

避免线路保护定值频繁修改的方法及其实现

任建文, 谷雨峰, 张 猛, 王丽娜

(华北电力大学 电气与电子工程学院, 河北 保定 071003)

摘要: 线路保护定值应随着电网结构的改变及时进行修改, 但是保护定值的频繁修改会降低定值的稳定性, 增加出现失配保护的可能性。因此提出了一种减少线路保护定值频繁修改的方法, 在满足选择性和灵敏性约束的前提下, 通过定值偏差率校验、快速判断阶段和精确判断阶段判断保护是否需要修改定值, 提高了系统运行可靠性。将提出的方法应用到整定计算软件中, 创建了定值调整模块, 该模块的建立丰富了整定计算软件的功能, 提高了软件工作效率。

关键词: 继电保护; 整定; 保护定值; 定值修改; 失配保护; 软件架构; 模块开发

中图分类号: TM 77

文献标识码: A

DOI: 10.16081/j.issn.1006-6047.2015.08.025

0 引言

作为重要的二次系统, 继电保护能够快速有选择性地切除故障设备, 它对电力系统的安全稳定运行起着极为重要的作用。国内外的很多大范围停电事故, 都与继电保护装置的不正确动作有着直接或者间接的关系^[1-4], 而整定计算直接决定保护装置能否正确动作。随着电力系统规模的日益扩大, 电网结构越来越复杂, 整定计算的工作量也越来越大, 传统的人工整定已无法满足飞速发展的电力系统。近年来, 研究人员对整定计算软件进行了深入研究, 软件的功能^[5-8]、通用性^[9-11]等方面得到了很大的提升。继电保护整定计算软件的出现与发展提高了工作效率和保护定值的准确性。

我国普遍采用离线整定方式, 由于负荷增长、设备检修等原因引起电网结构改变时, 要及时退出旧的保护定值, 投入一套新的保护定值。但从定值通知单的下发到保护定值更改完毕需要一定的时间^[12], 保护定值无法同时修改完毕, 这可能造成失配保护的出现。如果在这一时段发生故障, 保护装置可能出现不正确动作的现象, 甚至造成严重后果。保护定值的频繁修改会增加出现失配保护的可能性, 因此从保护定值的稳定性角度出发, 新定值投运前要进行定值调整, 即通过判断旧定值在新的电网结构下的适用性, 减少修改定值的保护数目。现有的整定计算软件的定值调整功能尚不完善, 定值调整原则仅从保护的灵敏性、动作时间和新旧定值的变换率方面进行了考虑, 修改定值的保护数目依旧很大。

本文提出了一种减少线路保护定值修改次数的方法, 在满足选择性和灵敏性的前提下, 通过定值偏差率校验、快速判断阶段和精确判断阶段完成对保护定值的调整。算法易于计算机实现, 可最大限度地减少修改定值的保护数目。文中将提出的定值调整

算法应用到整定计算软件中, 创建了定值调整模块并详细叙述了模块的开发思想和过程。

1 定值调整算法

定值调整算法的核心是检验旧定值在现有的电网结构下是否适用, 即定值是否满足选择性和灵敏性。定值调整算法适用于整定时需要进行配合计算的保护, 如零序电流保护、距离保护等。定值调整时要按照逐段调整的思想, 针对不同的保护段, 调整方法有所不同。

1.1 保护 I 段的调整方法

保护 I 段的整定不需要与其他保护进行配合, 而且不需要考虑灵敏性问题, 因此可通过偏差率校验和新、旧定值的比较完成对定值的调整。

a. 新、旧定值偏差率校验。考虑到离线整定时保护定值的灵敏性和选择性裕度、互感器的测量误差和短路电流的计算误差等原因, 当新、旧定值的偏差小时, 新、旧定值的保护性能几乎相同, 这时不需改变保护定值。新、旧定值的偏差率 δ 定义如下:

$$\delta = \frac{|\text{新定值} - \text{旧定值}|}{\text{旧定值}} \times 100\% \quad (1)$$

若 $\delta \leq 5\%$, 保护定值不必修改; 否则, 继续调整。偏差率的极值也可根据电网实际情况做适当调整。

电网结构的改变可看作是影响线路保护定值的扰动源, 它一般只会对与改变处相邻的三级线路内的保护定值产生较大影响。本文所提出的 5% 偏差率校验可完成对系统内大部分定值的调整, 提升调整效率。以某实际省级电网的系统结构为基础, 假设由于用电量需求增加, 拟建设 1 个 220 kV 变电站、3 条 220 kV 输电线路。以距离保护为例, 除了与改变处邻近的 18 个整定项外, 5% 偏差率校验可完成其余整定项的定值调整。

