

一种基于线路相关集的事故预警系统

张 玮¹, 潘贞存¹, 舒安杰²

(1. 山东大学 电气工程学院, 山东 济南 250061;

2. 国家电力监管委员会, 北京 100031)

摘要: 对近年来世界各国发生的大停电事故进行分析, 指出在输电网络中某条线路因故退出运行而引起的潮流转移是导致后备保护连锁跳闸事故发生或发展的重要原因。提出了线路相关集的概念并进行严格定义, 用来限定潮流影响的范围, 节省潮流计算的时间。将线路相关集的搜索归纳为最短路径的求解问题, 利用 k 最短路径算法求解线路相关集。分析了多条支路同时断开时线路相关集的搜索办法。另外, 定义了线路相关因子, 用于估算某条线路或多条线路断开时其他各线路承担的潮流转移分配。利用直流潮流法对线路相关因子进行求解。在此基础上提出了一套事故预警系统, 对预想事故后的潮流转移进行快速计算, 准确地判断出过负荷线路, 有效地进行事故预警。用 CEPRI 36 节点系统进行了仿真验证, 证明了所提方法的正确性和有效性。

关键词: 事故预警系统; 相关集; 最短路径搜索; 相关因子; 潮流转移

中图分类号: TM712

文献标识码: A

文章编号: 1006-6047(2007)09-0017-05

0 引言

近几年来, 世界各国发生的大停电事故接连不断, 具体损失难以估量^[1-5]。这些电力灾难为电力安全生产敲响了警钟, 更表明构建坚强的电力安全防御体系意义重大^[6-11]。

事故预警系统是电力系统安全分析的重要组成部分, 它为系统运行人员判断当前系统的运行状态是否安全提供了信息, 也为制订正确处理对策提供了前提, 是避免大停电事故发生的一道有力屏障。各国大停电事故的分析表明, 许多大停电事故发生的

源头是某条线路因故障断开后, 导致其他线路发生过负荷故障, 从而引起后备保护连锁动作, 最终导致大停电事故。所以, 对某条线路断开后潮流转移的规律进行研究, 判断是否会引发其他线路过载并对可能发生的事故提前进行预警是很有必要的。

随着电力工业的发展, 电网规模越来越庞大, 对全网潮流进行计算所用的时间随着网络规模的扩张而越来越长。当某条线路因故障断开后, 其潮流转移将引起全网系统潮流的重新分布, 但如果对全网重新进行潮流计算用时过长, 不能满足系统实时控制的要求, 事故预警将变得没有意义。而实际上, 当某条输电线路发生开断时, 只有部分线路受潮流变化的影响较大, 也只有可能导致部分线路过负荷。如

收稿日期: 2007-05-15

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50477041)

何有效识别这些有可能发生过负荷的线路,是本文研究的主要内容。

现将受输电线路影响较大的线路归为一个集合——线路相关集 RCTL(Relative Cluster of Transmission Line),分析表明线路相关集中的线路是与断开线路的两端直接或间接相连的,利用最短路径搜索方法来确定线路相关集,然后在线路相关集的基础上再寻找可能发生过负荷的危险临界线路。通过计算预想事故后的电网潮流,快速准确地判断出可能因线路开断发生过负荷的线路,提前进行事故预警,有效避免事故的发生。

1 线路相关集

为确定输电线路断开后影响的范围,对潮流影响的区域进行有效界定,现提出线路相关集的概念。假设电网由 N 个节点组成,其中位于节点 m 和 n 之间的某条输电线路 L_i 发生故障被切除,在切除前瞬间该线路由始端 m 向终端 n 输送功率为 $P_i^{(0)} + jQ_i^{(0)}$,线路切除后其潮流将转移到其他线路。假设在线路 L_i 刚刚被切除后,发电机出力和电网所带负荷没有发生变化且线路为无损线路,即各个节点输出和吸收的功率都没有发生变化,系统功率仍维持平衡。则可知,此时由被切除线路始端 m 向终端 n 输送的功率总量并没有发生改变,只是输电通道发生了变化。由此可知,线路 L_i 断开后,受影响的线路是直接或间接与 L_i 两端都相连的线路,而且满足条件:在这些线路上叠加的功率大小与 L_i 在被切除前瞬间所输送的功率大小成一定比例,且方向一致。由于无功功率长距离传输具有很大难度,一般采取就地平衡的原则,故仅考虑在某条线路断开后原线路中有功潮流的传输规律。若某条受影响线路 L_j 叠加的有功功率为 ΔP_j ,则有如下等式成立:

