

大型水轮发电机组微机保护装置的总体设计

邵能灵¹, 侯志俭¹, 李晓华², 尹项根², 陈德树²

(1. 上海交通大学电力学院, 上海 200030; 2. 华中科技大学电力系, 湖北 武汉 430074)

摘要: 介绍了大型水轮发电机组微机保护装置新的特点、总体结构和子系统任务分配。结合软、硬件技术的最新发展成果, 提出一种适合于600MW以上大型水轮发电机组微机继电保护装置的总体设计方案。

关键词: 大型水轮发电机; 微机保护

中图分类号: TM774

文献标识码: A

文章编号: 1003-4897(2001)08-0028-04

1 前言

随着发电机单机容量的迅速增大,对机组本身乃至电力系统的安全可靠运行的要求越来越高。大型发电机、变压器结构复杂、造价昂贵,一旦发生严重故障而损坏,会给维修工作带来很大困难,造成经济上的重大损失。此外,大型机组的事故切除会给电力系统造成较大的扰动,影响电网的安全运行。因此,在考虑大机组继电保护方案时,应从整体角度出发最大限度地保证机组安全;一旦发生事故,又要尽可能地缩小故障破坏范围。这不仅要求单个保护继电器具有良好的可靠性、灵敏性、选择性和快速性,在保护配置上还应做到完善、合理,同时要力求避免繁琐、复杂。由于发变组内部短路后果严重,因此对于反应发变组内部短路故障的主保护应采用双重化甚至多重化配置,并采用不同的保护原理实现。传统的模拟式保护装置已不能完全满足大型机组继电保护的需要。而微机保护装置由于其高可靠性、高灵敏度和配置灵活等显著优点目前正逐步成为大型和超大型发电机组的主要保护设备^{[1][2]}。

经过数年的运行实践,国内的发变组微机继电保护装置积累了许多宝贵的经验,同时也暴露出一些不足,需要在总结这些经验教训的基础上进一步提高装置的性能。另一方面,国内三峡工程、二滩水电站等项目的上马,使得开发性能更高,保护配置更完备的继电保护装置的任务更加紧迫。近年来,在科研工作者的不断努力下,一些高性能的保护新原理被开发并得到了实际应用;计算机和相关科学的进步,也为大机组微机保护技术的创新提供了物质基础。

2 大型水轮发电机组微机保护装置的特点

微机超强的信息记忆、交换和处理能力以及硬件的通用性,使得不仅在单项保护原理和性能上,更

重要的是在大机组继电保护整体结构、配置方案以及设计思想上发生重大变化:

(1) 单机容量的增大,并不意味着机组承受故障的能力提高。相反,其承受故障的能力远比中小型机组低。因此,原有保护的性能指标应加以改善,如差动保护的动作时间越短越好,这样可将机组的损伤减少到最低限度。

(2) 保护的可靠性不再单纯地从单一保护的角度,而是从系统整体角度来保证。因此,保护应该以简单的设计来提高其可靠性。但由于我国的电力系统比较薄弱,很多本应由系统解决的问题却交由保护来完成,使继电保护十分复杂而且脆弱,降低了保护装置的安全性和可靠性。微机型发变组保护将所有保护功能分散于对应的几套独立硬件功能块,块内的若干保护取用相同的信息源,简化了信息线,以及装置的自检和互检功能等都有益于提高可靠性。由于硬件模块基本相同,便于简化保护配置、统一设计和日常维护,进一步提高了可靠性。同时,模块化设计使得在原理的选择上,可以优先选用性能好、灵敏度高、可靠性高的保护。

(3) 基于大型水轮发电机定子绕组多分支的特点,在选择保护原理及其相应技术时应重点考虑保护灵敏度的改善和新原理方案的合理搭配。保护配置种类及多重化完全遵循大型水轮发电机组保护的技术规范,必须实现双重化的保护分散在不同的机箱内,而且尽可能放在不同的屏柜内,避免因任何一处故障使主要保护功能完全丧失。同时,还应通过不同保护间的相互配合来自动改善保护性能。如事先存入多种保护配置和保护方案,根据运行状态变化自动适时切换和人工切换以使装置达到最佳效果。

(4) 充分发挥网络的功能,使得保护装置在各保护子系统独立工作的同时,加强各子系统之间的

联系,充分利用整套装置在硬件、软件资源上的冗余配置,强化装置的整体功能。例如各子系统之间不但可以利用网络实现软硬件互检,并且可以互相传递一些保护信息,对于一些复杂的保护进行综合评判。网络功能的加强,还体现在可以将上层管理机接入调度系统,从而使本保护装置成为电站综合自动化中的一员。

