

发变组保护在大型电力系统中的应用与挑战研究

杜沛聪

国电电力邯郸东郊热电股份有限公司 河北 邯郸 056002

摘要: 随着大型电力系统的不断发展,发变组作为核心设备的保护至关重要。本文深入探讨了发变组保护的基本原理、技术要求、配置实现方式,详细分析了其在变压器差动保护、发电机匝间保护、定子接地保护等方面面临的特殊问题与挑战,并提出了相应的维护与优化策略,旨在为提高发变组保护的可靠性与有效性,保障大型电力系统的安全稳定运行提供理论依据与实践指导。

关键词: 发变组保护;大型电力系统;保护原理;配置实现;特殊问题;维护优化

引言:在大型电力系统内,发变组是核心,其运行状况关联电力网络。故障时,易引发大小范围停电,冲击社会生产生活,故发变组保护研究极为重要。它需精准探障并速动,于复杂工况与故障时护设备安全,还得适应新能源接入、智能电网建设等新要求。因此要深入探索,持续优化其功能性能,保障电力稳定可靠供应。

1 发变组保护的基本原理与技术要求

1.1 发变组保护的基本概念与重要性

发变组保护是针对发电机和变压器组成的联合设备而设置的保护系统。它的主要任务是在发变组发生故障或异常运行状况时,能够迅速、准确地检测到故障类型和位置,并及时采取相应的保护动作,如跳闸、报警等,以避免设备的进一步损坏,减少故障对电力系统的冲击,维持电力系统的稳定运行。发变组在电力系统中的投资巨大且地位关键,其保护的有效性直接关系到电力企业的经济效益和社会的供电可靠性,是电力系统安全防护体系中不可或缺的重要环节。

1.2 发变组保护的主要原理

发变组保护依据多种电气量的变化来判别故障。例如,基于电流差动原理,通过比较发电机、变压器各侧电流的大小和相位关系,当出现内部故障导致电流不平衡超过设定阈值时,判定为故障发生并启动保护动作。对于发电机的定子绕组故障,可利用负序电流保护原理,因为正常运行时负序电流很小,当定子绕组发生不对称短路等故障时,会产生较大的负序电流。变压器保护则常采用瓦斯保护,当变压器内部发生故障产生气体时,瓦斯继电器动作,发出信号或跳闸指令。此外,还有基于电压、阻抗等电气量的保护原理,它们相互配合,共同构成了发变组保护的原理体系,以应对不同类型的故障情况。

1.3 发变组保护的技术要求

1.3.1 可靠性

保护装置应在规定的条件下和规定的时间内,准确可靠地完成保护动作。无论是正常运行、故障发生还是受到外界干扰等情况下,都不能误动或拒动。

1.3.2 选择性

当发变组发生故障时,保护装置应能够准确地判别故障区域,仅切除故障部分,而尽量避免对非故障部分的不必要切除,以减小故障停电范围,保证电力系统的供电连续性。

1.3.3 快速性

在故障发生时,保护装置要能够迅速动作,尽可能地切除故障设备,以限制故障电流对设备的损坏程度,降低故障对电力系统的暂态稳定性影响,减少对用户的供电中断时间。

1.3.4 灵敏性

保护装置对于发变组内部各种故障,无论是轻微故障还是严重故障,都应具有足够的灵敏度,能够可靠地检测到故障信号并启动保护动作,确保故障不会被遗漏而导致设备严重损坏或故障扩大。

2 发变组保护的配置与实现

2.1 发变组保护的主要配置方式

发变组保护通常采用双重化配置。即设置两套独立的保护装置,每套保护装置都具有完整的保护功能,包括主保护和后备保护。这种配置方式能够提高保护的可靠性,当一套保护装置出现故障或误动时,另一套保护装置仍能正常工作,起到后备保护的作用。主保护主要针对发变组的严重故障,如发电机定子绕组短路、变压器内部短路等,能够快速切除故障设备。后备保护则在主保护拒动或故障范围扩大时起作用,其保护范围涵盖了主保护未覆盖的区域或故障发展后的情况,如发电机的过电流保护、变压器的过负荷保护等。两套保护装置

