

文章编号:1671-6833(2014)01-0116-04

基于规则推理的继电保护动作行为评价的新方法研究

徐 敏¹, 陈 全¹, 张锦文², 柯朝辉², 姚 斌², 冯 超²

(1. 南昌大学 信息工程学院, 江西 南昌 330031; 2. 湖北省咸宁供电公司, 湖北 咸宁 437000)

摘 要: 基于规则推理方法的专家系统理论, 结合故障录波数据、保护装置的整定数据、保护装置的运行数据等各项数据信息, 根据调度人员以及继电保护运行专家多年经验总结出的各种规则进行推理, 对地区电网继电保护装置的動作行为进行分析与评价. 不仅包括差动保护, 相间距离保护和接地零序方向保护之内的一整套线路保护装置的工作原理, 还结合实际的保护动作情况, 进行动作行为的分析与评价. 通过 VC++ 的界面设计形成一个分析软件系统, 应用于地区电网.

关键词: 专家系统; 继电保护装置动作行为分析; 规则推理; 评价; 分析软件

中图分类号: TM614 **文献标志码:** A **doi:**10.3969/j.issn.1671-6833.2014.01.027

0 引言

目前各厂家的保护装置的保护功能随着技术的发展已经变得越来越规范和完善, 但是在一些情况下, 继电保护装置的不正确动作依然存在. 保护装置的不正确动作势必会对电力系统的稳定运行产生影响, 因而对继电保护装置的動作行为分析评价, 显得尤为重要^[1-2]. 笔者采用 VC++ 编程, MFC 界面技术和数据库技术结合专家系统的理论和保护装置的运行原理, 研究与 SCADA 系统、继电保护装置的整定信息系统以及录波数据相结合的继电保护装置動作行为的评价分析.

1 评价分析原理概述

在电网运行中, 有很多难以预料的运行方式, 如将分析结果同实际的動作跳闸数据进行对比, 结合基于规则推理方法的专家系统原理的推理机制, 便能给出该保护装置的动作行为评价.

1.1 知识库的组成原理

该程序用到保护配置的数据可形成四种框架, 包括参数表、线路保护動作信息表、故障录波数据表、保护装置整定信息表. 这 4 种框架又会以不同元件(线路、变压器和母线)而有一定的差别.

(1) 设备参数表: 包括设备名称、电压等级、

设备型号等, 其中线路信息还包括线路长度、每公里的电阻值和电抗值等; 变压器信息还包括各侧额定电压、接线组别和额定容量等.

(2) 保护動作信息表: 包括保护装置名称、保护类型、動作情况、動作相别、是否重合闸以及重合方式. 同时还包含故障状态信息, 如故障类型、故障相别、故障性质、故障时间等等.

(3) 故障录波实时数据表: 包括故障点故障测距、设备各相电压、设备各相电流以及采样时间. 其中, 电压和电流都包含幅值以及相位角.

(4) 保护装置整定信息表: 由各元件上配置的保护装置的定值清单提供, 包括保护整定值信息和保护运行数据信息.

根据 SCADA 系统、故障录波器及继电保护装置所提供的数据, 按照各厂家提供的各系列保护装置的说明书, 对保护装置的動作情况进行分析. 该分析软件所涉及到的数据, 均以数据库的形式进行存储, 为专家系统知识库提供基础信息^[3].

1.2 基于 RBR 专家系统的原理

专家系统是一个基于规则和知识的人工智能推理系统, 基于规则推理(Rule Based Reasoning, RBR)的专家系统方法是根据以往专家诊断的经验, 将其归纳成规则, 通过启发式经验知识进行推理. 它具有明确的前提, 得到确定的结果. 它由 3

收稿日期: 2013-09-01; 修订日期: 2013-11-09

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项基金资助项目(207274006)

作者简介: 徐敏(1963-), 女, 江西南昌人, 南昌大学副教授, 博士, 主要从事电力系统分析、电力系统运行与控制的研究, E-mail: xumin_8660@163.com.

部分框架组成.

(1) 严格的数学公式和精确的算法组成的知识库:利用 SCADA 系统、故障录波器及继电保护装置所提供的数据及逻辑原理形成知识库.

(2) 以经验知识以及专业规则组成的规则库:规则中的知识都是来自知识库,以产生式规则的形式来表示成“模式 - 动作”对.这些规则表示十分自然简洁,可以改造它们,也可以增加删减,对规则库的人工删减有很大的优点.