(5) 微机技术的发展,使得一些用传统保护装置难于实现的保护原理得到应用。如故障分量原理、自适应原理等。同时,大型发变组保护种类多、原理复杂,加上可能兼担其它如故障录波功能,对CPU的运算速度和能力、系统内存空间大小及外存容量等有更高的要求,一般的单片机系统难于完全满足要求,宜选用更高档次的硬件系统。

3 微机继电保护的配置

在综合考虑继电保护规程和一些典型设计方案的基础上,提出适合于600MW以上水轮发电机组继电保护的配置。保护品种类型如下:

表1 大型水轮发电机微机保护方案配置

序号	保护名称	备注
1	发电机纵联差动或不完全差动保护	相间短路保护
2	发电机定子内部不对称短路保护	匝间短路保护
3	发电机横差保护(或裂相保护)	匝间短路保护
4	发电机定子接地保护	双重化
5	发电机定子过电压保护	
6	过激磁保护	反时限
7	发电机后备保护	
8	发电机定子过负荷保护	反时限
9	发变组失步保护	
10	发电机失磁保护	双重化
11	发电机转子表面过热保护	负序过负荷
12	发电机励磁回路过负荷保护	反时限
13	发电机转子一点接地保护	
14	轴电流保护	
15	主变差动保护	双重化
16	主变零序保护	双重化
17	主变通风启动元件	
18	厂变差动保护	
19	厂变过流保护	
20	厂变过负荷保护	
21	厂变通风启动元件	
22	励磁变差动保护	
23	励磁变过流保护	
24	励磁变过负荷保护	
25	励磁变通风启动	
26	非全相保护	
27	断路器失灵启动元件	
28	CT断线检测闭锁元件	各子系统均有
29	PT断线检测闭锁元件	各子系统均有

在表1中,主保护仍以差动保护为主,同时增加匝间短路保护,即发电机定子内部不对称短路保护和横差保护(或裂相保护)。定子内部不对称短路保护由故障分量的负序功率方向保护与转子二次谐波(或纵向零序电压)构成双重判据。由于它们的灵敏度很高且能反映发电机内部各种不对称故障,使主保护实现了多重化。整个系统配置的特点如下:

(1) 双重化措施。对定子绕组短路,定子绕组接地,失磁,变压器绕组短路等故障均采用了双重化保护,如对于定子绕组短路故障配置了纵联差动(或不完全差动)保护,不对称保护及横联差动保护,使匝间和相间短路保护均实现了双重化。

(2) 不对称保护采用了故障分量原理,提高了对付发电机定子绕组匝间短路的灵敏度。

(3) 双重化的定子绕组接地保护由双频式零序电压保护和外加电源式保护方案(20Hz)构成。其中,三次谐波电压式定子接地保护采用自适应原理(或基于故障分量的三次谐波电压保护判据)^[3],较大幅度地改善保护的灵敏度。

(4) 失磁保护综合应用机端测量阻抗、无功进相、 U_{TP} 判据、负序闭锁、母线低电压等多重判据,改善了动作的可靠性。

(5) 定子过负荷、转子过负荷及机组过激磁保护均实现了反映变电流热积累过程的反时限原理,能更准确地反映异常发热。这对于热容比较小的特大型发电机组是十分重要的。

(6) 转子一点接地保护采用外加直流、切换测量原理,外加直流由单独的装置直接提供,不增加一次设备负担,在发电机停机时保护仍能正常监测和动作,切换测量方式确保了在保护范围内任意部位发生一点接地都能有较高的灵敏度。

(7) 为满足大型水轮发电机的要求,特别增加轴电流保护。

以上配置设计主要突出了大机组微机保护的完整完整性。从可靠性的要求出发,应保证双重主保护之间,以及主、后备保护之间有足够的相对独立性。为此需要提供相当的硬件资源,如至少提供一定数量的独立的硬件子系统,并合理利用它们,以求得较高的性能价格比。完整的配置不仅对适应不同的现场要求有利,也为进一步开发留有余地。在需要简化保护配置的场所,只需通过软件控制就能屏蔽掉不需要的保护软件,这是微机保护所特有的优点。

