

国产大型发电机 - 变压器组及辅助变压器 微机保护的调试和运行

李德佳

(核电秦山联营有限公司, 浙江 海盐 314300)

摘要: 总结秦山二期国产大型发电机—变压器组及辅助变压器微机保护在调试和运行期间发现的问题, 分析原因, 提出了相应的对策, 制定相应技术反措, 对同行及同类电厂有一定的参考价值。

关键词: 微机保护; 发电机; 变压器; 核电

中图分类号: TM772 文献标识码: B 文章编号: 1003-4897(2005)20-0028-05

0 引言

秦山核电二期工程是继秦山一期和广东大亚湾核电站建成投产后, 由我国自主设计、自主建造、自主调试、自主运行和管理的第一座装机容量为两台 600 MW 的商用核电站。其发电机、主变压器、厂用变压器、辅助变压器的继电保护全部实现了国产化, 保护装置采用的是国产微机保护。这是国产保护首次应用在大型核电机组上, 由于生产厂家采用了严格的质量控制, 使保护装置在现场运行三年来, 没有发生过元器件的损坏、接插件的接触不良等常见问题。但在调试和运行中也发现了一些不足, 为了更好的总结经验, 共同提高保护装置的制造和运行水平, 本文对调试和运行期间发现的问题进行了总结。

1 发变组及辅助变保护的配置

由于发电机和变压器的重要性, 为了防止继电保护出现拒动而造成的危害, 采取了双重化设置原则, 以确保发电机、变压器和电力系统的安全稳定运行, 为此设置了两套微机型继电保护系统。这两套装置是完全独立的, 分别对应保护通道 1 和保护通道 2。发电机和变压器所需要实现的保护功能重复配置于这两个独立的通道中, 以保证在任一通道出现故障时, 另一通道也能实现保护功能。

1.1 发电机变压器组保护系统的配置

发电机保护的配置: 差动保护; 定子接地保护 (95%、100%); 定子匝间保护; 失步保护; 失磁保护; 过励磁保护; 过电压保护; 6 kV 进线侧低电压保护; 6 kV 进线侧低频率保护; 发电机过频保护; 对称过负荷保护; 不对称过负荷保护; 发电机开关非全相保护; 低频率累加保护; 误上电保护; 逆功率和正向低功率保护; 定子冷却水故障保护; 主冷却剂泵转速

低保护。

主变保护的配置: 差动保护; 高压侧分侧差动保护; 低阻抗保护; 低压侧接地保护; 高压侧零序过电流保护; 过励磁保护; 500kV 开关断口闪络保护; 轻、重瓦斯保护; 压力释放保护; 线圈温度高保护; 冷却器全停保护。

1.2 高厂变 (核岛变、常规岛变) 保护装置配置

差动保护; 电流速断保护; 过流保护; 轻、重瓦斯保护; 压力释放保护; 有载调压开关瓦斯保护。

1.3 辅助变保护的配置

差动保护; 电流速断保护; 过流保护; 220 kV 侧零序过流保护; 轻、重瓦斯保护; 压力释放保护; 有载调压开关瓦斯保护。

2 运行情况总结

详见表 1 保护动作情况的说明。

表 1 保护动作情况

Tab 1 Protection operation

项目 保护类型	动作	正确动	不正确	不正确动作原因
	次数	作次数	动作次数	
正向低功率保护 1、2	20	20		
常规岛变差动保护	1	1		电缆头相间短路。
发电机开关非全相保护 1、2	3		3	开关的辅助接点未转换到位; 交直流共用一颗电缆的干扰。
6 kV 进线侧频率低保护 T1、T2	5	4	1	6 kV 系统接地导致无测频电压。
主变低压侧接地保护	1		1	PT 二次断线并接地导致误动作。
220 kV 侧零序过流保护	1		1	误接线。
辅助变压力释放保护	1		1	变压器本体的压力释放器的质量问题。

