

基于 Petri Nets 和遗传算法结合的配变变压器故障的恢复研究

孙雅明, 宋轶博

(天津大学电气工程与自动化学院, 天津 300072)

摘要: 在基于 Petri Nets (PN) 模型的配电变电站的在线故障恢复研究中, 重点研究了变压器的 PN 恢复处理模型与优化策略模块的结合: PN 模型依据配变运行模式、非故障变压器容量对转移负载和过载的承受力来考虑恢复策略的求解操作; 在甩负荷操作时, 则按供电可靠性的原则对负荷重要性排序, 按尽量少的操作次数、按流过母联功率最小作约束, 构造有序优化约束目标的全局优化 GA 算法来完成。该文的变压器故障恢复方法, 不仅保证了 PN 模型数学求解的快速优势, 而且可克服单一 PN 模型恢复中优化处理和刻画动态特性的局限性。仿真结果表明研究方法是可行、有效的, 具有较高的实用价值。

关键词: 配电变电站; Petri 网; 故障恢复处理; 有序优化约束; 遗传算法; 面向对象编程

中图分类号: TM711; TM421 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2004)15-0014-05

0 引言

配电变电站(以下简称配变)中综合自动化技术的应用, 使配变都趋向无人值班, 但在发生故障情况时, 故障信息是传递至所属的管理中心(如集控站或配电中心站)后才派操作员前往, 这对快速的故障恢复处理带来不利。依靠智能技术实现故障自动跳闸隔离、故障诊断和自动恢复功能对提高供电可靠性是十分必要和重要的。

在配变的故障恢复处理中以变压器最为复杂, 它不仅涉及的设备多, 且互相之间存在关联关系; 在恢复处理中要考虑最高的供电可靠性、设备经济性, 它们需采用全面优化策略来求解; 恢复过程存在不确定的因素, 如变电站内的运行方式和负荷的变化, 对同样设备的故障可有不同的恢复处理策略。因此, 本文以变压器在线恢复处理作为研究的重点。

在已有配电系统故障恢复的研究中^[1~5], 运用推理机和分布知识的专家系统, 但因恢复处理中要考虑多目标约束的优化策略, 使专家系统优势在变电站故障恢复处理中得不到发挥。基于 Petri Nets (PN) 原理的配变故障恢复研究尚不多^[3~5], PN 的优势是数学模型求解可保证恢复处理的快速性。文献[5]中的基于 PN 变压器故障恢复模块考虑过于简单, 无法用于实际, 没有按供电可靠性、运行多目标约束的优化策略进行全面的处理。

本文提出了基于 PN 和遗传算法 (Genetic algorithm, GA) 结合的变压器故障恢复的研究。PN 在建模的同时可将知识信息处理的表示融于其中, 它用数学求解可确保快速性, 且 PN 故障恢复模型是与

变电站实际设备对应建立, 故描述直观和清晰。但 PN 模型缺乏灵活性, 对随机优化策略的推理存在局限性, 如模糊 PN 可对不确定因素有效地处理, 但变压器恢复处理涉及优化处理的馈线多变, 关联因素和多目标约束较复杂, 会使模糊 PN 过于复杂。由于 PN 是以关联矩阵的形式对网络结构刻画, 故动态特性刻画有局限性。本文提出 PN 模型与全局优化性能的 GA 结合来实现变压器的故障恢复处理功能, 是在不增加 PN 模型复杂性的情况下获得全局优化性能。

1 PN 的基本知识和数学模型

1.1 PN 基本模型

在此简述建立 PN 模型的基础知识, 结合图 1 PN 模型说明 PN 的组成要素。PN 属于有向图, 图中“ ”表示位置 P ; “ ”表示变迁 T ; 在位置中用“·”表示拓肯 (Token)。在模型中 $P = \{ P_1, P_2 \dots \}$ 是表示位置的有限的集合, 在变电站中它可表示一些设备的保护动作信号、设备位置状态或输出。

$T = \{ T_1, T_2, T_3, \dots \}$ 是表示变迁的有限集合, 它用来表示外来的事件。拓肯是分布在位置中的, 用来描述系统当时所处的状态。拓肯是经过激活的过流引燃变迁而进行移动。

