

继电保护故障信息系统中的故障分析专家系统的设计思路

李 炜

(湖南电力调度通信中心,湖南 长沙 410007)

摘要: 针对继电保护故障信息系统中的故障分析专家系统,提出了其设计的指导思想,并分析了其功能结构。同时就故障分析专家系统中的核心部分知识表示的实现方法进行了比较,分析了几种具体的实现方法。

关键词: 故障信息系统; 故障分析; 专家系统; 知识表示

中图分类号: TM77 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2005)10-0053-04

0 引言

随着电力系统自动化运行水平的提高和通信技术的发展,电力系统已经具备了以数据通信方式在线传送或获取故障信息的能力。《国家电网公司电网二次系统“十五”规划》报告中明确要求加强电网调度系统的信息化和智能化,在电网发生故障时能为调度提供实时故障信息,以提高调度的自动化水平。因此继电保护故障信息系统的建设成为调度系统“十五”发展规划中的一项主要工作目标。

目前许多调度机构已经建成或正在建设继电保护故障信息系统,不少继电保护公司开发出了相应的系列产品。作为一个尚未成熟的产品,故障信息系统存在着缺乏统一的通行规约、数据结构不统一、保护信息不统一等诸多问题。作为故障信息系统中的高级应用软件部分的故障分析专家系统的开发更是存在许多思路。然而故障分析专家系统才是故障信息系统的核心和灵魂,因为专家系统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,求解那些需要专业技术知识才能解决的高难度问题。本文的目的在于结合电力系统运行的实际需要,对故障信息系统中的故障分析专家系统的设计提出一个总体的设计思路。

1 设计的指导思想

在故障分析专家系统的设计过程中,其指导思想一定要明确。从用户的角度考虑,一个繁琐复杂的系统,尽管可能功能非常强大,却比不上一个简单实用的系统。所以在故障分析专家系统的设计过程中应把握以下几个原则:

1) 快速性。继电保护故障信息系统的功能之一就是为电网调度提供辅助决策。作为故障分析专家系统应当在故障发生的最短时间内迅速判断出故

障区域和故障性质,因此快速判断能力是衡量一个故障分析专家系统成功与否的首要标志。

2) 准确性。故障分析专家系统应能根据故障信息准确给出故障点、故障相别、故障性质以及相关继电保护装置动作行为分析报告等。

3) 模块化设计。针对故障分析专家系统的各种功能,能够将各种功能模块化,并且可以方便用户对各种功能模块进行组合和扩展。

4) 平台化设计。专家系统应当具有良好的开发平台,用户可以自主开发其他功能。开发平台的使用可以使得专家系统具有灵活方便的扩展性,便于后继的开发工作和完善工作。

2 故障分析专家系统需要实现的功能

故障分析专家系统作为故障信息系统中的核心部分,应具有表 1 所示功能。其中各个功能模块的具体要求如下:

表 1 故障分析专家系统功能结构

Tab 1 Function structure of fault analysis expert system

实时故障诊断模块	后台故障分析模块
	2. 故障测距
	3. 保护动作行为分析
1. 实时故障诊断	4. 故障反演
	5. 保护定值校核
	6. 故障报告

1) 实时故障诊断模块

目前故障分析专家系统大多只在故障信息系统的主站系统中有,随着系统的完善,子站系统也有可能开发规模较小的故障分析专家系统,从而为变电站的运行人员在事故处理过程中提供帮助,并更有效地向主站传送有用信息。本文仅针对主站系统而言。

实时故障诊断模块应能根据故障发生时子站系统最优优先级传过来的实时信息,即电网故障时的

保护及安全自动装置的简要动作出口报告和采集的开关跳闸信息,经过知识库的分析迅速判断出故障区域和故障性质,并尽可能地给出事故处理意见。

例如,某 220 kV 变电站 A 和 B,两站之间有一条 220 kV 线路,线路中一点发生故障,线路两侧的变电站 A 和 B 的故障信息系统子站马上将简要的保护动作出口报告和开关量变位情况发送到位于调度中心的故障信息系统主站,主站根据故障分析专家系统中的知识库和电网的拓扑结构,迅速判断故障发生的地点和故障类型,同时对调度员的事故处理工作提出建议。具体流程如图 1 所示。