3 调试和运行中发现的问题及对策

3.1 问题探讨

3.1.1 保护出口自保持的探讨

发变组保护所涉及到的跳闸点较多, 如: 500 kV

两个开关;发电机出口开关;6 kV四个厂用开关;灭磁开关;手工业励磁调节装置;主汽门等共十个点。考虑每个出口中间继电器具有三个电流自保持线圈,那么,每类跳闸的出口中间继电器就得配置四块继电器,这样将导致装置过于复杂和可靠性的降低。为了解决该问题可采取下述方法:

1)合理的分配电流自保持线圈,按同时运行的跳闸点,选择跳闸时间较慢的设备装设自保持线圈。这样做虽可保证跳闸时出口接点不烧损,但是,不能保证没有装设自保持线圈的开关拒动时烧毁出口接点的情况;

2)由于开关的防跳回路具有两种形式:串联防跳和并联防跳。在出口自保持线圈数量有限的前提下,可采用具有串联防跳的开关不装设保护出口自保持的方法;

3)各类出口跳闸后自保持和手动复归的方式,这样可取消所有的出口自保持线圈。但应考虑保持后是否闭锁合闸回路的问题;

4)选用具有切断跳闸电流能力的优良出口中间继电器,并要求保护动作和故障切除后出口展宽150 ms

3.1.2 误上电保护的问题

由于误上电保护采用的是低频记忆加过流的保护方案。存在三个问题:一是发电机盘车时,残压较低,会使保护装置测频回路无法正确工作。为此,保护装置只有采用无测量电压时,开放误上电保护的办。这样将带来正常运行时,发生PT断线加区外故障的运行工况下,保护装置将发生误动作。为此,采用了误上电保护随发电机的运行状态人为投退的运行办法。二是由于误上电保护与发电机的其它保护安装在同一面盘内,在发电机检修而主变、厂变运行的工况下,发电机保护将无法检修。三是这种保护对于发电机额定转速并加励磁的工况下是无效的。

解决上述问题的方法:对于第一个问题建议误上电保护增加PT断线闭锁功能或采用发电机出口辅助接点自动投退保护的方法。第二个问题建议对具有发电机出口开关的单元接线方式,误上电保护应单独装设在发电机开关就地控制柜内。

3.1.3 主变差动保护的问题

主变的相间差动保护采用的是最大相电流制动的五侧方式,由于本装置只能实现四侧差动,故将500 kV侧电流以和电流方式接入装置。这样当发生和电流小于分电流的区外故障时,制动效果不如五侧差动。

3.1.4 500 kV分侧差动保护二次谐波制动的问题

考虑到主变空投及流过穿越性励磁涌流时,由于相电流中非周期分量的作用将导致CT的暂态饱和。这样将使分侧差动保护误动作,为此,建议分侧差动保护增加二次谐波制动功能。

3.1.5 一个半开关接线的一次运行方式改变时,对保护的影响

对于涉及到500 kV开关位置的保护,如:500 kV断口闭锁保护、500 kV两个开关及发电机出口开关同时跳闸联跳6 kV厂用进线的保护。在500 kV开关检修时,将影响这些保护的正常工作。由于前一种保护采用的是当500 kV两个开关同时断开加负序电流出口的判据,如不采取措施,在一个开关检修和独立串运行时,有可能导致保护拒动。后一种保护也存在一个开关检修时,导致保护拒动的问题。

解决方法是:通过切换压板和检修时进行二次线改接的方式,来适应一次系统运行方式的变化。

另外,在主变、厂变检修时,将出现主变高压侧闸刀断开,但500 kV两开关合环运行的方式。这种方式如在二次回路上工作,将导致误跳运行中的500 kV开关。应在运行规程中加以明确或采取其他技术手段来杜绝此类误动的发生。

3.1.6 工控机的分配问题

工控机的分配方案有两种:1)按照第一套、二套保护分别装设,即主变保护A屏、核岛厂变、常规岛厂变、发电机保护A屏和主变保护B屏、发电机保护B屏分别装设管理用工控机;2)按照运行检修的运行方式装设,即主变保护A及B屏、核岛厂变保护屏、常规岛厂变保护屏和发电机保护A及B屏各装设一套工控机。