(3) 推理机制和控制策略的实现:采用正向推理方式实现推理机制和控制策略,执行循环替换的交互式程序,搜索规则表直到找到一个其前提与事实或状态相匹配的规则为止,然后使用或激活这个规则,断言新的事实,规则一旦被使用,它就不能在同一搜索中再次使用,因为激活该规则所得到的事实已经加入到知识库中^[4-5].

2 基于 RBR 的专家系统的评价系统设计

2.1 知识库的设计

专家系统的基础是知识库,也是建立专家系统的关键.采用面向对象 VC++ 技术实现的专家系统,需要用面向对象技术的知识库.

知识库的设计过程如图 1 所示.

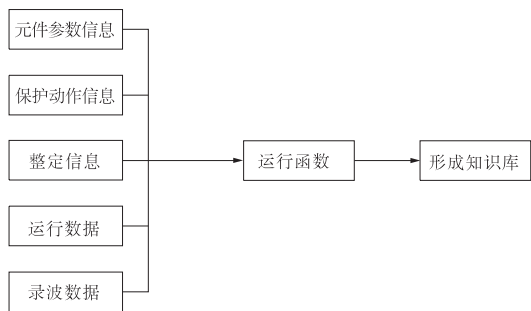


图 1 知识库的设计过程

Fig. 1 Design process of knowledge base

其中运行函数部分按照保护装置的逻辑原理实现^[6].

2.2 规则库的设计

规则库由两部分组成,即前提库与结论库.前提库来自知识库,在保护装置逻辑原理的运行过程中,形成其中各个模块的运行情况,如启动模块、选相模块、差动继电器模块、距离元件模块、零序元件模块,这些模块的运行情况,加入前提库中.结论库来自继电保护运行的各个规程以及各运行工作人员的经验知识.产生规则库后,本系统以产生式规则的形式来表示规则,即表示成“模

式 - 动作”对,规则将所一一对应的前提和结论在数组中的编号以两个数组(规则前提数组和规则结论数组)的形式存储,供推理机使用^[7-8].

2.3 正向推理方式的推理机设计

推理机以正向推理的方式来实现的,它用于断言那些与规则的前提相匹配的事实,并用于进一步推断事实.正向推理的详细处理过程如下.

- (1) 断言一个事实;
- (2) 使事实与某个规则的前提相匹配;
- (3) 完成事实和前提的合一替换;
- (4) 把替换应用于规则的结论;
- (5) 断言结果,并用于进一步的推理.

按照上面的查询匹配后,若该条规则成立,则输出该条规则所对应的结论;若不成立,则查询匹配下一条规则,直至规则中的前提数组为空为止^[9-11].

专家系统应用于动作行为评价的设计过程,结合了 VC++ 的 MFC 界面设计技术和数据库的技术.知识库中各类参数都可以形成界面输入或者文件导入的形式,存储于数据库中,并经数据库的转换为运行函数实现;规则库的设计可以在界面上进行添加与删除,及时更新规则库,以保证动作行为分析评价的正确性和全面性;推理机设计中的查询与匹配过程可以形成友好直观的界面选择,加强推理机的灵活性.

3 实例的应用实现

3.1 继电保护装置逻辑知识处理

以南瑞 RCS-931 数字式线路保护装置为例,形成一系列数据处理的类和函数.按照上文知识库的形成原理中所介绍,元件参数类、保护动作信息类、整定信息类和运行信息类被定义并获取,通过故障录波器的数据以及南瑞 RCS-931 数字式线路保护装置的逻辑原理,生成逻辑信号运算函数、分析结果的产生函数以及结论输出函数.

3.2 专家系统理论的实现

如上介绍形成知识库后,存入规则前提库中.按照各类规程和专家知识形成规则结论库,并形成规则前提数组和规则结论数组.该部分程序包含前提类,结论类和规则类,以存储规则前提库,规则结论库,规则以及实现推理咨询匹配的过程.

(1) 规则.根据国家能源局颁布的《电力系统继电保护及安全自动装置运行评价规程》以及多年以来工作人员总结的电力系统继电保护

典型事故经验知识^[12],形成一系列可增减的规则库.

