

同步发电机空载误强励磁风险研究

王鸿扬

五凌电力有限公司凌津滩电厂 湖南常德 415720

摘要: 针对同步发电机空载误强励磁问题, 本文分析了其成因, 包括外回路测量问题、调节器自身故障、同步回路异常、外部干扰及设计缺陷。进一步评估了误强励磁引发的绕组过热与绝缘损伤、电压异常升高、谐波电压畸变、系统稳定性降低以及设备寿命缩短等风险。为预防误强励磁, 提出了励磁系统保护逻辑优化、维护与管理强化、电压互感器精度提升、灭磁系统改进及励磁系统技术升级等措施。研究结果表明, 这些措施可有效降低误强励磁风险, 保障发电机及电力系统安全稳定运行。

关键词: 同步发电机; 空载误强励磁; 风险评估; 预防措施; 技术优化

1 同步发电机空载误强励磁的原因分析

1.1 外回路测量问题

外回路测量问题是最常见的导致同步发电机空载误强励磁的原因之一。其中, 电压互感器 (PT) 断线是典型问题。PT 断线会导致励磁系统测量到的电压信号异常, 进而使励磁调节器误判为发电机需要增加励磁电流, 从而触发误强励磁。此外, 测量回路中的其他故障, 如接线松动、绝缘老化等, 也可能导致测量信号失真, 进一步引发误强励磁。

1.2 调节器自身故障

励磁调节器是励磁系统的核心部件, 其自身故障可能导致误强励磁。例如, 调节器的程序跑飞, 即系统受到干扰后程序计数器偏离正常运行路径, 会导致励磁调节器输出错误的控制信号。虽然随着电子技术和工业制造技术的进步, 这种故障的发生率有所降低, 但在复杂工况下仍可能发生。此外, 调节器的硬件故障, 如芯片老化、电容失效等, 也可能导致励磁调节器输出异常, 进而引发误强励磁。

1.3 同步回路异常

同步回路是励磁系统的重要组成部分, 其异常是导致误强励磁的重要原因之一。同步回路发生异常时, 可能会导致触发脉冲失控, 从而使整流桥输出强励电流。例如, 同步回路中的同步变压器故障、同步信号丢失或干扰等, 都可能导致触发脉冲的异常, 进而引发误强励磁。这种情况下, 励磁系统无法正常控制励磁电流, 导致发电机进入误强励状态。

1.4 系统外部干扰

外部干扰也是导致同步发电机空载误强励磁的重要因

素。例如, 电网中的电压波动、谐波干扰等, 可能会影响励磁系统的正常运行。当电网电压突然升高或出现高频谐波时, 励磁系统可能会误判为发电机需要增加励磁, 从而触发误强励磁。此外, 雷电冲击、电磁干扰等也可能导致励磁系统中的电子元件误动作, 进而引发误强励磁。

1.5 励磁系统设计缺陷

励磁系统的设计缺陷也可能导致同步发电机空载误强励磁。例如, 励磁系统的控制逻辑设计不合理, 可能导致在特定工况下误触发强励动作。此外, 励磁系统的保护装置设计不完善, 如过电压保护、过电流保护等定值设置不合理, 也可能导致在误强励磁发生时无法及时动作, 从而加剧故障。

2 空载误强励磁的风险评估

2.1 绕组过热与绝缘损伤风险

空载误强励磁会导致同步发电机绕组中电流急剧增加, 进而引起绕组温度迅速升高。绕组过热会对发电机的绝缘系统造成严重损伤, 降低绝缘材料的电气性能和机械强度。发电机绕组的绝缘材料在高温下会发生化学和物理变化, 导致其绝缘性能下降。例如, 绝缘材料中的有机成分可能会因高温而分解, 使绝缘层变得脆弱, 容易被击穿。此外, 绕组过热还会加速绝缘老化, 缩短发电机的使用寿命。在长时间过热状态下, 绝缘老化加速, 可能导致绝缘层击穿, 引发短路故障, 甚至损坏整个发电机。当绝缘层被击穿时, 电流会通过绝缘层的薄弱点形成短路, 这不仅会导致发电机内部的电弧放电, 还可能引发火灾等次生灾害。短路故障会进一步导致发电机的机械部件受损, 如转子和定子的相对位置发生变

化,进而引发机械振动和不平衡。此外,绕组过热还可能引发局部过热现象,进一步加剧绝缘损伤。例如,定子铁心的局部过热可能会导致铁心背部出现过热痕迹,影响铁心的磁性能。同时,绕组过热还可能影响发电机的冷却系统,导致冷却效率下降,进一步加剧绕组的过热状态。为了防止绕组过热与绝缘损伤,需要加强发电机的监测和维护。