对于具有发电机出口开关的单元接线无论是基建还是检修,经常出现发电机停运而主变、厂变运行的方式。为了调试和维护方便,本厂采用了第二种方式,如图1所示。

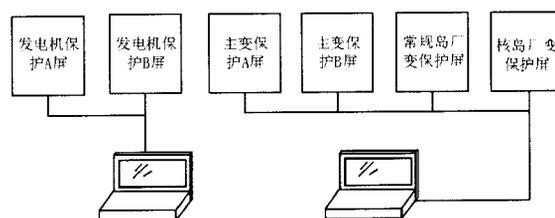


图1 工控机的配置图

Fig 1 Configuration of the industrial control computer

3.1.7 主变冷却器自动启、停回路问题的探讨

主变冷却方式是强迫油循环风冷方式,其自动

启停回路的设计接口是当发电机出口开关、500kV 两台开关之一合上时,冷却系统自动启动。反之,当三台开关同时断开时,冷却系统自动停止。冷却器全停保护的原理是当冷却器全停 60 min 或变压器油面温度超过 60 达 20 min 时,冷却器控制柜将发信号给主变保护屏,使机组全停。如采用冷却器自动启、停的方式,会产生当变压器全停一个小时以上的情况下,使变压器无法投运的情况发生。解决的办法是:停用变压器的同时,停用冷却器的控制回路。

3.1.8 6 kV 低电压保护 PT断线的闭锁问题

6 kV 低电压保护作为防止核岛及常规岛厂用辅机设备电压过低的异常运行工况的保护。当 6 kV 系统发生三相同步低电压时,保护经 t_1 及出口 1 首先跳开 500 kV 开关使发电机与系统解列,如低电压没有消除则经 t_2 及出口 2 使发电机全停,具体逻辑图参见图 2。为保证低电压保护的可靠性,应设置较为完善的 PT断线闭锁。PT断线闭锁应考虑一次及二次熔丝单相、两相、三相熔断,同时当发生一次单相接地时不误闭锁低电压保护。根据 PT一次及二次熔丝单相、两相熔断时,保护装置都会测量到负序电压,而发生一次单相接地时又无负序电压的特点,采用了负序电压来实现 PT断线闭锁的功能。这种方法不仅能反映熔丝熔断故障,而且也可反映 PT二次线的断线故障。本厂的 PT二次采用了三相联动空气开关,利用空气开关的辅助接点来实现二次三相断线的闭锁功能。由于 PT一次熔丝不带机械撞针和相应的辅助接点,无法实现 PT一次熔丝的三相熔断闭锁功能,建议今后增加机械撞针和相应的辅助接点以便实现更完善的 PT断线闭锁功能。

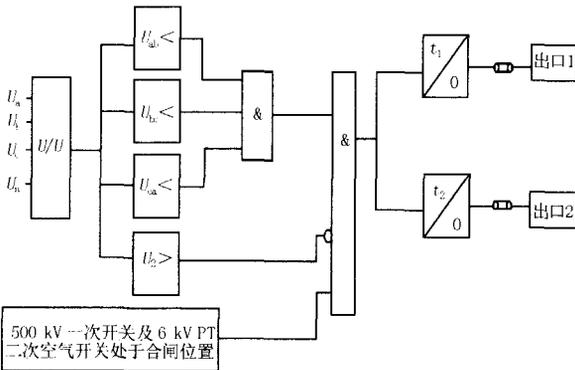


图 2 6 kV 低电压保护逻辑图
Fig 2 6 kV low-voltage protection logic

3.2 误动原因分析及对策

3.2.1 压力释放保护误动

在正常运行和区外故障的情况下,变压器的压

力释放保护易发生误动。主要的原因是压力释放器本身不可靠。

解决的方法:将该保护投信号(根据变压器的运行规程的要求,该保护宜投信号)或加必要的电气量闭锁。本厂采用了前者。

3.2.2 6 kV 低频率保护误动问题

由图 3 可见,6 kV 低频率保护改进前,闭锁电压采用了 AB 相间电压,测频采用了 A 相电压。由于本保护是通过检测工频电压过零点加计数器的方法来实现测频的,当测频电压低于保护装置的最小灵敏测频电压(8 V)时,保护将视为低频率。运行中发生 6 kV 系统 A 相由弧光接地转为金属性接地时(残压由 20 V 降到 2 V),该保护发生了误动作。

