

The coordination analysis of zero-sequence overcurrent protection and gap overcurrent protection of main transformer

Liubo Li

Yangcheng International Power Generation Co., Ltd., Jincheng, Shanxi, 048000, China

Abstract

In the operation of power generation and transformation units, identifying and isolating neutral point grounding faults in main transformers is a critical aspect of relay protection design. To ensure rapid and accurate fault isolation when a main transformer fails, thereby safeguarding the system's safe and stable operation, the coordination between zero-sequence overcurrent protection and gap overcurrent protection is essential. In recent years, with the refinement of dispatching requirements for the protection action modes of power generation and transformation units and the unification of national grid relay protection setting sheets, traditional zero-sequence protection configurations and tripping matrices have undergone some changes. This article provides a detailed explanation of zero-sequence overcurrent protection and gap overcurrent protection in main transformers based on practical experience and research, and offers some simple insights into their coordinated implementation for reference.

Keywords

generator and transformer group; main transformer; zero-sequence overcurrent protection; gap overcurrent protection; coordination analysis

主变压器零序过流保护和间隙过流保护配合分析

李刘博

阳城国际发电有限责任公司, 中国·山西 晋城 048000

摘要

在发变组运行过程之中, 主变压器中性点接地故障的判别和切除是继电保护设计中非常重要的课题。而为了实现当主变压器发生故障后能够快速正确地将故障进行切除, 保障系统的安全稳定运行, 零序过流保护和间隙过流保护二者配合十分关键。近年来, 随着调度对于发变组单元保护动作方式的不断细化以及在国家电网继电保护定值单统一规范之下, 传统的零序保护配置方式与跳闸矩阵也发生了一些变化。本文通过总结实践与研究情况下对主变压器零序过流保护及间隙过流保护进行了详细阐述, 并就二者配合实现提出一些简单看法, 以供参考。

关键词

发变组; 主变压器; 零序过流保护; 间隙过流保护; 配合分析

1 引言

主变压器是发电厂和变电站发变组电气主接线的核心设备, 保证主变压器的运行安全才能保证整个站的可靠供电。随着电网结构不断趋于复杂, 调度要求不断提高, 主变压器的保护也要进行更加精细化和完善化, 而传统主变压器的零序过流保护和间隙过流保护由于其侧重点不同, 两者常常会有重复的动作逻辑, 或者存在互相重叠和死区, 在这种情况下主变压器的保护效果不甚理想^[1]。为此, 下文针对在主变压器停、送电倒闸操作中, 因中性点接地方式变化而需要时间来修改保护定值, 大大延长了主变运行方式切换时长的问题, 结合零序过流保护和间隙过流保护原理, 根据现场

实际接线方式进行分析, 给出了主变中性点倒换操作中零序过流保护和间隙过流保护配合举措。

2 主变压器零序过流保护和间隙过流保护概述

2.1 主变压器零序过流保护概述

主变压器零序过流保护是以主变中性点或三相外接零序电流为检测量, 对接地故障尤其是一次接地引起的零序电流异常变化进行识别的保护措施。在发变组系统中, 该保护常采用电流互感器构成零序电流回路, 通过动作定值及时间延时设置, 达到故障识别与动作出口逻辑的协调。实际运行中, 零序过流保护一般分为两段, I段常动作于解列, II段动作于全停, 分别对不同严重程度的故障进行快速响应与隔离。例如, 某发变组配置中, 两段定值均为0.4A, 动作延时均为5s, I段出口解列、II段出口全停, 以满足《国家电网华东电力调控中心继电保护定值单》第14/500-1258号)

【作者简介】李刘博(1983-), 男, 中国山西永济人, 硕士, 助理工程师, 从事继电保护研究。

中提出的“主变中性点零序流出口方式为停运发变组单元”的具体要求。但由于Ⅰ段动作后可能导致Ⅱ段退出，为确保故障彻底切除，Ⅰ段保护通常被屏蔽，同时跳闸矩阵中对应列插针设为“备用”，以避免保护失配^[2]。

2.2 主变压器间隙过流保护概述

间隙过流保护是一种在主变中性点接地系统电弧或者高阻接地时，零序电流还没有达到零序保护定值而发生漏保护的现象下的特殊保护方式。这种保护重点是对存在间歇性的、不对称的以及某些导通通道下的过电流进行辨识，是作为常规零序保护不能够涵盖的情况下的补充。在发变组实际运用中，将间隙过流保护并入到其中性点PT电压信号和间接零序电流信号当中，然后采用适合的整定定值以及快动的动作特性来达到间隙过流故障的发生。间隙过流保护装置配置原则主要针对的是补充了零序保护的缺陷，避免高阻接地故障出现的情况下导致主变烧毁或二次侧失压的危险，如果发生作用，则是直接的发出停机指令，不会有分级保护，具有反应速度快特点，在运行上相对独立。

