

继电保护在电力工程中的可靠性研究

杨榆

海宁市金能电力实业有限公司 浙江嘉兴 314000

DOI:10.12238/ems.v7i6.13754

[摘要] 本文深入探讨了继电保护在电力工程中的可靠性问题。首先阐述了继电保护系统的基本概念和重要性,分析了影响继电保护可靠性的诸多因素,包括硬件设备、软件算法、运行环境等。接着详细介绍了评估继电保护可靠性的常用方法,如故障树分析法、可靠性框图法等。通过实际案例分析,展示了如何运用这些方法对继电保护系统进行可靠性评估,并针对评估结果提出了提高继电保护可靠性的有效措施,涵盖设备选型与维护、优化软件设计、加强人员培训等方面。旨在为保障电力系统安全稳定运行,提升继电保护可靠性提供理论支持和实践指导。

[关键词] 继电保护; 电力工程; 可靠性

引言

电力系统作为现代社会的关键基础设施,其安全稳定运行对于国民经济发展和人民生活至关重要。继电保护装置作为电力系统的“卫士”,能够快速、准确地检测故障并采取相应措施,切除故障元件,防止故障扩大,从而保障电力系统的可靠供电。然而,继电保护系统本身也可能出现故障或误动作,影响电力系统的正常运行。因此,深入研究继电保护在电力工程中的可靠性具有极其重要的现实意义。

一、继电保护系统概述

(一) 继电保护的定义与作用

继电保护,作为电力系统安全稳定运行的关键守护者,有着极其重要的定义与作用。

从定义上来说,继电保护是一套精密且复杂的自动化措施及设备体系。在庞大的电力系统中,各种电气设备时刻都在运行,然而,由于多种因素影响,诸如设备老化、外部环境干扰等,电气设备可能会发生故障,或者出现偏离正常运行状态的异常情况。此时,继电保护装置便发挥作用,它能够敏锐地感知到这些变化,自动做出响应。这种响应具备高度的及时性,能够在极短时间内迅速动作;同时还具有精准的选择性,只会针对发生故障的设备进行操作,将其从电力系统中果断切除,而不会对其他正常运行的设备造成不必要的影响。另外,当检测到异常运行状态但尚未发展成严重故障时,继电保护装置会发出信号,清晰地告知运行人员当前系统存在的问题,以便他们及时采取处理措施。

继电保护的作用至关重要。首先,它能快速隔离故障设备。一旦故障发生,如果不能及时隔离,故障可能迅速蔓延,导致更多设备受损,甚至引发大面积停电事故。继电保护凭借其快速动作的特性,能在第一时间切断故障电路,有效减少停电范围,保障其他非故障区域的电力供应不受影响。其次,通过精准地切除故障设备,继电保护大大提高了电力系统运行的安全性和稳定性。它避免了因局部故障引发的连锁反应,确保整个电力网络能够持续、可靠地为社会提供电能,维持工业生产、居民生活等各方面的正常运转。

(二) 继电保护系统的构成

继电保护系统通常由测量部分、逻辑部分和执行部分组成。测量部分用于测量被保护设备的各种电气量,如电流、电压、功率等,并与整定值进行比较;逻辑部分根据测量部分的输出结果,进行逻辑判断,确定是否发生故障以及故障的类型和位置;执行部分则根据逻辑部分的指令,发出跳闸或信号命令,实现保护功能。

二、影响继电保护可靠性的因素

(一) 硬件设备因素

继电器故障: 继电器作为继电保护装置的核心元件之一,其触点磨损、线圈烧毁等故障可能导致保护装置误动作或拒动作。例如,电磁式继电器长期运行后,触点可能因接触不良而产生过热、打火现象,影响其正常工作。

互感器误差: 电流互感器和电压互感器用于将一次侧的大电流、高电压变换为二次侧适合测量和保护的小电流、低电压。如果互感器存在较大的误差,会使测量到的电气量不准确,从而影响继电保护装置的正确动作。

二次回路故障: 二次回路连接着继电保护装置的各个部分,其绝缘损坏、导线断裂、端子松动等故障都可能导致保护装置失去信号或误接收信号,进而引发保护误动或拒动。

(二) 软件算法因素

算法精度不足: 随着电力系统的不断发展,对继电保护装置的性能要求越来越高。一些早期的保护算法可能在精度上无法满足现代电力系统复杂故障的检测需求,导致故障判断不准确。

