

三峡左岸电站发电机-变压器组保护技术方案

周 强 易先举 汪祖禄

(长江水利委员会设计院 430010 武汉)

摘 要 介绍了三峡电站发电机组配置的基本概况。对已签订采购合同的左岸电站发电机-变压器组保护方案及功能配置作了详细说明,对中标公司部分保护装置的原理作了相应的介绍,并描述了三峡电站发电机-变压器组保护系统的特点。

关键词 三峡工程 发电机-变压器组 微机保护 方案 配置

分类号 TM 772

三峡电站分为左岸电站、右岸电站及右岸地下电站 3 个独立电站,左岸电站装机 14 台,右岸电站装机 12 台,右岸地下电站装机 6 台。三峡左岸电站的 14 台机组及其附属设备已于 1997 年 9 月签订采购合同,ALSTOM 公司提供 8 台水轮机,ABB 公司提供 8 台发电机及相应的发电机-变压器组继电保护设备;VGS 集团提供 6 套水轮发电机组,相应的发电机-变压器组继电保护设备由 SIEMENS 公司提供。

三峡左岸电站 14 台发电机与 14 台主变压器分别组成 14 组发电机-变压器组单元,发电机和变压器之间无断路器(预留发电机断路器的安装位置),机端接厂用变压器和励磁变压器。两发电机-变压器组在变压器高压侧(500 kV 侧)相连组成联合单元,直接接至厂坝之间的 500 kV 的 GIS 封闭母线,500 kV 母线为 $1\frac{1}{2}$ 接线方式,8 回出线分别送交流 500 kV 电网和三峡直流换流站。三峡左岸电站发电机的单机额定容量为 700 MW(最大容量为 840 MW),冷却方式为水冷,定子每相为 5 分支结构,采用自并励励磁方式。

1 发电机-变压器组主保护方案的确定

在初步设计、技术设计乃至招标设计阶段,由于没有机组详细的结构和电气参数,当时难以对主保护的选择进行必要的计算,而是依据国家继电保护的有关规程,参考国内外一些大型机组的保护配置方式,并根据国内外继电保护的发展情况,提出了发电机-变压器组保护的初步配置方案。将保护分为两个子系统:子系统 A 配置发电机不完全差动保护、定子不对称故障保护和变压器差动保护;子系统

B 配置发电机不平衡保护和变压器差动保护。这些主保护连同其他后备保护的配置方案经过多次专家审查会审查通过。

在评、议标阶段,为了使主保护的配置更为合理,以保证三峡左岸水轮发电机组的安全稳定运行,两家供货商分别为机组提供了 60 多个电气和结构参数、绕组展开图及机组短路特性曲线,在此基础上由清华大学和华中理工大学在各自建立的数学模型上进行了一系列的计算工作,比较了完全纵差保护、不完全纵差保护、裂相保护和发电机不平衡保护这 4 种保护在分支引出的各种可能组合方式下(包括保护电流互感器(TA)不同的接入方式),以及在定子绕组各种相间和匝间(包括同相同分支匝间和同相不同分支匝间)故障情况下,流经保护的短路电流及灵敏度数值。最后比较 4 种保护在同一分支引出组合方式下,发生同一内部短路故障时的保护灵敏度,据此确定主保护的最佳配置方式。

计算结果表明,在选取的故障点发生相间短路或匝间短路时,可以得出以下结论:

a. 完全纵差保护不反应匝间故障,而在任何相间故障时均有很高灵敏度;

b. 1 匝匝间短路时,各种保护均不动作;

c. 3 匝~5 匝匝间短路时,裂相和不平衡保护可能动作,而不完全差动保护不能动作;

d. 7 匝以上匝间短路时,裂相、不平衡及不完全差动保护均可动作;

e. 匝间短路时,裂相保护和不平衡保护的灵敏度相同(理论分析也是如此),且均高于不完全差动保护;

f. 相间故障时,不平衡保护的灵敏度很高,而裂相保护和不完全差动保护在极个别情况下灵敏度不足。

通过综合分析和比较以后,最终确定三峡左岸

发电机的主保护为:在保护子系统 A 中配置完全纵差保护(87G)和裂相保护(87GUP);在子系统 B 中配置不平衡保护(60G),定子每相分支按 1-2-3 分支和 4-5 分支进行分组,在两组引出线上均设电流互感器(TA),前者 TA 变比为 18 000/1,后者 TA 变比为 12 000/1,机端 TA 变比为 30 000/1,发电机不平衡保护用 TA 的变比为 500/1。

