

地区电网在线继电保护动作行为分析软件的开发与应用

高楠楠, 战杰

(山东电力研究院, 山东 济南 250002)

摘要: 将专家系统理论应用于地区电网的在线继电保护动作行为分析中, 根据调度人员和继电保护人员多年的经验总结出各种规则, 适用于110kV和66kV地区电网。不仅分析了三段式电流、零序电流和距离保护等, 而且对于比较特殊的平行双回路横差保护的死区和相继动作区、变压器的低压闭锁过电流保护以及远后备保护等问题进行了深入分析。软件已在线应用到吉林省辽源地区电网中, 能够满足实际应用的要求。

关键词: 专家系统; 继电保护动作行为分析; 相继动作区; 远后备保护

Development and application of on-line relay protection action analysis software for regional power network

GAO Nan-nan, ZHAN Jie

(Shandong Electric Power Research Institute, Jinan 250002, China)

Abstract: This paper applies expert system theory to on-line relay protection action analysis for regional power network. And it also summarizes various rules according to the experience of scheduling operators and relay protection operators for several years. All these rules are suitable for 110kV and 220kV regional networks. This paper not only analyzes three-step current protection, zero-sequence current protection, distance protection etc, but also deeply discusses some special kinds of relay protections such as dead zone and sequential action zone of cross differential protection for parallel coupling lines, low voltage lockout over-current protection for transformer, far reserve protection, etc. The software has been on-line applied to Liaoyuan regional network of Jilin province, which can meet the demands of actual application.

Key words: expert system; analysis of relay protection action; sequent action zone; far reserve protection

中图分类号: TM762 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2008)21-0061-04

0 引言

目前, 电力系统继电保护装置通常是以系统的最大运行方式进行整定, 最小运行方式校验灵敏度, 没有针对某一具体运行方式在线分析各级保护的动作情况。地区电网在线继电保护动作行为分析软件正弥补了这一缺欠, 能够协助现场运行人员了解某一特定运行方式下各保护的動作特性、灵敏度等, 从而为切换运行方式, 事故调查和分析, 故障恢复等提供必要参考依据, 对地区电网的安全稳定运行具有重要意义。另外, 现有软件往往只能离线分析, 对保护死区等一些特殊问题分析不够, 而且是采用数据+算法的传统程序设计方法, 不能满足实际问题的分析、推理要求, 诸多不足之处有待于进一步分析研究与开发完善。因此, 利用电力系统高级应用软件PAS的图形界面开发出一套与之一体化的应用软件, 与SCADA系统相连接, 用实时故障计算

结果进行继电保护动作行为分析。

1 专家系统的应用

专家系统是一个基于知识的智能推理系统, 它涉及对知识获取、知识库、推理控制机制以及友好人-机界面的研究, 集人工智能和领域知识于一体。继电保护动作行为分析中, 很多问题往往不能只用数学模型来表示, 许多地方还必须用专门的经验知识来表示, 这些经验知识是以规则符号、形式语言或网络图等形式表示的。问题求解的过程不是按预先确定的步骤进行, 而是根据环境、条件及要达到的目的, 在控制策略指导下, 通过分析、推理、搜索而寻找问题解答的过程。因此, 必须借鉴人工智能理论, 用专家系统知识+推理的程序设计思想来实现。

本软件在控制策略中使用了改进的宽度优先搜索法。一般的宽度优先搜索法是从根节点开始按层

扩展节点来搜索，前一层节点扩展完毕才扩展下一层节点，它只适用于辐射网，并不适用于环网，因此进行了一些改进，当扩展节点时，需对后继节点的扩展情况进行判断，改进后即解决了环网问题，又提高了搜索效率。

2 平行双回线横差保护的死区和相继动作区问题

2.1 原理简述与分析

平行双回线横差保护的死区和相继动作区分析原理说明图如图 1 所示。对于 m 侧的横差保护，当短路点 D 靠近对侧母线 n 时，m 侧保护因差电流很小而不动作；n 侧保护的差电流为两回线短路电流之和，保护动作使断路器 3DL 跳开。之后，全部短路电流沿故障线路流往故障点，m 侧保护差电流明显增大，保护动作使 1DL 跳闸。