4 分层多微机继电保护的结构

·系统结构

目前国内外几种发变组保护系统构成主要有三种:集中式、分散式和主从式。在实际应用中,它们都各有优缺点^{[2][4][5][6]}。其中,主从式结构由一个管理系统与多个任务子系统构成,子系统共同承担保护功能,管理系统主要完成对各任务子系统的调试、维护及运行管理等功能,各系统之间依靠数字通信网进行信息交换,这种依靠通信网的联系既不破坏各子系统的相互独立性,又达到了统一管理的目的,对于大型发变组保护而言,是一种比较适宜的结构方式。因此,本文提出以工业控制系统机为主的基于实时网络的主从式硬件结构方案(图1)。该方案采用分层多微机结构:多个独立的保护子系统构成保护层;管理机、打印机以及人机接口(显示器和键盘)等组成管理层,两层之间通过一个实时总线型网络相连。保护层有若干个相互独立、结构相同的微机任务子系统构成。共同完成发变组的全部保护功能。管理层主要负责各子系统的调试、检测整定值管理、故障报告的存储及打印等。考虑到管理层的特点及发变组保护一般采取组屏的方式,管理机可采用PC总线的一体化工业控制机(集显示器、主机、键盘、软硬驱于一体)。采用PC工业控制机的另一个好处是与全厂综合自动化系统的接口十分灵活。

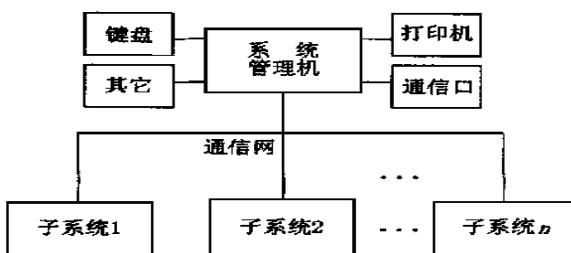


图1 主从式发变组微机保护系统结构图

·CPU的选择

大型发电机组继电保护对速度、计算量有更高的要求。即使采用多CPU并行工作来分担保护任务,每个CPU承担的保护功能仍较多,同时考虑到机组保护原理的复杂性,以及为将来的发展留有冗余,在CPU的选型上应主要着眼于CPU的算术运算功能、运算速度,并顾及软件、硬件中断功能。此外,市场供货情况和CPU的可靠性也是要考虑的因素。近年来美国TI公司生产的TMS320C32数字信号处

理器(DSP)芯片,将系统控制和强大的数学处理功能集成于单个芯片上,以实现快速、简洁的数据存储和高速的数字处理。因此,其处理功能强且可减少外围支持芯片,选择它将有利于保护的整体设计。在保护装置中,DSP除了肩负以往由主CPU完成的主要保护运算外,还可以用来作为高性能智能A/D的CPU。在智能DSP系统中还加入了开关量输入/输出的功能。这样,保护装置可以直接通过DSP发出保护动作信号,不必经过主CPU,大大缩短了装置的动作时间。

·通信

继电保护的通讯有许多特点。例如装置以采样、保护功能为主,通讯任务不能干扰装置的正常工作;各下层机独立实现各自的保护功能,任何一个或多个子系统退出运行,均不能影响其他子系统的正常工作,另一方面,任何一个子系统在调试或维修完毕上电运行时,应该能在不影响其他子系统的条件下自动或手动上网;保护装置内部的通信网络一般距离较短,集中在一面屏内或仅在相邻的保护屏之间;装置平时通讯量很小,只在用户操作时有通信任务,但是一旦被保护设备发生故障,往往多个子系统均有保护动作,会造成通信冲突。

随着计算机技术的发展,关于现场通信有一点已成为共识,即总线型网络构成的通信系统,具有冗余功能,网上每个节点都可与其他节点通信。这样可提高系统的可靠性、灵活性和实时性,克服了传统的现场通信技术本身存在的缺点。LonWorks现场总线技术的最大特点就是功能强大、使用简单、适应性强,特别适合于工业控制现场使用。它遵循国际标准化组织(ISO)制定的开放系统互连(OSI)参考模型。不受通信媒介的限制,可在不同的通信媒介中通信。通信速率可达1.25M bits/s。LonTalk协议还能设置优先级,允许用户认为重要的信息优先发送。此外,LonTalk协议还具有完善的网络管理和诊断服务功能。只需处理好接口的隔离与驱动,即可通过各种媒介可靠、经济、灵活地组网,而且网络扩展、系统维护也很方便,因此可作为首选的现场级通信媒介。