2 保护功能配置

三峡左岸电站发电机-变压器组的保护配置除了上述的发电机和变压器主保护外,还包括其它保护方式,如接地故障保护、机组异常运行状态保护、厂用变压器保护、励磁变压器保护以及非电量的保护,具体配置见表 1。

表 1 保护配置
Table 1 Disposition of protection for Three Gorges Left Bank Power Station

子系统 A			子系统 B		
序号	功能号	保护名称	序号	功能号	保护名称
1	87G	发电机完全纵差保护	1	60G	发电机不平衡保护
2	87GUP	发电机裂相保护	2	64G	发电机定子一点接地保护
3	64G	发电机定子一点接地保护	3	40G	发电机失磁保护
4	40G	发电机失磁保护	4	51GR	发电机负序电流保护
5	78G	发电机失步保护	5	24G	发电机-变压器组过激磁保护
6	11G	发电机后备保护	6	64E	励磁绕组一点接地保护
7	51G	定子过负荷保护	7	38/51	上导轴承绝缘监视装置
8	59G	定子过电压保护	8	51EL	励磁绕组过负荷保护
9	52B	断路器保护	9	87T	主变压器差动保护
10	87T	主变压器差动保护	10	51TN	主变压器零序保护
11	51TN	主变压器零序保护	11	87ST	厂用变压器差动保护
12	51ST	厂用变压器过流保护	12	87ET	励磁变压器差动保护
13	51STL	厂用变压器过负荷保护	13	95	TV 断线闭锁装置
14	51ET	励磁变压器过流保护	14	96	TA 断线闭锁装置
15	51ETL	励磁变压器过负荷保护	15	80TH	主变压器重瓦斯
16	95	TV 断线闭锁装置	16	49T	主变压器温度升高
17	96	TA 断线闭锁装置	17	80STH	厂用变压器重瓦斯
18	54T	主变压器冷却系统故障	18	49ST	厂用变压器温度升高
19	63T	主变压器油压过高	19	80ETH	励磁变压器重瓦斯
20	80TL	主变压器轻瓦斯	20	49ET	励磁变压器温度升高
21	54ST	厂用变压器冷却系统故障			
22	63ST	厂用变压器油压过高			
23	80STL	厂用变压器轻瓦斯			
24	54ET	励磁变压器冷却系统故障			
25	63ET	励磁变压器油压过高			
26	80ETL	励磁变压器轻瓦斯			

3 部分保护简介

ABB 公司的保护装置采用 ABB 网络伙伴的产品 REG216。REG216 为内部总线(B448C)式多 CPU 模块化结构。在本工程中,保护系统 A,B 均配置了两个处理器模块(216VC62a),主 CPU 为 32 位的 80486DX-2。

VGS 公司的保护装置采用 SIEMENS 公司的产品,由功能分散的多个保护装置组成,每个保护装置又包含若干个保护功能(软件功能块),保护功能可以根据需要进行激活(投退),由于每个保护装置承担的保护功能较少,所以采用 16 位的 CPU 就够了。

3.1 定子一点接地保护

ABB 定子一点接地保护 64G 由 64G1、64G2 和 64G3 三部分组成。64G1 的功能通过在发电机中性点接地变压器二次侧注入一个 12.5 Hz 信号实现,

其原理参见图 1。64G2 基于发电机机端零序电压,64G3 基于发电机中性点零序电压。

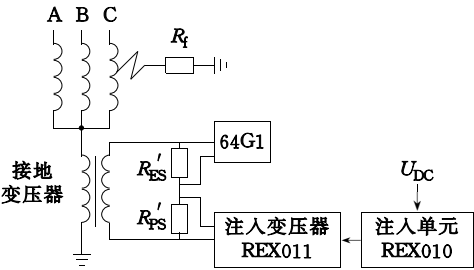


图 1 ABB 注入式定子一点接地保护原理图
Fig. 1 Schematic diagram of stator one point earth fault protection of ABB's manufacture

SIEMENS 定子一点接地保护 64G 由 64G1 和 64G2 两部分组成。64G1 的功能通过在发电机中性点接地变压器二次侧注入一个 20 Hz 信号实现,其原理框图见图 2;64G2 基于发电机机端零序电压。

