

采用 3/2 接线的变电站故障诊断优化模型

姜伟, 廖志伟, 李文清, 黄少先, 文福拴

(华南理工大学电力学院, 广东 广州 510641)

摘要: 采用 3/2 接线的变电站系统有着自己特殊的电网结构和保护配置方式, 但目前电网故障诊断优化模型在具有应用普遍性的同时, 并没有很好的考虑这种特殊的接线方式, 也就不能充分满足 3/2 接线系统对故障诊断的要求。优化诊断模型是通过目标函数来体现和实现的, 基于此, 通过对现有模型的深入研究, 将 3/2 接线系统的接线方式及其保护配置方式反映到目标函数中, 从而使改进后的目标函数能够满足和适用其对故障诊断的需求。最后, 通过一个典型的仿真算例证明了此模型的合理性和正确性。

关键词: 3/2 接线系统; 故障诊断; 优化模型

Optimization model for faulty diagnosis of substation system using 3/2 connection mode

JIANG Wei, LIAO Zhi-wei, LI Wen-qing, HUANG Shao-xian, WEN Fu-shuan

(South China University of Technology, Guangzhou 510641, China)

Abstract: Some substations using 3/2 connection mode is provided with special net structures and configurable modes of protective relay, but actual optimization model for faulty diagnosis bears universality of application simultaneously, does not calculate well the special connection mode, therefore, the foregone model has been incapable of satisfaction for 3/2 connection mode system. Optimization model is incarnated and actualized by objective function, based on the research for existing model, special connection fashions and configurable modes of protective relay for 3/2 connection mode system are embodied through objective function, consequently, the function ameliorated is capable of satisfaction and application for faulty diagnosis of 500 kV electric network. Eventually, the reasonability and validity of model are testified through a typical stimulant example.

Key words: 3/2 connection mode; faulty diagnosis; optimization model

中图分类号: TM76 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2008)04-0031-06

0 引言

电力系统故障诊断是协助调度运行人员实现事故状况下科学调度, 尽快排除故障、恢复供电, 保证电网安全、稳定、经济运行的重要手段^[1]。数字化、信息化是当前电力系统的发展趋势, 为运行管理等部门带来了愈加完备和全面的信息, 但信息量的增多也使得调度管理人员难以发现或遗漏重要的信息; 因此, 诊断系统愈来愈受欢迎。

目前, 有多种方法应用于电力系统故障诊断, 如专家系统^[2]、神经网络^[3]、逻辑处理^[4]等。其中在基于优化方法的故障诊断方面近几年也逐步成熟, 做了大量的系统研究工作^[5-7], 也构造了故障诊断的多种解析模型, 但都没有具体涉及 3/2 接线系统。3/2 接线本身具有高度的供电可靠性、运行调度灵

活等优点, 所以在高电压等级尤其是 500 kV 的电网中得到了广泛的应用。其保护配置与电网结构都与低电压等级的网络有着某些不同之处。保护信息是故障诊断的核心信息, 3/2 接线系统的保护大体上可以分为线路保护、变压器保护、开关保护、重合闸保护、母线保护等等。与先前低电压等级的电网相比, 系统结构有了较大改变, 自动设备的使用也更加普遍; 因此, 要对其进行故障诊断, 必需对先前模型进行改进, 才能满足其故障诊断的要求。

1 保护类型的重新划分与故障诊断所需信息的处理

继电保护从总体上分为主保护、近后备、远后备; 主保护的定义一般无异议; 因此, 要对保护重新划分首先需要深入了解近、远后备的概念。

近后备保护: 在某一元件发生故障时保护拒动

或开关拒动,由本地的另一套保护动作,跳开本开关或相邻开关切除故障,这种后备一般是在本地实现的,所以叫做近后备保护。

远后备保护:在某一元件发生故障,而该处保护拒动或开关拒动,故障不能切除,而由上一级(靠近电源)的保护动作切除故障,这种后备是在远处实现的,所以叫远后备保护。

从上面的定义可以看出近、远后备保护的保护区可能相同,但在目标函数中需要对非选择性保护搜索其关联元件及其关联路径^[8]。因此势必要求对保护类型进行重新划分。

改变以往模型中以保护为中心的划分方法,而以触发断路器为依据进行划分,从而将保护划分为三类:

一类保护:作用于本地开关且在故障发生后第一时间动作的保护;

二类保护:作用于本地开关,在故障发生后,动作时限滞后于一类的保护(可能会包含到远后备的一部分);

三类保护:本元件或设备故障,但作用于相邻或远方开关的保护(可能会包含到近后备的一部分),此类保护不具有选择性。

通过以上划分,可以很好的解决以往类似按主、近、远划分保护的方法^[9],而造成保护范围不甚明确的弊病,重新划分后每一类保护其保护范围内的元件都很明确,经优化计算所得的结果也会更加清晰明了。在新的划分中对保护动作时限的划分已经不是很严格,但在我们考察完3/2接线系统实际的保护配置后,针对某一元件或设备所配置的保护还是可以认为保护时限是按照以上划分逐级延长的。所以并不影响或改变以前模型中关于保护划分中对各级保护之间的依赖关系。

2 目标函数的改进,新模型的建立

基于优化技术的故障诊断模型是通过 $F_{obj}(D)$ 目标函数体现的。 $F_{obj}(D)$ 是故障假说 D 的函数,建立了这种函数关系后,诊断问题就转化为求解一个令目标函数的值达到最优的解^[10]。根据各类保护不同的原理和动作逻辑,分别生成期望值计算公式。

2.1 线路和变压器保护的期望值

在实际的保护配置中,同一个等级类别的保护可能装了多套,即所谓的双重化或多重化的配置。例如变压器的差动保护与瓦斯保护同为一类保护;也可能一台变压器或一条母线同时安装两套差动保护等等。

在实际情况下,当某一元件发生故障时可能是多套保护都动作,原因就是断路器断开需要灭弧时间,在电弧没有完全熄灭之前,故障还是被认为继续存在,因此,故障发生时启动的保护由于动作时限小于灭弧时间而动作。所以,各类保护之间并没有绝对的关联。但为了体现保护的等级关系以及动作先后顺序,在不影响诊断结果的情况下,对于其中的某个元件 n ,确定其期望值如下(注:带*标的都是指期望值):

1) 元件 n 的第 i 套一类保护的期望值

$$p_{mi}^* = d_n$$

d_n 是元件 n 的状态,正常时为0,故障时为1

2) 元件 n 的二类保护 i 的期望值

$$p_{pi}^* = d_n \times \overline{P_{mn}^*}$$

$$\text{其中, } \overline{P_{mn}^*} = \sum_{i \in d_n \text{ 的一类保护}}^{\oplus} p_{mi}$$

$$\sum^{\oplus} \text{表示 } \prod \overline{P_{mi}}$$

元件 n 的所有一类保护的期望值取反后相乘

3) 元件 n 三类保护 i 的期望值

当所保护的故障且其一类保护和二类没有动作即公式(1)、(2)、(3)中的前半部分 $d_n \times \overline{P_{mn}^*} \times \overline{P_{pn}^*}$ 为1时,或者任何所在其保护内的对象故障且故障对象到保护安装点的电路未切断,保护动作。所以对于三类保护,还要知道关联元件和关联路径上的断路器的状态。

根据实际保护配置中方向元件的特性,对于能同时保护其它元件的三类保护,可按关联路径的反向分为:

正向关联路径的保护。这里的正方向,是指方向元件,比如作为变压器故障的后备保护的后备保护其保护方向是指向变压器的。

正向关联路径的保护期望值:

$$p_{si}^* = (d_n \times \overline{P_{mn}^*} \times \overline{P_{pn}^*}) + \sum_{j \in \text{保护 } i \text{ 正向关联路径上的关联元件}}^{\oplus} \left(d_j \times \prod_{k \in \text{保护 } i \text{ 到元件 } j \text{ 关联路径上的断路器}} \overline{c_k} \right) \quad (1)$$

反向关联路径的保护。这里反方向,是背对变压器,指向系统。反向关联的概念也只有变压器保护中才会出现。其它设备或元件的保护是不会出

现的。

反向关联路径的保护期望值:

$$p_{si}^* = (d_n \times \overline{P_{mn}^*} \times \overline{P_{pn}^*}) + \sum_{j \in \text{保护 } i \text{ 反向关联路径上的关联元件}}^{\oplus} \left(d_j \times \prod_{k \in \text{保护 } i \text{ 到元件 } j \text{ 关联路径上的断路器}} \overline{c_k} \right) \quad (2)$$