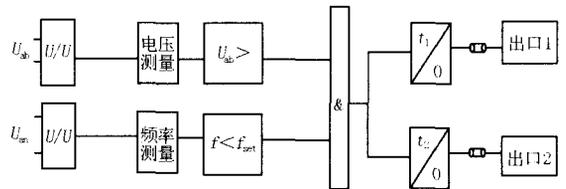


图 3 6 kV 低频率保护改进前逻辑图
Fig 3 Logic of 6 kV low frequency protection before improved

解决的方法:由图 4 可见,6 kV 低频保护改进后,将测频电压由相电压改为相间电压。为了防止测频通道的硬件故障而导致低频保护误动作,增加了频率范围的检测功能。改进后进行了较详尽的静态模拟试验,证明改进后的效果良好。

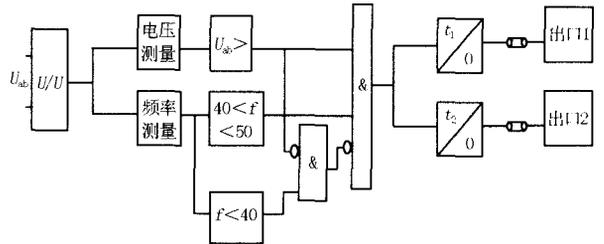


图 4 6 kV 低频率保护改进后逻辑图
Fig 4 Improved logic of 6 kV low-voltage protection

3.2.3 主变低压侧接地保护误动作问题

该保护是在发电机出口开关断开时,作为主变低压侧、厂变高压侧及相应的隔相封闭母线的接地保护。由图 5 可见,该保护未采取任何防止 PT断线的措施。在运行中曾发生过 PT二次(P T的一次无熔断器)绕组断线并与三次绕组搭接的复杂故障,该保护在这种情况下发生了误动作。另外,考虑到如果 PT三次绕组的内部发生故障也会导致该保护的误动作。因此,必须采取有效措施来解决这样的误动作问题。

解决的方法:增加 PT断线闭锁逻辑,参见图 6。有了该逻辑就可避免由于 PT的各种故障而导致的保护误动作,该方案已投入使用。

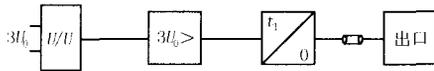


图 5 主变低压侧接地保护改进前逻辑图

Fig 5 Logic of the low-voltage side ground protection of the voltage transformer before improved

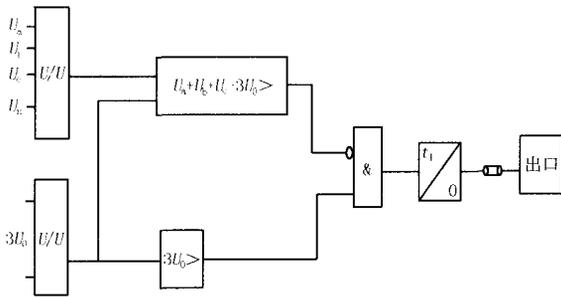


图 6 主变低压侧接地保护改进后逻辑图

Fig 6 Logic of the low-voltage side ground protection of the voltage transformer after improved

3.2.4 发电机出口开关非全相保护误动作问题

发电机出口开关非全相保护是开关厂家配套的,安装在开关的电气控制柜内。该保护未采用负序电流闭锁措施。在调试过程中,发生过开关的辅助接点未转换到位和由于交直流共用一颗电缆的耦合干扰而导致保护误动作的问题。交直流共用一颗电缆对保护的影响不仅限于绝缘的问题,其相互的耦合干扰也会影响保护的正确动作(参见图 7、8 发电机出口开关非全相保护改进前示意图)。对于国外的开关应特别注意这方面的问题,因为国外没有这方面的具体规定,在签定技术协议时应明确这方面的要求。另外,时间继电器 K9 是交直流两用的继电器,动作功率极低也是导致误动的原因之一。

