

# Realization of Expert System on Automatic Generation of Misoperation Prevention Control Rules in Substations

Jingtian Wang<sup>1</sup>, Xianbo Li<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Electric Power Research Institute in Xizang Autonomous Region, Lhasa

<sup>2</sup>State Grid Electric Power Research Institute/Nanjing NARI Group Corporation, Nanjing

Email: dianerliu@yahoo.com.cn

Received: Jul. 1<sup>st</sup>, 2013; revised: Jul. 10<sup>th</sup>, 2013; accepted: Jul. 16<sup>th</sup>, 2013

Copyright © 2013 Jingtian Wang, Xianbo Li. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**Abstract:** The specific solutions according to the difficulties of automatic generation of misoperation prevention control rules were proposed in this paper. On this basis, combining with the development trend of the intelligent substation, the design of expert system about misoperation prevention control rules was proposed in detail which gave the specific suggestions in practical engineering application.

**Keywords:** Primary Wiring Diagram; Mis-Operation Prevention Control Rules; Graph Theory; Expert System

## 变电站五防控制规则自动生成专家系统实现

王景田<sup>1</sup>, 李先波<sup>2</sup>

<sup>1</sup>西藏电力有限公司, 拉萨

<sup>2</sup>国网电科院/南京南瑞集团公司, 南京

Email: dianerliu@yahoo.com.cn

收稿日期: 2013年7月1日; 修回日期: 2013年7月10日; 录用日期: 2013年7月16日

**摘要:** 本文针对自动生成设备五防控制规则的难点, 提出了具体的解决方案, 在此基础上, 提出了五防控制规则专家系统实现方案, 并结合智能变电站的发展趋势, 在实际工程应用方面给出了具体的建设建议。

**关键词:** 一次接线图; 五防控制规则; 图论; 专家系统

### 1. 引言

国内早在 1990 年就提出了五防的要求, 规则库是五防的核心<sup>[1]</sup>, 在变电站监控系统、集控站监控系统以及调度系统中<sup>[2,3]</sup>, 首要任务是确保规则库的正确性。目前国内出现了较多的五防系统, 如 WBFX-1 型防误闭锁系统, UT-2000 型防误闭锁系统, 但尚未出现成熟的五防控制规则自动生成专家系统。笔者在文献<sup>[4]</sup>中, 对五防控制规则做了深入细致的分析和研究, 针对五防控制规则, 得出了如下结论:

1) 变电站五防控制规则, 主要针对地刀、隔离刀

闸和断路器这三类设备, 并且是采用正向型规则。

2) 在任何情况下, 地刀的控制规则是确定的;

3) 隔离刀闸的控制规则, 遵循的基本原则是等电位操作, 在其基础之上根据具体应用来配置规则;

4) 断路器控制规则, 主要是确保供电的可靠性。

基于此分析, 笔者在文献<sup>[4]</sup>中, 提出了开发五防控制规则自动生成专家系统的技术思路:

1) 根据主接线图, 确定刀闸和断路器的控制规则;

2) 调整五防专家系统相关策略;

3) 专家系统根据主接线图, 自动生成五防控制规

则。

以上的研究结果，给五防控制规则自动生成专家系统的开发奠定了理论基础，本文在文献<sup>[1]</sup>的基础上，指出实现的难点，并提出解决办法，并提出五防控制规则自动生成的具体方案，并针对智能变电站的设计，提出五防控制规则自动生成专家系统未来改进的思路。

## 2. 五防控制规则自动生成实现难点

五防控制规则自动生成专家系统，输入为电气一次接线图，输出为电气一次设备操作的五防控制规则。电气一次接线图，包含了设备与设备之间的联系关系，在文献<sup>[4]</sup>中，已经明确指出，变电站五防控制规则，主要是针对地刀、隔离刀闸和断路器这三类设备，其中地刀的规则根据典型规则即可得出，在主接线图已经生成的情况下，根据连接关系可得出具体的规则。隔离刀闸和断路器的规则，则不能按照类同地刀的方式得到，主要是因为，隔离刀闸和断路器的五防控制规则，除依赖典型规则外，还与变电站一次设备的运行相关，这里的一次设备，可能是本间隔内的一次设备，也可能是其他间隔的设备。