无方向关联路径的保护, 关联路径即包含了正向关联路径, 又包含了反向关联路径。

$$p_{si}^* = (d_n \times \overline{P_{mn}^*} \times \overline{P_{pn}^*}) + \sum_{j \in \text{保护 } i \text{ 正向关联路径上的关联元件}}^{\oplus} \left(d_j \times \prod_{k \in \text{保护 } i \text{ 到元件 } j \text{ 关联路径上的断路器}} \overline{c_k} \right) + \sum_{j \in \text{保护 } i \text{ 反向关联路径上的关联元件}}^{\oplus} \left(d_j \times \prod_{k \in \text{保护 } i \text{ 到元件 } j \text{ 关联路径上的断路器}} \overline{c_k} \right) \quad (3)$$

其中, $\overline{P_{pn}^*} = \sum_{i \in d_n \text{ 的二类保护}}^{\oplus} p_{pi}$

2.2 母线保护

母线差动保护也是按照双重化的配置标准, 在实际当中每条母线都是配置了母差保护的, 但是从 SCADA 系统中反馈上来的信息中不能分辨出是具体那条母线的母差保护动作, 因此, 母线差动保护的期望值可以确定如下:

1) 母线差动保护的期望值(即认为不同的母线故障得到的是相同的保护信号, 具体那条母线故障还需要借助于触发开关来判断)

$$P_{Bus}^* = d_{Bus1} + d_{Bus2}$$

2) 母线开关失灵保护的期望值

在采用双母线加旁母的接线方式的系统中, 只要在保护动作而开关拒动时, 失灵保护启动动作, 其动作跳闸策略都是一样的。而在 3/2 接线系统中由于其特殊的接线方式, 而造成了失灵保护不同的跳闸策略:

若中间开关拒动, 失灵保护动作, 除跳开本侧相邻的两只母线开关外, 还要通过远方跳闸, 跳开与拒动开关相连的线路对侧开关。如图 1。

若母线侧开关拒动, 除跳开关侧相邻的中间开关外, 还要通过远方跳闸跳开与拒动开关相连的线路对侧开关, 以及启动拒动开关所在母线的母差保护, 跳开该母线上的所有开关。如图 2。

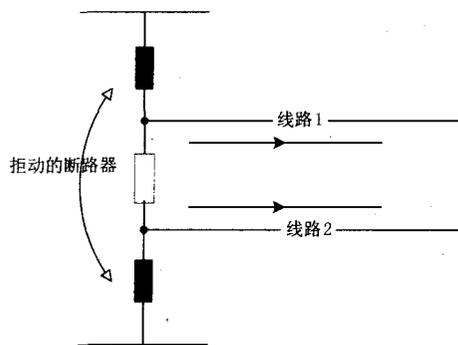


图 1 动作策略 1

Fig.1 Action strategy 1

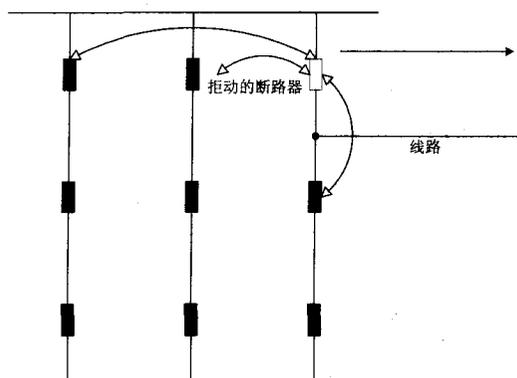


图 2 动作策略 2

Fig.2 Action strategy 2

失灵保护是一种近后备保护。它的动作的条件是: 保护动作, 故障仍存在。具体地讲就是失灵保护由跳该开关的保护启动, 由反映该开关电流状态的电流继电器来判别有无电流, 经过一定的延时, 如失灵保护没有返回(启动失灵的 protection 不返回)同时此电流仍存在, 此失灵保护动作。

