

基于适应型 Petri 网的多环电网 方向保护简单回路拓扑分析

蔡国伟,王建元,潘超,杜毅

(东北电力大学 电气工程学院,吉林 吉林 132012)

摘要: 为了减少复杂环网方向保护整定计算中有向简单回路形成的复杂性,对双回线支路进行处理,使得简单回路计算规模得到预先缩小。考察网络实时拓扑分析的动态特性,运用适应型 Petri 网推理系统拓扑结构,将复杂系统的网络分解为若干基本分析单元,描述了一个由保护开关状态变化引起网络关关节点变迁的离散事件动态过程。通过对电网节点支路关联信息进行推理,得到约简有向简单回路矩阵。通过实际算例仿真,建立模型,分析该方法的拓扑机理,计算结果与传统算法一致,验证所提方法的有效性,得出该方法计算准确、过程简便且易于实现的结论。

关键词: 方向保护; 拓扑分析; 适应型 Petri 网; 有向简单回路

中图分类号: TM 13

文献标识码: A

文章编号: 1006-6047(2007)01-0001-04

0 引言

继电保护整定计算是继电保护工作中最繁琐的工作之一,目前已有的计算机辅助继电保护整定计算的数值方法,分为以下步骤:

- 给出代表所需整定网络一次系统接线和保护配置关系的拓扑图;
- 找出此拓扑图的所有有向简单回路,形成有向简单回路矩阵;
- 找出最小断点集(MBPS);
- 决定整定计算顺序,进行整定计算。

随着电力工业的快速发展和电网规模的不断扩大,环网数目日益倍增,有向简单回路的求解变得十分复杂^[1-4]。

目前,国内外学者针对形成环网有向简单回路计算进行了大量的研究工作。现有形成环网简单回路的方法主要有 2 大类:基本回路线性组合法^[5]和深度优先搜索/回溯法^[6-7]。基本回路线性组合法中,如果电网连支数为 l ,则基本回路的线性组合数目为 2^l-1 ;当电网规模很大时,其计算量呈指数复杂性。文献[6-7]中把有向简单回路的求取归结为对全网保护配合集的搜索过程,但该方法没有对保护配合集的搜索顺序进行必要的优化。

本文先对双回线路进行简化,再结合经典平行支路原理和反向有向回路原理^[8],利用适应型 Petri 网对系统的拓扑结构进行分析,根据网络基本使能规则,将复杂网络拓扑分析过程分解为若干基本分析单元,描述了一个由保护开关状态变化引起网络关关节点变迁的离散事件动态过程,并对节点支路关联信息进行处理,得到约简的有向简单回路矩阵。

1 适应型 Petri 网的拓扑分析

适应型 Petri 网(APN)是为适应实际的事件状态改变的过程和结果而对传统 Petri 网进行再次定义: $S=(E,T,F,H,W,G,M_0)$ 。其中, $H:E \rightarrow (0,1)$ 定义为原有 Petri 网的容量函数。 $W=\{w_i\} (i=1,2,\dots,n)$,为权函数, $\forall w_i \in W$ 有 $w_i \equiv 1$ 。 G 为变迁时间标签集合, $G_j(n)$ 表示变迁 G_j 在时刻 n 点火,变迁点火后, $G=G+\{G_j(n)\}$ 。引入变迁时间标签集合能够标识事件传播路径,同时防止变迁的反复点火。 $M_0=\{M_0(E_1), M_0(E_2), \dots, M_0(E_n)\}$ 称为初始标识,表示为异常状态在系统中的分布。Petri 网库所中令牌为 1 表示存在异常状态,否则表示状态正常。适应型 Petri 网中的令牌依照变迁使能规则和点火规则不断在库所中衍生,该过程描述了网络的动态特性,也反映了事件信息在系统中的产生和演变过程。