b. 通过新、旧定值的比较确定 I 段定值。如果旧定值比新定值更严格 (对于距离保护等欠量保护, 旧

定值小于新定值;对于零序电流保护等增量保护,新定值大于旧定值),说明旧定值的保护范围不超出新定值的保护范围,即旧定值的保护范围不超出线路末端且留有足够的裕度,旧定值一定满足选择性,因此保护定值不必修改;否则,修改为新定值。如果保护仍采用旧定值,这时要在最小运行方式下校验其保护范围,当保护范围过小时,保护定值也要修改为新定值。

1.2 保护 II 段及更高段的调整方法

保护 II 段及更高段定值的确定需要考虑上、下级保护的配合,调整过程较为复杂。本文将调整过程分为新、旧定值偏差率校验,快速判断阶段和精确判断阶段。

a. 新、旧定值偏差率校验。这一步骤和保护 I 段调整方法的步骤 **a** 相同。

b. 快速判断阶段。对不必修改的保护定值进行快速判断,完成对部分保护定值的调整,可大幅减少精确判断阶段的计算量,提高定值调整过程效率。

在最小运行方式下计算旧定值的灵敏度并判断是否满足要求,如果灵敏度过低,保护更改为新定值。如果灵敏度满足要求,当旧定值比新定值更严格时,旧定值在现有的电网结构下满足选择性和灵敏性,因此保护定值不必修改。旧定值满足选择性的原因是:由于新定值与待调整保护的相邻下级保护配合时满足选择性,而旧定值的保护范围比新定值更小,因此旧定值同样满足选择性。然而当新定值比旧定值严格时,并不能说明旧定值一定不满足选择性,这时要继续调整过程。

c. 精确判断阶段。对旧定值的选择性进行精确判断,如果旧定值满足选择性,保护定值不必修改;否则,保护定值修改为新定值。

本文采用基于保护范围的选择性校验^[13],当待调整保护所在线路末端连接着线路时,校验步骤为:

步骤 1 搜索相邻下级保护的動作时间小于且最接近待调整保护动作时间的保护 $M(M=I, II, III)$ 段;

步骤 2 在最大运行方式下计算待调整保护的旧定值和相邻下级保护 M 段定值的保护范围;

步骤 3 当相邻下级保护与待调整保护的保護范围差大于要求的最小值(这个最小值一般大于 20%,以防由于运行方式的变化造成保护的越级误动)时,待调整保护的旧定值满足选择性。

当待调整保护所在线路末端连接着变压器时,校验方法有所不同。当距离保护 II 段、零序电流保护 II 段及 III 段旧定值的保护范围不超出变压器其他侧母线,距离保护 III 段旧定值的保护范围不超出变压器过电流保护的保護范围,相间电流保护 II 段旧定值的保护范围不超出变压器电流速断保护的保護范围,且均有一定保护范围裕度时,旧定值满足选择性。

文献[14-15]给出了快速计算零序电流保护和相间电流保护各段保护范围的方法,即求取距离保护的保護范围时,根据保护接线的不同,假定保护安装处的测量阻抗等于保护定值,从而得到关于保护范围的一元一次方程,解出保护范围。