抗干扰能力弱: 电力系统中存在各种电磁干扰,如雷电冲击、开关操作过电压等。如果继电保护装置的软件算法抗干扰能力不强,可能会受到干扰信号的影响,产生误动作。

(三) 运行环境因素

温度与湿度: 过高或过低的温度以及过大的湿度都可能影响继电保护设备的性能。例如,在高温环境下,电子元件的散热困难,可能导致其性能下降甚至损坏;在潮湿环境中,设备容易受潮生锈,影响绝缘性能。

电磁干扰: 除了上述提到的内部电磁干扰外,外部的强电磁源,如高压输电线路附近的无线电发射塔、大型电机等,也可能对继电保护装置产生干扰,影响其正常运行。

(四) 人为因素

整定计算错误: 继电保护装置的整定值是根据电力系统的运行参数和保护要求进行计算确定的。如果整定计算人员对系统参数了解不全面或计算方法错误,可能导致整定值不准确,使保护装置不能正确动作。

维护不当: 缺乏定期的设备维护和检修,可能使继电保护设备存在的潜在问题得不到及时发现和解决。另外,不正确的维护操作,如在检修过程中误碰设备、接线错误等,也可能引发保护故障。

三、继电保护可靠性评估方法

(一) 故障树分析法 (FTA)

故障树分析法是一种将系统故障形成的原因由总体至局部按树枝状逐级细化的图形演绎方法。通过建立故障树模型,将继电保护系统的顶事件(如保护误动作或拒动作)分解为多个中间事件和底事件,然后根据各事件之间的逻辑关系,计算顶事件发生的概率,从而评估系统的可靠性。

例如,对于某变电站的继电保护系统,以“保护拒动作”为顶事件,建立故障树。中间事件可能包括“测量元件故障”“逻辑元件故障”“执行元件故障”等,底事件则进一步细分,如“电流互感器故障”“继电器线圈烧毁”等。通过收集各底事件的故障率数据,利用故障树的逻辑关系,可以计算出“保护拒动作”这一顶事件的发生概率。

(二) 可靠性框图法 (RBD)

可靠性框图法是将系统划分为若干个具有一定功能的单元,按照系统的工作逻辑关系,用方框表示单元,用连线表示单元之间的功能联系,从而构成一个反映系统可靠性结构的框图。通过分析可靠性框图中各单元的可靠性指标,计算系统的可靠性指标。

例如,对于一套线路继电保护装置,可将其划分为电流测量单元、电压测量单元、保护逻辑运算单元、出口执行单元等。分别确定各单元的可靠度,然后根据它们在系统中的串联、并联等逻辑关系,计算整个继电保护装置的可靠度。

(三) 蒙特卡洛模拟法

蒙特卡洛模拟法作为一种极为重要且独特的基于概率统计的数值计算方法,在众多领域发挥着关键作用。它的核心原理是借助大量的随机抽样操作,以此来逼真地模拟复杂系统的实际运行状态。具体而言,在模拟过程中,每一次随机抽样都相当于对系统运行情况进行一次虚拟的试验。

在继电保护可靠性评估这一特定场景下,蒙特卡洛模拟法展现出了无可比拟的优势。继电保护系统的可靠性受到诸多因素的综合影响,其中元件故障率的随机性便是一个关键因素。不同元件由于制造工艺、材质差异等原因,其实际故障率并非固定不变,而是呈现出一定的随机特性。蒙特卡洛模拟法能够充分考虑这种随机性,通过多次随机抽样,涵盖各种可能出现的元件故障情况。

同时,运行环境的不确定性也不容忽视。例如,温度、湿度、电磁干扰等环境因素随时可能发生变化,这些变化会对继电保护系统的性能产生直接或间接的影响。蒙特卡洛模拟法凭借其随机抽样的特性,可以将这些不确定的运行环境因素纳入模拟范围。通过大量的模拟试验,统计系统故障发生的次数,进而依据概率统计原理,精确地估算出系统的可靠性指标。这种全面考虑多种不确定因素的能力,使得蒙特卡洛模拟法为继电保护可靠性评估提供了更加科学、准确和可靠的结果,有力地保障了电力系统的安全稳定运行。

具体操作时,首先确定继电保护系统中各元件的故障率分布函数,然后利用计算机随机生成符合这些分布函数的样本值,模拟系统的运行过程,记录系统故障情况。经过大量的模拟试验后,根据统计结果计算系统的可靠性指标,如可靠度、平均无故障工作时间等。

四、实际案例分析

(一) 案例背景

某地区电网中的一座220kV变电站,其部分继电保护装置运行多年,近期出现了几次异常动作情况。为了评估该变电站继电保护系统的可靠性,保障电网的安全稳定运行,决定采用故障树分析法进行可靠性评估。

