harmonic Neutral Undervoltage) 两种保护方式。三次谐波电压比较式的判据如式 (1) :

$$\frac{|V_N|}{|V_N + V_0|} < PICKUP \quad \text{AND} \quad \frac{|V_0|}{|V_N + V_0|} > 1 - PICKUP$$

$$\text{AND} \quad |V_N + V_0| > SUPERVISION \quad (1)$$

其中:  $V_N$  为发电机中性点三次谐波电压,  $V_0$  为发电机机端三次谐波零序电压。

1) 95% 定子接地保护既可以采用机端 PT 电压 (自产零序) 也可采用发电机中性点配电变零序电压, 但应优先考虑选择中性点电压作为 95% 定子接地保护的电压源。如采用机端电压时, 机端 PT 一次侧中性点必须接地, 否则无法得到对地零序电压; 另外还需考虑 PT 断线对保护的影响并具有 PT 断线闭锁功能。

2) 三次谐波电压比较式不是利用机端或机尾的三次谐波电压绝对值来判断, 而是利用机端与机尾三次谐波电压的比较作为判据, 因此此方法具有较强的适应性且整定相对简单。采用三次谐波电压比较式作为 100% 定子接地保护时, 机端 PT 必须是按相配置、Y 形连接且一次侧中性点接地, 否则不能采用三次谐波电压比较式而只能采用三次谐波低电压作为 100% 定子接地保护。另外三次谐波电压比较式中机端与机尾电压之和是矢量相加, 因此必须保证接入保护装置的机端与机尾电压的极性正确。

3) 机尾三次谐波低电压的判据较为简单, 其只能采用发电机中性点三次谐波电压作为电压源。由于中性点三次谐波电压的大小与发电机负荷及其运行工况有关, 因此需实际测量各种工况下的中性点三次谐波电压值, 并据此结果进行保护的整定计算。

### 2.2 失磁保护

G60 装置中的失磁保护 (Loss of Excitation) 动作特性由两个偏移阻抗圆组成, 如图 2 所示, 圆 1 的圆心与半径分别为  $C_1 = (X'_d + Z_b)/2$  和  $R_1 = Z_b/2$ , 圆 2 的圆心与半径分别为  $C_2 = (X'_d + X_d)/2$  和  $R_2 = X_d/2$ , 其中  $Z_b$  一般取发电机的基准电抗。

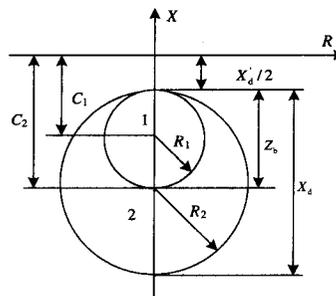


图 2 失磁保护动作特性

Fig.2 Loss of excitation operating characteristics

1) 大型发电机在不同负荷状态下失磁其影响的严重程度也不同, 重负荷下失磁时有功功率等参数剧烈摆动, 对机组和系统的影响都比较大, 需要保护快速动作; 而轻负荷下发生失磁故障时则影响较小。故采用双圆特性来判断失磁时负荷状态的不同, 以采取不同的处理方式。

2) 异步阻抗圆 1 主要用于发电机负荷高于 30% 额定负荷时的失磁情况, 此圆动作一般不设延时或延时很短, 一般情况下可以设为 50 ms, 防止 PT 断线发生时失磁元件动作过快而发生保护误动作。

3) 阻抗圆 2 反映发电机任何负荷下发生失磁故障的情况。在系统发生振荡时, 其振荡轨迹有可能穿过阻抗圆 2, 因此动作时间应大于系统振荡阻抗穿越阻抗圆 2 的最大时间, 一般取为 0.5 s 或以上。

4) 失磁保护模块内部自带低电压辅助判据 (UV SUPV) 功能, 但是其采用的是正序低电压, 在发生相间短路故障时也有可能动作, 因此建议不使用此低电压辅助判据, 而采用装置自带的电压元件构成三相低电压作为失磁保护的电压辅助判据。

5) 在机端或变压器高压侧发生相间短路故障时, 由上述双阻抗圆动作特性构成的失磁保护有可能会误动作。因此, 应该根据现场实际情况, 选择增加励磁电压、负序电压或负序电流等辅助判据来闭锁失磁保护, 以保证保护动作的选择性。