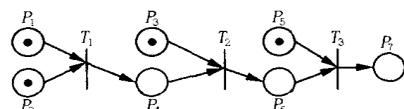


图 1 PN 的基本模型

Fig. 1 Basic PN model

在故障恢复处理中所依据的信息有:来自故障诊断结果的信息、变电站监控系统中的位置信息(如各设备断路器的断、合状态)、设备运行电量信息(如各条馈线的负载)、变电站设计参数(如变压器的容量和过载量)等。在变电站(如图3所示)发生故障后,假设得到如下信息:诊断结果为#1变压器故障、母联TCB₁和TCB₂处于断开状态、#2变压器的容量能满足Bus₁和Bus₂上所有出线负载总和。由此可知图1的P₁、P₂、P₃、P₅位置中被赋予拓肯,见表1所示。

表1 图1中的各元素的描述

Tab. 1 Description of all elements in Fig. 1

位置集合	位置名称	拓肯激活	变迁集合	变迁外来事件	变迁输出
P ₁	TCB ₁ 处断开(母联1)		T ₁	P ₁ , P ₂	P ₄
P ₂	TCB ₂ 处断开(母联2)			点燃	
P ₃	#1变故障(诊断结果)		T ₂	P ₃ , P ₄	P ₆
P ₄	三台变独立运行方式			点燃	
P ₅	变裕量满足运行		T ₃	P ₅ , P ₆	P ₇
P ₆	TCB ₁ 合上			点燃	
P ₇	表示恢复处理完成				

因P₁、P₂中有拓肯, T₁被点燃,拓肯移动到T₁的输出P₄;使P₃、P₄有拓肯, T₂被点燃,拓肯移动到P₆;使P₅、P₆中有拓肯, T₃被点燃,拓肯移到P₇。由PN模型中拓肯的移动规律和相应的信息可知该恢复处理含义为:如处理前母联断路器(TCB₁、TCB₂)都处于断开状态,表示原变压器是处于3台独立运行模式;且相邻变裕量能满足转移负荷要求。为保证供电,对TCB₁可通过自备投或强制进行合操作,恢复操作完成。PN模型是用矩阵形式来刻画和求解,可大大简化知识表示和加速推理过程。

1.2 PN的数学模型^[5,6]

如在PN模型中有m个位置和n个变迁,可用如下矩阵表示:

1) 输出关联矩阵(OIM)。D⁺ = [d_{ij}⁺] B^{m × n}, 其中B^{m × n}表示m行n列的矩阵;D⁺中的d_{ij}⁺元素是表示相应的变迁T_j至输出P_i是否有联系。如有联系则d_{ij}⁺ = 1,反之,则d_{ij}⁺ = 0。图1中PN模型含有7个位置和3个变迁,相应的OIM见图2(a),它表示变迁到输出位置之间的有向联系。

2) 输入关联矩阵(IIM)。D⁻ = [d_{ij}⁻] B^{m × n}, 其中d_{ij}⁻表示输入P_i至T_j间是否有联系,图2(b)表示图1中输入位置到变迁之间的有向联系。

3) 联接的输入关联矩阵(CIIM)。D_c⁻ = [(d_c⁻)_{ij}] B^{m × n}和非联接的输入关联矩阵(DIIM) D_d⁻ = [(d_d⁻)_{ij}] B^{m × n}。DIIM表示在PN模型中非

联接的输入变迁关联矩阵,CIIM表示有联接关系的输入变迁。其实是将IIM中对非联接关系的位置元素置为零得出的,而DIIM是将IIM中有输入关联位置对应的元素置为零得出,图2(c)和(d)是图1的DIIM和CIIM。

4) 非联接的邻接矩阵(DAM)。D_{dw} B^{m × m}的定义如下:

$$D_{dw} = D^+ \times (D_d^-)^T \quad (1)$$

其中:“×”表示矩阵的乘积运算,(D_{dw})_{ij} = 0表示P_i和P_j之间没有联系,(D_{dw})_{ij} = 1表示它们之间有联系。DAM是表示在输入位置中的拓肯是否可经过变迁过渡到另外的位置中,图2(e)是图1的DAM。