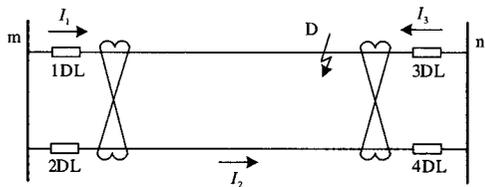


图 1 平行双回线横差保护死区和相继动作区原理图

Fig.1 Drawing of dead zone and sequential action zone of cross differential protection for parallel coupling lines

另外，当线路出口发生三相短路时，母线上的残余电压接近于 0，横联方向差动保护的方向元件可能不动作，出现电压死区。n 侧保护的电压死区正处在 m 侧保护的相继动作区内，结果容易造成两侧保护都拒动。

2.2 故障点位置的确定

实际的电力系统接线中存在很多 T 型接线，如图 2 所示，故障点和保护未必在同一条支路上，因此先寻找两侧保护，并计算故障点到两端的阻抗值，以确定故障点所属区域。这部分用专家系统理论来实现，将平行双回线横差保护的整定值、差接线路、对侧开关等拓扑关系等属性输入开关特性表存入数据库，用专家系统中的框架式表示法来描述。

根据地区电网的结构特点，通过与具有专家水平的继电保护人员交流，总结出以下几条寻找故障点到某一侧横差保护安装处之间所经过的路径并求解其间总阻抗的规则：

(1) 若故障点与某一侧横差保护在同一支路上，则故障点到该侧的总阻抗就等于该支路阻抗乘以故障点距该侧的距离百分比。

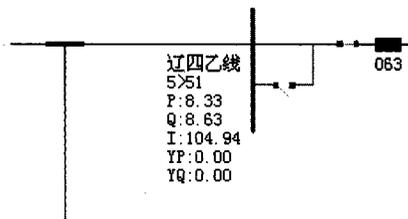


图 2 T 型接线

Fig.2 T-connection

(2) 若故障点在与横差保护相邻的支路上，则故障点到该侧的总阻抗就等于横差保护所在支路阻抗加上故障点到它们相邻的节点之间的阻抗。

(3) 若故障点位置不符合以上两种情况，就要以横差保护所在支路的非保护所在端节点为起点，搜索故障点所在支路，而横差保护所在端节点及其继续扩展方向就不必再搜索了。

(4) 搜索故障点所在支路的规则是：只要未停运且其节点未被扩展完毕的支路均可。

(5) 搜索过程要记录返回路径，以便达到终点时向回追加总阻抗。

(6) 搜索的终点是寻找到故障点所在支路，然后根据返回路径追加故障点到横差保护安装处之间的总阻抗。

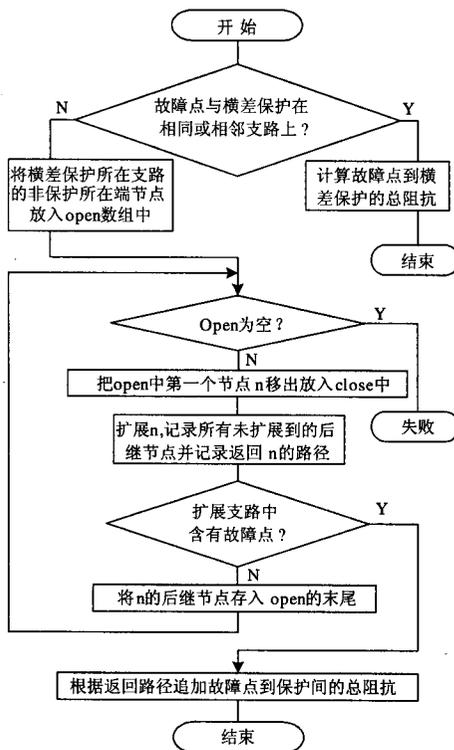


图 3 求故障点到横差保护间的总阻抗流程图

Fig.3 Flow chart of calculating all the impedance from fault nod to cross differential protection