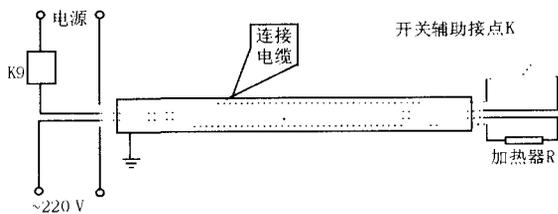


图 7 发电机出口开关非全相保护改进前的示意图

Fig 7 Open-phase running protection of generation outlet switch before improved

解决的方法:

增加负序电流闭锁; 将交直流电缆分开;

提高继电器的动作功率(两端并联电阻)。参见发电机出口开关非全相保护改进后接线图(图 9)。经过上述改造,该保护运行两年多,未发生过误动作和误发信号的情况,说明该方法处理的较为彻底。

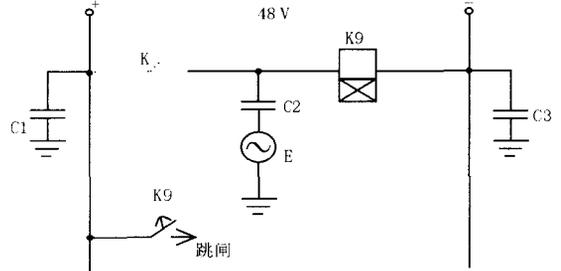


图 8 发电机出口开关非全相保护改进前示意图

Fig 8 Open-phase running protection of generation export switch before improved

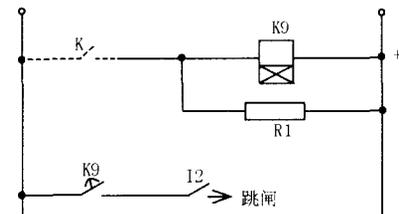


图 9 发电机出口开关非全相保护改进后接线图

Fig 9 Open-phase running operation of generator export switch before improved

4 发电机注入式 100% 定子接地保护的试验研究及改进

为了积累注入式定子接地保护的运行经验,对现场实际可能发生的各种故障进行了分析。对定子接地保护进行了试验研究,并进行了相应的改进。

4.1 中性点接地变压器二次 0.173 kV 线圈短路试验(见图 10)

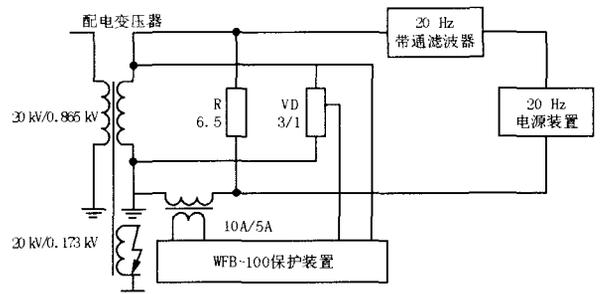


图 10 中性点接地变压器二次线圈短路示意图

Fig 10 Secondary coil short-circuit of neutral earthed transformer

中性点接地变压器二次侧 0.173 kV 线圈发生短

路故障后,当中性点接地变压器与发电机联接或不联接时,由保护装置计算到的一次侧接地电阻值分别为 5.989 k 和 5.685 k,由于保护一次侧接地电阻高定值为 5 k,计算值大于此高定值,故保护装置没有发信号。但从计算结果来看,中性点接地变压器的另一个线圈(0.173 kV 为零序电压型 95%定子接地保护所用)发生短路故障后,会对 20 Hz 注入式 100%定子接地保护的接地电阻计算值产生影响,如果保护高定值整定的较小,也可能会发信号。试验结果见表 2。