保护 II 段及更高段定值调整的流程图如图 1 所示,图中 A_p 为待调整保护的总数。

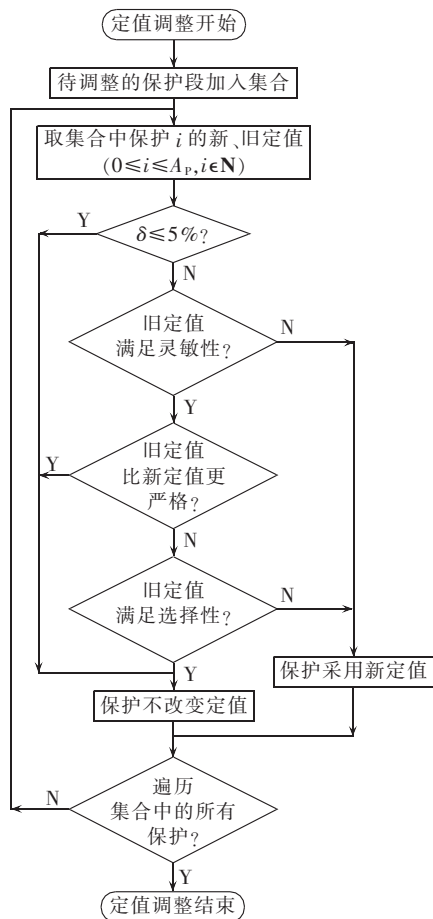


图 1 保护 II 段及 III 段定值调整的流程图

Fig.1 Flowchart of setting adjustment for protection zone II and III

1.3 对保护 III 段远后备灵敏度的讨论

整定计算时保护 III 段定值仅校验近后备灵敏度。根据现场实际需求的不同,有时希望保护 III 段的定值同样满足远后备灵敏度要求。针对这种情况,在定值调整过程中对 III 段定值的近后备灵敏度和远后备灵敏度均进行校验,当旧定值和新定值都不满足灵敏性要求时,应用基于灵敏度的调整算法进行重新整定,使得定值调整后输出的整定值满足基本要求,即满足灵敏性和选择性。该调整算法也可被整定计算应用,以提升整定效率。

首先引入自身灵敏度约束和上级保护灵敏度约束的概念。

自身灵敏度约束是指为了使待整定保护满足近后备灵敏度和远后备灵敏度要求,待整定保护的定值

应满足的条件。对于保护Ⅲ段,距离保护和零序电流保护的自身灵敏度约束分别如式(2)和式(3)所示。

$$Z_{dz} \geq \max \{K_{sen} Z_L, K'_{sen} Z_R\} \tag{2}$$

$$I_{dz} \leq \min \{3I_{0min}/K_{sen}, 3I'_{0min}/K'_{sen}\} \tag{3}$$

其中, Z_{dz} 和 I_{dz} 分别为距离保护和零序电流保护的定值; Z_L 为保护所在线路的正序阻抗; K_{sen} 为近后备灵敏度要求的最小值; K'_{sen} 为远后备灵敏度要求的最小值; Z_R 为距离保护中校验远后备灵敏度所用的阻抗; I_{0min} 为保护所在线路末端发生单相或两相接地短路时流过保护的最小零序电流; I'_{0min} 为保护所在线路的相邻下级线路末端发生单相或两相接地短路时流过保护的最小零序电流。

上级保护灵敏度约束指为了使待整定保护的相邻上级保护与待整定保护的配合结果满足自身灵敏度约束,待整定保护的定值要满足的条件。这一约束条件只考虑相邻上级保护的Ⅲ段定值对待整定保护定值的要求。如果待整定保护存在多个相邻上级保护,依次计算对应于每个相邻上级保护的上级保护灵敏度约束条件,然后根据保护类型,取最严格的约束条件作为待整定保护的上级保护灵敏度约束。如果待整定保护的相邻上级元件没有线路,该保护不受上级保护灵敏度的约束。距离保护和零序电流保护的上级保护灵敏度约束分别如式(4)和式(5)所示:

$$Z_{dz} \geq \frac{Z'_{sen} - K_{rel} Z'_L}{K_{rel} K_Z} \tag{4}$$

$$I_{dz} \leq \frac{I'_{sen}}{K_{rel} K_{0br}} \tag{5}$$

其中, Z'_{sen} 和 I'_{sen} 分别为距离保护和零序电流保护相邻上级保护的自身灵敏度约束的极值; Z'_L 为相邻上级保护所在线路的正序阻抗; K_{rel} 为可靠系数; K_Z 为正序助增系数; K_{0br} 为零序分支系数。

上级保护灵敏度的设置可提高整定时的全局性,加快重新整定的速度。如果待整定保护的定值满足自身灵敏度约束和上级灵敏度约束(以下简称灵敏度约束),那么该保护定值满足灵敏性。

引入主配合保护的概念,当待整定保护与它的某个配合保护的配合结果决定待整定保护定值时,这个配合保护就称为待整定保护的主配合保护。对于距离保护,主配合保护是配合结果最小的配合保护;对于相间电流保护和零序电流保护,主配合保护是配合结果最大的配合保护。

基于灵敏度的调整算法的流程如下。

- a. 取待整定保护的配合保护,计算与配合保护Ⅱ段的配合结果并判断该配合结果是否满足灵敏度约束。如果满足,转步骤c;否则计算与配合保护Ⅲ段的配合结果并判断该配合结果是否满足灵敏度约束,如果满足,转步骤c,否则转步骤b。
- b. 让该配合保护的Ⅲ段与其每个配合保护的Ⅱ