5) 用拓肯表征的位置状态可由相量H表示, H = {H₁ H₂ ..}^T,其中H_m = 1表示P_m中含有拓肯,H_m = 0表示P_m中不含拓肯。

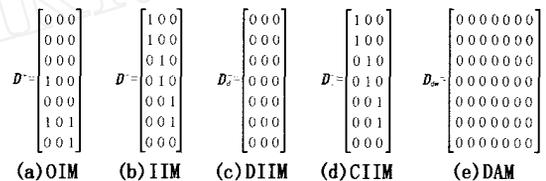


图2 图1PN模型的矩阵式

Fig. 2 The Matrix equations of PN model in Fig. 1

1.3 矩阵运算

对PN模型中的矩阵可转换为简单矩阵表示。如图1拓肯被赋给P₁、P₂、P₃、P₅。i表示推理的第i步;H_i表示了第i步的标记状态。如H₁表明了图1中PN初始状态,然后不断地调用式(2),直至H_{i+1} = H_i时为终结。即再也没有要被点燃的变迁了。H_i的最终拓肯的拥有情况是表示得出的结论。

$$H_{i+1} = H_i \cdot (D_{dw} \oplus H_i) \cdot (D^+ \oplus (D_c^-)^T) \otimes H_i \quad (2)$$

其中:“·”表示矩阵的加运算,对两个矩阵符号“⊕”即表示有下面的矩阵运算。如任取两个矩阵X, Y。X B^{m × n}, Y B^{n × k}, Z B^{m × k}, Z = X · Y,则

$$X \oplus Y = f(X \cdot Y) = \begin{Bmatrix} f(z_{11}) & \dots & f(z_{1k}) \\ \dots & \dots & \dots \\ f(z_{m1}) & \dots & f(z_{mk}) \end{Bmatrix} \quad (3)$$

式(3)中,当z_{ij} = 1时,f(z_{ij}) = 1;当z_{ij} = 0时f(z_{ij}) = 0。如矩阵X B^{m × n}, Y B^{n × 1},经“⊗”矩阵运算,得Z B^{m × 1}为:

$$X \odot Y = g(X \cdot Y) = g(Z) = \begin{bmatrix} g(z_{11}) \\ \dots \\ g(z_{n1}) \end{bmatrix} \quad (4)$$

式(4)中,当 $z_{ij} = d_i = 0$ 时, $g(z_{i1}) = 1$;当 $z_{ij} < d_i$ 时, $g(z_{i1}) = 0$; $d_i = \sum_{j=1}^m x_{ij}$,其中 $1 \leq i \leq n$; $x_{ij} \in X$ 。

对图1的计算过程如下:

$$H_1 = [1 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0]^T, H_2 = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0]^T,$$

$$H_3 = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0]^T, H_4 = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1]^T,$$

$H_5 = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1]^T$,因 $H_4 = H_5$ 满足结束条件,拓肯的变化为 $[0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1]^T$,最终拓肯在 P_3, P_5, P_7 中。

2 变压器 PN 模型和有序约束 GA 的构造

2.1 变电站基本设备 PN 模型

根据 PN 模型的性能必须对不同设备构造 PN 模型,并根据故障类型可以自动进行模型之间的关联组合。图3所示变电站可有如下几类设备 PN 模型。

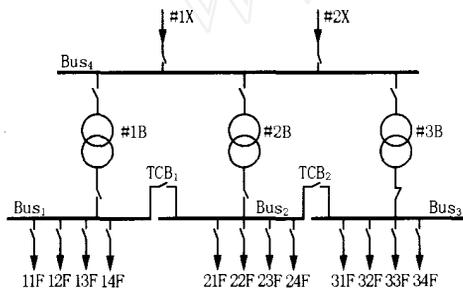


图3 典型变电站电气接线示意图

Fig. 3 Electrical connection of a typical substation

- 1) 断路器及其关联刀闸闭合的 PN 模型。
- 2) 断路器及其关联刀闸断开的 PN 模型。
- 3) 变压器恢复处理的 PN 模型和优化 GA 结合模块。

