

牵引变压器差动保护不平衡电流分析

张波

(抚顺矿业集团供电部 辽宁抚顺 113000)

摘要:差动保护是电力系统稳定性的关键,而不平衡电流可能由励磁涌流、电流相位差异、变比不匹配等因素引起,影响保护系统的准确性。文章分析了不平衡电流对差动保护灵敏度和动作时间的影响,并讨论了其对系统稳定性和可靠性的潜在威胁。为了应对这些挑战,文中提出了多种分析方法,包括对称分量法、小波分析和信号处理技术,以及一系列克服不平衡电流的策略,如使用速饱和变流器、相位补偿法、平衡线圈、电流互感器同型系数调整和动作电流整定。这些方法和策略旨在提高差动保护的性能,确保铁路牵引变压器的稳定运行。持续监测和调整保护设置是确保电力系统长期稳定运行的关键,以提高电力系统的保护水平,确保供电的安全性和可靠性。

关键词:牵引变压器;差动保护;不平衡电流;励磁涌流;速饱和变流器

一、差动保护的基本原理

差动保护是一种关键的电力系统保护机制,主要用于保护变压器、发电机和高压输电线路等重要设备。它的核心原理是基尔霍夫电流定律,即在电气设备的正常运行或外部故障时,流入和流出设备的电流相等,此时差动继电器不会动作。然而,如果设备内部发生故障,故障点会产生短路电流,导致差动继电器感受到的电流和超过设定值,从而触发保护动作,快速切断故障部分,确保系统的稳定运行。

差动保护的特点是结构简单、保护范围明确,且能够快速响应内部故障,无需延时。这种保护方式对于维护电力系统的安全和可靠运行至关重要。在实际应用中,差动保护可能会受到多种因素的影响,导致不平衡电流的产生。例如,电流互感器的特性不一致、变压器励磁涌流的存在、系统不对称等都可能引起不平衡电流。这些不平衡电流可能会干扰差动保护的正确动作,因此,必须采取措施来识别和消除这些影响,以确保保护系统的准确性和可靠性。

二、不平衡电流的产生原因

1. 励磁涌流

当变压器空载投入或外部故障切除后,变压器可能产生励磁涌流。这是由于变压器铁芯的磁通不能突变,在电压瞬时值过零时合闸,铁芯磁通将出现非周期性的磁通变化,导致励磁电流急剧增加,形成励磁涌流。励磁涌流通常包含大量的非周期分量和高次谐波,特别是二次谐波含量较高,且波形可能出现尖顶,使涌流偏于时间轴的一侧。

2. 变压器两侧电流相位不同

变压器常采用 Y,d11 接线方式,这导致高压侧(星形接法)和低压侧(三角形接法)之间的电流相位差为 30 度。这种相位差导致即使两侧电流大小相等,反映到差动继电器中的电流也会因为相位不同而产生不平衡。

3. 计算变比与实际变比不同

电流互感器(TA)的变比通常根据产品目录选取标准变比,而变压器的实际变比可能与这些标准变比不完

全匹配。这种变比不匹配导致差动回路中存在不平衡电流。

4. 两侧电流互感器型号不同

在电力系统中,变压器两侧的电流互感器(CT)常常因为不同的电压等级和额定电流而采用不同的型号,这种差异是为了保证互感器在其特定的工作条件下有效运行。然而,不同型号的互感器具有不同的饱和特性和励磁电流,这在外故障时可能导致差动回路中产生不平衡电流。互感器的饱和特性差异意味着在超过额定电流时,它们可能在不同的电流水平下达到饱和,导致两侧互感器的输出不一致。此外,励磁电流要求不同,可能导致两侧互感器在正常运行时产生不同的励磁电流,进而影响差动保护的平衡。

5. 变压器带负荷调整分接头

带负荷调整分接头是变压器调整电压的常用方法。改变分接头实际上是改变了变压器的变比,如果差动保护已经按照某一变比调整,那么在分接头改变时就会产生新的不平衡电流。这种调整通常是为了满足电力系统电压等级的要求,但会暂时改变变压器两侧的电流关系,导致差动保护中的不平衡电流。

