

专家系统在继电保护整定计算中的应用研究

梅慧兰, 徐玮, 陈允平, 胡志坚

(武汉大学电气工程学院, 湖北 武汉 430072)

摘要: 继电保护整定计算中有大量需要专家经验、运用专家启发性知识才能处理的不确定性问题, 将专家系统引入整定计算是解决这一问题的可行途径。文中对国内这方面的研究情况进行了综述, 在此基础上分析了整定计算专家系统中几种常用知识表示方法的优缺点, 提出了今后需要进一步研究的方向和解决的问题, 同时指出了其研究及应用前景。

关键词: 专家系统; 整定计算; 继电保护; 知识表示

中图分类号: TM77 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2004)08-0015-04

0 引言

继电保护整定计算是一项非常复杂的技术工作, 以电网故障分析为基础, 按照严格而复杂的整定计算原则, 进行大量的定值计算、比较和筛选。一个整定方案由于整定配合方法的不同, 会有不同的保护效果。如何得到一个最优的整定方案, 是继电保护能可靠有效发挥作用的关键。

近年来, 基于知识的专家系统, 简称专家系统 ES (Expert System), 由于其高性能和实用性, 已得到电力系统研究人员的高度重视和广泛研究。ES 是一种基于规则和事例的智能计算机程序, 它利用知识库和推理机完成逻辑推理任务, 求解那些需要杰出人物的专门知识才能求解的高难度问题。整定计算中既有可以用数学方法描述的确定性问题, 也有大量需要专家经验、运用专家启发性知识才能处理的不确定性问题。一般的整定计算软件大都基于数据结构和常规算法, 无法很好处理专家的启发性知识, 缺乏较好的可维护性和扩充性。专家系统技术的出现, 为弥补常规整定软件的局限性提供了一条有效可行的途径。

本文通过对国内这方面研究情况的综述, 论证了将专家系统应用于继电保护整定计算的可行性和实用性。在此基础上, 分析了整定专家系统中几种常用知识表示方法的优缺点, 指出了今后需要进一步研究的方向和解决的问题, 并指出了其研究及应用前景。

1 专家系统应用于继电保护整定的研究现状

自 80 年代初, 国内对专家系统在电力系统的应用研究就一直没有中断, 但主要针对故障诊断、报警

信息处理等方面。其在继电保护领域的应用研究起步较晚, 且多在保护设计和运行管理上, 在整定计算中的应用则更不多见。但经过研究人员和运行人员的不断努力, 也取得了一定的进展, 专家系统应用于整定计算的可行性与有效性已得到认可。

整定计算专家系统是一种能适合多种不同运行方式, 快速准确地计算出整个电网继电保护整定值, 并制定出最优保护定值运行方案的微机智能软件系统。其不同于目前发展比较成熟的电力系统故障诊断专家系统的典型特点是: 既要有逻辑推理功能, 又要进行大量的数值计算。近几年来, 整定专家系统的开发研究逐渐成为电力科技界的一个热门研究课题, 得到了各大高校和电力部门的广泛重视。

知识表示是专家系统的关键, 目前国内已开发了一定的整定计算专家系统, 现依据其所采用知识表示方式的不同分述如下。

1.1 基于产生式规则的整定专家系统

随着电力系统的发展, 电网对继电保护装置工作性能的要求越来越高, 保护整定的问题更加突出。文献[1]在常规距离保护整定计算程序的基础上, 首次将专家系统引入整定计算, 开发了一个电网距离保护整定专家系统。该系统采用黑板模式的总体结构, 用产生式规则设计知识库, 采用精确推理、分层管理的反向推理方法, 达到智能化处理距离保护动作阻抗和动作时间的功能。其成功用于吉林电网的实例, 表明了专家系统用于保护整定是可行的。但其整定计算的类型单一, 仅限于距离保护, 不够完整。文献[2]在文献[1]的基础之上, 进一步对该系统工具的选择、开发和运用进行了详细介绍。

文献[3]提出了一个具有教学功能的线路电流电压保护整定专家系统 JBZH, 这是具有教学功能

的保护整定专家系统在国内外的首次报导。该系统不仅能提供整定方案,而且能解释整定规则,帮助用户熟悉整定规则,大大提高了整定人员的工作效率。其知识获取机制能方便地将获得的知识转换成内部表示形式存入知识库,在一定程度上实现了专家系统的自学习。但该系统是孤立的,没有与整定计算软件和整定数据库管理软件联接起来形成继电保护整定软件包。