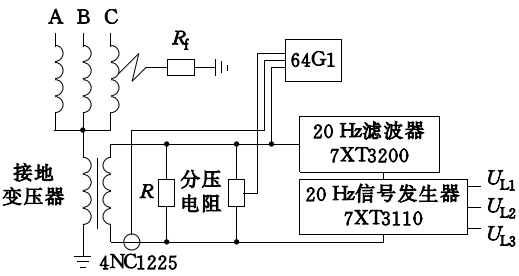


图2 SIEMENS注入式定子一点接地保护原理图
Fig. 2 Schematic diagram of stator one point earth fault protection of SIEMENS' manufacture

3.2 励磁绕组一点接地保护

ABB 励磁绕组一点接地保护经耦合单元给励磁回路注入 12.5 Hz 信号来实现,原理见图 3。

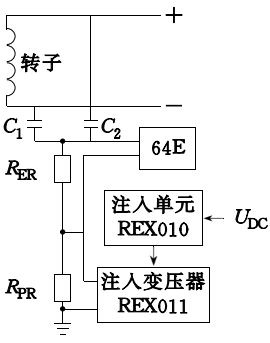


图3 ABB励磁绕组一点接地保护原理图
Fig. 3 Schematic diagram of field winding one point earth protection of ABB's manufacture

SIEMENS 励磁绕组一点接地保护通过耦合单元给励磁回路注入一恒定的变极性直流偏置电压信号 U_g (1 Hz~8 Hz, 50 V) 来实现,原理见图 4。

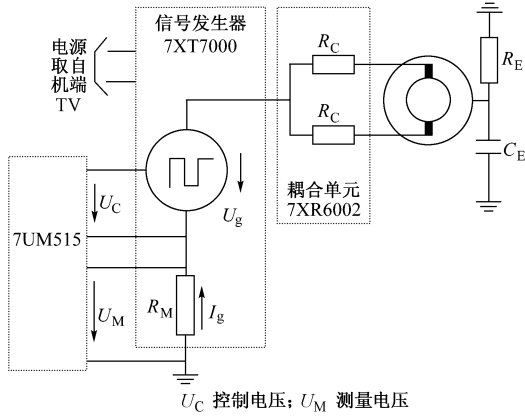


图4 SIEMENS励磁绕组一点接地保护原理图
Fig. 4 Schematic diagram of field winding one point earth protection of SIEMENS' manufacture

3.3 失步保护

保护能检测机组滑动时的进行性变化。当检测

到失步时,先输出报警信号,当振荡中心在发电机-变压器组内部、失步运行时间超过整定值或电流振荡次数超过规定值时,保护启动,跳主变高压侧断路器。保护在判定机组已失步后,能在整定的相位差下或在限定的电流值范围内发出跳闸命令。保护能区分短路与振荡、失步振荡与稳定振荡,并具备失步预测功能。

ABB 失步保护特性曲线见图 5,其特征如下:

- a. 记录滑差频率变化 0.2 Hz~8 Hz;
- b. 根据振荡中心在发电机-变压器组内外分别设有 2 个独立的跳闸段;
- c. 根据滑差频率变化自动调节报警角;
- d. 跳闸前的滑极次数可调。

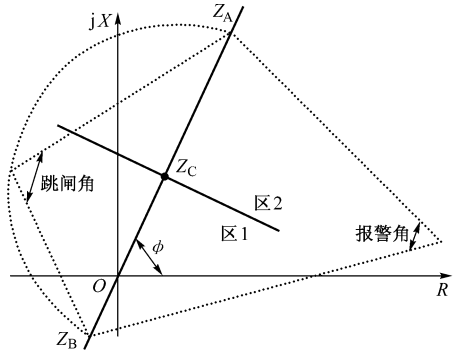
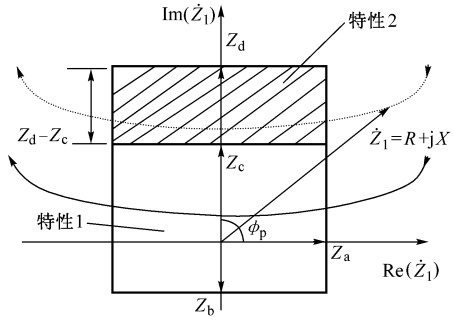


图5 ABB失步保护原理图
Fig. 5 Schematic diagram of out-of-step protection of ABB's manufacture