图1是一个典型的220kV(110kV)线路接线图。

母线侧刀闸22011(或22012)控制规则：

分闸条件：

a) 线路开关2201分，母线侧刀闸22012(或22011)分；

b) 母线侧刀闸22012(或22011)合，母联(分段)开关及其两侧刀闸合。

合闸条件：

a) I母(或II母)所有地刀分，线路开关及其两侧地刀分，II母(或I母)刀闸分；

b) II母(I母)刀闸合，母联开关及其两侧刀闸合。

刀闸的控制规则核心思想是不能带负荷拉合刀闸<sup>[5]</sup>，即操作前后两端的电位不相等。对于比较简单的单母线，其进线或馈线的开关两侧刀闸可利用典型规则导出，其分合都只有一个条件。

对于图一所示的双母线等特殊接线方式，典型控制规则不适用此方式，以图一中母线侧刀闸闭锁逻辑为例，分闸条件a和合闸条件a是在没有负荷情况下的操作，可以根据典型规则得出；分闸条件b和合闸条件b是在倒母线情况下的操作，其目的是把线路负

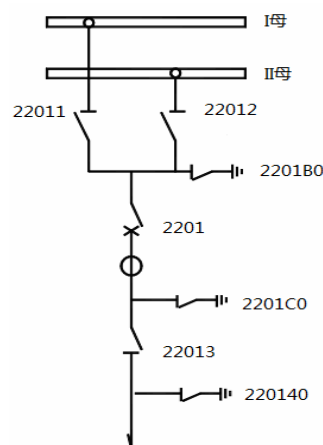


Figure 1. Typical 220kV(110kV) line wiring diagram  
图1. 典型220KV(110KV)线路接线

荷从一条母线倒到另外一条母线，不能从典型规则导出。

从上述分析可以得出，母线侧刀闸22011的控制规则，典型控制规则只是五防控制规则之一，还必须根据现场实际应用情况，配置特殊的控制规则。前者在具体实现时，可结合图论的知识完成，后者在实现时，必须知道现场的实际应用，由人工根据经验编辑得出。

因此五防控制规则自动生成的难点，怎么样将现场由人工完成的工作变成由软件工具自动实现，其实上就是一个将人的经验转变成规则的过程。

## 3. 五防控制规则自动生成实现难点解决方案

经过分析和研究，针对上述难点，如图2所示，我们设计出如下的解决方案：为典型间隔中的典型设备，建立典型五防控制规则库和特殊五防控制规则库，结合一次接线图的逻辑模型，可得到设备的典型五防控制规则和特殊五防控制规则。两者合并在一起就是设备的完整五防控制规则。

## 4. 五防控制规则自动生成专家系统实现方案

该方案采用图模一体化的方式来实现五防控制规则自动生成专家系统，方便最终用户的使用。笔者所在的项目组开发的专家系统基于美国微软公司VISIO 2003来进行二次开发。VISIO 2003是微软公司发布的一款功能强大的矢量绘图与建模工具，并提供

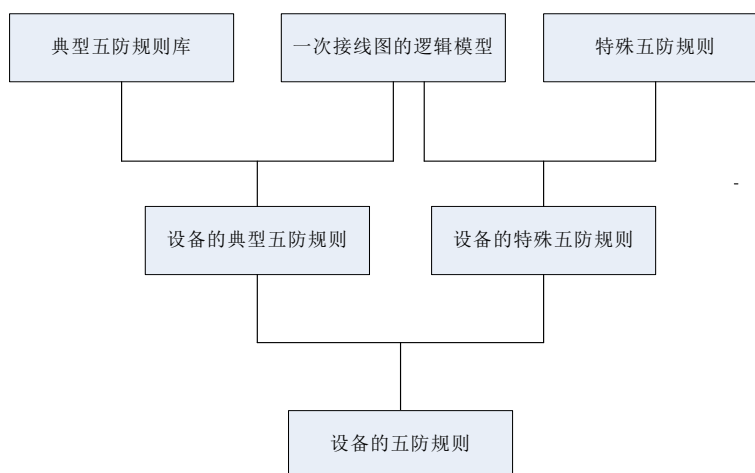


Figure 2. Schematic drawing of misoperation prevention control rules  
图 2. 五防控制规则生成示意图