220 kV 及以上电压等级的电网结构规范,相应的整定计算能够用规范的数学方法描述,而 110 kV 电网的结构不规范,如有短线群、T 接线、小电源等,很久以来没有比较成熟的软件。文献[4]根据 110 kV 电网的变化以及计算机技术的发展,提出了一种 110 kV 电网整定计算的新方案——准专家系统模式。运用专家系统的一些基本方法,建立可修改的规则库,整定人员根据整定时的具体情况使用这些规则,建立一定的逻辑关系,逻辑关系一旦建立,无论系统的其他参数如何变化,整定计算都可能自动完成。由于其逻辑关系的建立需要一定的人工干预,故被称为准专家系统模式。文献[5]也是针对 110 kV 等级的电网,以产生式规则为基础,开发了相间距离保护整定的知识库,可具体应用于地区一级电网的相间距离保护整定。

较大电网而言,地方电网情况特殊。文献[6]针对地方电网的实际特点,基于面向对象技术和产生式规则知识表示,开发了一套分散式的整定专家系统,将数据、知识库和推理机分散地封装于各对象中,通过消息传递进行配合,知识库易于维护,搜索范围缩小,效率提高。

1.2 基于混合知识表示的整定专家系统

1) 产生式规则和框架结构相结合

针对零序保护中的一些问题,文献[7]应用专家系统理论及智能化程序设计方法,并结合常规的零序电流保护整定计算思想,研制了一个高压电网零序电流保护整定计算的专家系统。该系统采用框架结构与产生式规则相结合的知识表示方法,以电网结构为基础的精确推理过程,实现了整定规则和整定推理机制相分离,用户可以随时将整定规则的变化反应到规则库中,大大提高了专家系统的适应性。应用灵活,具有较强的适应性与可维护性。文献[8]介绍了一个由关系型数据库软件 Access 提供数据库支持,采用面向对象的图形化程序设计方法设计而成的整定专家系统。也将产生式规则和结构化框架结合起来用于知识的表示,实现了比较科学的

定值管理,有效弥补了传统整定软件定值管理功能的不足。

2) 基于数据库的产生式规则和框架结构相结合

为了改善大多整定专家系统整定类型单一的弊病,文献[9]面向实际保护装置而非某类保护来开发系统,可实现全网各种继电保护装置整定值的自动配合计算,较具新颖性。在常规知识表示方法的基础上,结合整定计算本身的特点,提出了两种新的知识表示方法:基于 MS Access 数据库的产生式规则和基于 MS Access 数据库的框架表示法,大大简化和方便了知识库的算法实现。

上述系统都采用精确推理方式,但整定中相当部分的系数具有不确定性,根据专家经验来确定整定计算中的系数值,系数的不确定性就没有得到很好的处理,故不能在整定方法上和整定过程中保证其整定结果为最优。针对这一问题,文献[10]首次引进模糊集理论(Fuzzy Sets Theory),应用面向对象技术,开发了一个经过系数寻优的 110 kV 电网整定专家系统。采用精确推理和模糊推理相结合,将以前的整定专家系统扩充为模糊专家系统,具有突破性;扩大了专家系统整定计算的能力,提高了整定结果的准确性和可靠性;在知识表示上,也采用了新颖的基于 MS Access 的产生式规则和框架表示法。

3) 多种知识表示风范的集成

文献[11]应用面向对象的系统设计方法、基于智能代理者的整定计算新方法,成功研制了 110 ~ 500 kV 电网零序电流保护、相间距离保护、接地距离保护整定专家系统。其建立的类层次结构模型,有效地集成了多种知识表示风范,如框架、过程、规则等,降低了系统的复杂性,减少了知识表达和数据冗余。具备了初步的定值管理功能,但为了实现全部日常定值管理工作的自动化,还需进一步完善以下功能:零序电流保护、距离保护辅助定值、发电机、变压器、母线等元件保护和安控装置定值、故障录波定值等的计算,以及保护定值卡、定值通知单等的综合管理,还需集成故障分析计算功能,使之成为功能强大的继电保护综合计算和信息管理软件包。该系统在四川电网实际应用后产生了巨大的经济效益和社会效益^[12]。

1.3 基于面向对象知识表示的整定专家系统

基于面向对象知识表示方法的深层表示能力,文献[13]利用面向对象技术,实现了零序电流和距离保护的整定专家系统。该系统具有良好的开放性,可以容易地和其它系统无缝集成。面向对象知识表