4) 其它设备的恢复处理 PN 模型有:母线故障的恢复处理 PN 模型,它是与母线形式相关的基于规则的 PN 模型;电容器组故障、变压器分接头故障恢复处理的策略都比较简单;线路故障因保护和自动装置功能较完善无须特别作恢复处理。

对于1)、2)、4)的 PN 模型,由于都是依据母线类型或出线设备配置按国家所规定操作导则来实现,是较规则的 PN 模型,在文献[5]中已有论述不再重复。本文重点是研究3)变压器故障恢复处理 PN 模型和优化策略结合组成的模块。

2.2 变压器恢复处理和优化策略模块

变压器故障恢复处理前可依据信息有:

1) 由各间隔上传监控信息掌握故障前母联 TCB₁ 和 TCB₂ 的断、合状态,从而确定配变的运行模式:TCB₁ 和 TCB₂ 合态为3台变压器并列运行、断态是独立运行;TCB₁ 或 TCB₂ 合、TCB₂ 或 TCB₁ 断,即#1和#2(#2和#3并)变并列运行;故障后母联状态应由备自投方式确定。

2) 由各间隔上传监测电量信息可掌握各变压器、馈线和母线上的负荷量。由静态数据库获得各馈线负荷重要等级、变压器过载能力等。它们是变压器故障后恢复处理和优化策略的依据。

3) 故障诊断结果信息和故障设备的状态。

依据上述信息确定变压器恢复处理和有序约束优化策略的步骤:

- a. 判断配变运行模式和故障变的编号。
- b. 依据 a. 的结果,判断两台相邻变压器或两台不相邻非故障变压器总容量对故障前三台变压器总负荷的承受力。若满足,则只执行母联断路器操作即可,或检查两母联的状态(有可能备自投动作),从可靠性和经济运行的角度应使两台变压器并列于三段母线运行模式,操作结束;若不满足,则计算过载的情况:如在变压器允许范围内,操作结束;如超出变压器过载能力,则继续下一步。

c. 进行甩负荷操作。计算过载的容量;按供电可靠性的原则:按负荷重要性倒排序(三类到一类)、按尽量少操作的次数(即断路器的个数)、按尽量使流过母联功率小的约束顺序进行。显然,三个优化约束策略的重要性也是有序的,所以优化解可形成多组合的操作方案;为了能从全局的优化目标获得最优的甩负荷操作序列,本文提出以具约束的全局优化 GA 来完成,这样可加速求解。先判断三类负荷与需用负荷之间大小,如确定是否要全部甩掉三类负荷等,然后进行组合计算直至满足要求。对甩负荷馈线操作前应闭锁重合闸。

2.3 变压器恢复策略的 PN 模型构造

图4为变压器恢复处理的 PN 模型,表2是对图4中主要位置的物理描述。按2.2节恢复策略的步骤进行。根据母联断路器状态和不同编号变压器故障可形成12种运行和故障模式。对于每种运行模式,因负荷情况不同又会形成不同的恢复过程,但基本策略是一致的。