对于 Petri 网 S ,事件集和变迁集分别为 $E=\{E_i\} (i=1,2,\dots,n)$ 和 $T=\{t_j\} (j=1,2,\dots,n)$,则 S 的关联矩阵^[9] $Y=[y_{ij}]$ 表示为

$$M_{k+1}=M_k \oplus (Y \otimes U) \quad (1)$$

式中 M_k, M_{k+1} 分别为 k 时刻变迁点火的初始标识集和结果集; U 为 k 时刻变迁点火序列,是由 0 和 1 组成的 $m \times 1$ 列矩阵。

为了使状态方程符合事件传播特性,引入标识算子“ $\oplus$ ”和“ $\otimes$ ”。

$$\forall a, b, c \in R^{1 \times n}: c = a \oplus b, \text{ 则}$$

$$c_i = \vee (a_i, b_i) \quad 1 \leq i \leq n$$

$$\forall Y \in R^{n \times m}, U \in R^{n \times 1}, \text{ 则}$$

$$Y \otimes U = \begin{bmatrix} c_{11} & \cdots & c_{1m} \\ \vdots & & \vdots \\ c_{n1} & \cdots & c_{nm} \end{bmatrix} \otimes \begin{bmatrix} u_1 \\ \vdots \\ u_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bigvee_{j=1}^m y_{1j} \times u_j \\ \vdots \\ \bigvee_{j=1}^m y_{nj} \times u_j \end{bmatrix} \quad (2)$$

其中,算子符号“ $\vee$ ”为取最大值。按照该状态方程求解,在任何标识下的变迁点火后,库所的令牌值都只能为 0 或 1。定义根据不同初始标识推理关联事件变迁信息为对应的基本分析单元,将复杂系统分析进行简化。通过引入标识算子,将复杂矩阵运算转化为逻辑运算或加法运算,简化了计算过程。

适应型 Petri 网中流动的是故障信息,变迁点火后其输入库所中令牌数目并不发生变化;适应型 Petri 网可以描述设备故障事件之间的逻辑关系,如一因多果、竞争关系等,并不存在所谓“冲突”和“冲突”现象^[10]。

将上述分析过程与有色 Petri 网^[11]部分相结合,定义节点号集合 $E = \{E_1, E_2, \dots, E_n\}$ 为系统包含节点的基本色集合,其冥集为 H , 则 $H = 2^E = \{h | h \subseteq E\}$ 。将 Petri 网的库所分为节点库所 S 和开关库所 K , 其中 S 库所的令牌颜色表示处理节点信息, K 库所的令牌颜色只允许取 $\{n_1, n_2\} \in H$, n_1, n_2 为开关的始端和末端节点号。下面给出基于适应型 Petri 网的拓扑分析方法步骤。

a. 根据实际系统构造继电保护拓扑图,在此基础上建立适应型 Petri 网模型。分析该模型,对双回路线路进行处理,简化网络拓扑分析规模。

b. 设初始标识 U , 根据网络基本使能规则对系统结构进行事件变迁推理,得到对应的事件关联信息。变迁时间标签在推理中记录了所有相关事件的引发、传播、终止状态及路径,即 $G = \{t(0) \rightarrow E(0) \rightarrow t(1) \rightarrow E(1) \rightarrow \dots \rightarrow t(n) \rightarrow E(n)\}$, 其中, $G_i = \{t(i) \rightarrow E(i)\} (i=0, 1, \dots, n)$, 且各事件发生次数唯一,以确保基本回路各节点关联度不大于 2。

c. 由初始标识推理所得结果将实时拓扑分析分解为若干基本分析单元,依次在各单元中进行变迁相关节点搜索和开关令牌查询,将节点库所中关联节点与开关库所令牌相结合,组成相应的回路 $\{E_1 \rightarrow E_2 \rightarrow \dots \rightarrow E_n \rightarrow E_1\}$ 。

d. 根据有效回路原理,对上述回路进行排序重组,所谓有效回路原理,即考虑到回路中可能为相同节点关联顺序的不同排列,对路径进行合并,如 $2 \rightarrow 1 \rightarrow 3 \rightarrow 5 \rightarrow 4 \rightarrow 2$ 和 $3 \rightarrow 5 \rightarrow 4 \rightarrow 2 \rightarrow 1 \rightarrow 3$, 虽然两者节点关联顺序不同,但包含路径信息一致,故其中一条回路可删除。本文利用 APN 的变迁时间标签对冗余回路约简进行改善,只需考察不同基本分析单元的变迁时间标签内的变迁集合,在不考虑排列次序的前提下,若变迁集合相同,则无效。这样可在推理结束时直接排除冗余信息,获取有效路径。