2.2 电压异常升高风险

误强励磁会使发电机的励磁电流大幅增加,导致发电机端电压异常升高。这种电压升高不仅会超出发电机的额定电压范围,还可能对与发电机相连的电力系统设备造成冲击。过高的电压可能导致系统中的绝缘薄弱点被击穿,引发设备损坏和系统故障,影响电力系统的稳定运行。

2.3 谐波电压畸变风险

误强励磁过程中,励磁电流的急剧变化会产生丰富的谐波分量,这些谐波会注入电力系统,导致系统电压畸变。谐波电压畸变会使系统中的电能质量下降,影响其他电气设备的正常运行。例如,高次谐波可能导致电动机的转矩波动、过热甚至损坏,同时也会对电力系统的继电保护装置产生干扰,引发误动作。

2.4 系统稳定性风险

空载误强励磁对电力系统的稳定性构成威胁。电压的异常升高和波动可能导致系统中的无功功率平衡被打破,进而影响系统的电压稳定。此外,谐波电压畸变也可能削弱系统的动态稳定性,降低系统对故障的承受能力,增加系统崩溃的风险。

2.5 设备寿命缩短风险

绕组过热、绝缘损伤以及电压异常升高等问题,都会加速发电机及相关设备的寿命损耗。频繁的误强励磁事件可能导致设备提前老化,增加设备的维护成本和更换频率,降低电力系统的经济性和可靠性。

3 预防措施与技术优化

3.1 励磁系统保护逻辑优化

优化励磁系统保护逻辑是预防同步发电机空载误强励磁的重要措施之一。在负载误强励工况下,若发电机及励磁系统未发生短路故障,则应充分利用机组的短时过负荷能力和并网潮流输送能力。在励磁系统故障跳闸时,采用新的程跳逻辑:先行灭磁,以降低发电机转子电流和机端电压水平,改变原有解列灭磁同时进行的保护动作行为,避免在误强励

情况下先行解列所造成的机组工况加剧恶化。具体实施方案包括:在现有发变组保护逻辑中增加误强励启动判据,据此可判断机组励磁系统是否处于电压超高的异常工况且此时发电机未发生其他短路性故障;根据保护跳闸阵列设计新的程跳误强励保护动作行为;在硬件上对二次回路进行改造,确保误强励指令出口时励磁系统和调速系统均可以自行执行相应的灭磁及甩负荷逻辑。

3.2 励磁系统维护与管理

加强励磁系统的日常巡检和预防性维护是预防故障的关键环节。根据励磁系统的运行状况以及制造商的建议,应制定一套全面且定期的预防性维护计划。该计划应涵盖电气测试、绝缘电阻测试、振动分析、红外热成像等多种检测手段,以便能够及时发现潜在的故障隐患并加以处理。例如,电气测试可以检测电路的连通性和稳定性,绝缘电阻测试能够评估绝缘材料的老化程度,振动分析有助于发现机械部件的松动或不平衡,而红外热成像则可以直观地显示设备的热分布情况,提前发现过热部位。建立励磁系统关键部件的备品备件库是保障设备快速修复的重要措施。当故障发生时,能够迅速更换故障部件,从而有效缩短维修时间,减少设备停机造成的损失。备品备件库应包含励磁系统中易损或关键的部件,如励磁调节器、整流器、电压互感器等,并定期对这些备件进行检查和维护,确保其处于良好的备用状态。

定期对运维团队和技术人员进行专业培训是提升故障处理能力的重要途径。通过系统的培训,可以提高他们的专业技能,使其熟悉励磁系统的最新技术和维护要求。同时,培训还应包括故障诊断和处理的实际操作,确保运维人员能够在故障发生时迅速、准确地采取措施。此外,建立一个经验分享和知识更新的平台,让技术人员能够及时了解行业内的最新动态和技术进展,也是提升团队整体能力的有效方式。

3.3 电压互感器精度提升与优化

电压互感器的精度对励磁系统的正常运行至关重要。通过优化电压互感器的设计,可以有效减少测量误差,提高励磁系统的稳定性。优化设计包括对电压互感器的电磁场分析,合理选择设计变量,如一次绕组匝数、一次绕组导线截面积、二次绕组导线截面积等,以最小化导线材料用量,同时满足电流密度等设计要求。优化后的电压互感器内部磁场强度得到改善,绕组周围空间的漏磁场减少,磁场增强可进