规则一:IF B 相启动元件启动 AND B 相差动继电器启动 AND 选相元件选 B 相 AND B 相发动作允许信号

THEN B 相高频保护的通信通道破坏

规则二:IF A 相启动元件启动 AND A 相差动继电器启动 AND 选 A 相 AND A 相发动作允许信号 AND A 相保护出口 AND 三相跳闸

THEN 单相接地短路误跳三相

.....

规则库以产生式规则来表示.

(2) 规则前提类和结论类. 规则前提类和结论类以链表的形式定义. 前提类与结论类不同之处在于,前提类多了一个激活和断言的标志. 这个标志在规则类中的推理函数中使用.

(3) 规则类. 规则类存储规则的前提数组和结论数组,并给出推理机的主要部分——推理函数.

3.3 系统主程序的实现

以南瑞 RCS - 931 数字式线路保护装置为例,该分析软件的主程序包括以下几个部分:保护装置信息读取程序,专家系统实现程序,以及动作判断程序.

(1) 保护装置信息读取程序. 利用上述形成的各个保护装置信息类和数据库技术,读取安装该保护装置的元件参数信息,整定数据信息以及运行数据信息等,供数据运行函数使用.

(2) 专家系统实现程序. 基于 RBR 规则推理方法的专家系统实现程序需要先存储知识库以及规则库. 在存储完知识库与规则库之后,开始询问用户,并同知识库和规则库进行匹配查询,最后得到结果.

(3) 动作判断主程序. 该部分程序是本系统软件的主程序,以故障测距为判断,分别分析并评价主保护,相间后备保护和接地后备保护的动作为(包括正确动作,误动和拒动)^[13]. 该部分程序流程图如图 2 所示.

3.4 运行结果显示

该系统设计了友好的人机界面,进入评价界面后,点击“评价”按钮进入左侧推理界面;点击“保存”按钮对当前评价结果保存;点击“导出”形成评价报告. 在界面中的运行结果显示如图 3 和图 4 所示.

4 结论

笔者采用专家系统理论知识,与 SCADA 系统、继电保护装置的整定信息系统以及故障录波器的录波数据相结合,以正向推理的方式,对故障线路上发生动作的继电保护装置进行动作的行为进行分析评价,并设计了友好的操作界面. 以南瑞 RCS - 931 数字式线路继电保护装置为例,对继电保护装置进行评价,结论正确.

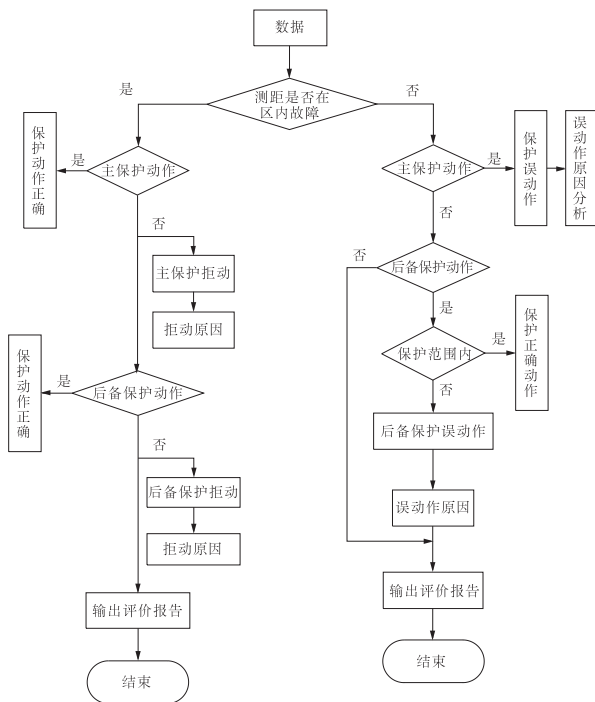


图 2 动作判断主程序流程图

Fig. 2 Flow chart of main program of action judgment

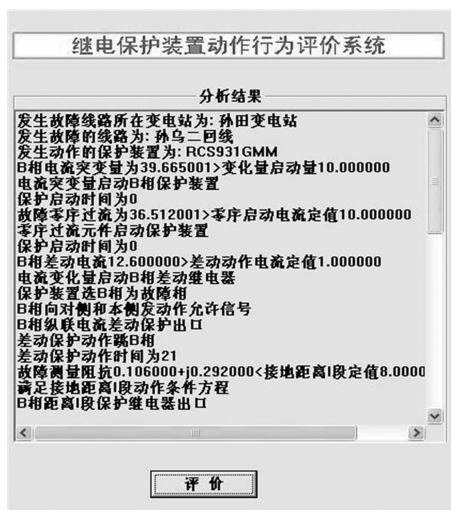


图 3 南瑞 RCS - 931GMM 继保装置动作过程的分析结果

Fig. 3 The analysis result of the action process of protection device of NARI RCS - 931GMM