功能强大的 VBA 二次开发接口。

#### 4.1. 主接线图的生成

如图 3 所示，本系统把一次接线图分解为间隔模型、接线模型以及基本设备三部分。一次接线图由这三部分可快速绘制而成。

基本设备为最基本的一次设备如断路器、隔离刀闸(小车)，接地刀闸(接地线)、母线、变压器、馈线、PT、电容器、电抗器、网门以及联络线等。

不同的一次接线图对应的不同的接线模型，在一次接线模型的基础上，添加间隔模型和很少的基本设备(主要是地线和 CT、PT 等)，就可以得到一个完整的一次接线图。笔者所在项目组在开发实际过程中，充分考虑到连接点和连接线自动调整的需要，生成过程一次接线图的时间一般可在半个小时内完成。

#### 4.2. 一次接线图的解析

一次接线图的解析主要得到两种类型的拓扑关系，一类是基本图元间的连接关系，用来得到接地刀闸的五防控制规则；另外一类是接线模型、间隔模型与基本设备的连接关系，用来得到刀闸和开关的控制规则。

##### 4.2.1. 根据图论得到基本图元的联接关系

一次接线图在作图层面，存在间隔模型、接线模型以及基本设备三部分内容，间隔模型和接线模型都由基本设备组成，因此一次接线图最终可以分解为一个一个独立的基本设备。根据图论的知识，首先把一次

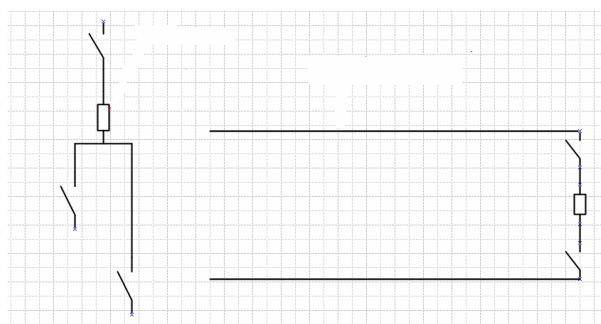


Figure 3. Bay Model and primary wiring model  
图 3. 间隔模型和接线模型

接线图当成一个无向图，再对该无向图解析生成设备的邻接表模型，从而将一次接线图变成了计算机可以识别的数据结构。

图 4 中的邻接表具体生成方法如下：首先将每一个间隔模型、接线模型拆分成基本设备，形成了一个基本设备的集合，遍历这个集合中的每一个基本设备，根据其上的连接点，来判断是否和集合中其他的设备图元有连接关系。下图中的具体含义为：基本设备 1 同 p 个设备有连接关系，基本设备 n 同 q 个设备有连接关系。