示的首次运用,大大简化了处理知识的工作,使知识表示的分类更清晰,加强了程序的可读性、移植性和灵活性。

2 整定专家系统中常用知识表示方法的分析、比较

知识表示是专家系统的关键,一个专家系统所采取的知识表示方法能否充分表达和使用该领域知识,决定着其建造的成功与否。下面分析了整定专家系统中几种常用知识表示方法的特点。

1) 产生式规则知识表示法

整定专家系统最早、最常采用的就是基于产生式规则的知识表示模式,其主要优点是简单、明了,比较符合人类的逻辑思维,易于表达,容易理解。但也存在不少的缺点,主要在于它不是一种结构化的知识表示方法,缺乏信息的封装和可重用性,缺乏对客观世界实体间结构和功能的表示,缺乏对知识的深层表示能力,对复杂系统而言,这种表示方法显得简单。从而使专家系统开发人员普遍感到知识表示困难,系统实现复杂程度高、开发周期长。

2) 混合知识表示法

目前整定专家系统中常用的混合知识表示方法有:产生式规则和框架的结合,产生式、框架和过程式的结合等。

框架表示法可看作是面向对象表示法的先驱,其最大特点在于提供了对信息的封装能力,是一种结构化较好的表示方法。继电保护领域的知识中要涉及大量物理设备,设备的特性可以通过其属性(如电压等级)和操作来刻画,框架法的封装能力对于这类知识的表述是非常重要的。另外,框架结构也能表示继承关系和关联关系。将产生式规则和结构化框架表示法结合起来,能够取长补短,各尽其能,有效地提高了推理和求解的效率。

近来采用的基于 MS-Access 的产生式系统和框架表示法,较为新颖,其主要思想是:将产生式和框架表示的基本思想融入 MS-Access 数据库中,以数据库为载体,通过数据库的形式来表示知识。这种知识表示方法在开发大容量的知识库时显得尤为方便。

一个系统将几种知识表示方法综合起来应用,不但能克服单一表示法的不足,而且能发挥各自的长处,在不同情况下使用不同的知识表示法,便于推理和加快求解速度,也便于人类理解。

3) 面向对象知识表示法

面向对象知识表示法是最有发展前途的知识表

示法。和框架相比,它不但支持封装、继承、关联,而且支持消息发送、多态等高级特性。面向对象技术在知识表达上显示了很大的优越性,它提供了描述客观世界中对象的概念,程序设计者可以按照问题空间中对象的丰富特征,自由地定义解空间的对象。因此,用面向对象方法构造知识库能自然地反映人们思考问题的方式,从而降低系统开发周期和复杂程度,也将越来越受到整定专家系统开发人员的重视。

3 今后的研究方向和主要内容

专家系统作为人工智能的一支,也是模仿人类思维过程的科学。将专家系统引入继电保护整定计算是一个很有价值的研究方向,研究内容将主要集中在以下 4 个方面:

1) 整定类型的完善

目前已开发的整定专家系统,均是针对一定电压等级、一定保护类型而研制的,且都集中在输电线路保护上,整定类型比较有局限性。有必要进一步开发其它保护类型的知识库,特别是元件保护,从而组成一个完整的继电保护整定专家系统。

2) 知识表示方法的优化

知识表示是专家系统中最活跃的研究内容。知识表示方式的优劣,直接影响专家系统的工作效率和系统的通用性。综合、改进现有的知识表示方法,引进其他技术来更好地实现知识表示,提高知识获取能力,也为整定专家系统的研究和发展开辟了一条有效的途径。

3) 向模糊专家系统的发展

采用精确推理方式的专家系统,不能很好地处理整定计算中系数值的不确定性。引入模糊集理论,将精确推理和模糊推理相结合,扬长避短,能保证整定结果最优,从而实现更完善的新型模糊整定专家系统。

4) 在线自适应整定的实现

继电保护在线自适应整定的实现能够改善保护系统的性能,在其中引入专家系统可用于校验每种保护的定值范围,并能根据网络的当前运行状态进行定值的在线自适应调整,还可以检测不正确的保护配合方式,给出最佳的调整方案^[14],极具研究价值。