3 主变压器零序过流保护和间隙过流保护配合

3.1 通过调整保护动作顺序实现零序与间隙配合

发变组继电保护配置里，可采取调整保护动作顺序方式来进行协调主变高压侧零序过流保护和间隙过流保护。主变中性点零序过流保护按照《国家电网华东电力调控中心继电保护定值单》（第14/500-1258号）要求、结合现场使用经验等，将原主变中性点零序过流保护设置为两段：Ⅰ段定值 $IE_{>>}=0.4A$ 、延时 $TIE_{>>}=5s$ 、动作出口为解列；Ⅱ段定值 $IE_{>}=0.4A$ 、延时 $TIE_{>}=5s$ 、动作出口为全停。为了避免发生Ⅰ段动作切除故障，导致Ⅱ段无故障电流支撑造成拒动的现象，在现场已经把Ⅰ段保护功能退出，并且修改跳闸矩阵的M11和M21第35列变成“备用”，从M11/M21矩阵中去除相关的插针，仅保留第36列“主变高压侧零序过流保护”用于出口Ⅱ段跳闸信号。为保证与间隙过流保护有效匹配，需要将间隙过流保护动作延时定为 $T<5s$ ，并采用相应的保护跳闸矩阵进行间隙过流保护动作信号接入到M11、M21矩阵的高优先级列，使故障信号可以优先动作于停机回路。对于零序保护是作为间隙保护的后备保护，其动作延时不得低于5s，并且其在矩阵中只能安排为低优先级，以免出现现实运行时候信号冲突而误跳或者拒跳的情况^[3]。结合SCADA后台对保护动作顺序进行远程管理和实时监视，在定期继电保护和故障录波核实的过程中，校核间隙零序电流波形顺序特性，从而保证动作配合逻辑正确、定值整定协调，提升保护的选择性和可靠性。

3.2 按出口方式进行保护策略分层配置

对于主变压器的零序过流和间隙过流两种保护出口可采取分层次、分等级设置方式，按照设定动作通道和跳闸矩阵设计保证各个保护能够准确动作而相互之间互不影响。间

隙过流保护插针被置于零序Ⅰ段插针的旁边，以便今后避免出现当零序Ⅰ段发生误动作时将会封闭全停通道的现象。零序过流保护上按照调控中心定值单要求取消原先的Ⅰ段解列、Ⅱ段全停双段配置方案，结合现场运维经验，在提高接地故障处理可靠性的前提下，将Ⅰ段保护退出，只保留Ⅱ段作为唯一的出口链路，配置成动作后全停发变组。原来Ⅰ段保护对应的跳闸矩阵M11、M21第35列改为“备用”，将所有插针拔出，防止单侧误触发；Ⅱ段保护改为“主变高压侧零序过流保护”插针并加入全停跳闸链路，以保证跳闸逻辑完整；调度端增加跳闸屏蔽，只让间隙过流出口受控于零序Ⅰ段的动作遮蔽，采用逻辑分离的方式分别零序各个时段的动作路径。另外，各保护动作信息也需经单独通道送至监控后台，供调度了解保护分级动作的状态，并为以后的故障分析和保护定值整定提供可靠的数据。以上配置对动作逻辑独立性、跳闸链路完整性及调度控制的协调性均有考虑，是基于当前发变组运行特点的实用化分层出口配置方式。

3.3 基于跳闸矩阵重构优化保护协同通路

为了保证主变压器高压侧零序过流保护、间隙过流保护在发变组继电保护系统里物理闭环内可靠的协调动作，必须进行跳闸矩阵物理配置结构的重新优化。根据目前继电保护定值配置情况，主变中性点零序过流Ⅰ段动作出口为解列，Ⅱ段全停，主变中性点零序过流Ⅰ段出口后故障仍未消失，Ⅱ段将无法正常工作，所以将主变中性点零序过流Ⅰ段退出运行，将跳闸矩阵M11、M21第35列表处“备用”，将M11、M21第35列插针拔掉隔离主变中性点零序过流Ⅰ段保护回路信号；再将主变中性点零序过流Ⅱ段动作移至M11、M21第36列表处，命名为“主变高压侧零序过流保护”，此列表处插针接入主变单元全停跳闸输出通道，使该保护的动作闭环唯一，以此保证主变高压侧零序过流保护无额外作用。再根据发变组继电保护间隙过流保护需要，分别向跳闸矩阵M11、M21各新增一列插针，且只能用于该保护的跳闸回路，引入主变单元全停跳闸通道，并设有对于主变高压侧零序保护的闭锁逻辑关系，防止保护作用相互重叠以及产生误动作。最后对于已完善的各跳闸矩阵插针需要通过继电保护装置测试模块对其各插针点进行辨别并进行信号回路完整性闭环测试，确保各个回路的独立与可用性^[4]。全过程严格按照国家电网继电保护装置设备编号和跳闸矩阵管理规范来实施，做到不同回路之间设备编号不能重复、插针只有一套且不能混淆，杜绝逻辑重叠和控制路径混用的情况发生。