综合考虑以上因素, 得出其期望值为(因为失灵保护一般是以开关为对象的, 所以没有必要将元件状态包含在内了):

$$P_{mal}^* = \sum_{n \in \text{母线上直接相连的断路器}}^{\oplus} (\overline{c_n} \times (P_{mn} + P_{pn} + P_{sn})) + \sum_{k \in \text{中间断路器}}^{\oplus} \overline{c_k} \times (P_{mk} + P_{pk} + P_{sk})$$

其中, $P_{mn} = \sum_{i \in \text{元件 } n \text{ 的一类保护}}^{\otimes} p_{mi}$, $P_{mk} = \sum_{i \in \text{元件 } k \text{ 的一类保护}}^{\otimes} p_{mi}$

$P_{pk} = \sum_{i \in \text{元件 } k \text{ 的二类保护}}^{\otimes} p_{pi}$, $P_{sk} = \sum_{i \in \text{元件 } k \text{ 的三类保护}}^{\otimes} p_{si}$

以上失灵保护的期望值分别考虑了两种断路器

拒动情况下, 失灵保护的跳闸策略。

2.3 重合闸保护的期望值

重合闸(由保护跳闸同时起动作而不是开关不对应起动作)可以分为以下四种:

综合重合闸: 单相故障, 单跳单相; 相间故障三跳三合;

单相重合闸: 单相故障, 单跳单相; 相间故障三跳不重合;

三相重合闸: 凡故障均三跳三合;

重合闸停用方式: 任何故障三跳不重合。

其中, 单相重合闸方式在 3/2 接线系统中应用最为广泛。虽然分类众多, 但在目标函数中没有考虑分相的情况, 因为诊断结果是以设备元件为中心的。

因此, 期望值可以确定为:

$$r_n^* = (P_{mn} + P_{pn} + P_{sn}) \times c_n \times d_n$$

线路 i 故障, 有保护动作, 与线路相连的断路器跳开。虽然重合闸动作的条件中没有相应的断路器跳开这一条件, 但考虑到重合闸动作结果的实际情况, 还是有必要将其计算在内的。

2.4 断路器的期望值

线路变压器保护对断路器期望值的贡献:

$$c_{iLTi}^* = \sum_{j \in \text{触发断路器 } i \text{ 的一类保护}} p_{mj} \times p_{mj}^* + \sum_{k \in \text{触发断路器 } i \text{ 的二类保护}} p_{fk} \times p_{fk}^* + \sum_{l \in \text{触发断路器 } i \text{ 的三类保护}} p_{sl} \times p_{sl}^*$$

母线差动保护对断路器期望值的贡献:

$$c_{iBus}^* = p_{Bus}^* \times d_{Bus}$$

d_{Bus} 是与断路器 i 相连的母线的状态

母线失灵保护对断路器期望值的贡献:

$$c_{imal}^* = p_{mal}^* \times d_{Bus}$$

d_{Bus} 是与断路器 i 相连的母线的状态

综合可得断路器 c_i 的期望值:

$$c_i^* = c_{iLT}^* + c_{imal}^* + c_{iBus}^*$$

2.5 目标函数的形成

在数学上, 诊断模型可以描述为一个无约束 0-1 整数规划问题^[11], 通过对以上 500 kV 各类保护及

期望值得分析, 建立了新的故障诊断模型, 其目标函数表达式如下:

$$\min Fobj(D) = |\nabla M(D)| \quad (4)$$

运算符 $|\cdot|$ 表示求向量的非零元素个数, 其中:

• D , 故障假设, 一个 N 维向量 (N 为元件总数), D 中的每个元素取值 0 或 1, 分别表示该元件发生故障和没有发生故障。

$$D_{\cdot j} = d_j = \begin{cases} 0 & \text{对应的元件非故障} \\ 1 & \text{对应的元件故障} \end{cases}$$

• $\nabla M(D)$, 一个 K 维向量 (K 为警报信息总数), $|\nabla M(D)|$ 反映故障假设 D 与警报实况的覆盖的接近程度, $|\nabla M(D)|$ 越小, D 就越接近于事故的实际状态的一个覆盖。其状态由 M 和 $M^*(D)$ 确定:

$$\nabla M(D)_{\cdot j} = \begin{cases} 0 & M^*(D)_{\cdot j} \geq M_{\cdot j} \\ 1 & \text{ELSE} \end{cases} \quad (5)$$