段配合,得到配合保护的新定值及其主配合保护,并得到待整定保护的配合结果。判断待整定的配合结果是否满足灵敏度约束,若满足,转步骤c;否则,调整配合保护与其主配合保护的更高段配合。重复该过程直到待整定保护的配合结果满足灵敏度约束。

c. 遍历待整定保护所有的配合保护,当待整定保护与每个配合保护的配合结果都满足灵敏度约束时,根据保护类型的不同取最大或最小的配合结果作为待整定保护的最终定值。

1.4 关于算法的几点说明

- a. 当电网中存在复杂环网时,要首先获取整定计算时对断点的设置,断点保护处只需满足选择性或灵敏性^[16];
- b. 电网结构的改变一般只对邻近线路的定值产生较大影响,可应用故障集的思想,只对故障集内的保护进行定值调整,从而提高工作效率;
- c. 重新整定可能得不到满足远后备灵敏度要求的保护Ⅲ段,这时将保护信息传送给整定工作人员,进行人工干预。

2 定值调整功能的实现

将本文所提出的定值调整算法应用到整定计算软件中,创建了定值调整模块,本节详细介绍了软件的总体结构和定值调整模块的开发过程。

2.1 软件的总体结构

软件采用3层体系结构,即表示层-业务层-数据层。表示层负责与用户直接交互,是系统的人机交互界面,用于数据显示、数据录入等;业务层是软件的核心,用于实现整定计算软件的各项功能;数据层负责与数据库进行交互。

软件采用模块化设计,其开发周期短,易于调试和维护。软件主要包括以下模块:整定计算模块、潮流计算模块、故障计算模块、在线校验模块、图形显示模块以及定值调整模块。软件的总体结构见图2。

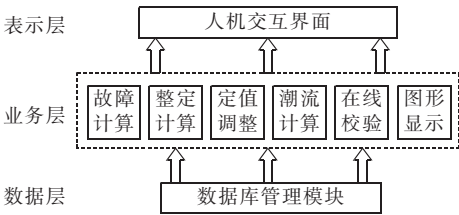


图 2 软件的总体结构
Fig.2 Overall architecture of software

整定计算模块:完成电网中零序电流保护、距离保护等阶段式保护的整定计算,以及对环网、T接线等复杂接线的整定,采用自动整定和人工干预结合的模式,并输出保护定值通知单。

潮流计算模块:为整定计算模块和故障计算模块

提供电网潮流数据,模块内加入了多种潮流计算的算法,以满足不同业务功能的需求。

故障计算模块:针对各种类型的故障进行计算,包括接地故障、相间故障、跨线故障和多重复杂故障等;可单独运行作为系统分析的辅助工具,也可以作为整定计算、在线校验等模块的组成部分,提供包括最大/最小运行方式下各支路的序电流和相电流、母线的序电压和相电压、分支系数等必要数据。

在线校验模块:实时跟踪网络拓扑的变化,人工或自动启动在线校验系统;在线获取电网运行状态信息,应用故障集的思想减小校验范围,优化故障计算列表,减少不必要的及重复的故障计算,提高在线校验速度。

图形显示模块:用于显示、编辑电网拓扑结构,查看电网中元件的参数、运行状态等;可自动生成描述电网拓扑结构的数据,并提供与其他模块的交互接口。

定值调整模块:作为整定计算的后续流程,电网结构改变后,应用定值调整算法,在保证定值满足选择性和灵敏性的前提下完成对保护定值的调整。

2.2 定值调整模块的开发

定值调整模块的主要任务是在整定计算得到一套新定值后,应用定值调整算法完成对保护定值的调整,减少更改定值的保护数目,增强保护定值的稳定性,提高系统的安全稳定运行水平。

模块建立输入接口和输出接口这 2 个对外接口。输入接口用于读取电网的拓扑结构、故障计算的结果、保护的新/旧定值等数据;输出接口用于返回定值调整结果,调整结果以结构体的形式输出,结构体包含整定项序号、待投入定值、定值改变与否、近后备灵敏度、远后备灵敏度、保护范围及保护范围所在线路等数据。