的电源、测量回路、跳闸回路等均相互独立，并且在保护动作逻辑上相互配合，确保在各种故障情况下都能准确可靠地保护发变组。

2.2 发变组保护的硬件与软件实现

2.2.1 硬件方面

发变组保护装置通常由数据采集单元、中央处理单元、出口执行单元等组成。数据采集单元负责采集发电机、变压器各侧的电压、电流等模拟量以及开关量信号，经过滤波、采样等处理后将数据传输给中央处理单元。中央处理单元是保护装置的核心，它根据预设的保护算法对采集到的数据进行分析 and 计算，判断是否存在故障以及故障类型，并在确定故障后向出口执行单元发出相应的指令。出口执行单元则根据中央处理单元的指令，控制断路器等设备的跳闸或发出报警信号等。硬件设备需要具备高抗干扰能力，以适应电力系统复杂的电磁环境，同时要有足够的精度和可靠性，保证数据采集和处理的准确性。

2.2.2 软件方面

保护软件采用先进的算法来实现各种保护功能。例如，采用数字滤波算法对采集到的信号进行滤波处理，去除噪声干扰，提高信号质量。在故障判别算法上，有基于基波分量的算法、基于谐波分量的算法以及基于暂态分量的算法等，这些算法根据不同故障情况下电气量的变化特征来准确判别故障。软件还具备自检功能，能够实时监测保护装置自身的硬件和软件运行状态，发现异常及时报警，并且在保护装置出现故障时能够自动闭锁保护功能，防止误动作。同时，软件可根据电力系统运行方式的变化进行自适应调整，以保证保护的选择性和灵敏性。

2.3 发变组保护与其他系统的接口与协调

发变组保护需要与电力系统中的其他系统进行良好的接口与协调。与监控系统的接口能够实现保护信息的上传，如保护动作信号、故障数据等，以便运行人员及时了解发变组的运行状况和故障情况，进行故障分析和处理。与调度自动化系统的接口则可将保护信息传递给调度中心，为调度员进行电力系统的调度决策提供依据，如在发变组故障时，调度员可根据保护信息及时调整电力系统的运行方式，减少故障对系统的影响。在与同期并列装置的协调方面，当发变组需要并网运行时，保护装置要与同期并列装置配合，确保并网操作的安全可靠，防止非同期并网对发变组造成冲击损坏。此外，还需要与厂用电系统等进行协调，在发变组故障时，合理安排厂用电的切换，保证厂用电的可靠性，维持电厂

的基本运行。

3 发变组保护的 special 问题与挑战

3.1 变压器差动保护的不平衡电流问题

变压器差动保护是变压器的重要主保护，但在实际运行中会受到不平衡电流的影响。不平衡电流产生的原因主要有以下几点：一是变压器两侧绕组的接线组别不同，导致两侧电流的相位存在差异，即使在正常运行时也会产生一定的不平衡电流；二是变压器两侧电流互感器的变比难以完全匹配，特别是在变压器变比调整或更换电流互感器后，这种变比误差会使不平衡电流增大；三是变压器励磁涌流的影响，当变压器空载合闸或外部故障切除后电压恢复时，会产生励磁涌流，其幅值可达变压器额定电流的数倍甚至更高，且含有大量的非周期分量和高次谐波，这会使差动保护的不平衡电流急剧增加，容易导致差动保护误动作。为解决不平衡电流问题，通常采用相位校正、采用带制动特性的差动保护原理、采用二次谐波制动或间断角原理来鉴别励磁涌流等方法，以提高变压器差动保护的可靠性和准确性。

3.2 发电机匝间保护的灵敏度与可靠性问题

发电机匝间保护用于检测发电机定子绕组匝间短路故障。然而，其灵敏度和可靠性面临一些挑战。一方面，匝间短路故障初期故障特征不明显，故障电流较小，尤其是在轻微匝间短路时，常规的保护原理可能难以准确检测到故障信号，导致保护灵敏度不足。另一方面，发电机运行过程中受到的各种干扰，如谐波、不平衡负荷等，会使保护装置接收到的信号产生畸变，容易造成保护误判，降低保护的可靠性。为提高发电机匝间保护的灵敏度和可靠性，可采用基于负序功率方向的保护原理，利用负序功率方向在匝间短路和外部故障时的不同特征来判别故障；同时采用先进的信号处理技术，如小波分析等，对采集到的信号进行分析处理，提取故障特征分量，增强保护对匝间短路故障的检测能力，减少干扰对保护的影响。

3.3 定子接地保护的难点与改进

定子接地保护是发电机保护的重要组成部分，但存在一些难点。对于大型发电机，其定子绕组对地电容较大，在发生定子绕组单相接地故障时，接地电容电流可能较大，如果不能及时检测和处理，可能会发展为相间短路等更严重的故障。传统的定子接地保护如基波零序电压保护，在高阻接地故障时灵敏度较低，难以可靠地检测到故障。为改进定子接地保护，可采用三次谐波电压保护原理，利用发电机定子绕组在正常运行和接地故障时三次谐波电压分布的变化来检测故障；同时，采