M , 一个 K 维向量, 为实际警报信息向量: 每个元素取值 0 或 1, 分别表示该警报没有出现和已经出现。 $M^*(D)$, 一个 K 维向量, 为故障特征信息向量, 表示当发生故障 D 后理论上应出现的警报信息模式: 每个元素的取值为 0 (或 1), 表示 D 发生时相应的警报不应出现 (或应该出现), 它是和网络实际结构和配置的各种保护、自动装置有关的 D 的函数, 式 (5) 中实质上只有当 $M^*(D)_{\cdot j} = 0$ 且 $M_{\cdot j} = 1$ 时 $\nabla M(D)_{\cdot j} = 1$, 即 $|\nabla M(D)|$ 为故障模式 D 不能覆盖实际警报信息的数目。其中:

$$M = [pm, pf, ps, bus, mal, dir, rec, dul, c]$$

$$M^*(D) = \begin{bmatrix} pm^*(D), pf^*(D), ps^*(D), bus^*(D), mal^*(D), \\ dir^*(D), rec^*(D), dul^*(D), c^*(D) \end{bmatrix}$$

2.6 基于 Tabu 搜索算法的电力系统故障诊断

目前, Tabu 优化算法已被应用于电力系统的优化调度、无功规划、配电系统中电容器的最优配置和机组检修计划等^[1]。它通过采用特有的“禁忌”方式避免了迂回搜索, 并通过藐视准则来赦免一些被禁忌的优良状态, 进而保证多样化的有效探索。下面简要说明求解式 (4) 的方法^[12]:

(1) 随机产生当前初始解 D^* , 置迭代次数 $t = 0$, 使最好解向量 $D_{best} = D^*$ 。

(2) 如果 t 等于给定的最大允许迭代次数 t_{max} ,

则输出 D_{best} 作为最终结果后停止; 否则, 置 $t = t + 1$, 转下一步。

(3) 计算 $\min F(D^*)$ 。

(4) 将文献[1]中介绍的“移动”依次作用于 D^* , 产生一个试验解 D_{trial} , 并计算 $\min F(D_{trial})$ 。重复此过程, 直至给定的邻居抽样数(即每次迭代中产生试验解的数目) S_{max} 已经达到。

(5) 如果 D_{best} 没有上一步产生的最好的试验解好, 则用该试验解更新 D_{best} ; 否则, 转下一步。

(6) 如果步骤(4)中产生最好试验解的“移动”不在禁忌表中, 或虽在禁忌表中, 但已达到其释放水平, 则用该试验解更新 D^* 。之后, 将产生该最好试验解有关的“移动”的反方向“移动”存入禁忌表中, 并转步骤(2)。如果产生该最好试验解的“移动”在禁忌表中且未达到其释放水平, 则考察仅次于该最好试验解的另一个试验解, 并重复此过程。

3 算例

SCADA 系统是实现电网故障诊断的主要信息来源, 它提供了实时故障诊断所需的断路器和保护信息。在事故或故障发生后都会有事故总信号的出现, 进行故障诊断时, 就以总信号为起点, 选取前后某个合适时间域内的保护和断路器信息作为诊断的输入数据。当在这个时间域内出现某个断路器多次分合的情况, 则略去中间过程, 按时间先后顺序只选取断路器首次动作时刻的信息和断路器的最终动作信息, 其中, 断路器首次动作时刻的信息作为实时故障诊断的信息来源, 断路器的最终动作信息用于区分故障类型是永久性故障还是瞬时性故障。