SIEMENS 失步保护由 7UM516 完成,采用多边形特性,特性曲线见图 6。



$$Z_b = X_d', Z_c = (0.7 \sim 0.9) Z_1, Z_d = Z_1 + Z_s, Z_a = \frac{Z_b + Z_c}{2 \tan \frac{\delta}{2}}, \text{通常 } \delta \text{ 取 } 120^\circ, \phi_p \text{ 取 } 90^\circ$$

特性1 振荡中心在发电机-变压器组内
特性2 振荡中心在发电机-变压器组外

图6 SIEMENS失步保护原理图
Fig. 6 Schematic diagram of out-of-step protection of SIEMENS' manufacture

由于振荡总是三相对称发生的,所以保护设有一个前提条件,即正序过流和负序低电流。前者为启动元件,后者为闭锁元件,也就是说当负序电流不满足时闭锁失步保护(此时可能是短路故障)。判别元

件为正序阻抗矢量穿过上述特性区的次数(滑极次数),如果前后两次穿过上述特性区的时间差超过给定保持时间,则计数器清零。保护设有两个计数器,对应于特性 1 为计数器 n_1 ,对应于特性 2 为计数器 n_2 。当计数器中的累计次数超过整定值时,保护动作于跳闸。

3.4 失磁保护

保护检测励磁电流异常下降或完全消失。即使在重负荷下发生励磁电流下降,保护也能正常动作。保护动作后,带延时跳开主变高压侧断路器。保护的整定和延时为保证在外部短路、电力系统振荡或线路充电时装置均不动作。

SIEMENS 公司在 A,B 系统中设置了两套不同原理的保护。40G-A 由定子回路判据和转子回路判据组成,定子回路判据检测三相电流和三相电压,计算机端导纳,保护只处理正序分量,所以即使在发生内部或外部不对称故障的同时又发生失磁故障,失磁保护也能可靠动作,特性曲线见图 7;40G-B 由无功监视功能实现,即当机端检测到的容性无功大于整定值时判断为失磁,特性曲线见图 8。

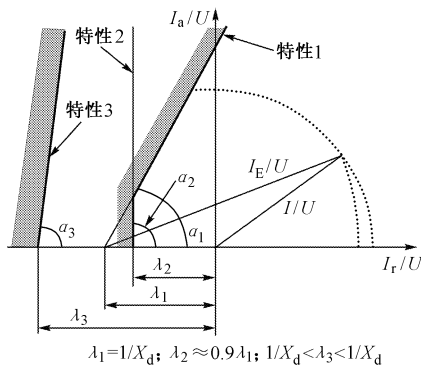


图 7 SIEMENS 失磁保护原理图(40-A)

Fig. 7 Schematic diagram of loss of excitation protection of SIEMENS' manufacture (40-A)

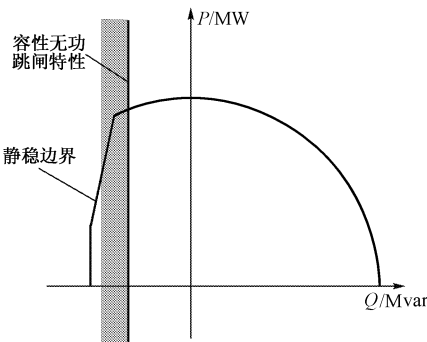


图 8 SIEMENS 失磁保护原理图(40-B)

Fig. 8 Schematic diagram of loss of excitation protection of SIEMENS' manufacture (40-B)

ABB 公司在 A,B 系统中设置了两套完全相同

的保护,其动作特性为异步边界(下抛圆)。

3.5 上导轴承绝缘监视装置

ABB 公司提供装置的检测原理如图 9 所示。上导轴承双层绝缘之间的铜环通过滑环-轴刷接至电阻测量系统,该滑环与上导轴承绝缘并固定在上导轴承上,另外一个直接运行在轴领表面的轴刷将轴领也接至电阻测量系统,轴刷为低电阻型。若检测到绝缘电阻值低于报警值(ABB 推荐值为 200 Ω),则测量系统的输出接点闭合,将报警信号发给保护系统。