$$\Delta P_j = \lambda_j P_i^{(0)}, \lambda_j \in [0, 1]$$

其中, λ_j 为线路 L_j 对线路 L_i 的相关因子, λ_j 越大,则线路 L_j 受线路 L_i 影响越大。如 $\lambda_j = 0$, 表示线路 L_j 不受线路 L_i 断开的影响; $\lambda_j = 1$, 则表示线路 L_i 的潮流全部转移到线路 L_j 上。而相关因子 λ_j 的大小与线路的拓扑结构和线路参数有关。

在此,定义线路相关集为:电网中某条线路断开后,与断开线路的两端直接或间接相连且受到有功潮流影响较大的线路的集合。如线路 L_i 的线路相关集即为与线路 L_i 的两端 m, n 直接或间接相连且在线路 L_i 断开后受其有功潮流影响较大的线路的集合。

2 线路相关集的确

2.1 预备知识

最短路径问题在生产实践中有着广泛应用^[12-14]。

给定一有向图, $G = (V, E)$, 它有 n 个点, $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$, m 条边, $E = \{e_1, e_2, \dots, e_m\}$ 。对图 G 中每一条边 $e = (v_i, v_j)$ 对应的有权 $W(e) = w_{ij}$ 。给定 G 只能

给 2 个顶点 v_0 和 v_n , 定义路 R 的权是 R 中所有边的权之和, 记为 $W(R) = \sum_{e \in R} w(e)$ 。最短路径问题就是要在所有从 v_0 到 v_n 的路径中, 求一条权最小的路径。

根据电路的基本理论可知, 在电压与功率恒定的条件下, 电流的大小与所流经的线路阻抗成反比^[15]。如果流经的线路路径电气距离过大, 则分布的电流就很小。结合本文, 在从断开线路的始端向末端的路径中, 总阻抗较小的路径即电气距离较短的路径受潮流影响较大, 若总阻抗过大, 即电气距离过长, 则受潮流变化的影响就很小, 可以忽略不计。故可以把对线路相关集的求解归结为一个对 k 最短路径的求解问题, 即由断开线路的一端到另一端的权值小于某定值的 k 最短路径的求解。其中 G 代表给定电网, V 是电网中的所有节点的集合, E 是电网中所有线路的集合, v_0 和 v_n 分别对应断开线路的两端节点 m 和 n , 每条边对应的权即各线路的阻抗值。

2.2 基于最短路径的求解过程

利用 k 最短路径算法对线路相关集的求解过程可分解为 5 个步骤。

a. 获取网络拓扑结构信息, 包括各个节点和线路的编号以及节点导纳矩阵。

b. 根据节点导纳矩阵计算从源点 m 到目的点 n 的最少节点路径 R_{mn} , 具体方法将在下面详细介绍。假设 R_{mn} 为最短路径 $R_{\min}$, 则 $W(R_{\min}) = W(R_{mn})$ 。

c. 根据节点导纳矩阵计算其他路径, 并与 $R_{\min}$ 进行对比, 若 $W(R) > \varepsilon W(R_{\min})$, 则 R 为无效路径, 若 $W(R) \leq \varepsilon W(R_{\min})$, 则 R 暂时认为是有效路径; 若 $W(R) < W(R_{\min})$, 则将 R 的权值代入 $R_{\min}$, 即 $W(R_{\min}) = W(R)$ 。其中, ε 为权值限制系数。由于在实际电路中, 若阻抗过大则受潮流影响的变化率会很小, 可以忽略, 所以权值过大的路径同样可以忽略不计。 ε 取值越大, 最终得到的线路相关集越精确, 但搜索费时越长; 取值越小, 搜索速度越快, 但精确度越低。本文中 ε 取值为 4。

d. 在实际电网中, 当断开线路的 2 个节点之间的路径包含的内节点超过一定数目时, 可以认为这条路径因对应的电气距离过长而无效。经过大量仿真发现, 当内节点数目 $N_{\text{node}} > 10$ 时, 此路径上线路受潮流影响很小, 可以忽略。

e. 在最终确定的路径中找出权值最小的路径 $R_{\min}$, 再次检查其他路径是否满足 $W(R) \leq \varepsilon W(R_{\min})$, 剔除不满足条件的路径。