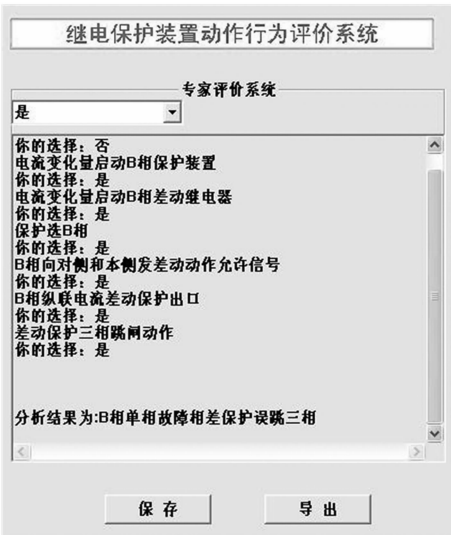


图 4 南瑞 RCS-931GMM 继保装置动作行为专家评价系统

Fig.4 The evaluation expert system of the action of protection device of NARI RCS-931GMM

参考文献:

[1] 戴志辉,王增平. 继电保护可靠性研究综述[J]. 电力系统保护与控制,2010,38(15):161-167.

[2] 孙建波,廖永红,权宪军,等. 继电保护的现状与思考. 电力系统保护与控制,2010,38(12):77-79.

[3] 文正其. 电力机车电气系统故障诊断专家系统研究与设计[D]. 中南大学信息科学与工程学院,2011:10-11.

[4] 程慧霞,曹先彬,李龙澍,等. 用 C++ 建造专家系统[M]. 北京:电子工业出版社,1996:45-100.

[5] 王家林,夏立,吴正国,等. 电力系统故障诊断研究现状与发展[J]. 电力系统保护与控制,2010,38(18):210-216.

[6] 李志兴,蔡泽祥,许志华,等. 继电保护装置动作逻辑的数字仿真系统[J]. 电力系统自动化,2006,30(14):97-101.

[7] 吴泉源,刘江宁. 人工智能与专家系统[M]. 长沙:国防科技大学出版社,1995:116-152.

[8] 李炜. 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[J]. 继电器,2005,33(10):53-56.

[9] GIARRATANO J C, RILEY G D. Expert Systems: Principles and Programming[M]. Third Edition. PWS Publishing Company, 1998:97-157.

[10] BIAGETTI T, SCIUBBA E. Automatic diagnostics and prognostics of energy conversion processes via knowledge-based systems [J]. Energy, 2004,29(12/15):2553-2572.

[11] ACOSTA G, CURTIH H, CALVO O, et al. A knowledge-based approach for an AUV path planner development [J]. WSEAS Transon Systems, 2006,5(6):1417-1424.

[12] 王平. 电力系统继电保护最新实用技术及检验标准规程规范实用手册[M]. 吉林:吉林音像出版社,2004:794-980.

[13] 刘学军. 继电保护原理[M]. 北京:中国电力出版社.2009.

Research on a New Method of Relay Protection Action Evaluation
Based on Rule Based Reasoning

XU Min¹, CHEN Quan¹, ZHANG Jin-Wen², KE Chao-hui², YAO Bin², FENG Chao²

(1. School of Information Engineering, Nanchang University, Jiangxi Nanchang 330031, China; 2. Hubei Xianning Electric Power Supply Company, Xianning 437000, China)

Abstract: In this paper, an expert system based on rule based reasoning is presented. Combined with the data of fault waveform recorder, setting and operation data, it makes inference according to the various rules of scheduling personnel and experts with years of experience summed up, and then make the analysis and evaluations of the relay protection equipment action for regional power grid. By the principle of differential protection, inter-phase distance protection and zero-sequence directional protection, the actual action is combined to make an analysis and evaluation. Lastly, an analysis software system is developed with VC++ interface design to be applied to the regional power grid.

Key words: expert system; relay protection equipment action analysis; rule based reasoning; evaluation; analysis software