### 2.3 振荡检测

振荡检测 (Power Swing Detect) 采用三段或两段式阻抗特性构成保护判据, 并可通过整定选择圆特性或四边形特性。一种三段式阻抗圆特性的构成方案如图 3 所示。

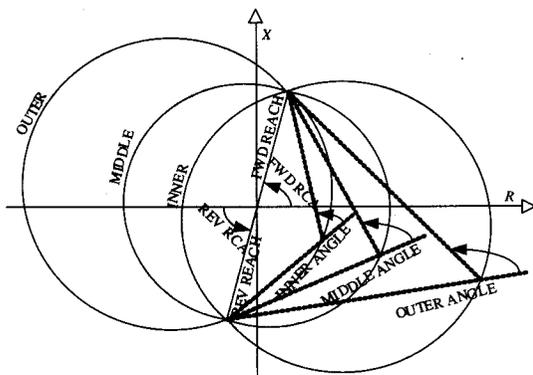


图 3 三段式阻抗圆特性

Fig.1 Three step Mho operating characteristics

1) 振荡检测元件具有振荡闭锁与失步跳闸双重功能。振荡闭锁功能提供 Power Swing Block 与 Power Swing Unblock 两种闭锁信号, Power Swing Block 在整个振荡过程中均动作, 而 Power Swing Unblock 则在振荡发生时动作, 振荡过程中发生短路故障即 50DD 元件动作时返回。50DD 为利用正序、负序、零序电流变化量来进行故障检测的元件。

在发电机保护中一般不需要振荡闭锁功能, 而是利用其失步跳闸功能构成发电机失步保护。

2) 采用三段式阻抗特性时, 测量阻抗在 OUTER 与 MIDDLE 之间停留  $T_1$  后, Power Swing Block 与 Power Swing Unblock 信号动作; 在 MIDDLE 与 INNER 之间停留  $T_2$  且在 INNER 中停留  $T_3$  后则判定发电机失步。

3) 采用两段式阻抗特性时, 测量阻抗在 OUTER 与 INNER 之间停留  $T_1$  后, Power Swing Block 与 Power Swing Unblock 信号动作; 在 INNER 内停留  $T_3$  后认为发电机已失步。

4) 失步保护提供 Early 与 Delayed 两种跳闸方式。Early 方式在判定发电机失步后即发出跳闸命令, 此时测量阻抗有可能仍在 INNER 内, 系统两侧电动势相位差较大, 加于断路器断口上的电压很大, 断路器能开断的电流小于额定开关电流, 此时跳闸将威胁断路器的安全。Delayed 方式是在判定发电机失步且测量阻抗离开外圆后发出跳闸命令, 此时两侧电动势相位差较小, 对断路器较为安全。在实际应用中, 应该核算失步时系统两侧电动势相位差多大时跳闸才能满足断路器额定开断电流的要求, 从而选择跳闸方式。如果 Early 与 Delayed 两种跳闸方式均不能满足要求, 应该考虑在失步保护逻辑中增加电流闭锁元件。

5) FWD REARCH (正向阻抗定值) 的整定应视实际要求进行。如果发电机与系统之间发生振荡时要求失步保护动作, FWD REARCH 应按可能的最大联系电抗整定; 如要求振荡中心接近机组或位于机组范围时失步保护动作, FWD REARCH 则应按升压变压器电抗整定。而 REV REARCH (反向阻抗定值) 一般按发电机暂态电抗  $X'_d$  整定。

### 3 其它应注意问题

1) 虽然 G60 装置功能强大, 但却不能完全满足我国发电机保护配置的要求, 例如, G60 内部没有提供匝间保护、低频保护、高频保护等专用模块, 这就需要利用 G60 内部已有模块与可编程逻辑来实现这些功能。而这些功能的实现与现场相关工程人员的理念及水平密切相关, 某些现场实际应用中存在一些可编程逻辑混乱或不够规范的地方。因此在实际应用中应该加强对 G60 逻辑的审核。

2) G60 保护的定值配置与可编程逻辑没有分开, 而是处于同一个文件当中, 在修改定值或配置时容易发生误改逻辑的现象, 给保护的正常运行带来隐患。因此, 维护人员应提高警惕, 防止此类事故的发生。