(二) 故障树模型建立

以“继电保护装置误动作”为顶事件,通过对继电保护系统的结构和工作原理进行分析,确定中间事件和底事件。例如,中间事件包括“测量回路故障”“逻辑判断错误”“执行回路故障”等;底事件有“电流互感器二次侧短路”“保护算法参数错误”“继电器触点粘连”等。根据各事件之间的因果关系,绘制故障树模型。

(三) 数据收集与计算

收集该变电站继电保护装置各元件的历史故障数据,结合厂家提供的技术资料,确定各底事件的故障率。利用故障树的逻辑关系,采用布尔代数法计算顶事件“继电保护装置误动作”的发生概率。经计算,得出该继电保护装置误动作的概率为 $[X]$,超出了规定的可靠性指标范围。

(四) 结果分析与建议

通过对故障树的分析,发现“测量回路故障”和“逻辑判断错误”对继电保护装置误动作的贡献较大。针对这一结果,建议对测量回路中的互感器、变送器等设备进行全面检查和校验,更换老化或性能不佳的元件;同时,对保护装置的软件算法进行升级优化,提高逻辑判断的准确性。此外,

加强对继电保护设备的日常维护和巡检,及时发现并处理潜在的故障隐患。

五、提高继电保护可靠性的措施

(一) 优化硬件设备选型与维护

选用高质量设备:在继电保护设备选型时,应选择技术先进、质量可靠、经过严格测试和认证的产品。优先选用具有冗余设计、自检功能和抗干扰能力强的设备,以提高系统的可靠性。

加强设备维护管理:建立完善的设备维护管理制度,定期对继电保护设备进行巡检、校验和维修。制定详细的维护计划,明确维护项目和周期,确保设备始终处于良好的运行状态。同时,做好设备维护记录,为设备的状态评估和故障分析提供依据。

(二) 改进软件算法设计

提高算法精度:研发人员应不断改进和优化继电保护的软件算法,采用先进的数字信号处理技术和智能算法,提高故障检测的精度和速度。例如,利用神经网络、小波分析等技术,对故障信号进行特征提取和分析,提高保护装置对复杂故障的识别能力。

增强抗干扰能力:在软件设计中,加入有效的抗干扰措施,如数字滤波、信号增强、容错处理等。通过对干扰信号的抑制和消除,确保保护装置在恶劣的电磁环境下仍能准确可靠地动作。

(三) 改善运行环境条件

环境监测与控制:在变电站内安装温湿度传感器、电磁干扰监测仪等设备,实时监测运行环境参数。当环境参数超出正常范围时,及时采取相应的调控措施,如启动空调系统调节温度、开启除湿设备降低湿度等。

电磁屏蔽与接地:对继电保护设备采取有效的电磁屏蔽措施,如使用屏蔽电缆、金属外壳等,减少外部电磁干扰的侵入。同时,确保设备的接地系统良好,将设备产生的静电和电磁干扰及时导入大地,保障设备的正常运行。

(四) 加强人员培训与管理

专业技能培训:定期组织继电保护专业人员参加培训,学习最新的技术知识和设备操作技能。培训内容包括继电保护原理、设备调试与维护、故障分析与处理等方面,提高人员的业务水平和综合素质。

规范操作流程:制定严格的继电保护设备操作规范和工作流程,要求工作人员在设备安装、调试、维护和检修过程中严格遵守。加强对操作过程的监督和管理,杜绝因人为误操作导致的保护故障。

结语

继电保护系统的可靠性直接关系到电力系统的安全稳定运行。本文通过对影响继电保护可靠性的因素进行分析,介绍了常用的可靠性评估方法,并结合实际案例进行了深入探讨。针对评估结果和存在的问题,提出了一系列提高继电保护可靠性的措施。在电力工程建设和运行过程中,应高度重视继电保护的可靠性问题,从硬件设备、软件算法、运行环境和人员管理等多个方面入手,不断优化和完善继电保护系统,确保其能够准确、可靠地动作,为电力系统的安全运行提供有力保障。未来,随着电力技术的不断发展,还需要进一步深入研究继电保护可靠性相关问题,探索更加有效的评估方法和提高措施,以适应日益复杂的电力系统需求。

[参考文献]

- [1] 对220kV智能变电站继电保护系统可靠性分析[J]. 李庆文. 电工技术, 2022(08)
- [2] 关于智能变电站继电保护的可靠性探索[J]. 阎忠富. 科技视界, 2021(16)
- [3] 智能变电站继电保护配置方案[J]. 杨琪. 通讯世界, 2022(07)