

DOI: 10.7667/PSPC171417

基于信息融合的继电保护整定通知单智能决策技术研究

潘佳锋¹, 朱和剑¹, 高捷¹, 林中森¹, 林江², 蔡会会²

(1. 广西电网有限责任公司玉林供电局, 广西 玉林 537000; 2. 南京德软信息科技发展有限公司, 江苏 南京 210000)

摘要: 电网设备调度操作的准确性和快速性是保障电力系统可靠、安全、稳定运行的基础。作为电力系统的重要组成部分, 开发一套调度一二次智能成票系统是促进安全调度的关键。在继电保护整定系统中, 引入信息融合技术, 融合因电网运行方式改变而变化的多源信息, 准确判定需切换保护值的相关设备, 明确提示本保护对下级线路的保护范围, 以及投重合闸、各自投等信息。并以自动生成整定通知单的形式, 为调度人员提供辅助工作, 极大地提高工作效率, 同时为调度及运维人员在事故处理中提供有效的技术支持。

关键词: 智能整定系统; 信息融合技术; 整定通知单; 自动生成技术; 智能成票系统

Study of intelligent decision making technology for relay protection setting notification based on information fusion

PAN Jiafeng¹, ZHU Hejian¹, GAO Jie¹, LIN Zhongsen¹, LIN Jiang², CAI Huihui²

(1. Yulin Power Supply Bureau, Guangxi Power Grid Co., Ltd., Yulin 537000, China;

2. Nanjing De Soft Information Technology Development Co., Ltd, Nanjing 210000, China)

Abstract: The accuracy and rapidity of dispatching operation of power network equipment are the basis of ensuring reliable, safe and stable operation of power system. As an important part of the power system, the development of a set of scheduling primary and second intelligent ticket system is the key to promote the security dispatch. Based on the relay protection setting system, it introduces the information fusion technology, fusions the multi-source information which changes with power grid operation modes, accurately judges the related equipment that need to switch protection value, and clearly suggests the scope of protection on the lower line protection as well as the information of reclosing, backup automatic switch, etc. And it can supply auxiliary work for staff scheduling in the form of automatically generating setting notice, which greatly improves work efficiency, at the same time provides effective technical support for scheduling and operations staff in the accident.

This work is supported by Science and Technology Project of Yulin Power Supply Bureau of Guangxi Power Grid Co., Ltd. (No. 040400KK52150008).

Key words: intelligent setting system; information fusion technology; setting notice; automatically generate technology; intelligent ticket system

0 引言

随着智能电网的不断推进, 继电保护整定系统由手工整定转变为微机整定管理。目前, 国内大部分 OMS 系统已经实现继电保护定值单管理系统的嵌入式应用, 实现继电保护定值单的系统管理和信息化, 提高定值单在编制、执行、核查、存档、流转各环节的工作效率, 满足继电保护整定计算和实际工作的需要^[1-5]。然而, 继电保护定值单匹配及配置仍然是依靠人工汇总并以表格形式呈现, 不仅编

制汇总时工作量大, 而且不够直观, 对专业知识依赖程度高, 不便于调度人员在事故处理时快速准确地查阅。其次, 在编制日常检修方式单时, 继电保护人员常常依赖记忆以及经验编制与一次方式相适应的保护配置, 存在漏写关键配置、遗忘变更定值单号或误写定值单号的可能性。这种人为的编制保护配置, 不仅带给工作量大, 同时与智能系统相违背, 同时电网调度运行中存在这一薄弱环节, 对电网安全问题运行将带来很大的风险。因此, 实现继电保护整定通知单智能成单技术, 可为运行方式人员进行日常方式安排提供有益辅助, 防范因疏忽而导致的隐患和风险^[6-10]。

本文在现有的继电保护整定系统中, 融入信

基金项目: 广西电网有限责任公司玉林供电局科技项目 (040400KK52150008)

息融合技术, 根据获取到的运行方式改变后的拓扑结构、供电方案以及系统参数等多源信息, 对需要切换保护值的相关设备进行判定, 同时明确提示本保护明确提示本保护对下级线路的保护范围, 以及投重合闸、各自投等信息。并以自动生成整定通知单的形式, 为调度人员提供辅助工作, 极大地提高工作效率, 同时为调度及运维人员在事故处理中提供有效的技术支持。