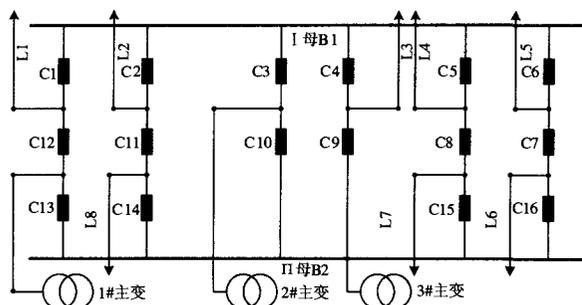


图 3 测试电网

Fig.3 Simplified network for test

测试电网为典型的一个半开关的接线方式, 可以用来说明所改进的诊断模型的合理性和应用 Tabu 搜索优化算法的可行性。如图 3。

其中, 图中所示变压器仅仅为符号表示, 并不代表绕组数目。

本文已经对电网发生多种故障模式的情况进行了仿真计算, 下面选取了一些比较有代表性的故障来说明诊断及新诊断模型的有效性与正确性(其中: 故障信息为模拟 SCADA 系统所接受到信息)。如表 1。

表 1 故障仿真

Tab.1 Fault simulation

故障信息	诊断结果	诊断评价
1. 线路 L ₂ 的主保护距离保护 B _{mL2} 动作, 同时开关 C ₂ , C ₁₁ 断开, 以及线路 L ₂ 的后备保护 B _{nL2} 动作。	线路 L ₂ 故障	正确: 线路 L ₂ 后备保护动作的原因应该是在其时间定值内, 开关尚未断开, 以致引起其动作。
2. 线路 L ₄ 的主保护距离保护 B _{mL4} 动作, 同时失灵保护 B _{nL4} 动作, 以及开关 C ₁ , C ₂ , C ₃ , C ₄ , C ₅ 及 C ₈ 断开。	线路 L ₄ 故障	正确: 显然线路 L ₄ 故障应断开 C ₅ , C ₈ ; 但由于 C ₅ 拒动, 所以失灵保护启动, 跳开母线 B ₁ 上的所有开关。
3. I 母主保护差动保护 B _{mB1} 动作, 同时主变 T ₂ 的后备距离保护 B _{nT2} 动作, 以及开关 C ₁ , C ₂ , C ₃ , C ₄ , C ₅ , C ₆ 及 C ₁₀ 均断开。	母线 B ₁ 故障	合理: 变压器的距离保护既充当变压器的后备又充当母线保护的后备, 但可能由于与母线相连的某些开关没有及时断开, 从而引起主变后备保护动作。
4. 变压器 T ₁ 主保护差动 B _{mT1} 动作及瓦斯保护 B _{nT1} 动作, 同时开关 C ₁₂ 的失灵保护 B _{nC12} 动作, 以及开关 C ₁ , C ₃ 断开。	变压器 T ₁ 故障	合理: 主保护都是瞬时动作的, 所以有两套主保护同时动作, 实属正常, 但由于主变高压侧开关 C ₁₂ 拒动, 所以由失灵保护跳开其相邻开关 C ₁ 。

从上面的算例可以看到, 本文所用的基于优化算法的故障诊断方法是可行的, 无论是保护和断路器都正确动作的简单故障, 还是出现断路器拒动的情况, 皆可以得到正确合理的诊断结果, 说明该改进的诊断模型具有较好的容错性。

4 小结

本文针对 3/2 接线的变电站系统, 通过对先前模型的研究与改进, 使新的优化模型能够适用该系统故障诊断的要求。最后, 通过算例, 模拟简单及复杂故障, 诊断结果均正确合理; 验证了所改进的诊断模型能够满足电网故障诊断的要求。