e. 得到树枝正向连通的有效简单回路: $L' = [L_1, L_2]$ 。其中, L_1 为正向连枝回路部分, L_2 为反向连枝回路部分。同理,搜索树枝反向连通的有效简单回路,根据反向有向回路原理,在矩阵上实现为

$$L = \begin{bmatrix} L_1 & L_2 \\ L_2 & L_1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

2 算例仿真

图 1 为某电力系统接线图,将方向继电器用有向边表示,有向边编号为方向继电器编号,采用传统方法计算得有向简单回路矩阵如 L 所示。

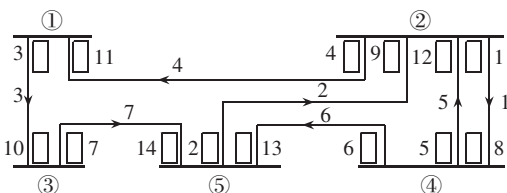


图 1 某电力系统接线图

Fig.1 Wiring diagram of a power system

保护编号(有向支路号)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
4	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
5	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0
6	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0
7	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1
10	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0
11	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1
12	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	0	1

由电力系统接线图建立适应型 Petri 网模型,树枝正向连通网络及 Petri 网模型如图 2、3 所示。其中, E_1, E_2, E_3, E_4, E_5 为系统节点, t_1, t_2, t_3, t_4, t_5 表示节点变迁,根据系统拓扑图建立关联矩阵对系统进行诊断分析,首先确定图树枝和连枝,取图的树枝为 $\{1, 2, 3, 4\}$, 连枝为 $\{5, 6, 7\}$, 则拓扑有向支路 $K_i = 1, 2, \dots, 7$ 表示正向继电器。其次,连枝 6、7 可取正反向,由于支路 1 与 12 属于平行支路,删除冗余信息。

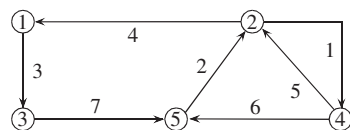


图 2 树枝正向连通有向图

Fig.2 Vector graph of forward branches

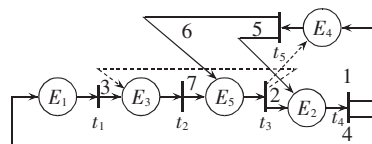


图 3 适应型 Petri 网模型

Fig.3 Adaptive Petri net model

利用 APN 进行拓扑分析,初始标识下,若开关 K_i 闭合,则库所 K_i 有一颜色为 $\{n_{i1}, n_{i2}\}$ 的令牌;若开关断开,则无令牌。 S_1 有一令牌 $\{E_1, E_2, \dots, E_5\}$, S_2 有

一令牌 Null。则 Petri 网的关联矩阵为

$$Y=\begin{matrix} & \begin{matrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \end{matrix} \\ \begin{matrix} t_1 \\ t_2 \\ t_3 \\ t_4 \\ t_5 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