解决方法:20 Hz 注入式 100%定子接地保护接地电阻高定值整定时,参考另一个二次绕组发生短路故障时由保护装置计算的接地电阻值,以防止保护不必要的发信号。

表 2 试验结果

Tab 2 Test result

二次侧 中性点 电阻 / /k	一次侧 实际接 地电阻 /k	二次侧 20 Hz 电 压 /V	二次侧 20 Hz 电 流 /A	接地电 阻计算 值 /k
6.5		2.579 88.58°	0.401 56.85°	5.989

4.2 20 Hz 注入式 100%定子接地保护装置输入电压引线断线试验

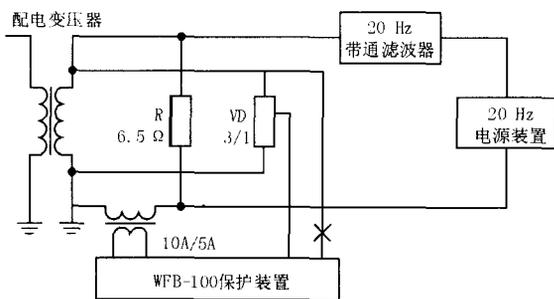


图 11 保护装置输入电压引线断线故障示意图

Fig 11 Lead wire broken circuit of protection imports

表 3 试验结果

Tab 3 Test result

二次侧 中性点 电阻 / /k	一次侧 实际接 地电阻 /k	二次侧 20 Hz 电 压 /V	二次侧 20 Hz 电 流 /A	接地电 阻计算 值 /
6.5		0.003 132.93°	0.018 166.66°	1.340

保护装置输入电压引线发生断线故障,保护装置测得的 20 Hz 电压接近 0 (存在零漂),而测得的 20 Hz 电流还是正常值。如果该电流超过电流的启动值,则计算的接地电阻值可能较小,使保护装置误发信号或误动作。试验结果见表 3。

解决方法:通过增加启动电压值 ($U_{20} <$) 及启动电流值 ($I_{20} <$) 的门槛值逻辑来解决,参见图 12。启动电压值按一次侧发生金属性接地故障时保护装置测得的 20 Hz 电压值整定。启动电流值按正常时,保护装置测得的 20 Hz 电流值整定。

本厂发电机一次侧金属性接地故障时,保护装置测量到的 20 Hz 电压在 0.3 V 以上;对于发电机正常运行时,保护装置测量到的 20 Hz 电流也在 0.2 A 以上。为了防止保护的拒动,保护的启动电压取发电机一次侧金属性接地时,保护装置测量到的 20 Hz 电压的一半。保护的启动电流取发电机正常运行时,保护装置测量到的 20 Hz 电流的一半。这样在实际应用中,保护装置计算接地电阻的启动电流可取 0.1 A,启动电压可取 0.15 V。

当发生 20 Hz 电源电缆短路故障时,保护装置测量到的 20 Hz 电流和电压都会低于启动值,则保护程序判断为 20 Hz 电源故障,接地电阻的计算值显示为特定的 655.360 k。只有保护装置测量到的 20 Hz 电压大于一次侧发生金属性接地故障时所测得的电压值的一半和保护装置测量到的 20 Hz 电流大于发电机正常运行时所测得电流的一半时,保护装置才允许出口跳闸。否则,保护认为 20 Hz 电源或电压引线发生故障而发出告警信号。

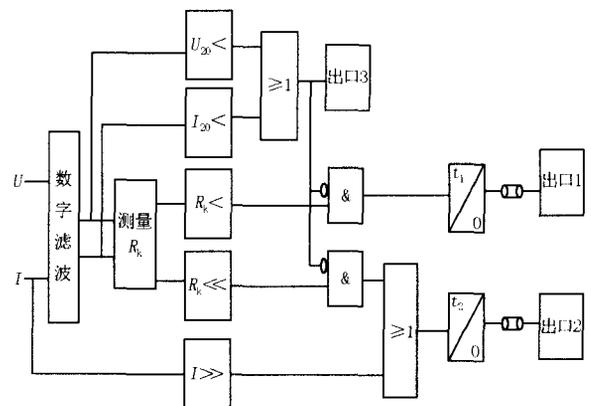


图 12 发电机 20 Hz 定子接地保护改进后逻辑图

Fig 12 20Hz generator stator ground protection logic after improved

5 装置性能的改进建议

1) 测频方法应进行完善:对于机组保护使用频率的保护很多,如差动保护的频率跟踪;低频保护;过励磁保护;低频累加保护;误上电保护;过频保护等等。因此,频率测量的准确与否,对保护的動作行 (下转第 78 页 continued on page 78)

