

# 专家系统在微机防误操作装置中的应用研究

张建杰, 程时杰

(华中科技大学, 湖北 武汉 430074)

**摘要:** 介绍了采用面向对象编程的方法, 构成电力系统的微机防误专家系统的原理以及系统规则库和数据库的实现。

**关键词:** 专家系统; 面向对象编程; 防误闭锁

**中图分类号:** TM774      **文献标识码:** B      **文章编号:** 1003-4897(2001)08-0021-03

## 1 引言

电力系统中的事故可分为电气设备事故和电力系统事故两大类。电气设备事故可能发展为系统事故, 影响整个系统的稳定性, 而系统性事故又能使某些电气设备损坏。有资料表明, 迄今为止电力系统发生的事故有相当一部分是由于电气误操作引起的。由于操作规程要求严格、手续复杂、劳动强度大, 因此, 发电厂或变电站的电气误操作屡见不鲜。错误的电气操作, 在大多数情况下, 往往造成大面积停电、设备损坏、人身伤亡, 并引起电网振荡和瓦解。电气防误装置是防止误操作的重要技术措施。发电厂、变电站常用机械闭锁、电气闭锁和电磁闭锁等防误装置来达到“五防”要求, 即防止带负荷拉、合隔离开关, 防止带地线合闸, 防止带电挂接地线, 防止误拉、误合断路器, 防止误入带电间隔。

## 2 专家系统和面向对象编程

专家系统, 就是一种以知识为基础的智能化计算机软件系统。它将领域专家的知识、经验加以总结, 形成规则, 存入计算机建立知识库, 并采用合适的控制策略, 按输入的原始数据进行推理、演绎, 作出判断和决策, 从而以人类专家的水平解决该领域中的困难问题。

由专家系统的特征可以看出, 面向对象技术非常适合于建造专家系统。在面向对象的技术中, 对象能在单个实体中封装数据和操作, 且具有一致性的良好通讯能力, 这为专家系统的知识表示和被模拟领域中实体的表示提供了条件。同时, 面向对象的程序设计具有模块化的优点, 模块性和其它的面向对象特征(如数据隐蔽、多态性)允许异构型知识结构和推理机制有机结合。面向对象的程序设计方法模仿人类对现实世界自然结构的认知过程进行系

统的分析和设计, 使人们的认识系统与计算系统一致、问题空间与求解空间在结构上一致, 提高软件的可重用性、可扩充性, 从而设计的程序更加结构化、可扩充、易移植和易维护。因此, 面向对象的程序设计既是一项能使专家系统与传统应用程序集成的技术, 也是实现分布式、多推理智能系统的自然选择。

一般而言, 按照面向对象的方法进行程序设计要经过面向对象分析、面向对象设计和面向对象实现三个阶段。面向对象分析是一种集以往在系统开发中使用的功能分解法、数据流法、消息模拟法等方法之精华的综合方法, 可表示为对象、类、继承、消息通信的组合。面向对象设计即设计软件的对象模型, 其规定的各个对象所应完成的任务、功能则由面向对象实现来完成。

在面向对象的方法中, 对象和传递消息分别表示事物及事物间的相互联系, 类和继承则与人们一般的思维方式相适应, 通过封装将对象的定义与对象的实现分开, 通过继承体现类与类之间的关系, 产生实体的多态性, 从而构成了面向对象的基本特征。

微机防误操作闭锁装置中, 面向对象的图形生成与管理系统的类结构如图1所示。从大的方面分, 电力系统一次接线图的显示元件主要有: 母线(单母、单母分段带旁路、双母、双母带旁路等), 断路器(出线断路器、母联断路器、旁路断路器等), 隔离开关(接地隔离开关、出线隔离开关等), 变压器(三相变压器、两相变压器、自耦变压器、联络变压器等), 避雷器等。为了方便用户, 电力系统一次接线图的元件都要根据其实时状态用不同的颜色、不同的方式表示出来, 因此, 在设计类结构图时, 将绘制各个元件所必需的数据(如基准位置)、函数(如画线、显示文本函数)概括起来, 组成一个最简单的抽象类——基本绘图工具类, 作为整个类结构的基类, 其它所有子类都是它的派生类, 从而避免了代码的