根据使能规则,在 $t=0$ 时刻,变迁时间标签集合 G 为空,假设起始事件征兆, Petri 网初始标识 $(1\ 0\ 0\ 0\ 0)$,由初始标识知变迁 t_1 可点火,则点火变迁序列 $U=[1,0,0,0,0]^T$ 。 t_1 点火后,由式(1)(2)计算可得 $M_1=(1,1,0,0,0)$,然后将变迁 t_1 加入时间标签集合 $G=\{t_1(0)\}$, $t=t+1$;再根据使能规则,知变迁 t_2 可点火,点火变迁序列 $U=[0,1,0,0,0]^T$ 。同理,计算可得 $M_2=(1,1,1,0,0)$,将 t_3 加入变迁时间标签集合 $G=\{t_1(0),t_2(1)\}$, $t=t+1=2$ 。依此类推,可得 $M_3=(1,1,1,1,0)$, $G=\{t_1(0),t_2(1),t_3(2),t_4(3)\}$, $M_4=(1,1,1,1,1)$, $G=\{t_1(0),t_2(1),t_3(2),t_5(3),t_4(4)\}$ 。 M_3 在 $t=3$ 时,继续推理则回复起始节点,无变迁使能。 M_4 在 $t=3$ 时, S 库所为 Null,亦无变迁使能。从上述运算所得状态标识 $M_3=(1,1,1,1,0)$ 和 $M_4=(1,1,1,1,1)$ 获取信息,若目标库所令牌色与起始节点对应,说明网络出现回路,变迁时间标签集合 $G=\{t_1(0),t_2(1),t_3(2),t_4(3)\}$ 给出拓扑途径为 $E_1 \rightarrow t_1 \rightarrow E_5 \rightarrow t_2 \rightarrow E_5 \rightarrow t_3 \rightarrow E_2 \rightarrow t_4 \rightarrow E_1$ 。并由变迁时间标签集合判断路径是否有效,如果不考虑排列次序,标签内变迁相同,则路径无效。

此时,整个分析过程已分成不同初始标识对应的不同基本分析单元,再参照开关库所令牌,与节点库所中关联节点结合,如表 1 所示。

表 1 不同初始标识对应的开关令牌与关联节点
Tab.1 Relevant linkage nodes and switch token of different initial IDs

初始标识	库所令牌	关联节点
(1 0 0 0 0)	{2,1}	1 3 5 4 2 1
(0 1 0 0 0)	{4,2}	2 4 2
	{5,2}	2 4 5 2
(0 0 0 0 1)	{3,5}	5 2 1 3 5

对生成的拓扑网络进行处理,得到树枝正向连通的有向简单回路。由反向有向回路原理,组合树枝反向连通有向简单回路,根据式(3)得到系统的有向简单回路矩阵如下:

$$L=\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

应用适应型 Petri 网进行关联节点分析时,依据

变迁使能规则和点火规则进行推理,推理节点关联信息,根据变迁时间标签直接获取有效路径信息,再通过开关库所令牌查询,将节点库所中关联节点与开关库所令牌结合,组成相应的回路,并在此基础上求取有效简单回路和反向简单回路。

注意,本文提出的 APN 拓扑分析算法是对网络关联信息的一种推理,通过引入改进的关联矩阵和状态方程计算方法以及变迁时间标签集合,效率比传统搜索算法更优。而对双回线做预先筛选,一方面使得进行拓扑分析的计算量大为减少,另一方面则使得基本回路矩阵得到约简。否则,不管采用何种算法,得到的系统所有有向基本回路矩阵应该一致。

3 结论

本文提出了多环电网方向保护简单回路拓扑分析方法,与传统方法相比,该方法删除并行支路,对网络进行拓扑分析,得到简单回路矩阵,此矩阵比传统方法计算得到的简单回路数少。由于借鉴了传统的分析正向树枝连通回路,对反向树枝连通回路的求取采用矩阵分块运算的方法;在应用适应型 Petri 网对拓扑网络进行分析时,将复杂网络拓扑分析过程分解为若干基本分析单元,从而缩小了分析规模;同时,引入变迁时间标签得到有效回路使计算过程得以简化,提高了计算效率。

适应型 Petri 网在 Petri 网的数学理论基础上,提出了改进的关联矩阵和状态方程计算方法,将问题分析转化为矩阵运算,使复杂的推理转变为简单的数学计算,提高了推理搜索速度。另外,运行过程中运算均为逻辑运算或者加法运算,实现较为简便。

参考文献:

[1] BAPASWARA R V V,SANKARA R K. Computer aided coordination of directional relays;determination of break points [J]. IEEE Trans on Power Delivery,1988,3(2):545-548.