4 目前所作的工作

目前笔者正与地方供电局合作,开发不仅包含各种线路保护,还具有发电机保护、变压器保护、母线、断路器失灵保护以及电容器保护的整定专家系

统,取得了一定的进展。整个专家系统是基于 Microsoft Windows 9x 操作系统,由 Microsoft Access 提供数据库支持,将产生式规则和结构化框架表示结合,采用面向对象的图形化程序设计理念设计而成。过程解释、人工干预等诸多新功能的引入,使得该专家系统具有广泛的灵活性和适用性。

系统总体结构框图如图 1 所示。

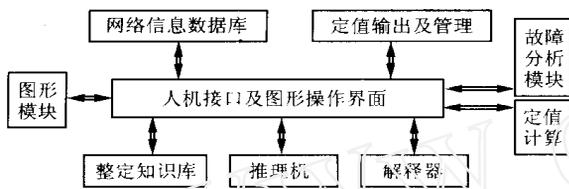


图 1 系统总体结构框图

Fig. 1 Overall structure of the system

5 前景与展望

随着电力系统向智能化方向发展,继电保护也必然朝着实时整定以及自适应保护的方向发展,传统的整定计算方法显然是不能适应这一变化的。由于专家系统的独特优点,将其应用于继电保护整定计算,是实现整定智能化的有效途径,能为整定计算和定值管理提供现代化的智能工具,把整定计算人员从繁琐的日常工作中解放出来,全面提高继电保护运行管理的自动化水平,确保保护整定的准确性,对电力系统安全稳定运行,具有重要的现实意义和推广应用价值。

参考文献:

- [1] 陈永琳,吴涛,等(CHEN Yong-lin, WU Tao, et al). 电网距离保护整定计算专家系统(Expert System for Distance Protection Setting Program for Power Systems)[J]. 东北电力学院学报(Journal of Northeast China Institute of Electric Power Engineering),1994, 14(4):56-63.
- [2] 吴涛,等(WU Tao, et al). 继电保护整定计算专家系统工具的选择、开发和运用(Selection, Development and Application of Expert System Tools for Relay Protection Setting)[J]. 继电器(Relay),1995,23(3):10-13.
- [3] 黄晓玲,等(HUANG Xiao-ling, et al). 专家系统在继电保护整定中的应用(Application of Expert System in Relay Protection Setting)[J]. 东北电力技术(Northeastern Electric Power Technology),1997, 18(3):27-31.
- [4] 苏忠阳,关绍彬(SU Zhong-yang, GUAN Shaobin). 110 kV 电网计算机整定计算新方案——准专家系统

模式(A New Scheme for Computer-based Setting Calculation of 110 kV Power Networks—the Quasi-expert-system Mode)[J]. 广东电力(Guangdong Electric Power),1999,12(1):19-22.

- [5] 张颜华,周双喜,等(ZHANG Yan-hua, ZHOU Shuang-xi, et al). 110 kV 电网距离保护整定专家系统(Protection Setting Expert System for Distance Relay of 110 kV Power System)[J]. 电力自动化设备(Electric Power Automation Equipment),2001,21(7):7-11.
- [6] 赵旋宇,等(ZHAO Xuanyu, et al). 地方电网继电保护整定计算专家系统的研究(An Expert System for Protective Relay Setting of Regional Power System)[J]. 继电器(Relay),2001,29(10):30-33.
- [7] 陈永琳,等(CHEN Yong-lin, et al). 高压电网零序电流保护整定计算专家系统的研究(Research on the Expert System of Setting Calculation for Zero-sequence Current Protection of HV Network)[J]. 继电器(Relay),1997,25(5):1-5.
- [8] 张超(ZHANG Chao). 继电保护整定计算专家系统的介绍(Introduction of Expert System for Setting Calculation of Relay Protection)[J]. 供用电(Supply and Use of Electricity),2003,20(1):18-20.
- [9] 赖业宁,等(LAI Ye-ning, et al). 220 ~ 500 kV 电网继电保护整定计算专家系统(Expert System for the Setting Calculation of Relay Protection on 220 ~ 500 kV Power Networks)[J]. 继电器(Relay),2001,29(3):31-34.
- [10] 覃丙川,等(QIN Bing-chuan, et al). 110 kV 电网继电保护整定计算专家系统(Expert System for the Setting Calculation of Relay Protection on 110 kV Power Networks)[J]. 广西电力(Guangxi Electric Power),2002(2):5-7.
- [11] 吕飞鹏,等(Lü Fei-peng, et al). 110 ~ 500 kV 电网继电保护整定计算专家系统研究(Research on Expert System for the Setting Calculation of Relay Protection on 110 ~ 500 kV Power Networks)[J]. 继电器(Relay),2000,28(3):29-32.
- [12] 吕飞鹏,等(Lü Fei-peng, et al). 继电保护整定计算专家系统在四川电网的应用(Application of Expert System for the Setting Calculation of Relay Protection in Sichuan Power Network)[J]. 继电器(Relay),2000, 28(4):38-40.
- [13] 王威,等(WANG Wei, et al). 面向对象的继电保护整定计算专家系统的研究(Research on Object-oriented Expert System of Relay Setting Calculation)[J]. 电力系统及其自动化学报(Proceedings of the EPSA),2001, 13(2):38-40.
- [14] Ordun E, et al. Algorithmic-knowledge-based Adaptive Coordination in Transmission Protection[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 2003,18(1):61-65.