三、不平衡电流的影响

1. 对差动保护灵敏度的影响

差动保护的灵敏度是指保护装置对于内部故障的反应能力。当不平衡电流存在时,它会在差动回路中产生额外的电流,这可能会导致保护装置在没有内部故障的情况下错误地动作,从而降低保护的灵敏度。例如,励磁涌流可能导致差动保护误动作,因为励磁涌流中含有大量的非周期分量和高次谐波分量,这些分量在差动继电器中不能被平衡,可能导致保护装置在变压器空载投入和外部故障切除恢复时误动作。

2. 对差动保护动作时间的影响

差动保护的動作时间是指从故障发生到保护装置动作的时间。不平衡电流可能会延长差动保护的動作时间,因为它需要额外的时间来区分不平衡电流和真正的内部故障电流。如果差动保护装置无法快速识别和处理不平

衡电流,可能会导致保护装置延迟动作,从而影响系统的快速切除故障能力。

3. 对系统稳定性和可靠性的影响

差动保护是电力系统稳定性和可靠性的重要组成部分。不平衡电流的存在可能会导致保护装置无法正确识别故障,从而影响整个系统的稳定性。例如,如果差动保护因为不平衡电流而误动作,可能会导致变压器意外断开,影响电力系统的连续供电,进而影响整个电力系统的稳定性和可靠性。

四、不平衡电流的分析方法

1. 对称分量法

对称分量法是分析三相交流系统中不对称运行状态的一种基本方法。该方法通过将三相不平衡的电流、电压或阻抗分解为三个对称的分量:正序、负序和零序分量。正序分量代表三相平衡的情况,负序分量代表两相交换后平衡的情况,而零序分量则代表三相之间的公共分量。这种方法可以简化不对称故障计算,因为它允许工程师将注意力集中在每个分量上,而不是处理复杂的三相不对称电路。

2. 小波分析

小波分析是一种信号处理技术,它可以将信号分解成不同频率的组成部分,称为小波系数。在电力系统中,小波分析被用于分析电力系统的暂态信号、电力系统稳定性、继电保护、故障测距、故障数据压缩、电力设备故障诊断、负荷预测和电能质量等方面。小波变换特别适合于分析非平稳信号,如电力系统中的瞬态过程,因为它能够同时提供时间和频率的信息。

3. 信号处理技术

信号处理技术在电力系统中的应用包括信号增强、滤波、谐波分析和时频分析等。时域信号处理技术主要分析信号的时域特性,如电能质量分析、瞬变分析和突发电流分析。频域信号处理技术则分析信号的频域特征,如谐波分析、频谱分析和周期分析。这些技术有助于监测和分析电力系统中的信号,从而进行故障检测、电能质量评估和系统稳定性分析。

五、不平衡电流的克服方法

1. 速饱和变流器的应用

速饱和变流器在变压器差动保护中的应用主要是为了克服不平衡电流,特别是励磁涌流的影响。励磁涌流是变压器在空载投入或外部故障切除后,电压恢复时由于铁芯饱和而产生的非周期性电流,其值可能达到额定电流的6~8倍,包含大量的直流分量和高次谐波分量,且波形偏向时间轴一侧。

速饱和变流器利用其磁化曲线的非线性特性,在励磁涌流较大时能够快速饱和,这导致差动回路中的不平衡电流不会引发保护动作。其工作原理是当含有大量非周期分量的励磁涌流通过速饱和变流器时,由于铁芯的饱和,这些非周期分量很难传递到二次侧,从而保护装

置不会因励磁涌流而误动作。

速饱和变流器通常由三个单相桥式逆变器组成,能够将直流电源转换为交流电源,并根据需要调节输出电压和频率。在电力系统中,速饱和变流器主要用于提高系统的稳定性和可靠性。

在变压器差动保护中,速饱和变流器可以有效地避免由于励磁涌流引起的误动作。当变压器内部发生故障时,故障电流中含有的非周期分量较小,速饱和变流器不会饱和,因此差动保护能够正确动作。此外,速饱和变流器还可以通过调整其匝数来适应不同的变压器容量和励磁涌流的特性,确保保护装置的准确性和可靠性。

2. 相位补偿法

相位补偿法是变压器差动保护中用于解决因变压器两侧电流互感器(TA)接线方式不同而导致的不平衡电流问题的一种技术。在电力系统中,变压器可能采用星形(Y)接法或三角形(Δ)接法,这些不同的接线方式会在变压器两侧产生相位差,通常是30度或120度。为了补偿这种相位差异,可以通过调整电流互感器的接线方式来实现:将星形侧的TA接成三角形,而将三角形侧的TA接成星形,从而使得两侧电流互感器的二次电流相位一致。

