

# 继电保护产品可靠性评估方法研究

马改园<sup>1</sup> 孙佳佳<sup>2</sup> 寇 柯<sup>3</sup>

1. 许继电气股份有限公司 河南 许昌 461000

2. 许继电气股份有限公司 河南 许昌 461000

3. 河南许继仪表有限公司 河南 许昌 461000

**摘要:**近年来,电力系统中各种设备和线路的稳定运行对于保障人们的生产和生活至关重要。而继电保护产品是电力系统中不可或缺的一部分,其可靠性直接关系到电力系统的稳定性和安全性。因此,对继电保护产品进行可靠性评估是十分必要的。本文旨在探讨继电保护产品可靠性评估的方法,以期为提高电力系统的稳定性和可靠性提供理论依据和实践指导。

**关键词:** 继电保护

**引言:**本文研究了继电保护产品的可靠性评估方法。旨在介绍了可靠性评估的基本概念和意义,然后对继电保护产品可靠性评估的常用方法进行了概述,接着重点分析了基于概率模型和模糊理论的可靠性评估方法,最后讨论了继电保护产品可靠性评估的未来发展趋势。通过研究为继电保护产品的可靠性评估提供了理论依据和实践指导,有助于提高电力系统的稳定性具有重要意义。

## 1 继电保护产品的重要性

继电保护产品在电力系统中扮演着至关重要的角色。它们的主要功能是在电力系统出现故障时,迅速、准确地切除故障部分,防止事故扩大,保障系统稳定运行。在电力系统中,各种设备和线路错综复杂,形成了一个庞大的网络。这些设备和线路之间的相互依赖关系使得任何一个环节的问题都可能导致整个系统的崩溃。因此,当电力设备或线路出现故障时,必须迅速采取措施以隔离故障部分,防止事故扩大,保障其他部分的正常运行。继电保护产品正是为了满足这一需求而设计的。它们能够在设备或线路出现故障时,迅速将故障部分从系统中隔离,防止故障扩大,保障其他部分的正常运行。此外,继电保护产品还具有选择性功能。它们能够根据故障类型和位置,仅切除故障部分,而不会影响到其他正常运行的部分。这样既保障了电力供应的连续性,又最大程度地减少了停电的影响范围<sup>[1]</sup>。随着电力系统的不断发展,对继电保护产品的需求和要求也在不断提高。为了确保电力系统的稳定运行,必须不断更新和改进继电保护产品,以适应不断变化的电力系统需求。

## 2 继电保护产品可靠性评估的方法研究

### 2.1 继电保护系统模拟法

保护系统模拟法是一种广泛应用于评估继电保护产品可靠性的方法。通过模拟电力系统中的电气故障情况,并模拟继电保护系统的响应和动作,我们可以评估继电保护产品在实际运行中的可靠性和准确性。在实施继电保护系统模拟法时,首先需要构建一个详细的模拟电力系统,包括对发电机、变压器、输电线路、负荷等关键元件的模拟。这些模拟元件需要能够逼真地再现电力系统的实际运行情况,从而为后续的电气故障模拟提供基础。接下来,通过模拟电力系统的各种电气故障情况,例如短路、断线、过负荷等,可以观察继电保护系统的响应和动作情况。这些模拟故障应尽可能涵盖实际运行中可能出现的情况,以便对继电保护系统的可靠性进行全面评估。在模拟过程中,我们不仅需要观察继电保护系统的响应和动作是否正确,还需要对其性能指标如动作时间、动作选择等进行定量评估。通过与实际情况的趋势和差异进行比较,我们可以对继电保护系统的可靠性进行准确的评估。此外,继电保护系统模拟法还可以用于预测和防止潜在的故障风险。通过模拟可能出现的故障情况,我们可以提前发现继电保护产品可能存在的问题,并及时采取相应的改进措施,从而提高电力系统的稳定性和可靠性。

### 2.2 运行记录分析法

运行记录分析法是一种基于继电保护产品的操作记录和故障原因分析的方法。通过该方法,我们可以对继电保护的工作情况进行全面的评估,并针对存在的问题进行改进和优化,提高其工作可靠性。在运行记录分析法中,我们需要收集和整理继电保护产品的操作记录,包括动作时间、动作类型、故障位置等信息。同时,我们还需要了解继电保护产品在操作过程中的具体情况,

如输入信号的变化、保护逻辑的执行等。通过对这些信息的分析,我们可以评估继电保护产品的可靠性。当发现继电保护产品的触发频率过高或者出现误动问题时,我们需要进行针对性的改进和优化。首先,我们需要分析触发频率过高的原因。这可能是由于保护逻辑的不完善、输入信号的不稳定等原因导致的。针对这些问题,我们可以采取相应的措施进行改进,如优化保护逻辑、增加滤波环节等。其次,我们需要分析误动问题的原因。这可能是由于继电保护产品的硬件故障、软件错误、通信干扰等原因导致的。针对这些问题,我们可以采取相应的措施进行解决,如更换故障部件、修复软件错误、增加抗干扰措施等。