需要说明的是, 在计算过程中, 设置了一个数据表 str 来记录搜索过程中 k 条路径的信息, str 包含 4 个字段, 分别是本节点序号、前驱节点序号、步长和阶数。其中, 步长即此节点和上一节点间线路的阻抗, 阶数即路径包含的节点数。由于文中 k 的数值在起初并不确定, 可以先设置一个很大的数值, 在最后删去无用的数据, 仅保留有效路径的信息。

2.3 最少节点路径的求解

下面介绍根据系统导纳矩阵求解最少节点路径的方法。

已知电网由 N 个节点组成,系统的网络方程为

$$\begin{bmatrix} Y_{11} & \cdots & Y_{1m} & \cdots & Y_{1n} & \cdots & Y_{1N} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Y_{m1} & \cdots & Y_{mm} & \cdots & Y_{mn} & \cdots & Y_{mN} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Y_{n1} & \cdots & Y_{nm} & \cdots & Y_{nn} & \cdots & Y_{nN} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Y_{N1} & \cdots & Y_{Nm} & \cdots & Y_{Nn} & \cdots & Y_{NN} \end{bmatrix}$$

假设其中位于节点 m 和 n 之间的某条输电线路 L_i 发生故障将被切除,则以节点 m 为源点,节点 n 为目的点。需要按照 4 个步骤求解。

a. 初始化数据表 str,将节点 m 作为一条记录放入 str 中,其字段信息为 $[m, \text{null}, 0, 0]$ 。

b. 计算节点 m 的所有相邻点,组成集合 $[A]$ 。以导纳矩阵 m 行或列为搜索对象,找出所有非零元素,将其下标中与 m 相连的节点信息放入数据表 str 中,如 Y_{ma} 非零,则 $a \in [A]$,节点 a 将作为一条记录添加到 str 中,字段信息为 $[a, m, 1/Y_{ma}, 1]$,其中节点 m 到 a 的阻抗值 $1/Y_{ma}$ 即步长 $W(P_{m-a})$;其他非零节点同样作为记录增加到 str 中,阶数为 1,若目的点 $n \in [A]$,则 $m-n$ 即最短节点路径,若 $n \notin [A]$,则继续下一步寻找。

c. 计算 $[A]$ 中节点的相邻点 (m 点除外),组成集合 $[B]$,若 $[A]$ 包含 n_a 个元素,则 $[B]$ 包含 n_a 个子集。以节点 a 为例,以导纳矩阵 a 行或列为搜索对象,找出所有非零元素,即直接与 a 相连的节点 $[B_a]$, $[B_a] \subseteq [B]$ 。将其下标中与 a 相连的节点信息放入 str 中,如 Y_{ab} 非零,则节点 $b \in [B]$,节点 b 将作为一条记录添加到 str 中,字段信息为 $[b, a, 1/Y_{ab}, 2]$ 。若目的点 $n \in [B_a]$,则 $m-a-n$ 即最短节点路径。若 $n \notin [B]$,则继续下一步寻找。

d. 按以上方法继续寻找,结合内节点数 ≤ 10 的限制条件,即阶数 ≤ 12 ,直至找到目的集合 $[N] \supset n$ 。根据 str 中的记录,可以方便地找到最少节点路径 R_{mn} 。且路径的总权重等于经过的各点权重之和,即 $W(R_{mn}) = \sum_{i=m}^n W(R_i)$ 。求得最少节点路径后,认为最短路径 $R_{\min} = R_{mn}$,然后根据 2.2 节求解过程的步骤 **c** 和 **e**,可求得整个线路相关集。