(下转第 39 页 continued on page 39)

是必要的。保护如果以 HWJ 为主,认为对应的分段断路器处于合位(运行),假设实际是不运行的,发生死区故障时因为没有“封掉”分段电流,非故障母线将会误动,故障母线将会延时动作。考虑到母线发生故障的机率远小于线路发生故障的机率,所以笔者认为当出现 TWJ 和 HWJ 不对应时以 HWJ 为主的方案更好一些。

对 SHJ 和分段失灵起动触点都可以设置长时起动作告警,如果长时间处于闭合状态,提示运行人员及时检查修复是必要的。

6 结论

双母双分段母线保护单面保护屏在其它方面的保护逻辑与普通双母线保护是完全一样的,本文不再阐述。以上方案在用 WMH - 800 配置的多套双母双分段母线保护中已经使用,并经过动态模拟试验验证,结果表明,分段断路器辅助接点参与保护逻辑判别不仅提高了分段单 TA 配置死区故障时的动作

速度,而且解决了开关热备用时死区故障非故障母线误跳的问题。

参考文献:

- [1] 王春生,等(WANG Chunsheng, et al). 母线保护(Busbar Protection)[M]. 北京:中国电力出版社(Beijing:China Electric Power Press),1997.
- [2] Siemens AG. Distributed Busbar/ Circuit Breaker Failure Protection SIPROTEC 7SS52[Z]. 1998.

收稿日期: 2003-08-05; 修回日期: 2003-09-28

作者简介:

周晓龙(1976 -),男,本科,助理工程师,从事微机母线保护的研发和市场技术支持;

王攀峰(1977 -),男,本科,助理工程师,从事微机母线保护的研发和市场技术支持;

田盈(1975 -),女,本科,助理工程师,从事保护的研发和市场技术支持。

Ponderation on the 4-section busbar relay configuration

ZHOU Xiao-long¹, WANG Pan-feng¹, TIAN Ying², WANG Dong¹, CHENG Tian-bao¹

(1. Protection and Automation Department, XJ Electronic Co., Ltd, Xuchang 461000, China;

2. Xuchang Relay Research Institute, Xuchang 461000, China)

Abstract: The 4-section busbar relay configuration is introduced. It analyses several problems of the configuration that must be paid attention to. Especially the circumcurrent will influence the sensitivity of the differential protection. The using of auxiliary point of section provides a new scheme to solve the the short-circuit in dead zone, but with the uncertainty of the auxiliary point, it also brings some new problems, which have been discussed and given the relevant countermeasures.

Key words: 4-sections busbar; dead zone; busbar protection

(上接第 18 页 continued from page 18)

收稿日期: 2003-07-14; 修回日期: 2003-09-29

作者简介:

梅慧兰(1979 -),女,硕士,目前主要研究方向为电力系

统继电保护;

徐玮(1980 -),男,硕士,目前主要研究方向为电力系统运行与控制;

陈允平(1945 -),男,教授,博士生导师,现主要从事电力系统继电保护、电力电子技术、高电压工程等方面的研究。

Application research on expert system in protective relay setting calculation

MEI Hui-lan, XU Wei, CHEN Yur-ping, HU Zhi-jian

(School of Electrical Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: There are many uncertain problems in protective relay setting calculation, which can only be solved through experts experience and enlightening knowledge. It proves to be an effective and practical approach to deal with these problems by introducing expert system into setting calculation. A great deal of research in this field is summarized in this paper, advantages and disadvantages of several general ways of knowledge representation in relay setting expert system are briefly discussed, some valuable thoughts and main work needed to do in future are proposed, and its prospect of research and application is also pointed out.

Key words: expert system; setting calculation; protective relay; knowledge representation