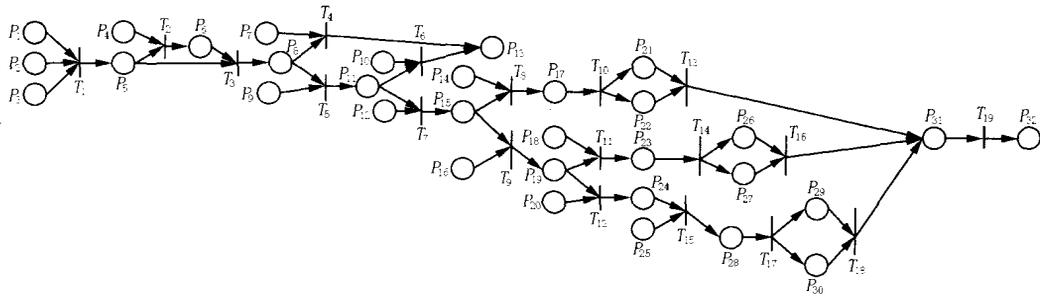


图4 变压器故障恢复处理 PN 模型

Fig. 4 PN model of the transformer service restoration

图4中的 P_{21} 、 P_{22} 、 P_{26} 、 P_{27} 、 P_{29} 、 P_{30} 是根据故障前各变压器和馈线实时电量为有序约束处理进行判断和赋值,以指导 GA 继承适应度函数式的参数。 P_{21} 、 P_{26} 是赋 $ZFH = ZFH_{123}$, 即是馈线 1~3 类总负荷,对 P_{29} 则赋 $ZFH = ZFH_{12}$, 即是馈线上 1~2 类总负荷。 P_{22} 、 P_{27} 、 P_{30} 相应赋 $SF = 1、2、3$, 它相应表示用故障变压器母线上的三类负荷容量能满足裕量要求:用所有三类负荷的容量能满足裕量要求;用所有三类负荷不能满足裕量的要求,必须考虑用二类负荷。所以 P_{21} 和 P_{22} ; P_{26} 和 P_{27} ; P_{29} 和 P_{30} 相应调用式(5)、(6)、(7)来进行 GA 的优选。

表2 图4 PN 模型中主要位置的描述

Tab.2 Description of the main places in Fig. 4

位置符号	位置的物理意义	位置符号	位置的物理意义
P_1	当前变压器运行方式	P_{13}	操作结束,返回开始状态。
P_2	某台变压器故障	P_{14}	判断用故障变所在母线的三类负荷后能够满足要求
P_3	故障变压器已被隔离	P_{16}	判断用故障变所在母线的三类负荷后不能满足要求
P_4	备自投动作状态	P_{18}	判断用全部三类馈线负荷后能满足变压器裕量要求
P_6	故障变所在段相邻母联处于闭合状态或作强制闭合	P_{20}	判断用三类馈线总负荷能否满足负荷转移要求
P_7	相邻变压器容量满足转移负荷要求	P_{24}	将所有三类负荷馈线列入备用记录
P_9	相邻变压器的裕量不能满足转移负荷要求	P_{25}	全部二、三类负荷甩掉之后能满足要求
P_{10}	非故障变容量满足负荷转移要求	P_{31}	调用 GA 算法进行优化计算
P_{11}	调用相应非相邻母联断路器合闸模块(或已处于闭合态)	P_{32}	发闭锁重合闸信息,再调用相应甩负荷馈线的跳闸模块
P_{12}	非故障变容量不满足负荷转移要求。		

在 PN 模型中,存在中间的过渡条件赋值位置,如 P_5 等。它同时给两个变迁,因 P_4 和 P_6 是同时存在,如变压器后备保护动作应闭锁备自投,由 P_6 来激活变迁,以形成“或”逻辑。

2.4 甩负荷操作有序约束优化策略的 GA 模块

GA 是一种自适应随机搜索的优化算法,在随机产生待选群体方案中,以特定的标准评价保留性能好的。通过方案间信息交叉、变异操作产生新的方案,如此重复,直至符合某种要求的结果。本文在甩负荷操作中,是通过多个有序约束优化目标的 GA 来实现,这样可加速 GA 的收敛性能。

2.4.1 适应函数的构造

本文在甩负荷馈线操作中,将参与馈线作为染色体基因,染色体编码采用二进制,其长度是所有可操作线路数目。基因按负荷重要类别倒排(即从三类一类排列)、对每类基因按所在的母线分成基因“区”利于优化约束,且按负荷大小排。当优选完成在基因区中为“1”的馈线,表示需用负荷的馈线。根据有序优化约束可求得多个解的组合,再按母联流过功率最小原则择优,确定最终要用甩负荷馈线。

变压器故障的恢复处理目标是在不过负荷条件下,最大限度按负荷重要性恢复供电,同时尽量减少操作次数。据此要求先构造一个函数,其目标是使变电站的故障恢复负荷达到最大。可根据上述 PN 模型给出不同情况选用适应度函数的求取函数。

1) 当 $SF = 1$ 时的求取函数:

$$s = \sum_{k1=1}^{Length\ 3} s_{k1} ZA_{k1} - [ZFH_{123} - (T_i + T_j)] \quad (5)$$