重复。另外,主接线图中断路器、隔离开关不能独立存在,必然是出线(间隔)的组成部分,而出线又是联接在母线上。这样,理清关联顺序后,可以充分利用类的继承性,由基本绘图工具类派生出母线类,母线类派生出出线类,而出线类派生断路器类、隔离开关类,层层递推就得到了树型的类结构图。图中每一层类不仅结构简单、清晰,而且包含足够的信息。考虑到某些数据成员的存取权限,设计类结构时还要全盘规划,进行最优的类封装。这里以图1所示的层次结构为例,对图形生成与管理系统的类结构简要说明如下。

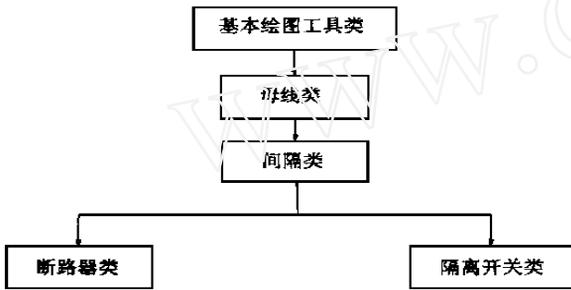


图1 类的层次结构图

层次数据模型最适于模拟电力系统这样一个具有天然层次结构的系统。发电厂、变电站的电气主接线是由高压电器设备通过连接线组成的接受和分配电能的电路。用规定的设备文字和符号,将发电机、变压器、断路器等按其作用依次连接的单线接线图称为主接线图,它不仅标明了各主要设备的规格、数量,而且反映各设备的作用、连接方式和各回路间的相互关系,对电力系统的分析和运行起着决定性的作用。从大的方面来分,主接线图由汇集、分配电能的母线及间隔组成;小而言之,断路器、隔离开关、变压器等不同类型和数目的搭配构成不同的间隔类型,而不同的间隔类型和母线类型相互组合最终构成了不同的接线方式,从而勾画出一张完整的电力系统一次主接线图。电力系统是一个在结构上自然分层的系统,主接线图上的各种元件从属关系明了,而类结构的确定也正是基于这一点考虑的。本章介绍的图形数据库结构示于图2。

显然,由图2所示的从主接线图、接线方式、间隔类型至断路器或隔离开关的结构不完全符合层次

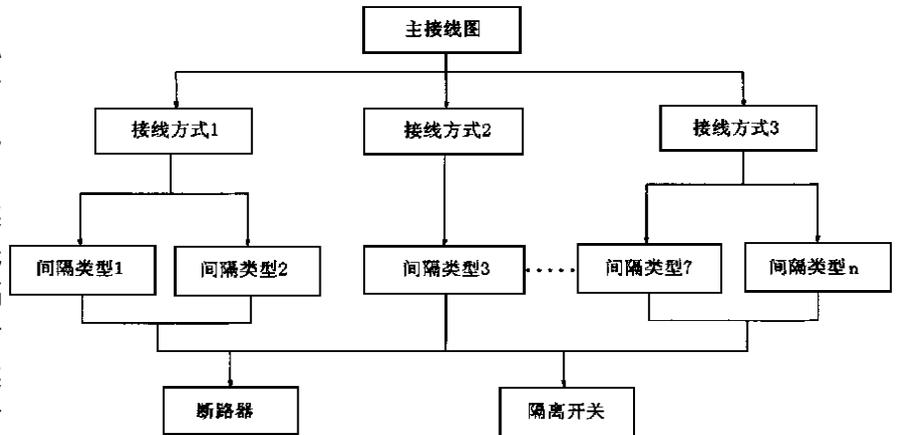


图2 层次数据结构图

数据模型的层次性、有序性、父子节点间一对多联系以及自顶而下、从左至右检索路径的要求,但可以通过一些等效的转换将之变为层次结构。例如,每一种间隔类型必然包括若干断路器和隔离开关,并且断路器、隔离开关之间是并列关系,而非先后、主从关系,针对这一情况,引入冗余节点,也就是根据不同的间隔类型,生成断路器、隔离开关类的若干实例,将实例分配至其唯一所属的间隔类型下,以形成等效的树形层次结构。引入冗余节点后,数据库结构更加清晰,并允许节点存储位置变动,但由此也需要多占用存储空间,可能产生数据的不一致性,故还要对数据进行一致性检查。当然,在数据库中检索数据时,因为不同的接线方式、不同的间隔类型以及断路器、隔离开关间都是互相平行的,不存在先后次序问题,所以自顶向下的检索原则仍然应该遵循,而左右原则已不是必要条件,遵循与否无关紧要。