1 智能继电保护整定系统构成

继电保护整定系统主要包括网络拓扑的获取、智能整定、定值管理和保护重构等。其中, 网络拓扑的获取是保护整定计算的基础, 当电网运行方式发生改变时, 通过 SCADA 获取继电保护需要整定的拓扑网络, 获取的信息主要包括线路、变压器、发电机、母线等一次元件的名称、电气参数和其他原始参数、各系统运行方式下的拓扑结构信息、元件运行状态(投/停状态、互感线路挂检、变压器中性点接地方式变化)等信息。

智能整定是保护整定计算的核心, 根据获取的拓扑结构、系统参数、供电方案以及保护配置等信息, 进行整定计算。本系统将引入信息融合技术, 对电网状态信息变化做出判断并做出整定, 实现在没有人工干预的情况下完成整定计算全过程的工作, 即真正意义上的智能化。

定值管理和保护重构是保护整定计算的关键, 应根据相关设备保护定值变更的信息, 应对保护范围变化情况、投重合闸等信息进行说明。最后通过自动生成功能, 自动生成整定通知单。通知单可根据用户需求提供保护类型、保护型号、电压等级、被保护元件、所属厂站等各种关键信息, 极大地提高了工作效率。

智能继电保护整定系统的具体构成如图 1 所示。

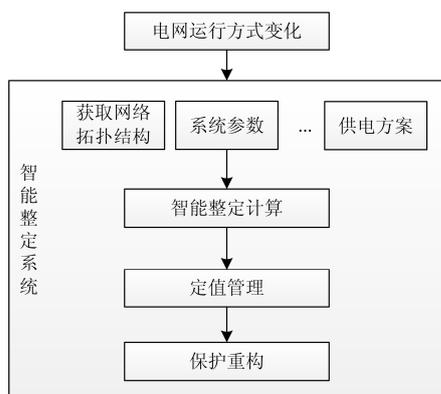


图 1 智能整定系统构成

Fig. 1 Smart setting system composition

2 信息融合技术在智能整定计算中的应用

2.1 信息融合原理

信息融合^[11-14]是将来自某一目标的多源信息进行智能合成, 产生比单一信息更高、更准确的估计与判决, 通过分析所获取的信息的价值以及信息之间的相关性的方式, 建立最有力的信息子空间^[15-19]。信息融合具有数据层、特征层、决策层三个层次, 可根据不同的应用背景则相应的融合层次和算法。本文主要采用 D-S 证据理论在决策层进行信息的融合。系统结构如图 2 所示。

首先将电网运行变化后 SCADA 获取的网络拓扑结构和系统参数相关信息, 分别经专家系统智能诊断, 给出各自判断需要切换保护值的相关设备, 最后通过 DS 决策融合法则, 将两类判断结果进行融合, 形成最终的判定结果。

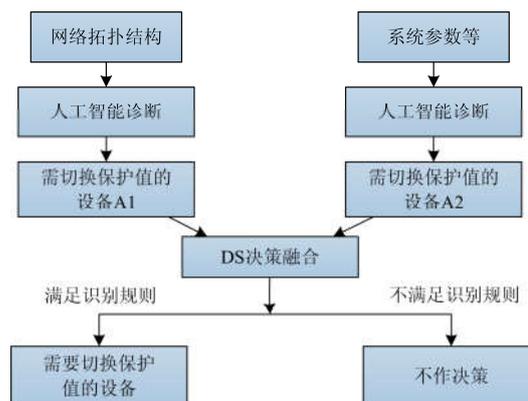


图 2 基于信息融合技术的智能整定流程图

Fig. 2 Flow chart of smart setting system based on information fusion technology

2.2 信息融合的应用

本文采用的 D-S 融合流程如下所述。

1) 建立识别框架 θ 。对于一个辨识问题, 所有可能的输出结果为该表示问题的识别框架。本文的识别框架可以为 A_1, A_2, \dots, A_n 以及不确定性 δ 。则 $\theta = \{A_1, A_2, A_3, \dots, A_n, \delta\}$ 。