5 子系统间保护任务的分配

为了在子系统间分配保护任务,按优先权顺序主要考虑以下原则:

(1) 双重主保护间以及主、后备保护的相对独立性原则;

表2 各子系统的保护任务分配

子系统号	保护任务分配	备注
子系统一	发电机纵联差动 (或不完全差动保护)	突变量启动的比例差动原理、CT断线闭锁(可投退)
	发电机失磁保护	
	发电机失步保护	
	发电机定子对称过负荷保护	
	励磁变过流保护	
	励磁变过负荷保护、励磁变通风启动元件	
	PT、CT断线检测元件	
	励磁变冷却器故障保护	
	励磁变压力释放保护	
	励磁变轻瓦斯保护	
子系统二	发电机定子不对称故障保护	多重启动、故障分量的负序功率方向与闭锁式转子二次谐波(或纵向零序电压)双重判据、PT断线闭锁
	发电机定子过电压保护	
	100%定子接地保护	
	厂用变过流保护	
	厂用变过负荷保护、厂用变通风启动元件	
子系统三	PT断线检测闭锁元件	突变量启动、比例差动式、二次谐波闭锁、CT断线闭锁(可投、退)原理 零序分段和间隙零序
	厂用变冷却器故障保护	
	厂用变压力释放保护	
	厂用变轻瓦斯保护	
	主变差动保护	
	主变零序保护	
	主变通风启动元件	
	发变组后备保护	
	断路器失灵启动元件	
	非全相保护	
子系统四	主变冷却器故障保护	负序过负荷 迭加直流切换原理
	主变压力释放保护	
	主变轻瓦斯保护	
	厂用变差动保护	
	励磁变差动保护	
	发电机横差保护(或裂相保护)	
	发电机轴电流保护	
	发电机转子表面过热保护	
	转子一点接地保护	
	CT断线检测闭锁元件	
子系统五	厂用变重瓦斯保护	定时限报警、反时限跳闸、速断跳闸 外加 20Hz 电源
	厂用变温升保护	
	励磁变重瓦斯保护	
	励磁变温升保护	
	主变差动保护	
	发电机失磁保护	
	发变组过激磁保护	
	100%定子接地保护	
	主变零序保护	
	励磁回路过负荷保护	
PT、CT断线闭锁元件		
子系统五	主变重瓦斯保护	
	主变温升	

(2) 保护功能互补原则；

(3) 各子系统任务处理负担相对均衡原则；

(4) 尽可能使每一子系统相对于某一被保护对象有一定的确定性。

表2是各子系统的保护任务分配简介。

子系统1和2主要包括发电机A组和B组保护。子系统3和5主要是变压器保护。子系统4主要包括部分发电机保护和厂用变保护。上述保护配置和任务分配方案也适合于汽轮发电机组,但一般可省去横差保护、轴电流保护,并增加一些如低频、逆功率保护、励磁回路两点接地保护等方案。对于两机-变压器的保护配置,将存在一台发电机发生定子接地故障时,如何保证接地保护的选择性的问题。由于目前尚无理想的方案,需要进一步研究和完善新原理的接地保护方案(如行波保护)。

闭锁式转子二次谐波判据在应用中必须保证做到:方向元件的动作速度应比启动元件快,以确保外部不对称短路时不误动,方向元件的返回速度应比启动元件慢,避免在切除外部不对称短路时误动作。同时还应注意使负序方向继电器的灵敏度高于转子二次谐波电流继电器,否则在外部不对称故障时不能实现可靠闭锁。

在早期的运行过程中,负序闭锁式转子二次谐波电流保护发生了一些误动情况。事后经详细分析发现,其原因均是由于继电器制造和调试工作的疏忽,没有注意负序方向元件应比转子二次谐波电流元件动作快而返回慢导致。微型继电器保护则不存在上述问题,利用软件编程就能很好地解决闭锁元件和动作元件之间的时间配合,因此,负序闭锁式转子二次谐波电流保护将是一重可靠的发电机主保护。在转子二次谐波电流难以获取的情况下,可以采用机端三次谐波正序电压取代转子二次谐波电流判据作为保护方案,同样能取得较高的灵敏度和可靠性。