根据返回路径追加故障点到保护间的总阻抗

这部分的控制策略采用正向推理,应用改进的宽度优先搜索法来实现,根据上面的规则得出搜索步骤,其流程图如图3所示。

2.3 故障点所属区域的判断

仍以图1为例,当故障点距m侧横差保护的距離占整个线路全长的百分数大于50%时,要先根据公式(1)计算m侧保护的相继动作区占线路全长的百分比,从而判断故障点是否在m侧横差保护的相继动作区内。

$$\alpha\% = \frac{I_{dz \cdot m}}{I_D} \times 100\% \quad (1)$$

式中: $I_{dz \cdot m}$ 为m侧横差保护的動作值; I_D 为故障点电流。

当故障点在m侧横差保护的相继动作区内时,若线路出口处发生三相短路,则故障点即位于m侧横差保护的相继动作区内,又位于n侧保护的电压死区内。

反之,当故障点距n侧横差保护的距離占线路全长的百分数大于50%时,判断方法和计算公式与m侧类似,不再赘述。

2.4 各区域内的继电保护动作行为分析

当故障点不在任何一侧横差保护的相继动作区内时,即可正常判断保护的動作情况,仍以图1为例,若双回线路同时运行,则m侧横差保护的灵敏度计算公式如公式(2)所示:

$$K_{lm} = \frac{I_1 - I_2}{I_{dz \cdot m}} \quad (2)$$

式中: I_1 和 I_2 如图1所示。

n侧横差保护的灵敏度计算公式如公式(3)所示:

$$K_{ln} = \frac{I_2 + I_3}{I_{dz \cdot n}} \quad (3)$$

式中: I_3 如图1所示。

当故障点在m侧保护的相继动作区内,而不在n侧保护的死区内时,先根据公式(3)计算n侧保护的灵敏度,分析其動作情况。当n侧保护先動作,使断路器3DL跳开时,电网的接线结构立即改变,要重新计算故障点电流和故障后其它支路的电流,然后根据公式(2)重新计算m侧保护的灵敏度,从而分析其動作情况。当故障点在n侧保护的相继动作区内时方法类似,不再赘述。

当故障点即在m侧横差保护的相继动作区内,又在n侧保护的电压死区内时,m侧保护不动作,n侧保护保护的方向元件也不動作,造成两侧保护

都拒动。

3 变压器的低压闭锁过电流保护

双绕组变压器低压闭锁过电流保护的動作条件是:当电流大到使其电流元件的灵敏度达到要求,并且某一端的电压小到使其电压元件的灵敏度也达到要求,两个条件同时满足保护才能動作,据此可以分析其動作情况。三绕组变压器高、中、低三侧的保护是独立的,当某一侧的电流和电压同时达到要求,该侧保护才能動作。

4 三段式电流、零序电流和距离保护的動作行为分析

由于电力系统中存在很多T型接线,并不是每条支路发生故障时,主保护都在该支路上,仍以图2为例,当向左和向下的支路故障时,主保护应在063开关所在的支路上,所以在判断保护的動作特性之前,首先要寻找到主保护所在支路。这部分仍用专家系统理论来实现,寻找主保护的规则如下:

(1)故障点将故障支路分成了两条支路,这两条支路中流向故障点的电流不等于0的才有可能成为主保护所在支路。

(2)对于一条有可能含有主保护的支路,按照电流方向,若流入电流端有开关,则该开关为主保护所对应的开关。

(3)对于每一条有可能含有主保护的支路,都应寻找到一个主保护来保护它。

(4)若1中所得到的支路,流入电流端有开关,则该开关为主保护所对应的开关。

(5)若1中所得到的支路,流入电流端没有开关,则要以流入电流端的节点为起点,向上一级搜索主保护。

(6)向上一级搜索主保护的规则是:只有向起始节点注入电流的支路才有可能成为主保护所在支路。

(7)若6中所得到的支路,流入电流端有开关,则该开关为主保护所对应的开关。

(8)若6中所得到的支路,流入电流端没有开关,则要以流入电流端的节点为起点,向上一级继续搜索主保护。

(9)对于每一条有可能含有主保护的支路,向上一级搜索主保护的终点是地区电网中高压—中压的变压器,因为高压侧线路已不属于地区电网所辖范围。

这部分的控制策略仍采用改进的宽度优先搜索法。寻找到主保护后,就可以计算出主保护所在支

路电流、零序电流和流入电流端节点电压等数据，根据这些数据计算三段式电流、零序电流和距离保护等各种主保护和近后备保护的灵敏度并分析其动作特性等。

5 远后备保护

在分析远后备保护的動作特性之前，首先应确定远后备保护所在支路，这部分也是应用专家系统理论来实现的。搜索远后备保护的规则与5中搜索主保护的规则类似，起点是所有主保护所在支路流入电流端的节点，向上一级流入电流的方向搜索，不再赘述。控制策略仍采用改进的宽度优先搜索法。寻找到远后备保护后，就可以计算出远后备保护所在支路电流、零序电流和流入电流端节点电压等数据，根据这些数据判断各种远后备保护的動作特性。