### 2.3 概率模型法

概率模型法是一种用于评估继电保护产品可靠性的常用方法。在概率模型法中,首先需要建立描述继电保护产品故障模式的概率模型。该模型应包括各种故障模式及其发生概率、故障影响及其修复时间等内容。贝叶斯网络和马尔可夫模型是两种常用的建立概率模型的方法。贝叶斯网络是一种基于概率论的有向无环图,用于描述变量间的概率依赖关系。马尔可夫模型则是一种离散时间随机过程,用于描述系统状态转移的概率分布。在建立概率模型后,需要对模型进行参数估计和验证。参数估计是根据历史数据对模型中的未知参数进行估计,通常采用最大似然估计、最小二乘法等统计方法。这些方法根据历史数据中出现的频率来估计模型参数,使模型更接近实际情况。模型验证是检查模型的预测能力和精度,通常采用与实际数据进行对比分析的方法。如果模型的预测结果与实际数据相差较大,则需要重新调整模型或参数估计方法。最后,根据概率模型的结果,可以计算出继电保护产品的可靠性指标,如平均故障间隔时间(MTBF)、平均修复时间(MTTR)等。MTBF是指产品在两个故障间隔时间内正常工作的平均时间,MTTR则是指产品从故障状态修复到正常状态所需时间的平均值<sup>[2]</sup>。通过对这些指标的分析,可以得出继电保护产品的可靠性水平,并采取相应的改进措施以提高其可靠性。

### 2.4 模糊理论法

模糊理论法是一种基于模糊数学和模糊逻辑的可靠性评估方法,适用于存在不确定性和模糊性的电力系统。该方法通过建立模糊数学模型,分析继电保护产品的故障模式和影响因素,评估其可靠性。在模糊理论法中,首先需要确定评估指标和评估等级。评估指标是反映继电保护产品可靠性的指标,如成功率、故障率等。评估等级是对

这些指标的可靠性水平进行分级,通常分为高、中、低等几个等级。接下来,利用专家经验和历史数据,建立模糊数学模型。该模型包括输入变量、输出变量和模糊隶属函数等内容。输入变量是影响继电保护产品可靠性的因素,如电压波动、电流大小等。输出变量是可靠性评估结果,即评估指标和评估等级。模糊隶属函数是描述输入变量与输出变量之间关系的函数,通常采用三角形、梯形等函数形式。在建立模糊数学模型后,需要对模型进行验证和调整。验证是检查模型的预测能力和精度,通常采用与实际数据进行对比分析的方法。调整是根据验证结果对模型进行调整,以提高模型的准确性和可靠性。最后,根据模糊数学模型的结果,可以得出继电保护产品的可靠性水平。通过对不同指标的分析,可以采取相应的改进措施以提高其可靠性。

### 2.5 故障树分析法

故障树分析法是一种广泛应用于系统可靠性评估的方法,尤其适用于电力系统的继电保护产品。通过构建故障树,可以系统地分析出可能导致继电保护产品失效的各种因素及其相互关系,从而找出系统的薄弱环节,并采取相应的措施提高其可靠性。首先,进行故障树分析需要确定系统故障的顶级事件,即继电保护产品的失效。然后,通过逐级向下分析,找出导致顶级事件发生的所有可能因素,包括硬件故障、软件故障、环境因素等。这些因素被称为故障树的各个节点。接下来,需要对每个节点进行概率分析,以确定其发生的可能性。这些概率值可以通过历史数据、专家经验或模拟实验等方式获得。通过这些概率值,可以计算出顶级事件发生的概率,即继电保护产品的可靠性。此外,故障树分析法还可以找出系统中可能导致连锁故障的关键环节。这些环节被称为“关键区域”或“瓶颈”,需要特别关注和改进。

### 2.6 模拟仿真法

模拟仿真法是一种通过计算机模拟继电保护产品的运行情况和故障响应的可靠性评估方法。该方法利用仿真软件构建电力系统模型,模拟各种正常运行和故障情况下的电气量变化,同时模拟继电保护产品的动作行为,从而评估其可靠性。在模拟仿真法中,首先需要建立电力系统模型,包括发电机、变压器、输电线路、负荷等元件的数学模型。然后,根据继电保护产品的保护原理和整定值,构建相应的继电保护模型。该模型应包括故障检测、动作决策、执行输出等环节,并能正确模拟继电保护产品的动作行为。在建立好电力系统模型和继电保护模型后,通过仿真软件进行模拟运行。在模拟

