

Research on Adaptive Setting and Optimal Configuration of Relay Protection in Power Systems

Xiaoxiang Ye

State Power Investment Guizhou Jinyuan Group Weining Energy Co., Ltd., Bijie, Guizhou, 553100, China

Abstract

With the continuous expansion of power system scale and increasing complexity of its structure, higher requirements are placed on the reliability, sensitivity, and rapidity of relay protection. Adaptive setting and optimal configuration of power system relay protection can adjust protection settings in real-time according to changes in system operating conditions, thereby reasonably planning the layout of protective devices, effectively enhancing the performance of relay protection. This paper will study the principles, methods, and technical implementation of adaptive setting and optimal configuration, as well as analyze previous challenges and development trends, aiming to provide theoretical support and practical references for the scientific development of power system relay protection.

Keywords

power system; relay protection; adaptive setting; optimal configuration

电力系统继电保护自适应整定与优化配置研究

叶小祥

国家电投贵州金元集团威宁能源股份有限公司, 中国·贵州 毕节 553100

摘 要

由于电力系统规模的不断扩大和结构的日益复杂, 其对继电保护的可靠性、灵敏性和速动性提出了更高要求。而电力系统继电保护的自适应整定与优化配置, 能够根据电力系统运行状态的变化, 实时地调整保护定值, 从而合理地规划与保护装置的布局, 可有效地提升继电保护性能。本文将研究自适应整定与优化配置的原理、方法、技术实现, 并且还会分析此前面临的挑战与发展趋势, 希望能够为电力系统继电保护的科学发展提供理论支持与实践参考。

关键词

电力系统; 继电保护; 自适应整定; 优化配置

1 引言

电力系统作为现代社会的重要基础设施, 其安全稳定运行至关重要。而继电保护作为电力系统的“卫士”, 在电力系统发生故障或异常运行状态时, 能够迅速、准确地动作, 即切除故障设备, 进而保障电力系统的安全。但是传统的继电保护整定方法通常是基于电力系统的最大、最小运行方式进行定值计算, 一旦电力系统运行方式发生变化, 那么将导致保护装置误动、拒动或保护范围缩小等问题出现。现下随着电力系统中新能源的大规模接入、电网互联程度的提高, 以及电力市场的发展, 电力系统的运行方式变得更加复杂多变, 此时传统继电保护整定与配置方式已经无法满足现代电力系统的需求。因此研究电力系统继电保护的自适应整定与优化配置具有重要的现实意义。

2 电力系统继电保护基础

2.1 继电保护的基本原理

继电保护装置可对电力系统中电气量(如电流、电压、功率、频率等)进行实时监测。若监测到的电气量出现异常变化, 且达到预定的动作判据时, 当中的保护装置迅速发出跳闸信号, 使断路器动作——切除故障设备, 从而保护电力系统的其他部分免受故障影响。

2.2 继电保护的基本要求

2.2.1 可靠性

可靠性是继电保护的首要要求, 其直接关系到电力系统的安全稳定运行。因此继电保护装置应在规定的保护范围内发生故障时可靠动作, 要做到不拒动, 而在正常运行及保护区外故障时可靠不动作, 且不误动。

2.2.2 灵敏性

继电保护装置对其保护范围内发生的故障, 或者异常运行状态的反应能力, 通常会用灵敏系数来衡量。其灵敏系数越高, 就代表保护装置对故障的反应越灵敏, 意味着其能够更加准确地检测到故障^[1]。

【作者简介】叶小祥(1988–), 男, 中国贵州普定人, 助理工程师, 从事新能源光伏发电系统研究。

2.2.3 速动性

速动性的含义是继电保护装置应能尽快地切除故障，以减少故障对电力系统的影响，继而提高系统的稳定性。速动性对于防止故障扩大、减轻设备损坏程度具有重要意义。

2.2.4 选择性

当电力系统发生故障时，继电保护装置应只切除故障设备，并且尽量使非故障设备继续运行，以此保证电力系统的正常供电范围最大。

3 自适应整定原理与方法

3.1 自适应整定的概念与原理

自适应整定是指继电保护装置能够根据电力系统运行状态的实时变化，自动地调整保护定值，从而适应不同的运行方式。其原理主要基于对电力系统运行参数的实时监测和分析，再通过通信网络获取电力系统的潮流分布、短路电流等信息，然后利用智能算法计算出适应当前运行状态的保护定值。

3.2 基于人工智能的自适应整定方法

3.2.1 神经网络

神经网络具有强大的非线性映射能力和自学习能力。神经网络在继电保护自适应整定中，通过对大量电力系统运行数据的学习，便可以建立电力系统运行状态与保护定值之间的映射关系。一旦获取到实时运行数据，神经网络则能够快速计算出相应的保护定值。