[2] 曹国臣,蔡国伟. 继电保护整定计算方法存在的问题与解决对策 [J]. 中国电机工程学报,2003,23(10):51-56.

CAO Guo-chen,CAI Guo-wei. Problems and solutions in relay setting and coordination [J]. Proceedings of the CSEE,2003,23(10):51-56.

[3] 吕飞鹏,李华强. 多环复杂电网方向保护全网最优配合的研究——第 1 部分:确定所有有向基本回路矩阵 [J]. 电力系统自动化,1998,22(8):33-37.

LÜ Fei-peng,LI Hua-qiang. Study on the optimal coordination of directional protective relays in multi-loop complex power networks, part one:determination of all directed basic loops [J]. Automation of Electric Power Systems,1998,22(8):33-37.

[4] 吕飞鹏,李华强. 多环复杂电网方向保护全网最优配合的研究——第 2 部分:确定全网最优配合顺序 [J]. 电力系统自动化,1998,22(9):55-57.

LÜ Fei-peng,LI Hua-qiang. Study on the optimal coordination of directional protective relays in multi-loop complex power networks, part two:determination of the optimal coordination sequence [J]. Automation of Electric Power Systems,1998,22(9):55-57.

[5] 陈允平. 继电保护机辅整定中形成简单回路的新方法 [J]. 电网技术,1993,17(3):28-34.

CHEN Yun-ping. A new method for enumerating all simple loops in the calculation on relay protection setting values [J].

- Power System Technology, 1993, 17(3): 28-34.
- [6] 陈允平, 周泽昕, 李强. 继电保护定值计算机计算中的图论新方法[J]. 电网技术, 1995, 19(4): 31-37.
CHEN Yun-ping, ZHOU Ze-xin, LI Qiang. A new graph algorithm for computer-aided design of protection system coordination[J]. Power System Technology, 1995, 19(4): 31-37.
- [7] 李银红, 段献忠. 继电保护整定计算中形成简单回路的方法[J]. 中国电机工程学报, 2003, 23(2): 21-25.
LI Yin-hong, DUAN Xian-zhong. Study on the simple loop formation method in relay coordination[J]. Proceedings of the CSEE, 2003, 23(2): 21-25.
- [8] 乐全明, 郁惟镭, 吕飞鹏, 等. 多环电网方向保护整定计算中形成有向简单回路的新方法[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(8): 36-40.
YUE Quan-ming, YU Wei-yong, LÜ Fei-peng, et al. A new algorithm to determine directional simple loops during setting and calculating of directional relays protection in a multi-loop electric power network[J]. Proceedings of the CSEE, 2005, 25(8): 36-40.
- [9] 王湘中, 梨晓兰. 基于关联矩阵的电网拓扑辨识[J]. 电网技术, 2001, 25(2): 11-14.
WANG Xiang-zhong, LI Xiao-lan. Topology identification of power network based on incidence matrix[J]. Power System Technology, 2001, 25(2): 11-14.
- [10] 王建元, 纪延超. 模糊 Petri 网络知识表示方法及其在变压器故障诊断中的应用[J]. 中国电机工程学报, 2003, 23(1): 121-125.
WANG Jian-yuan, JI Yan-chao. Application of fuzzy Petri nets knowledge representation in electric power transformer fault diagnosis[J]. Proceedings of the CSEE, 2003, 23(1): 121-125.
- [11] 赖晓平, 周鸿兴. 电力系统网络拓扑分析的有色 Petri 网模型[J]. 电网技术, 2000, 24(12): 5-10.
LAI Xiao-ping, ZHOU Hong-xing. Colored Petri net models for topology analysis of power networks[J]. Power System Technology, 2000, 24(12): 5-10.
- [12] TADA M. Petri nets: properties, analysis and applications[J]. Proceedings of the IEEE, 1989, 77(4): 541-580.
- [13] HADJICOSTIS C N, VERGHERE G C. Power system monitoring using Petri net embeddings[J]. IEEE Proceedings - Generation, Transmission and Distribution, 2000, 147(5): 299-303.
- [14] MADANI S M, RIJANTO H. A new application of graph theory for coordination of protective relays[J]. IEEE Power Engineering Review, 1998, 18(6): 43-45.
- [15] 冯艳, 徐玉琴, 沈志强. 一种新的基于图论确定所有最小断点集方法[J]. 电力自动化设备, 2005, 25(3): 87-90.
FENG Yan, XU Yu-qin, SHEN Zhi-qiang. Determination of minimum break point set based on graph theory[J]. Electric Power Automation Equipment, 2005, 25(3): 87-90.
- [16] 吴晨曦, 盛四清, 杜振奎, 等. 地区电网继电保护整定计算智能系统的研究[J]. 继电器, 2004, 32(7): 35-38, 44.
WU Chen-xi, SHENG Si-qing, DU Zhen-kui, et al. Study of intelligent system for the setting calculation of relay protection on local power network[J]. Relay, 2004, 32(7): 35-38, 44.
- [17] 王建元, 纪延超. Petri 网络在变压器故障诊断中的应用[J]. 电网技术, 2002, 26(8): 21-24.
WANG Jian-yuan, JI Yan-chao. Application of Petri nets in transformer fault diagnosis[J]. Power System Technology, 2002, 26(8): 21-24.
- [18] 石东源, 李银红, 段献忠. 电力系统故障计算中互感线路的处理[J]. 中国电机工程学报, 2002, 22(7): 58-61.
SHI Dong-yuan, LI Yin-hong, DUAN Xian-zhong. Treatment of lines with mutual inductance in power system fault calculation[J]. Proceedings of the CSEE, 2002, 22(7): 58-61.
- [19] 曹国臣. 继电保护整定计算中故障计算的通用方法[J]. 电网技术, 2002, 26(12): 11-14.
CAO Guo-chen. A versatile method to calculate faults for protective relaying setting[J]. Power System Technology, 2002, 26(12): 11-14.
- [20] 廖晓玉, 张太升. 继电保护整定计算的简化[J]. 继电器, 2003, 31(8): 67-71.
LIAO Xiao-yu, ZHANG Tai-sheng. Simplify calculation of line protection settings[J]. Relay, 2003, 31(8): 67-71.
- [21] 乐全明, 郁惟镭, 肖燕, 等. 一种计算环网方向保护配合最小断点集的实用算法[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(7): 71-74.
YUE Quan-ming, YU Wei-yong, XIAO Yan, et al. A practical algorithm to determination minimum break point set for option coordination of directional protective relaying in multiloop networks[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(7): 71-74.