参考文献

[1] 文福拴, 韩祯祥. 基于覆盖集理论和 Tabu 搜索方法的电力系统警报处理[J]. 电力系统自动化, 1997,

- 21(2):18-23.
WEN Fu-shuan, HAN Zhen-xiang. A New Approach to Alarm Processing in Power Systems Based Upon the Set Covering Theory and Tabu Search Method[J]. Automation of Electric Power Systems, 1997,21(2):18-23.
- [2] Fukui C, Kawakami J. An Expert System for Fault Section Estimation Using Information from Protective Relays and Circuit Breakers[J]. IEEE Trans on PWRD,1986,1(4): 83-90.
- [3] Tanaka H, Matsuda S, Izui Y, et al. Design and Evaluation of Neural Network for Fault Diagnosis[A]. In: Proceedings of Second Symposium on Expert System Application to Power Systems (ESAP'89)[C]. Seattle: 1989.378-384.
- [4] Dy Liacco T E, Kraynak T J. Processing by Logic Programming of Circuit-Breaker and Protective-Relaying Information[J]. IEEE Trans on PAS, 1969, 88(2):171-175.
- [5] WEN Fu-shuan, HAN Zhen-xiang. Fault Section Estimation in Power Systems Using a Genetic Algorithm[J]. Journal of Electric Power Systems Research, 1995,34(3): 165-172.
- [6] WEN Fu-shuan, HAN Zhen-xiang. A Refined Genetic Algorithm for Fault Section Estimation in Power Systems Using the Time Sequence Information of Circuit Breakers[J]. Journal of Electric Machines and Power Systems, 1996, 24(8): 801-815.
- [7] WEN Fu-shuan, CHANG C S. A New Approach to Fault Diagnosis in Electrical Distribution Networks Using a Genetic Algorithm[J]. Journal of Artificial Intelligence in Engineering, 1998, 12(1): 69-80.
- [8] 文福拴, 韩桢祥, 等. 基于遗传算法的电力系统故障诊断的解析模型与方法第一模型与方法(一)、(二)、(三)[J]. 电力系统自动化学报, 1998, 10(3):1-18.
WEN Fu-shuan, HAN Zhen-xiang, et al. An Analytic Model and Genetic Algorithm Based Method for Fault Diagnosis in Power Systems(1)(2)(3)[J]. Proceedings of the EPSA, 1998,10(3):1-18.
- [9] 文福拴, 邱家驹, 韩桢祥. 只利用断路器信息诊断电力系统故障的高级遗传算法[J]. 电工技术学报, 1994, 11(2): 58-64.
WEN Fu-shuan, HAN Zhen-xiang, et al. A Refined Genetic Algorithm for Fault Section Estimation Using Information from Circuit Breakers[J]. Journal of Electric Machines and Power Systems, 1994,11(2):58-64.
- [10] 韩桢祥, 钱源平, 文福拴. 基于模糊外展推理和 Tabu 搜索方法的电力系统故障诊断[J]. 清华大学学报(自然科学版), 1999,39(3):56-60.
HAN Zhen-xiang, QIN Yuan-ping, WEN Fu-shuan. Tabu Search Approach to Fault Diagnosis in Power Systems Using Fuzzy Abductive Inference[J]. J Tsinghua Univ (Sci&Tech), 1999,39(3):56-60.
- [11] Glover F, Kelly J, Laguna M. Genetic Algorithms and Tabu Search: Hybrids for Opimization[Z]. Boulder: University of Colorado, 1992.
- [12] 文福拴, 韩桢祥. 计及警报信息时间特性的故障诊断模型[J]. 电力系统自动化, 1999, 23(17):6-12.
WEN Fu-shuan, HAN Zhen-xiang. A New Fault Diagnosis Model Capable of Dealing with the Temporal Information of Alarm Messages[J]. Automation of Electric Power Systems, 1999, 23(17): 6-12.

收稿日期: 2007-08-03; 修回日期: 2007-08-26

作者简介:

姜伟(1982-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为电力系统故障诊断; E-mail:jiangwei1919@163.com

廖志伟(1973-), 男, 副教授, 当前研究方向为电力系统智能控制和故障诊断;

李文清(1982-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为电力系统继电保护。

(上接第 30 页 continued from page 30)

参考文献

- [1] 辜承林. 机电动力系统分析[M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1998.
- [2] 陈坚. 电力电子学—电力电子变换和控制技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002.
- [3] 韩安太, 刘峙飞, 黄海. DSP 控制器原理及其在运动控制系统中的应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003.
- [4] 田亚菲, 何继爱, 黄智武. 电压空间矢量脉宽调制(SVPWM)算法仿真实现及分析[J]. 电力系统及其自动化

化学报, 2004, (4): 68-71.

收稿日期: 2007-08-16

作者简介:

孙国霞(1978-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为电力系统控制技术; E-mail:sunguoxia0424@sohu.com

李啸骥(1959-), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为控制系统计算机辅助设计、电力系统控制与分析, 农业工程自动化等;

蔡义明(1976-), 男, 硕士, 讲师, 研究方向为电力系统控制技术。