过程中,可以设定不同的故障类型和发生位置,观察继电保护产品的动作行为和可靠性表现<sup>[3]</sup>。同时,还可以模拟电力系统在不同运行方式下的响应,分析继电保护产品在不同场景下的性能。通过模拟仿真法的结果,可以定量评估继电保护产品的可靠性指标,如正确动作率、误动率等。这些指标可以反映继电保护产品的性能水平,为改进其设计和运行提供依据。

### 3 继电保护产品可靠性评估的未来发展趋势与挑战

#### 3.1 故障检测和预防

随着电力系统规模的不断扩大和复杂化,电力系统的故障检测和预防变得越来越重要。传统的继电保护技术已经难以满足现代电力系统对大容量、高压力环境下的保护需求,以及对快速、精确动作的要求。因此,未来的继电保护技术需要更加强化故障检测和预防功能。为了更好地检测和预防电力系统的故障,未来的继电保护技术需要引入更先进的算法和模型。例如,基于人工智能的故障检测和预防算法,包括神经网络、模糊逻辑、深度学习等,可以更好地识别和预测电力系统的故障。这些算法和模型可以通过分析电力系统的运行数据,学习并识别异常模式,从而在故障发生前进行预警和预防。此外,未来的继电保护装置也需要具备更强的适应性和灵活性。针对不同的电力系统配置和运行环境,继电保护装置需要能够自适应地调整其运行参数和保护策略,以更好地适应电力系统的变化。

#### 3.2 评估方法的改进

评估方法的改进在继电保护产品可靠性评估中具有重要意义。随着技术的不断进步,我们需要引入更先进的方法来提高评估的准确性和可靠性。一方面,我们可以引入更先进的模拟仿真技术来模拟电力系统和继电保护设备的运行情况。模拟仿真技术可以模拟电力系统的各种故障情况,以及继电保护设备的响应和动作情况,从而更准确地评估继电保护产品的可靠性。例如,基于仿真的故障注入技术可以模拟各种故障情况,从而对继电保护产品的可靠性进行全面评估。另一方面,我们还可以加强定量评估方法的研究。在继电保护产品可靠性评估中,定量评估方法可以更准确地评估产品的可靠性。例如,基于概率模型的方法可以通过建立概率模型来评估产品的可靠性,从而更准确地预测产品的性能。

此外,我们还可以引入多因素综合评估方法,综合考虑多个因素来评估产品的可靠性,从而更全面地了解产品的性能。

#### 3.3 挑战与对策

尽管电力系统继电保护技术持续发展,但挑战仍然存在。对于复杂环境下的可靠性问题,可以强化设备硬件设计制造,提高其抗干扰能力和稳定性。同时,引入先进的故障检测和预防技术,如人工智能算法,以更准确地识别和预测电力系统故障。加强设备的维护和更新,及时发现并修复潜在问题。实现跨区域的协同保护是另一大挑战。通过分布式协同保护技术,将整个电力系统划分为多个协同区域,区域内的继电保护装置协同动作,实现信息共享和协同操作。同时,需要加强信息通信技术的研发和应用,确保跨区域信息传输的可靠性和实时性。提高继电保护装置的适应性和灵活性也是需要解决的问题。通过可编程逻辑控制器(PLC)技术,将继电保护装置与PLC结合,编程实现不同的保护功能和适应不同的电力系统配置。采用模块化设计方法,将不同功能模块化,根据需要组合模块来实现不同的保护功能<sup>[4]</sup>。最后,需要加强电力系统继电保护技术的标准化和规范化工作。制定统一规范和标准,确保不同厂商的继电保护装置能够兼容和互操作。

结语:综上所述,对于继电保护系统可靠性的研究,需要建立在构建系统可靠性变化数学模型的基础上。通过选取合理的继电保护失效率模型,处理全过程的相关失效数据,并使用拟合和迭代法计算模型参数,构建出合理的继电保护失效率模型。同时,根据继电保护设备的工作状态和运行环境,可以建立Markov模型,从而对继电保护系统进行有效的风险评估和可靠性判断。

#### 参考文献

- [1]李伟,张博,赵全伟.继电保护产品可靠性评估方法研究[J].电力系统保护与控制,2019,47(11):1-8.
- [2]张华伟.基于风险模型的继电保护产品可靠性评估方法研究[J].电力系统自动化,2019,43(22):78-83.
- [3]王雅婷.基于模拟仿真的继电保护产品可靠性评估方法研究[J].电力系统自动化,2020,44(18):68-73.
- [4]李晓明.基于故障注入的继电保护产品可靠性评估方法研究[J].电力系统保护与控制,2020,48(13):138-143.