3.2.2 模糊逻辑

实际当中，模糊逻辑主要适用于处理具有不确定性和模糊性的问题。就电力系统继电保护而言，其运行方式的变化、故障类型的多样性等都存在一定的模糊性。此时模糊逻辑通过建立模糊规则库，可将电力系统的运行参数模糊化处理，接着根据模糊推理即可得出保护定值的调整策略。

3.2.3 遗传算法

遗传算法是一种基于自然选择和遗传机制的优化算法。在继电保护自适应整定当中，遗传算法可以将保护定值作为优化变量，以保护装置的可靠性、灵敏性等性能指标作为优化目标，经过模拟生物进化过程中的选择、交叉和变异操作，最终寻找出最优的保护定值组合。

4 优化配置的关键技术与策略

4.1 优化配置的目标与意义

电力系统中对于继电保护进行优化配置，是一项系统且复杂的工程，其重要性不言而喻。从本质上讲，此操作旨在通过科学、合理的规划，以及精准选择适配的保护装置类型，且精确确定所需的保护装置数量，再将其巧妙地安装于合适的位置当中。此系列操作的核心目标是在全方位地满足继电保护可靠性、灵敏性、速动性和选择性这四大基本要求的同时，实现投资成本的最小化。

以城市电网建设为例，某新兴城区的电网规划中，若对继电保护装置进行盲目配置，则可能出现过度保护的情况。如一些负荷相对稳定且短路故障概率较低的区域，若为其配置过多的高灵敏度、高成本保护装置，虽能够保障电力系统的安全，

但也会极大地增加建设成本，同时还会使后期的运维工作变得繁琐与复杂。而优化配置则能有效地规避此类问题。

相关人员通过深入分析该区域的电力负荷特性、电网结构以及历史故障数据，可为其选择合适的保护装置并进行合理的布局。例如，在该城区的一般性居民区，将采用较为常规且成本较低的电流保护装置，再结合一定数量的重合闸装置。如此一来，既能满足对供电可靠性的基本要求，又能在发生瞬时性故障时迅速地恢复供电，且避免了不必要的高额投资。

4.2 优化配置的关键技术

4.2.1 故障分析与定位技术

准确的故障分析与定位是继电保护优化配置的基石。如果电力系统发生故障，其电气量就会发生复杂且特征性的变化，而这些变化当中则蕴含着故障的关键信息。故障定位算法便是对这些电气量变化进行深入分析，以此确定故障点的精确位置^[2]。其中，基于行波原理的故障定位技术在实际应用中表现卓越。当输电线路发生故障时，故障点会产生向两端传播的行波，而行波的传播速度是已知且相对稳定的。此时通过在输电线路两端安装的监测设备，即可精确地测量行波到达两端的时间差，再结合线路的长度等参数，便能够利用行波定位算法快速、准确地计算出故障点的位置。一旦确定了故障点位置，相关人员就可以根据故障点的具体情况，在其附近合理地配置快速动作保护装置，如快速熔断器、高速断路器等，从而确保在故障发生时能够迅速地切断故障线路，以此最大限度地减少故障对电力系统的影响。

4.2.2 可靠性评估技术

继电保护系统的可靠性会直接关系到电力系统的安全稳定运行，因此对其进行全面、科学的评估是至关重要的。所谓可靠性评估技术，就是深入地分析不同配置方案下保护装置的拒动、误动概率，以及这些情况对电力系统整体运行的影响程度。目前故障树分析法是一种比较常用的可靠性评估方法，它主要以图形化的方式，构建起保护系统的故障逻辑关系。

4.2.3 通信技术

通信网络承载着电力系统运行数据、保护装置的动作信号等重要信息的传输任务。因此可靠的通信技术才是实现继电保护优化配置的关键支撑。以智能电网为例，现阶段随着电网智能化程度的不断提高，分布式能源接入、分布式保护装置的应用以及电网自动化控制的需求量大增，因此通信网络的要求也越来越高。而高速、稳定的通信网络是确保保护装置之间信息交互及时且准确的基础。此时光纤通信技术凭借其传输速率高、抗干扰能力强、传输距离远等优点，毫无例外地成为构建电力系统通信网络的首选技术之一。在一个大型区域电网中，相关人员通过构建光纤通信环网，可将各个变电站、发电厂以及分布式能源接入点连接起来，从而能够实现电力系统运行数据的实时采集与传输，与保护装置动作信号的快速传递。此时当某个区域发生故障，故障信息就能够通过光纤通信网络迅速将其传输到相关保护装置和控制中心，然后各保护装置会根据接收到的信息协同工作，进而快速准确地切除故障。

4.3 优化配置的策略

4.3.1 分层分区配置策略

电力系统是一个庞大且复杂的层级结构，对此根据其电压等级、网络结构等因素，实施分层分区配置策略是电力企业实现继电保护优化配置的有效途径。就高压输电网络来说，其输电容量大、输电距离远，因此一旦发生故障，将对电力系统的产生范围极广且危害程度极大的影响，对此就需要采用可靠性高、性能优良的保护配置方案^[3]。