### 3 微机防误专家系统的规则库和数据库

当系统接收任务后,首先匹配控制知识,如果某条控制规则被激活,则执行结论部分的操作,主要包括使推理路径转向对应的子目标模块,而不是搜索整个解题空间,从而保证了推理过程的优化和高效。当规则的条件部分与已有的事实匹配,则规则被激发,将其结论放入工作存储器。此过程重复执行直到最终获得所需的方案。为了有效地存储和利用知识,采用层次结构对所用的知识进行分类。根据操作设备类型,把由电网的一般操作运行规则和调度人员的启发性经验总结而成的知识综合为线路操作知识、开关操作知识、变压器操作知识、母线操作知识、发电机操作知识等,并可进一步细分。该规则库是以电力系统固有的层次模型为基础而开发的

层次型规则库。规则库是防误专家系统判断元件是否可以操作的基本判据,本系统规则库构成如下:

- 总规则数量
- 规则序号 母线类型 出线类型 元件属性
- 规则组数
- 元件合闸必须闭合元件的规则数
- 元件合闸必须断开元件的规则数
- 元件断开必须闭合元件的规则数
- 元件断开必须断开元件的规则数
- 元件名称
- 元件合闸必须闭合元件的规则数 元件名称 1
- 元件名称 n
- 元件合闸必须断开元件的规则数 元件名称 1
- 元件名称 n
- 元件断开必须闭合元件的规则数 元件名称 1
- 元件名称 n
- 元件断开必须断开元件的规则数 元件名称 1
- 元件名称 n

微机防误的数据库由下列数组按顺序构成

- 母线数量
- 母线类型 电压等级 出线数量 母线状态
- 出线类型 出线名称 出线电压等级 出线元件数量
- 出线元件 1 名称 出线元件 1 状态..... 出线元件 1 名称 出线元件 1 状态

其中分类如下:

母线数量指变电站的母线按电压等级和分段后的数量

母线类型指单母、单母分段、母联、双母、双母旁路、变压器母线等

电压等级指 220kV、110kV、35kV、10kV

出线数量指母线上对外出线的数量

母线状态指母线是否带电

出线类型指直接出线、母联、旁路、中性点接地、双母出线等

出线名称指出线的线路名称

出线元件数量指出线线路上断路器和隔离开关的数量之和

出线元件名称指断路器(出线断路器、母联断路器、旁路断路器等),隔离开关(接地隔离开关、母线隔离开关、出线隔离开关等)

### 4 微机防误专家系统的构成

专家系统的核心是知识,知识的数量和质量决

定着一个专家系统性能的优劣程度。专家系统的工作过程又是一种推理过程,即系统在推理策略的控制下,从知识库出发,利用存储起来的知识分析、处理问题。这样,设计专家系统的关键就是通过知识获取和知识表示建造知识库,并且以基于知识规则的推理和推理解释为基础,设计推理机制和策略。