2) 当 $SF = 2$ 时的求取函数:

$$s = \sum_{k1=1}^{Length\ 3} s_{k1} ZA_{k1} + \sum_{k2=1}^{Length\ 3} s_{k2} ZB_{k2} + \sum_{k3=1}^{Length\ 3} s_{k3} ZC_{k3} - [ZFH_{123} - (T_i + T_j)] \quad (6)$$

3) 当 $SF = 3$ 时的求取函数:

$$s = \sum_{m1=1}^{Length\ 2} s_{m1} ZA_{m1} + \sum_{m2=1}^{Length\ 2} s_{m2} ZB_{m2} + \sum_{m3=1}^{Length\ 2} s_{m3} ZC_{m3} - [ZFH_{12} - (T_i + T_j)] \quad (7)$$

其中: $Length3$ 、 $Length3$ 、 $Length3$ 是各母线上故障前实时三类负荷馈线数目; $Length2$ 、 $Length2$ 、 $Length2$ 是相应二类负荷馈线数目; S_{k1} 、 S_{k2} 、 S_{k3} 、 S_{m1} 、 S_{m2} 、 S_{m3} 是各馈线的实时负荷值; ZA_{k1} 、 ZB_{k1} 、 ZC_{k1} 是相应基因的二进制编码; S 为期望值, $S > 0$; λ 、 μ 为变压器过负荷系数 ($\lambda < 1.2$); T_i 、 T_j 是非故障变压器的额定容量; ZFH 为总负荷量, 取值为 $ZFH = ZFH_{123}$ 或 $ZFH = ZFH_{12}$ 。

在 GA 的选优中, 都采用适应度值越大表示染色体性能越优良。本文取适应度函数为 $Fitness = 1/S$ 。

3 仿真分析

仿真实例中获取各类信息和数据为: #2 变压器额定容量为 30 MW, #3 变额定容量为 44.5 MW, 各馈线的负荷量(MW)为 11F-12, 12F-11, 13F-8, 14F-9, 21F-15, 22F-16, 23F-7, 24F-6, 31F-11, 32F-4, 33F-5, 34F-10。其中 11F、12F、14F、21F、22F、23F、24F、32F 为三类负荷。由故障诊断系统知 #1 变故障。且三台变压器为独立运行模式, 备自投正常动作。取 GA 的终结条件为适应度连续迭代 50 次不变, 交叉概率为 0.5, 变异概率为 0.03, 保留优选组合方案数为 3。仿真结果见表 3 所示。

表 3 仿真结果

Tab.3 Simulation results

最终拥有托肯的位置		$P_5, P_6, P_9, P_{12}, P_{15}, P_{16}, P_{18},$ $P_{19}, P_{23}, P_{26}, P_{27}, P_{31}, P_{32}$	
优先组合号	染色体编码	适应度 Fitness	甩线路恢复方案
1	000111000000	2	14F, 21F, 22F
2	010011000000	0.4	11F, 21F, 22F
3	000011110000	0.222 2	21F, 22F, 23F, 24F

综合分析表明最终选择组合 1 号方案为最优。

4 结论

本文提出基于 PN 模型与有序约束优化策略的 GA 相结合实现变压器在线故障恢复处理, 充分发挥 PN 和 GA 各自优势和互补作用。可克服单一 PN 模型恢复优化处理的局限性和复杂性, 使 PN 模型和 GA 快速求解的优势得到发挥, 这是变电站在线故障

恢复和优化处理具有实用性的重要指标, 仿真证明提出方法是可行和有效的。该方法也可推广到高压变电站。

参考文献:

- [1] Hsu Y Y, Huang H M, Kuo H C, et al. Distribution System Service Restoration Using a Heuristic Search Approach[J]. IEEE Trans on PWRD, 1992, 7(2): 734-740.
- [2] Zhou Q, Shinrinohammadi D, Liu E. Distribution Feeder Reconfiguration for Service Restoration and Load Balancing[J]. IEEE Trans on PWRs, 1997, 12(2): 724-735.
- [3] Yang H T, Huang C M. Distribution System Service Restoration Using Fuzzy Petri Net Models[J]. International Journal of Electrical Power and Energy System, 2002, 24(5): 395-403.
- [4] Wu J S, Liu C C, Liou K L, et al. A Petri Net Algorithm for Scheming of Genetic Restoration Action[J]. IEEE Trans on PWRs, 1997, 12(3): 69-76.
- [5] Huang C M, Jiang H L, Yang H T, et al. A Petri Net Model for Fast Substation Restoration [A]. International Conference on Energy Management and Power Delivery, 1998, 2(3): 473-478.
- [6] Luan W P, Irving M R, Daniel J S. Genetic Algorithm for Supply Restoration and Optimal Load Scheduling in Power System Distribution Networks [J]. IEE Proceedings on Gener, Transm and Distrib, 2002, 149(2): 145-151.
- [7] 盛四清, 梁志瑞, 张文勤, 等 (SHENG Si-qing, LIANG Zhi-ru, ZHANG Wen-qin, et al). 基于遗传算法的地区电网停电恢复 (The Fault Restoration of Distribution Network Based on Genetic Algorithm) [J]. 电力系统自动化 (Automation of Electric Power Systems), 2001, 25(8): 53-55.

收稿日期: 2003-11-24; 修回日期: 2004-02-27

作者简介:

孙雅明(1934-), 女, 教授, 博士生导师, 长期从事电力系统智能控制和故障识别、变电站和配网的综合自动化、综合智能型负荷预测、数据挖掘在电力系统应用等研究工作; E-mail: ymsun@eyou.com

宋轶博(1978-), 男, 硕士研究生, 研究方向为配电系统智能的故障恢复系统的研究。

Study of the transformer service restoration based on the combination of Petri Net and GA in distribution substation

SUN Ya-ming, SONG Yi-bo

(School of Electrical Engineering and Automation, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

(下转第 58 页 continued on page 58)

现,为电力系统的安全稳定运行服务。

收稿日期: 2003-11-06; 修回日期: 2003-12-01

作者简介:

陈忠(1975-),男,电气助理工程师,主要从事继电保护调试工作; E-mail: chenzhong888@sohu.com

文炎斌(1974-),男,电气助理工程师,主要从事电网调度工作。

Phase selection of microcomputer-based protection in extra high voltage line

CHEN Zhong¹, WEN Yan-bin²

(1. Guangdong Power Transmission and Substation Engineering Company, Guangzhou 510160, China;

2. Guangzhou Fanyu Power Supply Branch, SVA, Guangzhou 510000, China)

Abstract: Maloperations are made sometimes in phase selection of microcomputer based line protection in complex networks. The paper focuses on the shortcomings of some generally employed selection methods at home. And some proposals are put forward for phase selection.

Key words: line protection; phase selection; reclose

(上接第 18 页 continued from page 18)

Abstract: An approach of fast and optimum on-line fault restoration of transformer in the distribution substation is proposed with the combination of PN model and GA. The PN model is built to solve the operation of restoration strategy according to the substation running mode. GA is adopted with the function of optimum strategy based on the control of ordering and constraint strategy, which is optimized to cut load scheme according to the load reliability class, minimum operating time of load, the overload ability of healthy transformer capacity, and a little power on bus-tie current breaker. The results of the simulation show that the approach is feasible and effective and has high practical value.

Key words: distribution substation; service restoration; Petri Nets; optimum ordering strategy; genetic algorithm; object-oriented programming

(上接第 47 页 continued from page 47)

Design and development of dispatching sheet expert system for power network

YANG Ji-tao¹, HU Ming², WU Qiong¹, YANG Yi-han¹

(1. Department of Electrical Engineering, North China Electric Power University, Beijing 102206, China;

2. XJ Group Corporation, Xuchang 461000, China)

Abstract: An object-oriented expert system for power system operation management in dispatching center is introduced in this paper. In order to reuse the source code and improve the performance of the software, the inheritance of object-oriented programming is employed in designing class hierarchy of the software, and only a limited number of classes are constructed based on the function and mode of operation object instead of real detailed types of device or bay. Based on object-oriented analysis and design techniques, a practical expert system is developed, which incorporates functions such as network topology, searching, knowledge production and derivation processing.

Key words: network dispatch; expert system; operation sheet; object-oriented technique