除了调整接线方式,还需要对电流互感器的变比进行调整,确保在正常运行和外部故障时差动回路中的电流达到平衡。这一过程需要精确计算和设置,以反映变压器的额定电流和互感器的额定变比。相位补偿的实施通常在变压器差动保护装置的二次回路中进行,而且补偿效果需要通过测试和模拟故障来验证,以确保两侧电流的相位一致性。

现代微机保护装置可以通过软件自动计算并应用相位补偿,这提供了更大的灵活性和准确性。这些装置还能够监控和记录不平衡电流,以便及时进行必要的调整。相位补偿不是一次性的任务,而是需要定期检查和调整的过程,以应对变压器参数变化或互感器更换等情况。

3. 平衡线圈的使用

平衡线圈在变压器差动保护中扮演着至关重要的角色,它专门用于补偿因电流互感器变比误差或变压器变比误差引发的不平衡电流。这种不平衡电流可能会影响差动保护的正确动作,增加误动作的风险。为了解决这一问题,平衡线圈通过在差动继电器中引入一个额外的线圈来产生补偿电流,该电流与不平衡电流大小相等但方向相反,有效抵消了不平衡的影响,确保了差动继电器中的总电流趋于平衡。

平衡线圈的匝数计算是一个精确的过程,需要综合考虑变压器的额定电流、互感器的变比以及变压器的实际变比等多重因素。在实际应用中,平衡线圈通常安装在差动继电器的回路中,通过串联或并联的方式,根据保护装置的设计和要求进行配置。为了达到理想的平衡

(下转第121页)

(上接第 108 页)

状态,需要在实际运行中不断监测差动继电器的电流,并进行相应的微调。

4. 电流互感器的同型系数应用

电流互感器的同型系数应用是为了解决因电流互感器型号不同而导致的不平衡电流问题。同型系数是指电流互感器在相同电流下产生的电压比。当变压器两侧的电流互感器型号不同时,它们的励磁特性可能会有差异,导致不平衡电流的产生。这种不平衡电流可能会影响差动保护的正确动作,因此需要通过调整电流互感器的同型系数来实现两侧电流的平衡。

在实际应用中,如果变压器两侧互感器型号不同,它们的饱和特性、励磁电流(归算到同侧)也会不同。因此产生在两臂的电流差就较大,它将影响保护的動作。为了解决这个问题,应采用电流互感器的同型系数为 1 的互感器。通过调整同型系数,可以使两侧的电流互感器在差动回路中产生的电流更加平衡,从而减少不平衡电流对差动保护的影响。

此外,变压器差动保护的平衡系数是影响差动保护差流计算的一个重要因素。平衡系数用于消除高低压侧电流幅值不同及高低压侧电流互感器不匹配造成的不平衡。通过计算变压器各侧电流互感器的平衡系数,可以调整差动保护的動作电流值,确保保护装置的准确性和

可靠性。

结语

不平衡电流可能会影响保护系统的准确性,导致误动作或在真正需要时无法正确响应。文中讨论了多种分析方法,包括对称分量法、小波分析和信号处理技术,以及多种克服不平衡电流的策略,如速饱和变流器、相位补偿法、平衡线圈、电流互感器同型系数调整和動作电流整定。识别和处理不平衡电流对于确保牵引变压器的稳定运行至关重要。通过采用合适的分析方法和克服策略,可以有效提高差动保护的性能,保障电力系统的安全和可靠供电。未来的工作应继续关注这一领域,以进一步提升电力系统的保护能力。

参考文献:

- [1]黄泽文.阻抗匹配平衡变压器运行过程中不平衡电流分析[J].电气化铁道,2023,34(S2):116-118+122.DOI:10.19587/j.cnki.1007-936x.2023z2.029.
- [2]杨锐,买正中.主变差动保护動作分析实例[J].中国水能及电气化,2021,(10):50-52.DOI:10.16617/j.cnki.11-5543/TK.2021.10.10.
- [3]何连之.变电站主变差动保护誤动原因分析[J].石油化工建设,2021,43(S2):22-26.DOI:10.16264/j.cnki.1672-9323.2021.s2.009.