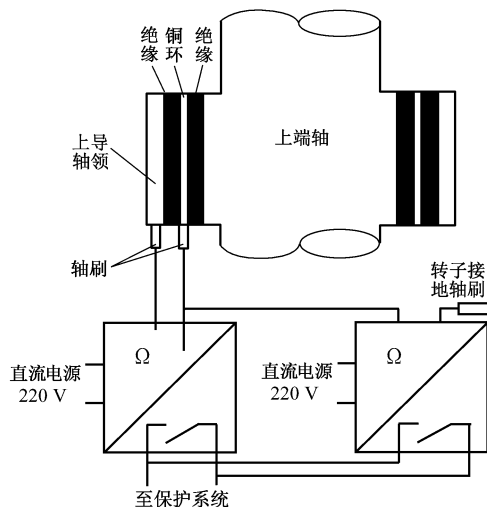


图 9 ABB 上导轴承绝缘监视装置原理图

Fig. 9 Schematic diagram of bearing insulation supervisory device of ABB's manufacture

SIEMENS 公司提供装置的检测原理如图 10 所示。

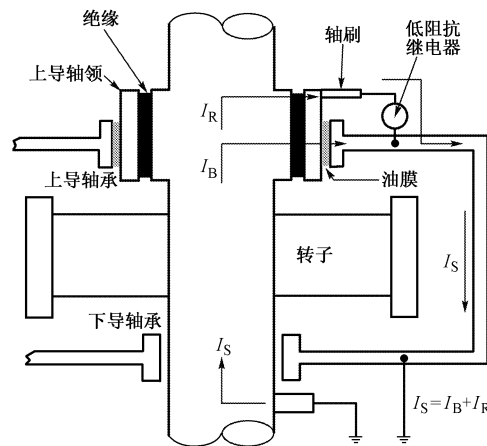


图 10 SIEMENS 上导轴承绝缘监视装置原理图

Fig. 10 Schematic diagram of bearing insulation supervisory device of SIEMENS' manufacture

当机组加上励磁后,上导轴承与下导轴承之间就会存在轴电势差,保护继电器接于轴刷和上导轴

(下转第 60 页)

承之间,正常时绝缘良好,继电器中无电流流过,当绝缘破坏后,大轴中将有轴电流流过(I_S),在上导处分成两路,一路经油膜流过(I_B),另一路经轴刷、继电器流过(I_R)。所以如果继电器中有电流流过(大于门槛值),则说明上导轴承绝缘破坏,保护动作于停机。

4 保护基本特点

三峡电站保护系统具有以下的基本特点:保护系统为全数字式;采用两个独立子系统的双重化结构;每个子系统的直流电源回路、交流电流/电压回路、跳闸和信号输出回路均相互独立;保护系统的软件和硬件具有自检和容错功能,并能有效防止高压直流换流站谐波对保护的影响;保护系统具有事件顺序记录及故障录波功能,事件记录分辨率小于 5 ms;保护系统能与电站计算机监控系统进行时钟同步,同步误差不大于 1 ms;保护系统配有 PC 串行

接口,以便通过便携 PC 进行调试,并可通过通信接口与电站计算机监控系统进行信息交换。

5 结语

三峡左岸电站发电机-变压器组的继电保护方案的选取工作在电站设计的各个阶段均引起了国内外继电保护同行的广泛关注,并得到了国内外继电保护专家的大力支持。三峡左岸电站将于 2003 年首批机组发电,届时保护系统将接受实践的考验。

周 强,男,1968 年生,工程师,目前从事继电保护和电站综合自动化方面的设计和研究工作。

易先举,男,1957 年生,高级工程师,长期从事继电保护和电站综合自动化方面的设计和研究工作。

汪祖禄,男,1938 年生,高级工程师,长期从事继电保护和电站综合自动化方面的设计和研究工作。

TECHNICAL SCHEME OF GENERATOR-TRANSFORMER RELAY PROTECTION SYSTEM FOR THREE GORGES LEFT BANK POWER STATION

Zhou Qiang, Yi Xianju, Wang Zulu

(Changjiang Water Resources Commission, 430010, Wuhan, China)

Abstract The disposition of generator-transformer set for Three Gorges project is briefed. The scheme and configuration of generator-transformer relay protection system, for which contract has been signed, for Three Gorges Left Bank Power Station, are emphasized. Moreover, this paper introduces the principles of partial protective relaying of the corporation of the successful bidder, and presents the characteristics of generator-transformer relay protection system for Three Gorges project.

Keywords Three Gorges project generator-transformer set main protection plan disposition