一步减小铁心体积,磁通密度分布更为合理,最大值远小于工程要求。

在设计过程中,可以采用仿真技术来预测不同设计对性能的影响。通过调整仿真模型中的关键参数,如互感器线圈的匝数、材料属性等,观察输出的变化,从而对设计进行迭代优化。此外,还可以通过模型简化与离散化技巧来提高仿真精度。同时,选择合适的离散化方法(如前向欧拉、后向欧拉或双线性变换)对于保证仿真精度至关重要。在实际应用中,电压互感器的性能可能会受到多种现场环境因素的影响。因此,为了确保长期稳定的运行,需要了解和克服这些实际挑战。现场环境因素如温度波动、湿度变化、电磁干扰等都可能对电压互感器的精度造成影响。为此,设计时可以增加温度补偿模块,使用防潮材料,并采用屏蔽措施来减少电磁干扰。此外,定期的维护和校准也是确保精度的重要措施。为了进一步提升电压互感器的精度,还可以采用一些先进的技术手段。例如,高温超导技术可以应用于电压互感器,使绕组和互感器铁心均工作在高温超导环境,达到超导态时绕组的阻抗为零,从而从根本上消除励磁误差。此外,还可以通过优化磁畴结构的热处理方法来提高磁芯的性能。

3.4 灭磁系统强化与改进

灭强励磁对励磁系统的灭磁能力提出了非常高的要求。若不能可靠灭磁,将会引发更为严重的连锁事故。因此,需要强化灭磁系统的设计,提高其可靠性和容量。传统的方式是增大灭磁开关的分段能力和灭磁电阻吸收能力,一般按照发电机 1.4 过电压来选择灭磁开关弧压,有的按照 1.5 倍过电压来选择。此外,还可以采用“截留”方式,即降低发电机过电压保护整定值,让发电机保护提前动作,截住励磁电流的继续上升局势,这样在励磁空载误强励时,过电压最高只有 1.3 倍,励磁电流接近 2 倍额定励磁电流,大大减轻了灭磁开关的负担。

3.5 励磁系统技术升级与创新

随着技术的不断发展,励磁系统的升级与创新对于预防误强励磁具有重要意义。引入先进的监测技术和诊断方法,提高故障检测的准确性和效率,是当前励磁系统技术升级的重要方向。例如,采用智能传感器和数据分析技术,可以实时监测励磁系统的运行状态,及时发现异常信号,并采取相

应的应急处理措施,防止故障进一步扩大。这些智能传感器能够实时采集励磁系统的关键参数,如电流、电压、温度等,并通过高速通信网络将数据传输到中央控制系统。此外,优化励磁系统的控制算法也是技术升级的重要内容之一。通过引入先进的控制算法,可以提高励磁系统对电压和电流的控制精度,减少误动作的可能性。例如,基于机器学习的算法能够识别运行中的不寻常模式或趋势,及时预警潜在问题。这种算法可以通过对历史数据的分析,构建预测模型,提前预测设备故障的发生时间或性能下降的程度。为了进一步提升励磁系统的可靠性,还可以采用一些先进的技术手段。例如,国产化励磁系统智能故障诊断与健康监测系统通过传感器采集模块、健康状态量化评估功能模块、智能故障诊断功能模块和预警趋势分析模块,实现了励磁系统全过程、全方位、全覆盖的实时监视、数据采集、智能分析及自动预警功能。这种系统依托国产计算机操作系统,开发了基于层次分析法的励磁系统健康状态量化评估、基于多源数据挖掘与状态表征的智能故障诊断、基于大数据技术的预警趋势分析等功能。

4 结语

通过对同步发电机空载误强励磁的成因、风险及预防措施的系統研究,本文揭示了误强励磁对发电机及电力系统的潜在危害,并提出了针对性的优化方案。这些措施的实施能够有效降低误强励磁的发生概率,减轻其对设备和系统的损害。未来,随着智能监测技术、新材料应用及系统集成化程度的不断提高,励磁系统的可靠性和稳定性将进一步提升,为电力系统的安全稳定运行提供更有力的保障。

参考文献:

- [1] 王述仲,任建筑.发电机励磁系统误强励现象分析与解决办法[J].山西电力,2006,(5):11-12.
- [2] 龙俊平.发电机励磁系统误强励原因的探讨[J].浙江电力,2006,25(4):61-64.
- [3] 梁建行,易先举,邹来勇,等.三峡电站发电机励磁系统主要参数设计计算[J].人民长江,2005,(1):1-3.

作者简介:王鸿扬(1994—),男,汉族,湖南长沙,助理工程师,硕士研究生,研究方向为机电一体化。