6 应用实例

本软件已在线应用到吉林省辽源地区电网中，在现场的实际运行过程中收到了良好的效果，已通过现场实用化验收，并受到现场运行人员和继电保护人员的一致好评。

本软件具有良好的人-机界面，可以直接在系统一次主接线图中设置故障点，然后在故障信息设置对话框中设置故障类型，故障点具体位置等参数，例如设置辽四甲线发生两相短路，故障点与本线路起点的距离占线路全长的10%，软件将自动运行并显示结果窗口如图4所示。

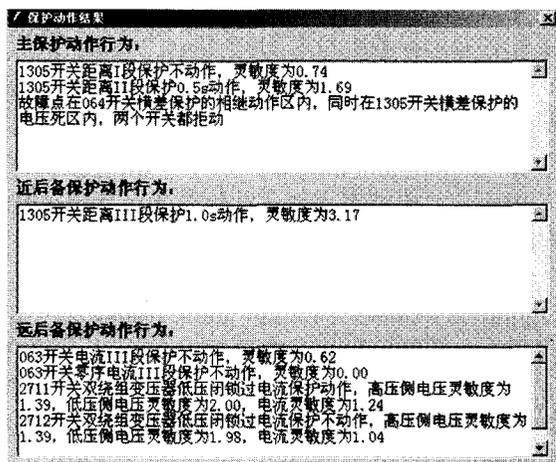


图4 辽四甲线继电保护动作行为分析结果

Fig.4 Relay protection action analysis of Liaosijia line

7 结论

本软件是与电网调度 EMS 中高级应用软件 PAS 相结合的一体化高级软件系统，突破了传统的程序设计思想，将专家系统理论应用于地区电网在线继电保护动作行为分析中，更好地模拟了人类专家的推理，判断，把人类专家特有的知识赋予计算机，利用在线故障计算结果，不仅分析了三段式电流、零序电流和距离保护等，而且对于比较特殊的平行双回线路横差保护的死区和相继动作区、变压器的低压闭锁过电流保护以及远后备保护等进行了深入分析，能够满足实际在线应用的要求。

参考文献

- [1] 骆敬年, 张沛超, 周丽. 继电器特性分析软件及对一次特殊事故的分析[J]. 继电器, 2007,35(3): 83-86.
LUO Jing-nian, ZHANG Pei-chao, ZHOU Li. A Software for Analyzing Power Relay Operating Characteristics and Its Application to a Real Fault[J]. Relay, 2007,35(3): 83-86.
- [2] 韩晓萍, 李佰国, 王肃, 等. 继电保护及故障信息系统的设计与实现[J]. 电网技术, 2004,28(18): 16-19.
HAN Xiao-ping, LI Bai-guo, WANG Su, et al. Design and Realization of Relay Protection and Fault Information System[J]. Power System Technology, 2004,28(18):16-19.
- [3] 李雄刚. 故障诊断专家系统在电力系统中的应用[J]. 广东电力, 1999,12(2): 39-41.
LI Xiong-gang. Applications of Expert System for Power System Fault Diagnosis[J]. Guangdong Electric Power, 1999,12(2): 39-41.
- [4] 隋凤海. 变电站故障的远后备保护[J]. 电力系统自动化, 1999,23(20):27-28.
SUI Feng-hai. Remote Backup Protection for Substation[J]. Automation of Electric Power Systems, 1999,23(20):27-28.

收稿日期: 2008-04-28; 修回日期: 2008-05-25

作者简介:

高楠楠 (1980-), 女, 工学硕士, 讲师, 主要从事电网调度自动化, EMS, 继电保护等方面的教学和科研工作。

E-mail: gao_nannan@163.com