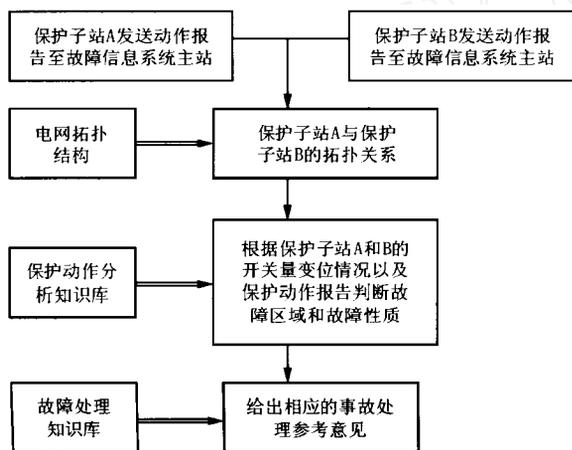


图 1 主站故障诊断流程

Fig 1 Flow chart of fault diagnosis in the central station

实时故障诊断模块是为调度运行人员服务的,对运行人员事故处理至关重要。在设计实时故障诊断模块中,一方面应当考虑充分利用现有的 EMS 系统等资源,另一方面应当拥有功能完善的知识库。

2) 故障测距模块

目前故障测距分为两种:单端测距和双端测距。从理论上讲,单端测距在知道线路对侧系统参数的情况下是一种比较精确的算法,可以消除过渡电阻和负荷电流对测距的影响。但实际使用过程中由于电力系统运行方式的多样性和不可预测性,往往无法预先得知线路对端的系统阻抗,因此在采用单端故障测距算法时需要采用近似方法。在无需对侧系统的等值参数的情况下,可以保证一定的测距精度。而双端测距使用线路两端的数据,可以解决单端测距存在的原理缺陷,使得测距很精确。

根据各种测距算法计算的结果,进行综合分析判断,可以准确给出故障点、故障相和巡线范围。

3) 保护动作行为分析

故障分析专家系统通过对故障数据的分析,可以确定出继电保护装置和安全自动装置动作的正确性、断路器工作的正确性等。可以给出相关装置的动作行为分析报告。若装置的动作行为不正确,能够分析出装置不正确动作的原因。

对保护动作行为的分析需要利用保护装置的动作报告、录波数据和 EMS 等系统提供的数据综合分析,其中实用、高效的知识库在其中起核心作用,知识库的自学习能力也是衡量一个知识库成熟与否的重要标志。

从分析手段上讲,可以利用波形进行分析,利用时域或频域进行分析或者利用一些数学工具进行专项分析等。如可以利用小波变换来分析变压器的一些匝间故障情况。从设计的角度来讲,需要提供方便灵活的多种分析工具和公式编辑器,尤其应当提供自定义工具,允许用户对公式编辑器任意组合和扩充。其次,需要具有逻辑编辑功能,可以方便地模拟保护逻辑,进而对保护的动作情况进行分析。

4) 故障反演

故障反演模块应能详细描述任意一次电网故障发生、发展、消失的全部细节和过程。故障反演应当能准确反映以下内容:相关保护安装处的电流、电压波形和开关量变化的波形;保护动作情况;电网开关状态的变化。

在故障反演过程中,时间的同步是关键。应当能直观地反映以上 3 个方面状态变化的时序关系以及不同状态维持的时间长度,在表现的形式上应当能够图形化,在反演过程中应当能够具有良好的可调节性和可控制性。

5) 保护定值校核

在故障分析专家系统中的保护定值校核模块不是简单地核对现场定值与故障信息系统中主服务器中定值库的定值,此处的定值校核是通过故障分析过程来发现定值的缺陷。

目前保护定值计算程序已经比较成熟,由于系统网络结构的日趋复杂,保护定值整定过程中可能隐含一些失配的地方。保护定值校核模块就是发现这些失配的环节,提醒继电保护技术人员注意。当然,保护定值的整定本身就是人工干预较多的工作,因此知识库的学习和完善可能需要一段较长的积累时间。