##### 4.2.2. 根据图论得到接线模型、间隔模型与基本设备的连接关系

一次接线图在作图层面，存在接线模型、间隔模型以及基本设备三部分内容。根据图论的知识，遍历整个一次接线图，可以得到接线模型、间隔模型以及基本设备的连接关系。

图 5 中的邻接表具体生成方法如下：针对每一个

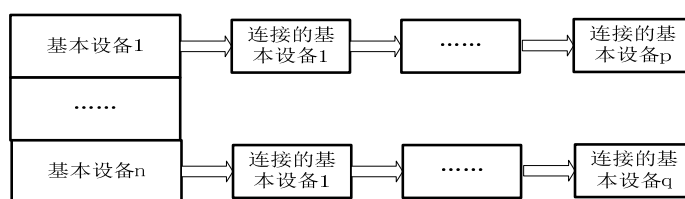


Figure 4. Adjacency table 1  
图 4. 邻接表模型 1

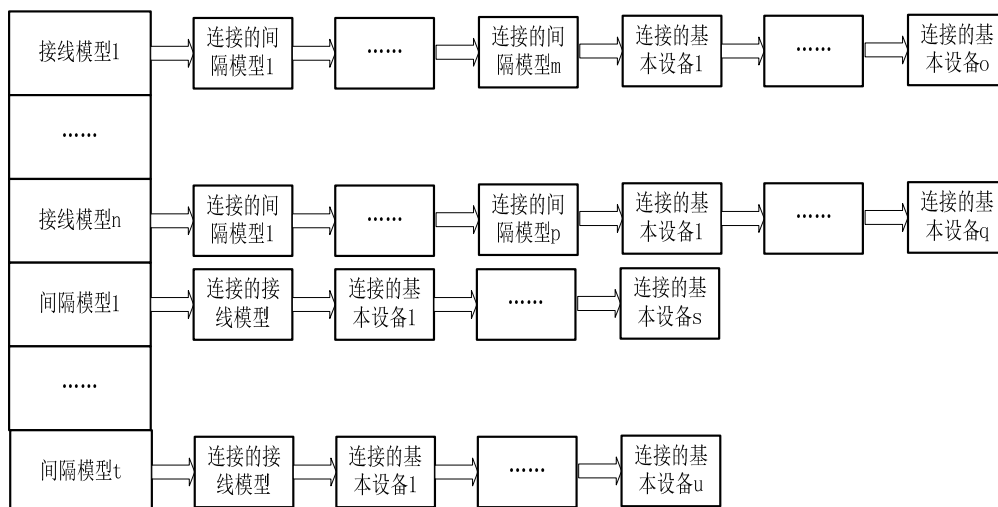


Figure 5. Adjacency table 2  
图 5. 邻接表模型 2

接线模型，根据其上的连接点，来判断和所有间隔模型以及基本设备的连接关系；针对每一个间隔模型，根据其上的连接点，来判断和所有接线模型以及基本设备的连接关系。下图中的具体含义为：接线模型 1 同 m 个间隔设备有连接关系，并同时和 o 个基本设备有连接关系；间隔模型 1 有且仅与 1 个接线模型有连接关系，并与 s 个基本设备有连接关系。

### 4.3. 五防控制规则的编辑

五防控制规则的编辑是对间隔模型内的设备，包括隔离刀闸和开关，进行典型五防控制规则和特殊五防控制规则进行配置。因为典型五防控制规则相对固定，为简化程序处理，将典型五防控制规则也以脚本的方式描述出来。

五防控制规则采用脚本来实现，在现有实际工程应用的五防控制规则脚本定义的基础上，添加如下规则：

1) 支持范围定义符号::，表示某个间隔内的设备时，可以使用范围支持符，如表示间隔 A 内设备 1G，

A::1G。

2) 增加对四种关键字 number、other、thisbay

- number 为一个函数关键字，用途有两种，一为统计某种间隔的数量，二统计某种间隔内部某个设备的状态。
- other: 标示同一间隔类型的其他所有间隔。
- thisbay: 代表某个设备所在间隔。

3)增加一个运算符 on，表示间隔挂接到母线上的位置。

以典型的双母线为例，如图 6 所示，设备 1G 的五防控制规则描述如下：

DoubleUnit::1G 分:(thisbay::2G = 1, DL=1, 1G = 1, 2G = 1) + (thisbay::DL = 0, thisbay::2G = 0)