模块采用面向对象的编程方法,主要创建了保护类、管理类 and 定值调整类,下面进行详细介绍。

a. 保护类。

模块中只创建与定值调整相关的保护类。首先创建保护基类,根据保护对象的不同创建线路保护类和变压器保护类,它们是保护基类的派生类。然后再根据保护类型和时序完成对所有保护类的创建,保护类中含有整定项序号、关联的电网资源序号、关联端口号、新定值、旧定值、灵敏度要求值等属性及方法。保护类的创建结果如图 3 所示。

b. 管理类。

管理类用于读取和存储模块接收到的保护信息、电网的线路和设备参数、故障计算结果、断点设置等,它以链表的方式进行存储。

c. 定值调整类。

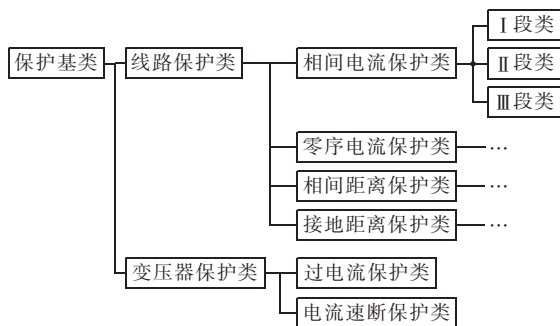


图 3 保护类的创建结果

Fig.3 Results of protection class creation

定值调整类是模块的核心部分,该类继承于输入和输出接口,完成读取数据、计算整定值的灵敏度和保护范围、执行定值调整过程、输出调整结果等功能。

定值调整模块可作为子程序被整定计算模块调用,模块集成了快速求取各种类型保护(包括零序电流保护、相间电流保护、不同接线形式的距离保护、低电压保护等)的保护范围和横差保护死区的方法,这一功能可为在线校验模块和保护定值的性能分析提供基础数据。

3 结语

针对线路保护定值频繁修改给电力系统所带来的问题,本文提出了一种减少线路保护定值修改次数的方法,在满足选择性和灵敏性的前提下,通过定值偏差率校验、快速判断阶段和精确判断阶段完成对保护定值的调整,可最大限度地减少修改定值的保护数目,提高系统的安全稳定运行水平。文中将算法应用到整定计算软件中,创建了定值调整模块并详细介绍了模块的功能和开发过程,整定计算软件的功能及实用性得以提升。

参考文献:

- [1] 郭剑波,印永华,姚国灿. 1981—1991 年电网稳定事故统计分析[J]. 电网技术,1994,18(2):58-61.
GUO Jianbo,YIN Yonghua,YAO Guocan. Statistic and analysis for instability incidents in the bulk of power systems in 1981-1991[J]. Power System Technology,1994,18(2):58-61.
- [2] 赵建青,尹项根. 广东 110 kV 电网大面积停电问题的分析及解决方案[J]. 电力自动化设备,2003,23(8):82-84.
ZHAO Jianqing,YIN Xianggen. Analysis and solution to wider area outage of Guangdong 110 kV Power Grid[J]. Electric Power Automation Equipment,2003,23(8):82-84.
- [3] 毛安家,张戈力,吕跃春,等. 2011 年 9 月 8 日美墨大停电事故的分析及其对我国电力调度运行管理的启示[J]. 电网技术,2012,36(4):74-79.
MAO Anjia,ZHANG Geli,LÜ Yuechun,et al. Analysis on large-scale blackout occurred in South America and North Mexico interconnected power grid on Sept.8,2011 and lessons for electric power dispatching in China[J]. Power System Technology,2012,36(4):74-79.