allenge It is the duty-bound responsibility for the electric power staffer and the government interrelated department to mark out and construct the urban distribution system reasonably. Selection of transformer substation situation, principle of feeder way of transformer substation and fundamentals of loop net composing and feeder's connection are given. Discussions on these issues are propitious to layout and construction of urban distribution.

Key words: urban distribution; layout; construction

(上接第 32 页 continued from page 32)

为有很大影响。通过检测工频电压过零点加计数器的方法,有以下不足:必须具有相应独立的测频通道,给现场应用带来不便;易受电源谐波分量和注入的 20 Hz 电源的影响。应研究在不增加硬件和降低测量精度的前提下,使用软件方法测频。

2) 录波文件的完善:录波文件中无开关量,对判断保护的動作行为会带来不便。同时,录波文件应注明是哪个 CPU 的、什么时间的录波文件。对于录波文件,应保证在发生保护和监控工控机断电的各种情况下的不丢失。

3) 告警灯的完善:在监控工控机死机和掉电的情况下,每个保护单元(CPU)的故障告警灯均会点亮,这对装置的运行和故障判断不利。

6 结束语

国产发变组保护投运三年来,经历了区外单相接地短路 50 多次,最严重的是经历了一次区外三相短路,保护无误动作和误发信号的情况。

发生了一次在厂变差动范围内的电缆头短路事

Domestic large-scale microprocessor protection debugging and operation of generator transformer unit and its auxiliary transformer

LIDe-jia

(Nuclear Power Qinshan Joint Venture Co., Ltd, Haiyan 314300, China)

Abstract: This paper summarizes debugging and operation conditions of Qinshan secondary stage of generator-transformer unit and its auxiliary transformer microprocessor protection. Reason analysis is made and countermeasures are put forward. It is a reference for similar power plants.

Key words: computer based protection; generator; transformer; nuclear power

故,差动保护正确动作,60 ms 就将故障切除。事后对厂变进行了绕组变形试验、直阻试验、短路阻抗试验、绝缘试验,一切正常后投运,运行至今没有发生异常。这说明保护的速动性能减少对被保护设备的损伤。

通过运行情况的总结,证明该装置硬件稳定可靠、软件设计合理、保护配置正确妥当,能够满足大型发电机组对继电保护的要求。

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,1998
WANG Wei-jian. Principle and Application of Electric Power Equipment Protection[M]. Beijing: China Electric Power Press, 1998

收稿日期: 2005-01-24; 修回日期: 2005-04-14

作者简介:

李德佳(1964-),男,高级工程师,主要从事继电保护的调试和运行;Email: jiajiadedelili@sohu.com

(上接第 61 页 continued from page 61)

Reliability evaluation for HVDC systems based on Bayesian network with multi-state nodes

CHEN Bi-yun, REN Zhen, LI Hong-ning

(South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: With flexible inference mechanisms, Bayesian networks can describe inherent relations of the system in depth. A method of reliability evaluation for HVDC systems based on Bayesian network is proposed in this paper. Multi-state nodes are used to denote the multiple states of system and elements, which can effectively deal with the special backup modes. Belief matrices are proposed to describe the linking connection of elements from different layers, which can be used to evaluate the weak points of the system. Furthermore, automatic updating function of Bayesian networks can be used to forecast the future state of the system based on the current state of elements or sub-systems. The validity of the proposed method is proved by a test system.

Key words: Bayesian network; HVDC system; reliability; belief matrix