用注入式定子接地保护方法, 通过向发电机定子绕组注入特定频率的信号, 根据接地故障时信号的变化来实现故障检测, 这种方法不受发电机运行工况和接地电阻大小的影响, 能够有效提高定子接地保护的灵敏度和可靠性, 尤其是对于高阻接地故障的检测效果显著。

4 发变组保护的维护与优化

4.1 发变组保护的日常维护与检修

日常维护与检修工作对于发变组保护的可靠运行至关重要。维护人员需要定期对保护装置进行外观检查, 查看装置是否有损坏、积尘、过热等现象。对保护装置的接线进行检查, 确保接线牢固, 无松动、腐蚀等情况。定期对保护装置的电源进行检查和维护, 保证电源的稳定性和可靠性。对数据采集单元的采样精度进行校验, 可采用标准信号源进行测试, 确保采集的数据准确无误。在检修方面, 按照规定的检修周期对保护装置进行全面检修, 包括对硬件设备的功能测试、对软件程序的升级和优化、对保护定值的核对和调整等。同时, 对保护装置的出口回路进行传动试验, 检查在故障情况下保护装置能否正确动作, 控制断路器跳闸等设备。

4.2 发变组保护的故障诊断与排除

当发变组保护装置发出报警或动作信号后, 需要及时故障诊断与排除。首先, 通过保护装置的事件记录和故障数据, 分析故障发生的时间、类型、故障电气量的变化等信息, 初步判断故障原因。例如, 如果是变压器差动保护动作, 查看差动电流的大小、相位等数据, 判断是否是由于不平衡电流过大、励磁涌流还是真正的变压器内部故障导致。对于软件相关的故障, 可通过检查保护装置的自检报告、软件运行日志等信息, 查找软件故障点, 如程序死机、数据处理错误等。在硬件故障排查方面, 采用逐步替换法, 对怀疑有故障的硬件模块, 如数据采集板、中央处理板等进行替换, 观察故障是否消失, 从而确定故障硬件并进行修复或更换。同时, 在故障排除后, 要对保护装置进行全面测试, 确保其恢复正常运行状态, 并且对故障原因进行总结分析, 采取相应的预防措施, 防止类似故障再次发生。

4.3 发变组保护的优化与升级

随着电力系统的发展和技术的进步, 发变组保护需要不断进行优化与升级。在硬件方面, 采用新型的高性能芯片, 提高数据处理速度和精度, 增强保护装置的抗干扰能力。例如, 采用高速数字信号处理器(DSP), 能够更快速准确地处理复杂的保护算法。在软件方面, 不断引入新的保护原理和算法, 如人工智能算法在故障诊断中的应用。利用神经网络对大量的故障数据进行学习和训练, 使其能够自动识别故障类型和特征, 提高故障诊断的准确性和智能化水平。同时, 根据电力系统运行方式的变化和新的技术标准要求, 及时对保护定值进行优化调整, 保证保护装置在各种工况下都能发挥最佳性能, 并且加强保护装置与其他电力系统智能化设备的互联互通, 实现信息共享和协同工作, 提升整个电力系统的智能化水平和安全可靠。

结语

发变组保护在大型电力系统中承担着保障发电设备安全稳定运行的重要使命。通过深入研究其基本原理、合理配置与实现方式, 有效应对特殊问题与挑战, 并加强维护与优化工作, 可以不断提高发变组保护的可靠性、灵敏性和选择性。在未来, 随着电力技术的不断创新, 如新能源大规模接入、智能电网的深度建设等, 发变组保护将面临更多的机遇与挑战。需要持续关注相关技术的发展动态, 不断改进和完善发变组保护技术, 以适应电力系统日益复杂的运行环境, 为社会提供更加安全、稳定、可靠的电力供应。

参考文献

- [1] 张伟, 李华. 大型电力系统中发变组保护的优化与可靠性提升[J]. 电力系统保护与控制, 2023, 51(5): 127-133.
- [2] 王丽, 赵亮. 大型水电站发变组保护的挑战与应对策略[J]. 水电能源科学, 2022, 40(6): 113-117.
- [3] 刘阳, 张伟. 大型火电厂发变组保护配置与整定原则研究[J]. 电气技术, 2022, 23(8): 56-60.
- [4] 陈刚, 李华. 基于大数据的发变组保护故障预警技术研究[J]. 电力系统自动化, 2021, 45(22): 147-153.
- [5] 赵鹏, 张伟. 大型电力系统发变组保护的技术发展趋势与挑战[J]. 电网技术, 2021, 45(1): 323-329.