2) 设置基本概率分配 BPA(Base Probability Assignment)。对于识别框架 θ , 其基础概率分配 m 是从 2 到区间 $[0, 1]$ 的一个映射(即 m 为 $2^\theta \rightarrow [0, 1]$), 它满足两个条件: ① $m(\emptyset) = 0$; ② $\sum_{A \subseteq \theta} m(A) = 1$ 。其中 $mY \cdot Y$ 为基本可信数, 其反映的是对框架 θ 的信度大小, 且信任函数 $\text{Bel}(\cdot)$ 与 $m(\cdot)$ 之间满足: $\text{Bel}(A) = \sum_{B \subseteq A} m(B)$, 其中 $\text{Bel}YAY$ 表示为 A 所有子集的 BPA 之和, 其反映的是 $B(B \subseteq A)$ 对 A 的支持力度。识别框架上的 BPA 计算方法为

$$m_i(A_j) = a_i \times u_{ij}, \quad i=1, 2; j=1, 2, \dots, n \quad (1)$$

$$m_i(\delta) = 1 - \alpha \quad (2)$$

式中： $m_i(A_j)$ 为第 i 个证据对于第 j 个对象的 BPA； $m_i(\delta)$ 是第 i 个政局不确定性的 BPA 值； u_{ij} 表示第 i 个证据对于输出为 j 类故障的隶属度； α_i 为第 i 个证据源的可靠性系数。本文中第一个证据源为一次、二次信息经主成分分析及人工智能诊断后的结果，第二个证据源为 PMU 动态信息经主成分分析及人工智能诊断后的结果。

3) 证据合成。合成规则是 D-S 证据理论的核心，也称作证据融合公式，其计算方法为

$$m_{1,2}(A_j) = m_1(A_j) \oplus m_2(A_j) = \frac{\sum_{B \cap C = A_j} m_1(B) \times m_2(C)}{\sum_{B \cap C = \emptyset} m_1(B) \times m_2(C)} \quad (3)$$

$j=1, 2, 3, \dots, n$

式中， $A_j = B \cap C$ ， B 、 C 是 θ 的一个子集，表示异或运算。通过上式合成两类信息源的共同辨识结果。

4) 决策。通过两类决策信息的融合所得的 BPA，为对识别框架内识别对象的概率输出，因此要满足以下三个规则。

规则 I： $m(A_{\max 1}) = \max \{m(A_j), A_j \subset \theta\}$ ， $m(A_{\max 1})$ 为输出 BPA 的最大值。规则 I 说明作为整体辨识结论的输出应该具有最大的 BPA。

规则 II： $m(A_{\max 1}) > m(\theta)$ ，规则 II 说明其输出的 BPA 须大于不确定性 θ 。

规则 III： $m(A_{\max 1}) - m(A_{\max 2}) > \varepsilon$ ，规则 III 说明只有当最终的输出足够突出时才能被接受。其中 $m(A_{\max 2})$ 为 BPA 的次大值， ε 的取值需结合样本的数据属性和辨识率以及综合辨识系统的实际应用。

3 智能化整定通知单生成

智能化整定通知单生成的前提是进行继电保护的整定计算。如图 3 所示为本继电保护整定通知单智能决策系统的应用界面。通过获取地区电网的接线图，按照地理位置绘制各电气设备的连接情况，依次点击图中的电气元件录入其参数。在整定过程中，通过点击变压器进行变压器保护(包括变压器主保护、后备保护等)的整定，点击线路进行线路保护(包括相间保护、接地距离保护等)的整定，依次完成对各电气设备的保护整定计算。整定完成后，进行下一步操作，生成整定通知单。

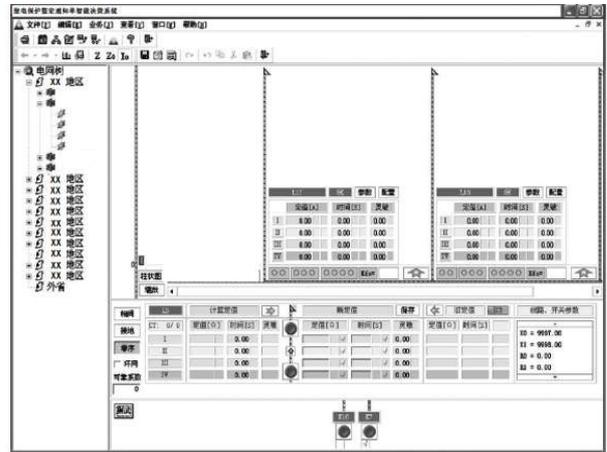


图 3 继电保护整定通知单智能决策系统

Fig. 3 Intelligent decision system of relay protection setting notification

智能整定系统的智能化不仅体现对保护定值发生变更的设备的准确判断，还应该体现在与调度、运行等工作人员的信息交流方面，因此在整定系统中增加自动生成功能，可自动生成整定通知单，如图 4 所示。