- [4] 蔡洋. 电网事故的回顾与分析及对电网调度管理的建议[J]. 电网技术, 2007, 31(11): 6-10.
CAI Yang. Review and brief analysis on power system accidents and suggestions on power system dispatching and management [J]. Power System Technology, 2007, 31(11): 6-10.
- [5] 李银红, 王星华, 骆新, 等. 电力系统继电保护整定计算软件的研究[J]. 继电器, 2001, 29(12): 5-7.
LI Yinhong, WANG Xinghua, LUO Xin, et al. Study of relay coordination software [J]. Relay, 2001, 29(12): 5-7.
- [6] 张超, 陈允平. 图形程序设计在继电保护计算机辅助整定计算软件开发中的应用[J]. 继电器, 2002, 30(2): 48-50.
ZHANG Chao, CHEN Yunping. Graph program design of the relay setting computation in power systems [J]. Relay, 2002, 30(2): 48-50.
- [7] 朱宁, 吴崇昊, 李志坚, 等. 一种继电保护应用软件仿真验证系统的设计[J]. 电力自动化设备, 2012, 32(6): 140-144.
ZHU Ning, WU Chonghao, LI Zhijian, et al. Design of simulation and verification system for application software of relay protection [J]. Electric Power Automation Equipment, 2012, 32(6): 140-144.
- [8] 李银红, 段献忠. 电力系统线路保护整定计算一体化系统[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(9): 66-69.
LI Yinhong, DUAN Xianzhong. Study on line protection integrative coordination system [J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(9): 66-69.
- [9] 王慧芳. 继电保护整定计算软件中的若干问题分析[J]. 继电器, 2006, 34(12): 14-19.
WANG Hui Fang. On some problems about protection setting calculation software [J]. Relay, 2006, 34(12): 14-19.
- [10] 陈青, 刘炳旭, 黄德斌, 等. 继电保护整定计算软件的通用性和适用性的研究[J]. 电力自动化设备, 2002, 22(10): 60-64.
CHEN Qing, LIU Bingxu, HUANG Debin, et al. Study on universality and practicality of application software for protection setting calculation [J]. Electric Power Automation Equipment, 2002, 22(12): 60-64.
- [11] 杨增力, 石东源, 杨雄平, 等. 继电保护整定计算软件的通用性研究[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(14): 89-93.
YANG Zengli, SHI Dongyuan, YANG Xiongping, et al. A study on the universality of the protection setting calculation software [J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(14): 89-93.
- [12] 杨增力, 石东源, 段献忠. 线路保护整定计算中的自动调整问题[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(9): 51-55.
YANG Zengli, SHI Dongyuan, DUAN Xianzhong. Study on automatic adjustment in relay coordination of transmission line protection [J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(9): 51-55.
- [13] 曾耿晖, 李银红, 段献忠. 电力系统继电保护定值的在线校核[J]. 继电器, 2002, 30(1): 22-24.
ZENG Genghui, LI Yinhong, DUAN Xianzhong. A discussion about on-line verifying of relay setting in power system [J]. Relay, 2002, 30(1): 22-24.
- [14] 吕飞鹏, 李华强, 张军文, 等. 计算电网电流保护保护范围的新方法[J]. 电力系统自动化, 2000, 24(12): 42-44.
LÜ Feipeng, LI Huaqiang, ZHANG Junwen, et al. A new method for computing coverage of current protection in power network [J]. Automation of Electric Power Systems, 2000, 24(12): 42-44.
- [15] 蔡黎, 王星华, 石东源, 等. 一种基于节点阻抗矩阵快速求取零序电流保护高段保护范围的新方法[J]. 电力自动化设备, 2007, 27(3): 49-52.
CAI Li, WANG Xinghua, SHI Dongyuan, et al. Calculation coverage of zero sequence current protection based on node impedance matrix [J]. Electric Power Automation Equipment, 2007, 27(3): 49-52.
- [16] 杨增力, 石东源, 段献忠. 基于定时限保护整定计算的实用断电计算方法[J]. 华中科技大学学报: 自然科学版, 2008, 36(1): 99-102.
YANG Zengli, SHI Dongyuan, DUAN Xianzhong. Practical method to determine the breakpoints using definite-time relay coordination [J]. Journal of Huazhong University of Science and Technology: Natural Science Edition, 2008, 36(1): 99-102.

作者简介:



任建文

任建文(1963—),男,山西吕梁人,教授,博士,主要研究方向为电力系统分析、运行与控制(E-mail: rjw219@126.com);

谷雨峰(1989—),男,黑龙江齐齐哈尔人,硕士研究生,主要研究方向为电力系统继电保护。

Method to avoid frequent modification of line protection settings and its implementation

REN Jianwen, GU Yufeng, ZHANG Meng, WANG Lina

(School of Electrical and Electronic Engineering, North China Electric Power University, Baoding 071003, China)

Abstract: The line protection setting should be modified in time to follow the change of power network structure, but the frequent modification may decrease its stability and increase the possibility of protection mismatch, aiming at which, a method is proposed to avoid its frequent modification. While the selectivity and sensitivity are satisfied, it takes three steps to determine if the settings of a protection should be modified: setting deviation rate check, quick judgment and accurate judgment, which avoids unnecessary protection setting modification to increase the reliability of system operation. A setting adjustment module applying the proposed method is created in the setting calculation software, which enhances its performance and improves its efficiency.

Key words: relay protection; setting; protection settings; setting modification; protection mismatch; software architecture; module development