(责任编辑: 李育燕)

作者简介:

蔡国伟(1968-), 男, 吉林吉林人, 教授, 主要研究领域为电力系统稳定分析与控制;

王建元(1971-), 男, 陕西汉中, 副教授, 主要研究领域为继电保护及电力电子技术;

潘超(1981-), 男, 河南南阳人, 硕士研究生, 研究方向为优化算法在电力系统中的应用;

杜毅(1981-), 男, 辽宁大连人, 硕士研究生, 研究方向为优化算法在电力系统中的应用。

Simple loop topology analysis based on adaptive Petri net for directional protections in multi-loop electric power network

CAI Guo-wei, WANG Jian-yuan, PAN Chao, DU Yi

(School of Electrical Engineering, Northeast China Dianli University, Jilin 132012, China)

Abstract: In order to decrease the complexity of directional simple loop formation in setting calculation of directional protections in multi-loop electric power network, the double loop branches are disposed first to make the calculation scale smaller. Then the whole power network topology is ratiocinated with adaptive Petri net and divided into several analyzing parts according to the dynamic properties of real-time analysis. Discrete events during the dynamic process of node-linkage change induced by a protective switch state change are described. The directional simple loop matrix is achieved by simplifying the association information between nodes and branches. A simulative calculation with the actual data of a real power network is carried out with Petri model built and the topological mechanism analyzed. The result is coincident with the traditional algorithm, which verifies its effectiveness. The proposed method is accurate, simple and easy to be realized.

Key words: directional protection; topology analysis; adaptive Petri net; directional simple loops