微机防误操作闭锁装置的防误专家系统结构如图3所示,它由知识库、综合数据库、推理机和用户接口组成。

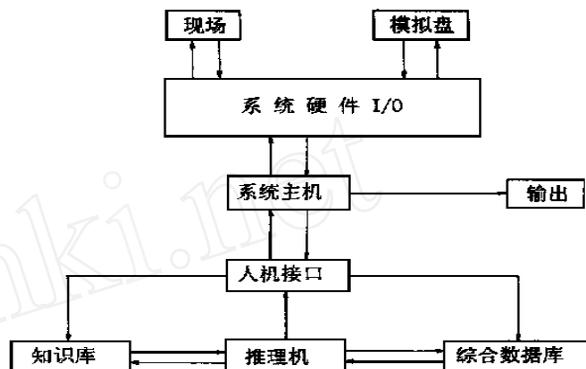


图3 微机闭锁装置防误专家系统结构框图

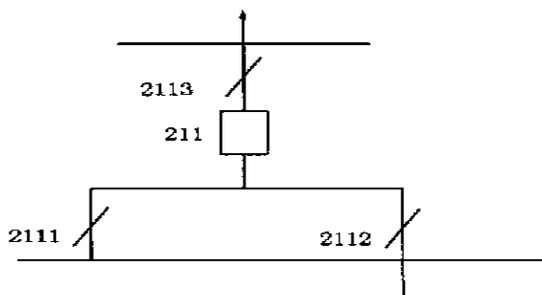


图4 双母带旁路一次系统

知识库是系统的核心,用于存放与电力系统五种典型误操作(带负荷拉合隔离开关、误操作断路器、带电挂接地线、带地线送电、误入带电间隔)对应的防误规则。考虑到大多数发电厂、变电站的规模较小,出线类型变化不大,为便于知识的取用,提高分析推理速度,从知识库的易扩充和易维护角度出发,防误规则的表示采用最基本、最简单的与或树结构表示,也就是一个设备的操作防误不仅与它自身的状态有关,而且取决于和它相联的所有元件的实时状态。例如,图4所示的双母带旁路的结线方式,合上断路器211的前提条件是隔离开关2113处于合状态,同时隔离开关2111或2112也为合状态,即2113和断路器211是“与”关系,2111、2112和断路器211也是“与”关系,2111、2112之间却是“或”关系,这样,断路器先断后合的原则才能得到满足。(下转第27页)

## New mathematical model of microprocessor - based protection for transformer

XUE Jin-wa

(Lanzhou Petrochemical Company of Gansu Province , Lanzhou 730060 , China)

**Abstract:** Measuring the leakage impedance on both of the primary and secondary windings of the transformer by short circuit test , and a new mathematical model of microprocessor - based protection for transformer is proposed based on the principle of constant leakage impedance.

**Keywords:** transformer ; leakage impedance ; microprocessor - based protection

(上接第 23 页)

推理机的工作过程模拟人类思维,由搜索、匹配、操作合理检查等组成。当操作某一设备时,推理机根据唯一确定的元件编号,搜索规则库,得到被操作设备在网络拓扑结构中的位置,然后再以元件编号为关键字,在综合数据库中查找与之关联的所有元件的状态,最后调用防误规则。如果操作与某一防误规则相符,那么专家系统报警,通过人机接口,提示出错原因,并发出闭锁信号。此时若用户中断操作,则专家系统根据记忆提示用户作相应修改,使系统恢复到操作前的状态。仍以图 4 所示的结线为例,对断路器 211 进行合操作时,推理机先从知识库中了解到与 211 相关的元件为隔离开关 2111、2112、2113,接着在综合数据库查询这三个关联元件的实时状态。如果此时隔离开关 2111 为合状态,同时隔离开关 2112 或 2113 也处于合位置,那么满足“断路器先断后合”原则,允许合断路器 211;否则与防误原则相符,提示出错,不允许对断路器 211 进行合操作。

## 5 总结

微机防误操作闭锁装置的防误专家系统主要由

知识库、综合数据库和推理机组成。知识库将五条防误规则加以扩展,用最简单可靠的与或结构表示系统在不同运行方式下的各种防误要求,并与存放被控设备属性的综合数据库关联。推理机则采用正向推理机制,通过搜索、匹配、合理性检查等步骤实现模拟预演和实时防误,有效地杜绝误操作事故的发生。利用面向对象的编程方法设计防误专家系统,不仅程序流程条理清楚,结构分明,而且使得系统的可维护性和易扩充性大为增强。

## 参考文献:

- [1] 蔡自兴. 人工智能及其应用. 北京:清华大学出版社, 1996.
- [2] 王培杰,等. 面向对象的 Windows 编程技术. 大连:大连理工大学出版社,1994.
- [3] 程慧霞,等. 用 C++ 建造专家系统. 北京:电子工业出版社, 1996.

收稿日期: 2001-03-19;

作者简介: 张建杰(1966 - ),男,工程师,主要从事电子产品的工艺与结构设计; 程时杰(1945 - ),男,教授,博导,主要从事电力系统分析、控制及人工智能应用研究工作。

## Application of expert system in microprocessor - based miss operation blocking device

ZHANG Jian-jie , CHENG Shi-jie

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

**Abstract:** An object - oriented programming approach is presented in this paper which forms the principle of microprocessor - based miss operation blocking expert system in the power system. The system regulation base and implementation of data base are introduced as well.

**Keywords:** expert system ; object - oriented programming ; miss operation blocking