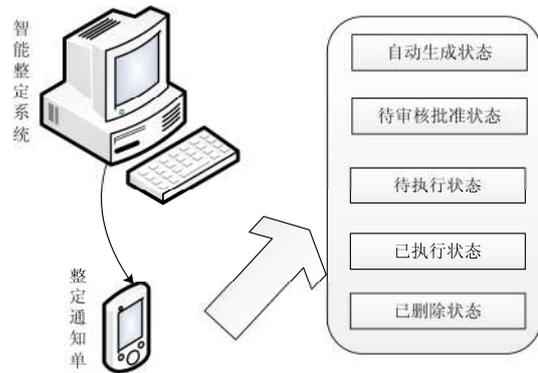


图 4 自动生成整定通知单

Fig. 4 Diagram of automatically generating the whole order notification

智能化整定通知单形成后，需审核人员、批准人员审核批准，审批后经调度人员下令后将采用远控方式将定值置入保护装置中。在整个过程中，整定通知单具有五种状态：自动生成状态、待审核批准状态、待执行状态、已执行状态、已删除状态。其中，在电网运行方式发生改变时，经上述操作，可明确更改整定值的设备及相关信息，以自动生成通知单的方式代替原有的人工录入方式，即处于自动生成状态。自动生成的通知单提交给审核、批准人员，即处于待审核批准状态。审核、批准的相关人员确认后，进入待执行状态，等待调度人员的指

挥命令。操作完成后, 系统将此通知单自动保存备份, 以便调度人员查询, 同时对执行后的自行删除。

值得注意的是, 在生成的整定通知单中, 应该根据不同工作人员的需求, 提供不同的整定信息提示。对于调度人员, 不仅要提供保护定值发生变更的相关设备, 还要明确定值变更后, 本保护对下级线路是否有保护范围, 能否投重闸或备自投等相关信息。同时应以最直观的方式展示, 工作人员可以根据保护类型、保护型号、电压等级、被保护元件、所属厂站等关键字查询特定的定值通知单各种信息, 以方便调度人员在事故处理时快速准确查阅。这将有效防止去调度事故的发生、减轻调度员的工作量, 进而提升电网安全管理水平。

4 总结

1) 本文对智能整定系统的构成及应用进行简单介绍, 对每一组成部分的作用进行说明, 强调了保护整定通知单自动生成技术的关键。

2) 针对电网运行方式发生变化的情况, 将网络拓扑结构、系统参数等信息分别经专家系统进行判定, 判断需要更改整定值的装置, 利用信息融合技术, 将判定结果进行信息融合, 获取更准确可靠的信息, 可以更准确地判断需要更改保护整定值的设备。

3) 智能整定通知单包括五种状态, 分别为自动生成状态、待审核批准状态、待执行状态、已执行状态和已删除状态。其中自动生成通知单代替了人工录用的方式, 可针对现场工作人员的需求, 提供不同的信息, 包括保护定值发生变更的相关设备、明确定值变更后, 本保护对下级线路是否有保护范围、能否投重闸或备自投等相关信息, 以最直观的方式方便运行人员快速查询。这将有效防止去调度事故的发生、减轻调度员的工作量, 防范因疏忽而导致的隐患和风险, 同时为调度及变电运维人员进行事故处理时提供有效的技术支撑, 进而提升电网安全管理水平。