### 4.4. 接线图检查和生成设备五防控制规则

在一次接线图绘制完后，五防控制规则自动生成工具首先会对一次接线图进行合法性检查，如一次接线图不合法，则给出相应的提示信息。检查通过后，即可输出五防控制规则。

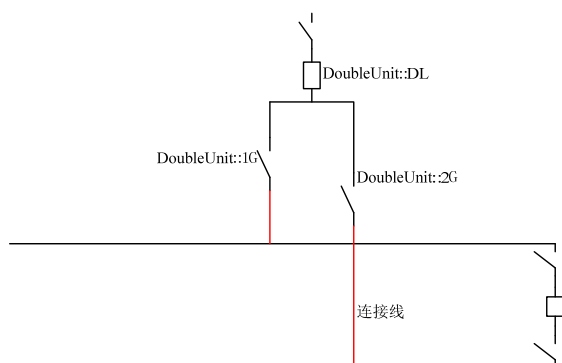


Figure 6. Double line diagram  
图 6. 双母线接线

对于接地刀闸或临时地线，其可以通过图四所示的基本设备连接关系来得到。合接地刀闸或挂接临时地线规则是：必须从接地点开始线路延伸的各个方向都有断开的刀闸(断路器和主变被视为短路)。分接地刀闸或拆除临时地线：无条件。算法采用深度优先算法：从接地刀闸或临时地线开始，对每一个与其连接的设备执行如下算法，如果该设备为刀闸，则记录下该刀闸，并停止当前路径搜索回退到下一个设备，否则再以该设备为中心，递归执行该算法，这样可以找出所有的需要断开的刀闸。

对于隔离刀闸和开关，则可以利用图 6 的邻接表模型，结合 4.3 章节配置五防规则，来得到设备的具体规则，实现方法非常简单，根据图 6 中的设备代号，将配置规则中的设备代号进行回填即可。

## 5. 结论

本文通过对五防专家系统实现难点的分析和具体实现的分析，解决了通过一次主接线自动生成五防控制规则的问题，有利于各电力设计院、供电局以及二次设备厂家展开相关的工程应用。目前笔者所在项

目组所开发的五防控制规则专家系统系统是基于 visio 进行二次开发，但目前电力系统主流设计软件为 AUTOCAD，为便于使用，相关厂家可考虑在 AUTOCAD 上完成二次开发，效果会更好。另外从智能变电站的发展来讲，将来 SSD 文件也要求自动生成<sup>[6]</sup>，这也要求利用 AUTOCAD 来进行二次开发，在具体实施过程中，应将这些工作统一规划实施。

## 5. 致谢

感谢国家自然科学基金资助项目(项目编号：50902110)。

## 参考文献 (References)

- [1] 胡红兵, 郑洁, 赵栋, 谢芬 (2012) 基于可扩展置标语言的变电站可视化防误规则. *电力系统自动化*, **24**, 54-57.
- [2] 王建平, 杨忠民 (1991) 地区电网调度命令票防误操作专家系统的研究. *电力系统自动化*, **4**, 58-61.
- [3] 肖永立, 张瑜, 刘音, 李臻 (2005) 集控站遥控操作时防误闭锁措施的实现. *电力系统自动化*, **22**, 97-99.
- [4] 余南华, 黄曙, 李先波, 李科等 (2010) 变电站五防控制规则自动生成技术思路. *电力系统自动化*, **17**, 97-99.
- [5] 孙一民, 候林, 揭萍等 (2006) 间隔层保护测控装置防误操作实现方法. *电力系统自动化*, **11**, 81-85.
- [6] 吴晓博 (2008) 根据变电站一次接线图导出闭锁公式的方法. *电力系统自动化*, **20**, 73-77.
- [7] 裴佩, 吴晓博, 王浩等 (2009) 变电站五防闭锁规则库生成法的实现. *电力系统自动化*, **8**, 51-54.
- [8] 姜昱昀 (2011) 220kV 综合自动化变电站防误闭锁系统的应用思考. *机电信息*, **36**, 30-31.
- [9] 孙一民, 裘愉涛, 杨庆伟, 刘明坤 (2013) 智能变电站设计配置一体化技术及方案. *电力系统自动化*, **14**, 70-74.
- [10] 何京川, 朱金大 (1995) WFBX-1 型在线微机防误闭锁系统. *电力系统自动化*, **10**, 32-34.