6) 故障报告

根据以上故障测距、保护动作行为分析等自动生成电网故障分析报告,包括故障时间、故障范围、故障

点、故障相、故障性质、相关装置动作情况等信息。

3 专家系统中知识表示的实现方法

知识表示是专家系统中最活跃、最重要的研究课题之一。一个专家系统的成功与否和它采取的知识表示方法能否充分表达和使用该领域知识有着直接的关系。

近年来,国内专家系统在电力系统中的应用方面作了大量的研究工作,并开发成功了许多系统。在这些系统中,采用的知识表示方法主要有3种:

产生式规则知识表示法; 框架表示法; 面向对象知识表示法。

规则表示法的主要优点是简单、明了,比较符合人类的逻辑思维规律,容易理解,易于表达。其主要缺点在于,它不是一种结构化的知识表示方法。当被单独使用时,难以实现对信息的封装,难以表达事物之间各种复杂的关系。对于复杂的系统,这种表示方法显得简单。

框架表示法可看作是面向对象表示法的先驱。其最大的特点在于提供了对信息的封装能力,是一种结构化的表示方法。电力系统的领域知识中不可避免地要涉及大量物理设备,设备的特性可以通过其属性(如额定功率、电压等级)和操作(如投运、停运)来刻画。框架表示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。这些关系在电力系统中是大量存在的,其本身就是电力系统领域知识的重要组成部分。例如:三卷变压器和变压器是继承关系;线路和开关是关联关系。框架结构作为一种结构化较好的知识表示方法,目前在电力系统专家系统中被广泛采用。

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。而两者更深层的区别则在于软件方法学方面。面向对象知识表示本质是强调从客观世界中固有的事物出发来构造系统;强调系统中的对象以及对象之间的关系能够如实反映客观世界中固有事物及其关系。因此它是一种最结构化的知识表示方法。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。

4 比较成功的几种设计思路

文献[1]介绍了一种基于故障录波数据的分布

式电网故障诊断专家系统。系统由主站和若干子站构成。安装在变电站的子站系统负责故障初判,确定事故起因和相别,形成故障简报并向主站上传;安装在调度中心的主站系统综合多个子站信息,对事故情况进一步分析,并对开关和保护的动作做出评价,给出相应对策。

故障诊断专家系统由推理引擎、事例库和知识库组成。专家系统按以下步骤推理:对事例进行预处理,利用网络拓扑事例库和设备属性事例库,自动生成保护和开关、保护和一次元件(线路或变压器、母线、电抗器等)、开关和一次元件的关联关系(以及保护和设备的远后备关系);根据一次网络结构分析线路两侧、变压器多侧之间的拓扑关系,两侧保护的配合关系;根据故障情况和知识库,综合多侧子站故障简报信息进行故障设备诊断;针对故障诊断结果、保护和开关动作情况,利用相关知识库,分析保护、开关动作行为;系统根据推理结果和用户的不同要求,给出诊断报告并存档。

该系统的设计思路清晰,符合现场运行情况,是一种分布式的模块化的典型设计方案。

文献[2]提出了一种将模糊集和模糊推理方法结合专家系统进行故障诊断的新方案。该方案将故障时电压、电流不同于正常运行时的特征信息用模糊集表示,利用模糊推理来提高诊断结果的准确性和可用性;同时开发了模糊集学习平台,以缓解专家系统知识获取的难题;利用网络通信技术和分层分布式问题求解方法,解决电力系统信息分层和应用与实际电力系统故障诊断时出现的问题。

该方案中模糊集学习平台较好地解决了专家系统中知识库的完善问题。

5 结语

目前,继电保护故障信息系统正在不断发展和完善的过程中,专家系统也在工程领域被广泛应用。作为继电保护故障信息系统中的功能模块之一的故障分析专家系统必然不断走向成熟。

参考文献:

- [1] 杜一,张沛超,郁惟镛,等.基于故障录波数据的分布式电网故障诊断系统[J].继电器,2003,31(1):26-29. DU Yi, ZHANG Pei-chao, YU Wei-yong, et al A Distributed Power System Fault Diagnosis System Based on Recorded Fault Data[J]. Relay, 2003, 31(1): 26-29.
- [2] 周明,任建文,李庚银.基于模糊推理的分布式电力系