参考文献

- [1] 吴晨曦. 地区电网继电保护整定计算智能系统的研究[D]. 保定: 华北电力大学, 2004.
WU Chenxi. Study of intelligent system for the setting calculation of relay protection on local power network[D]. Baoding: North China Electric Power University, 2004.
- [2] 吴玮琼. 地区电网继电保护整定计算一体化系统的研制[D]. 武汉: 华中科技大学, 2004.
WU Yiqiong. Development of integrated system of relay protection of regional power grid[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2004.
- [3] 李保恩. 智能变电站继电保护装置自动测试平台的研究和应用[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(7): 131-135.
LI Baoen. Research and application of automatic test platform for intelligent substation relay protection device[J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(7): 131-135.
- [4] 薛晗光, 刘聪睿, 赵轩, 等. 智能电站工作票移动办理的设计与实现[J]. 热力发电, 2017, 46(12): 40-43.
XUE Hanguang, LIU Congrui, ZHAO Xuan, et al. Design and implementation of work order mobile management: practice of intelligent power plant[J]. Thermal Power Generation, 2017, 46(12): 40-43.
- [5] 刘茗杰. 智能电网继电保护在线整定计算系统设计与实现[D]. 成都: 电子科技大学, 2015.
LIU Mingjie. Design and implementation of the online setting calculation system for smart grid relay protection[D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology, 2015.
- [6] 杨新民, 陈丰, 曾卫东, 等. 智能电站的概念及结构[J]. 热力发电, 2015, 44(11): 10-13.
YANG Xinmin, CHEN Feng, ZENG Weidong, et al. Concept and structure of intelligent power stations[J]. Thermal Power Generation, 2015, 44(11): 10-13.
- [7] 刘洋, 马进, 张籍, 等. 考虑继电保护系统的新一代智能变电站可靠性评估[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(8): 147-154.
LIU Yang, MA Jin, ZHANG Ji, et al. Reliability evaluation of a new generation smart substation considering relay protection system[J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(8): 147-154.
- [8] 赵海霞. 一体化继电保护整定计算系统的研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2012.
ZHAO Haixia. Research on integrated relay protection setting calculation system[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2012.
- [9] 陈德辉, 杨志宏, 高翔. 基于 IEC61850 的继电保护功能时序可视化研究与实现[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(22): 182-186.
CHEN Dehui, YANG Zhihong, GAO Xiang. Research and implementation on function sequence visualization of relay protection based on IEC61850[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(22): 182-186.

- [10] US Department of Energy National Energy Technology Laboratory. Modern grid initiation a vision for modern grid[EB/OL]. [2008-10-10].http://www.netl.doe.gov/modern_grid/
- [11] 黄亮, 唐炬, 凌超, 等. 基于多特征信息融合技术的局部放电模式识别研究[J]. 高电压技术, 2015, 41(3): 947-955.
HUANG Liang, TANG Ju, LING Chao. Pattern recognition for partial discharge based on multi-feature fusion technology[J]. High Voltage Engineering, 2015, 41(3): 947-955.
- [12] 王润生. 信息融合[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [13] 郝文斌, 洪行旅. 智能电网地区继电保护定值整定系统关键技术研究[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(2): 80-82, 87.
HAO Wenbin, HONG Xinglü. Key technology research of relay protection setting system for smart power grid area[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(2): 80-82, 87.
- [14] 胡桃涛. 可视化继电保护整定计算系统的设计与实现[D]. 成都: 电子科技大学, 2012.
HU Taotao. Design and implementation of the visualization relay protection setting calculation system[D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology, 2012.
- [15] 汪溢, 黄曙, 马凯. 继电保护在线校核技术研究[J]. 热力发电, 2016, 45(8): 87-93.
WANG Yi, HUANG Shu, MA Kai. Relay protection online verifying technology[J]. Thermal Power Generation, 2016, 45(8): 87-93.
- [16] 祝洪波. 继电保护整定计算软件中专家系统的研究[D]. 济南: 山东大学, 2006.
- ZHU Hongbo. Research on expert system in the whole calculation software of relay protection[D]. Jinan: Shandong University, 2006.
- [17] 王友怀, 杨增力, 周虎兵, 等. 继电保护定值在线校核及预警系统开发与应用[J]. 电力系统及其自动化学报, 2015, 27(6): 91-97.
WANG Youhuai, YANG Zengli, ZHOU Hubing, et al. Development and application of online verification and early-warning system for protective relay[J]. Proceedings of the CSU-EPSSA, 2015, 27(6): 91-97.
- [18] 陈琳. 基于多信息融合的广域后备保护系统研究[D]. 广州: 广东工业大学, 2014.
CHEN Lin. Wide area backup protection system based on multi information fusion research[D]. Guangzhou: Guangdong University of Technology, 2014.
- [19] 田聪聪. 基于故障方向信息的广域后备保护系统[D]. 武汉: 华中科技大学, 2012.
TIAN Congcong. Wide-area backup protection system based on fault direction information[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2012.

收稿日期: 2017-09-20; 修回日期: 2017-11-26

作者简介:

潘佳锋(1985—), 男, 工学学士, 助理工程师, 研究方向为电力系统机器自动化; E-mail: pan_jf.ylg@gx.csg.cn

蔡会会(1987—), 女, 通信作者, 工学硕士, 助理工程师, 研究方向为能源经济与管理。E-mail: 2961883255@qq.com

(编辑 张爱琴)