3.4 应用电流变化率判据优化保护识别机制

如果发变组内存在多种接地故障时，仅通过零序电流幅值大小进行保护会面临着较大的发生误动或拒动的风险。而利用主变压器零序过流保护与间隙过流保护相配合时，采用考虑零序电流突变速率参数即利用单位时间内的零序电流突变量作为保护的起动作判据，即以高精度采样模块进行采

样,得到零序电流采样值在每 50ms 采样周期内的斜率值,并利用其作为零序电流突变量参数。当零序电流突变速率大于所设门限(取 0.05A/ms)后,优先启动间隙保护;若突变不明显但零序电流稳定大于定值,则采用零序过流 II 段启动保护。如我厂 1~6 号主变中性点零序过流保护,采用外置零序电流互感器配两级定值, I 段定值 0.4A,解列动作, II 段定值较高,全停动作;电流变化率判据为启动附加条件,同幅值门限构成双重判据体系,使保护正确区分高阻或间歇性弧光接地故障。实现此功能需要保护装置具有较高的采样精度以及实时计算的能力来保证电流斜率的检测精准性。在调试时要通过动态注入实验方式模拟多种类型的接地故障,考察保护的灵敏度、选择性,保护动作时间以及配合协调性等能否达到设计的要求^[9]。另外,还应利用电流变化率判据,一方面可以克服以前单纯幅值判据容易将复合型故障误判的缺陷,另一方面则保证了间隙保护和零序保护各司其职,彼此配合,从而增强主变保护性能的稳定和可靠。

3.5 采用多源互锁逻辑确保动作路径独立性

为保证主变压器零序过流保护和间隙过流保护动作具有独立性,避免出现两套保护的信号同时出现或者回路冲突的情况,可在继电保护逻辑上设置多源互锁控制机制。在主变中性点零序过流保护配置中,按照现在的调控中心定值单要求将 I 段保护出口从解列后切除故障导致 II 段保护出口无法继续执行的状态下改为保留 II 段动作方式为全停,并将定值设置为 0.4A,延时 5s。对于间隙过流保护的逻辑中,则需要加上三个判据:①独立 PT 电压下降;②故障电流幅值超出预设值;③跳闸回路开入量(触点)闭合,即满足以上三个条件才能闭锁输出到停机回路。同时出于防止保护相互干扰情况出现,在物理上设置了一条互锁通道,即采用中间继电器在硬接线上断开互为备用供电回路,在逻辑上也须设计软互锁,只有待零序过流保护出口动作延时完成以后再没有任何保护闭锁信号时才能出口,从而规避了并发输出现象。此外后台增加互锁状态遥信上传功能,一方面可实

时显示互锁状态,另一方面则有助于调度中心提升运行监控能力。针对主变跳闸矩阵修改,将 I 段退出后的 M11、M21 第 35 列跳闸通道全部设置为“备用”,所有插针全部拔掉,第 36 列统一设置为“主变高压侧零序过流保护”,以实现硬件配置与保护策略一致。另外,主控系统留有手动闭锁按钮供运行人员在异常情况时进行人工干预的控制。多源互锁方式每次主变检修或保护定值修改之后都需重检,以保证各路互锁独立路径及可靠性符合运行要求。

4 结语

主变压器是发变组中重要组成部分,保护配置是否合理准确直接决定着其运行稳定性和生产安全可靠。基于此,本文根据我国发变组中性点保护实际应用情况出发,针对主变零序过流保护和间隙过流保护的概念、作用以及二者配合进行了系统分析,并从动作为序、出口方式、跳闸矩阵优化、电流判据以及互锁逻辑 5 个方面提出了配合实施路径。期望上述配合路径可以为业内相关人员主变保护系统提供一种优化或改造思路,使保护系统在复杂工况下具有更好的反应性、容错性和一致性,进而进一步提高发变组电气保护水平与电气保护边界。

参考文献

- [1] 谭武光,段文学.变压器零序过流保护与间隙过流保护的接线原理及运行分析[C]//2015年云南电力技术论坛论文集(下册).2015.
- [2] 刘林,王洪涛,鲁月娥.主变压器零序过流保护和间隙过流保护配合分析[J].东北电力技术,2020,41(8):4.
- [3] 邹建中.主变中性点加装直流偏磁抑制装置对零序过流保护的影响分析[C]//2023年电力行业技术监督工作交流会暨专业技术论坛论文集(上册).2023.
- [4] 翁汉翔,康涛,郭祎达,等.高压内置变压器涌流对母联零序过流保护的影响及对策[J].南方电网技术,2023,17(3):75-84.
- [5] 邵长娟,安晓龙,张宝朋,等.配电变压器中性点零序电流保护研究[J].电气开关,2023,61(1):31-34.