- 统故障诊断专家系统 [J]. 电力系统自动化, 2001, 25 (24): 33-36
 ZHOU Ming, REN Jian-wen, LI Geng-yin Distributed Power System Fault Diagnosis Expert System Based on Fuzzy Inference [J]. Automation of Electric Power Systems, 2001, 25 (24): 33-36
- [3] 张沛超, 胡炎, 郁惟镛. 继电保护专家系统中知识的面向对象表示法 [J]. 继电器, 2001, 29 (2): 16-19.
 ZHANG Pei-chao, HU Yan, YU Wei-yong The Object-oriented Knowledge Representation Paradigm in Protection Expert System [J]. Relay, 2001, 29 (2): 16-19.
- [4] 廖志伟, 孙雅明, 叶青华. 人工智能技术在电力系统故障诊断中应用 [J]. 电力系统及其自动化学报, 2003, 15 (6): 71-79.
 LIAO Zhi-wei, SUN Ya-ming, YE Qing-hua Artificial Intelligent Technologies for Fault Diagnosis in Power System [J]. Proceedings of the EPSA, 2003, 15 (6): 71-79.
- [5] 赵东梅, 张东英, 徐开理. 分层分布式电网故障诊断专家系统设计 [J]. 现代电力, 2001, 18 (3): 41-46.
 ZHAO Dong-mei, ZHANG Dong-ying, XU Kai-li Design of Delaminated and Distributed Fault Diagnosis Expert System for Power System [J]. Modern Electric Power, 2001, 18 (3): 41-46.
- [6] 刘铭, 时昕, 姚燕南. 基于数据库的电力设备故障诊断模糊专家系统的设计与实现 [J]. 计算机工程, 2001, 27 (3): 75-77.
 LIU Ming, SHI Xin, YAO Yan-nan Design & Implement of the Fault Diagnosis Fuzzy Expert System for the Electric Power Equipment Based on the Database [J]. Computer Engineering, 2001, 27 (3): 75-77.
- [7] 赵东梅, 郭锐, 徐开理. 电网故障诊断专家系统的一种实现 [J]. 电力自动化设备, 2000, 20 (4): 33-36.
 ZHAO Dong-mei, GUO Rui, XU Kai-li An Implementation Method for Power System Fault Diagnosis Expert System [J]. Electric Power Automation Equipment, 2000, 20 (4): 33-36.
- [8] 梅慧兰, 徐玮, 陈允平. 专家系统在继电保护整定计算中的应用研究 [J]. 继电器, 2004, 32 (8): 15-18.
 MEI Hui-lan, XU Wei, CHEN Yun-ping Application Research on Expert System in Protective Relay Setting Calculation [J]. Relay, 2004, 32 (8): 15-18.

收稿日期: 2004-09-07; 修回日期: 2004-10-13

作者简介:

李 炜 (1975 -), 女, 硕士, 工程师, 从事继电保护方面的技术工作。E-mail: lyweyl@163.com

Design method of fault analysis expert system in relay protection and fault information system

LI Wei

(Hunan Electric Power Dispatch & Communication Center, Changsha 410007, China)

Abstract: A design method of fault analysis expert system in relay protection and fault information system is put forward, and its functional structure is analyzed. Several ways of knowledge representation, which are the nucleus of the fault analysis expert system, are compared. And several application approaches are also introduced.

Key words: fault information system; fault analysis; expert system; knowledge representation

(上接第 52 页 continued from page 52)

收稿日期: 2004-09-08; 修回日期: 2004-11-01

作者简介:

吴 勇 (1978 -), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为电力系统分析与稳定控制; E-mail: 13349954740@hb165.com

周良松 (1967 -), 男, 副教授, 主要研究方向为电力系统稳定与控制、电力系统安全稳定控制装置;

张力晨 (1979 -), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为电力系统稳定控制与实时通信。

Research on test technology of security and stability control equipment

WU Yong, ZHOU Liang-song, ZHANG Li-chen, DAI Shi-yong

(Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: How to test security and stability control equipment (SSCE) is important to ensure high reliability, sufficient effectivity, suitable selectivity and good adaptability of SSCE in power system. The test technology of SSCE is studied and discussed in detail, and a universal scheme of test equipment is put forward. The test equipment designed according to this scheme has been put into use and got a good result.

Key words: security and stability control equipment; power system; test technology