3) 某些保护功能的实现需要借助于控制元件 (Control Element) 与可编程元件 (FlexElement), 但是这些元件只有一组定值区。因此, 虽然保护元件 (Grouped Element) 有六组定值区, 但是在实际运行中却不能进行定值区的切换, 否则将使控制元件与可编程元件无法工作而丧失某些保护功能。

4) G60 提供了对用户开放的录波、事件记录及可编程 LED 功能, 但是在实际应用中, 现场工程人员往往只是关注保护模块定值, 而忽略对上述功能的整定, 这对以后事故及异常情况的分析非常不利。因此, 应根据现场实际运行需要, 合理规范的设定录波、事件记录及可编程 LED 功能。

5) G60 发电机差动保护的电流极性与大多数其他差动保护的极性不同, 其采用一侧流进发电机一侧流出发电机为差动电流规定正方向的方式, 即差动电流为两侧电流相量差。因此, 在安装调试工程中应保证接入装置电流极性的正确性。

#### 4 结论

G60 发电机保护采用模块化的软硬件设计, 保护功能相对完善, 配置灵活, 录波、时间记录及通讯功能强大, 扩展升级方便, 在现代大型发电机组中获得了广泛的应用。但是, 由于其保护设计理念和配置原则与国内存在一定差异, 所以在现场实际应用中也出现了一些问题。现场人员应该深入认识其功能与原理并认真总结出现的问题, 提高 G60 发电机保护的运行水平, 确保主设备的安全稳定运行。

#### 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, 1996.

WANG Wei-jian. Theory and Application of Power Main Equipment Protection[M]. Beijing: China Electric Power Press, 1996.

[2] 贺家李, 宋从矩. 电力系统继电保护原理[M]. 北京: 中国电力出版社, 1996.

HE Jia-li, SONG Cong-ju. Theory of Power System Protection[M]. Beijing: China Electric Power Press, 1994.

[3] G60 Generation Management Relay UR Series Instruction Manual[Z]. GE Multilin. 2005.

[4] 周平. GE 公司 UR 系列主设备保护运行情况分析[J]. 浙江电力, 2007, (4): 32-35.

ZHOU Ping. Analysis of GE UR Series Electric Main Equipment Protection[J]. Zhejiang Electric Power, 2007, (4): 32-35.

[5] 于芳. 对发电机失磁保护的研究[J]. 武汉大学学报(工学版), 2006, 39 (3): 108-110.

YU Fang. Research on Loss of Excitation Protection for Generators[J]. Engineering Journal of Wuhan University, 2006, 39 (3): 108-110.

[6] 徐健, 徐金, 王翔. 发电机失磁保护与失步保护的冲突与协调[J]. 电力系统自动化, 2007, 31 (17): 61-64.

XU Jian, XU Jin, WANG Xiang. Coordination Between Generator Loss of Excitation Protection and Out-of-step Protection[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31 (17): 61-64.

收稿日期: 2008-07-10; 修回日期: 2008-07-22

作者简介:

杨涛(1978-), 男, 硕士, 工程师, 从事电力系统继电保护及自动化研究与试验工作。E-mail: power\_forward@sina.com

刘栋(1980-), 男, 本科, 从事电力系统继电保护及自动化管理及研究工作。

(上接第 108 页 continued from page 108)

[3] 崔家佩, 孟庆炎, 陈永芳, 等. 电力系统继电保护与安全自动装置整定计算[Z].

收稿日期: 2008-07-13; 修回日期: 2008-09-13

作者简介:

李少谦(1963-), 男, 工程师, 大专, 从事继电保护技术监督和运行管理; E-mail: xyysq5402@126.com

张孟君(1957-), 男, 工程师, 大专, 从事电网运行管理;

倪小惠(1959-), 男, 工程师, 大专, 从事电网运行管理。

(上接第 111 页 continued from page 111)

#### 参考文献

[1] 电力工程电气设计手册. 第一册 电气一次部分[M]. 北京: 中国电力出版社, 1989.

收稿日期: 2008-07-16; 修回日期: 2008-08-22

作者简介:

赵国芳(1974-), 男, 工程师, 长期从事继电保护运行管理及整定计算工作; E-mail: zgf740128@163.com

沈琦(1978-), 女, 从事继电保护运行管理工作;

罗曼(1982-), 女, 从事继电保护整定计算工作。