纵联差动保护能够快速、准确地判断输电线路内部的故障，其原理是比较输电线路两端的电流大小和相位。当线路内部发生故障时，两端电流就会出现明显的差异，此时保护装置便可迅速动作、切除故障。距离保护则是根据故障点到保护安装处的距离来确定保护动作，它能够在不同运行方式之下，对于输电线路进行有效的保护。同时再配合以定时限过电流保护、零序电流保护等后备保护，即可形成一个完整的保护体系。

而在低压配电网当中，因为其结构相对简单、负荷变化相对较小，所以采用电流保护、重合闸等简单有效的保护方式即可满足需求。例如，在城市的低压配电网中，对于一般的居民用户和小型商业用户来说，采用简单的三段式电流保护，即可快速地切除短路故障。同时为其配置重合闸装置，以便在发生瞬时性故障时自动重合闸，恢复供电，提高供电可靠性。

4.3.2 协调配合策略

电力系统中的不同保护装置之间要配合协调，其直接关系到继电保护系统能否准确、可靠地动作。尤其是上下级保护装置之间的动作时限和动作定值，必须要进行精细的配合。以一个典型的输电线路保护为例，下级保护装置的动作时限应小于上级保护装置，而动作定值应根据线路的具体参数和负荷情况进行合理整定。如果下级线路发生故障时，下级保护装置就应该迅速地动作、切除故障。若下级保护装置由于某种原因拒动，那么上级保护装置则应在设定的延时后动作，切除故障，以此确保电力系统的安全。

4.3.3 动态优化策略

电力系统实际上是一个动态发展的系统，随着电力负荷的增长、新能源的接入以及电网结构的不断调整，其运行方式也在不断变化。因此继电保护的配置不能是一成不变的，而是要采用动态的优化策略。即相关人员要根据电力系统的实时运行状态和发展规划，定期地对保护配置进行全面、深入的评估和调整。同时再结合电力系统的发展规划，为此系统提前规划未来可能需要的继电保护配置，从而确保保护系统始终能够适应电力系统的变化，使其处于最优配置状态。

5 面临的挑战与发展趋势

5.1 面临的挑战

5.1.1 数据质量与安全问题

因为自适应整定与优化配置依赖于大量的电力系统运

行数据，所以数据的准确性、完整性和实时性对系统性能至关重要。然而在实际的运行过程中，数据采集过程中可能会存在噪声干扰、数据丢失等问题，而这些问题会影响到数据的质量。并且电力系统数据涉及了电网安全和用户隐私，因此数据安全防护面临着严峻挑战。

5.1.2 技术标准与规范不完善

目前电力系统继电保护自适应整定与优化配置的技术标准和规范还不够完善，使得不同厂家的设备和系统之间存在兼容性问题。

5.1.3 复杂系统建模与计算难题

电力系统是一个复杂的非线性系统，它的运行方式多样，因此其发生故障的类型也比较复杂。就自适应整定与优化配置过程来说，如何准确地建立电力系统模型并进行高效的计算是一个难题^[4]。

5.2 发展趋势

5.2.1 智能化发展

当下人工智能、大数据、物联网等技术都在不断地发展，继电保护的自适应整定与优化配置将跟随相关技术，向着更加智能化的方向发展。

5.2.2 与新能源融合发展

新能源在电力系统中的接入比例一直在提高，此时继电保护就需要适应新能源的特性。未来自适应整定与优化配置技术将与新能源发电技术进行深度融合，用于研究适用于新能源接入电力系统的继电保护方案。

5.2.3 分布式协同保护

分布式电源和微电网的发展使得电力系统的结构更加分散，因而分布式协同保护也将成为发展趋势。

6 结语

对于自适应整定原理与方法、优化配置的关键技术与策略的研究，本文认识到了这一技术在提升继电保护性能方面的显著优势。尽管目前依然面临着数据质量、技术标准等挑战，但相信随着技术的不断进步和发展，其智能化、与新能源融合以及分布式协同保护等发展趋势将为电力系统继电保护带来新的变革，最终将为电力系统的安全稳定运行提供更加坚实的保障。

参考文献

- [1] 王俊刚,李洪蕾,廖杰.智能电网继电保护系统自适应整定研究[J].光源与照明,2024,(03):171-173.
- [2] 刘咏.电力系统安全自动控制与继电保护研究[J].通信电源技术,2024,41(10):217-219.
- [3] 来庭煜,程江州.电力系统继电保护自适应消缺方法仿真研究[J].计算机仿真,2018,35(10):158-161.
- [4] 罗晨璐.企业电网继电保护配置方案及整定系统的研究与开发[D].北京市:华北电力大学,2021.