此外,装置选择跳闸类型或告警时应主要由故障类型、用户经验以及现场条件等综合决定,保护装置应允许用户修改出口方式。如对于那些一旦设备发生故障,就必须立即动作将故障切除的保护定为瞬时跳闸。对于那些虽然紧急,但不会造成设备立即损坏的故障则采用延时跳闸。为符合现场习惯,每个保护子系统每项保护均有独立的出口逻辑回路和面板信号;各个子系统的所有出口经操作输出综合部件,形成统一出口,实现瞬时跳闸、延时跳闸、跳闸灭磁、停机、减出力以及声光告警等功能。

一种使用 PLC 集成的全分布式变电站自动化系统

王志华¹, 沈鲁豫²

(1. 南京理工大学瑞德公司, 江苏 南京 210094; 2. 南京电力高等专科学校, 江苏 南京 210013)

摘要: 介绍一种使用 GE90-30 PLC 为通信管理单元构成的全分布式变电站自动化系统的基本构成和原理, 同时也简单介绍了 GE 公司的 SR745 变压器保护及 DFP100 馈线保护的基本功能和特点, 最后讨论了使用 PLC 为通信管理单元构成的全分布式变电站自动化系统的优缺点。

关键词: PLC (Programmable Logic Controller); 通信管理单元; 以太网

中图分类号: TM63; TM76

文献标识码: B

文章编号: 1003-4897(2001)08-0032-03

1 前言

目前, 变电站自动化系统已经在我国电力系统中得到了广泛的应用, 其种类也比较繁多。最近几年, 用于中低压系统的全分布式变电站自动化系统也日益增多。而国内变电站自动化系统中, 通信管

理单元一般由各保护生产厂家自行研制, 功能专一, 装置简单, 但其扩展性不强, 不适合功能较全面且产品通信接口不一致的场合(如含有五防系统或产品来源于不同厂家等)。而采用已成熟的 PLC (Programmable Logic Controller) 技术, 则可较好地解决上述问题。由于大部分 PLC 是由专门的制造商生产,

6 小结

在综合考虑了装置的经济性、可靠性、易维护性等各个方面后, 整个保护系统将具有以下几个特点:

(1) 一体化功能: 装置将由一台上层管理机和五套下层保护子系统通过通讯网络构成。由上层机完成系统管理和人机对话, 下层子系统完成保护功能。这样既保证了操作的集中和方便, 又保证了保护功能的分散和安全。

(2) 每面屏柜均有独立的电源控制, 上层机和各下层保护子系统均有独立的电源设备。各保护系统从输入到输出回路均相互独立, 确保装置一处故障不影响健全部分的正确工作。

(3) 每个子系统的输入、输出及电源回路均组装在一个机箱内, 没有跨机箱的内部连线, 可有效地抑制窜入干扰。电源、输入、输出回路均采取了隔离、屏蔽、退耦、接地等完善的抗干扰措施。

(4) 为进一步提高可靠性, 下层保护系统应采用较全面的自检措施, 并可实现上下层机之间的互检。

参考文献:

- [1] 王维俭. 电气主设备继电保护原理与应用. 北京: 中国电力出版社, 1996.
- [2] 刘世明. 三峡发电机组内部故障分析方法及其继电保护系统的研究. 华中理工大学, 博士学位论文, 1999.
- [3] 邵能灵, 尹项根. 三峡大型水轮发电机定子接地保护方案研究及灵敏度分析. 电力系统自动化, 2000, 24(7).
- [4] 王维俭, 刘俊洪. 大型发电机内部短路主保护的发展新动向. 电力自动化设备, 1994, (1).
- [5] IEEE Power System Relaying Committee. Application of Multifunction Generator Protection Systems. IEEE Trans PWRD, 1999, 14(4).

收稿日期: 2001-01-18; 改回日期: 2001-04-03

作者简介: 邵能灵(1972-), 男, 博士后, 主要研究方向为电力市场, 电力系统继电保护, 电力系统安全稳定控制等; 侯志俭(1942-), 男, 博士生导师, 主要从事电力系统安全经济运行、控制、规划和电力市场的理论及其应用的教学和研究工作; 李晓华(1975-), 女, 博士研究生, 研究方向为电力系统继电保护。

Microprocessor-based protection system design for large hydro generator unit

TAI Neng-ling¹, HOU Zhi-jian¹, LI Xiao-hua², YIN Xiang-gen², CHEN De-shu²

(1. Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China;

2. Huazhong University of Science & Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: This paper discusses special requirements, the configuration of the protection scheme for the system design of the large hydro generator unit. Based on the new technology of the hardware and software, the protection system suitable for the large generator (above 600MW) is presented.

Key words: large hydro generator; microprocessor-based protection