2.4 线路相关因子的求解

假设在某线路断开后电源对各节点注入的功率不变,则线路相关集中各线路潮流的变化量可以认为是断开线路潮流转移的结果。利用线路相关集重新构建一个简易网络,其中,断开线路的输电端和受电端分别看作是这个简易网络的电源和负荷,线路相关集中的线路构成输电网络。假设断开线路在断开前输送的功率为 1,则线路相关集中各线路输送的潮流大小即它们对应的线路相关因子的值。

结合上文,若位于节点 m 和 n 之间的某条输电线路 L_i 发生故障被切除,假设从节点 m 到 n 之间总

的功率为 1,则其线路相关集中各线路流经的功率值即为其相关因子 $\lambda_i^{(q)}$ 的值。需要注意的是,为简化求解过程,且保证 $\lambda_i^{(q)}$ 为实数,在计算中忽略线路的电阻值,仅取其电抗部分。可以用直流潮流算法来计算 $\lambda_i^{(q)}$ 的值。

简化后的网络结构非常简单,其潮流计算时间比起大规模网络的潮流计算所用时间极大减少,可以满足事故预警控制的需要。

2.5 多支路线路相关集及相关因子的求解

以上讨论的是在单一支路断开时的情况,下面介绍发生多条支路同时断开或在极短时间内相继断开的情况。

先以两支路线路的情况进行讨论。2 条支路同时断开有 3 种可能。

a. 两支路线路相关集完全相关,即 2 条支路具有相同的线路相关集。这种情况存在于两变电站间有多条并行传输线的情况。在此情况下,两支路线路相关集求解与单支路相同。

b. 两支路线路相关集完全不相关,即 2 条支路的线路相关集各自独立,没有交集。这种情况下 2 条支路的线路相关集仍各自单独求解。对各自线路相关集承受的潮流转移也单独计算。2 个线路相关集的计算可同步进行,所以计算时间受支路增加的影响不大。

c. 两支路线路相关集部分相关,即 2 条支路的线路相关集不完全相同,但存在交集。

先分析线路断开后的潮流依次进行转移的情况,设定第 1 条支路 L_1 断开前的潮流为 P_1^0 ,第 2 条支路 L_2 断开前的潮流为 P_2^0 ,若线路 L_n 位于支路 L_1 与 L_2 线路相关集的交集内,支路 L_1 断开后存在以下关系:

$$\Delta P_n^1 = \lambda_n^1 P_1^0 \quad (1)$$

$$\Delta P_n^2 = \lambda_n^2 P_1^0 \quad (2)$$

式中 λ_n^1 为支路 L_n 对支路 L_1 的线路相关因子, λ_n^2 为支路 L_2 对 L_1 的线路相关因子; ΔP_n^1 和 ΔP_n^2 分别为支路 L_n 和 L_2 因支路 L_1 断开而承受的潮流转移。

继而支路 L_2 断开后,支路 L_n 上分布的潮流转移为

$$\Delta P_n^2 = \lambda_n^{2'} (P_2^0 + \Delta P_n^1) \quad (3)$$

式中 $\lambda_n^{2'}$ 是在支路 L_1 断开后支路 L_n 对支路 L_2 的线路相关因子。

在 2 条支路断开后支路 L_n 总的潮流变化量为

$$\Delta P_n = \Delta P_n^1 + \Delta P_n^2 \quad (4)$$

将式(1)~(3)代入式(4)得:

$$\Delta P_n = \lambda_n^{2'} P_2^0 + (\lambda_n^{2'} \lambda_n^1 + \lambda_n^1) P_1^0 \quad (5)$$

若各自独立计算各断开支路的线路相关集,且在计算线路相关集的过程中不考虑其他断开支路的存在,即在计算 L_1 的线路相关集时当作 L_2 不存在,而在计算 L_2 的相关集时也当作 L_1 不存在,则其线路相关集交集中支路 L_n 最后的潮流变化为

$$\Delta P_n = \lambda_n^{1'} P_1^0 + \lambda_n^{2'} P_2^0 \quad (6)$$

其中, $\lambda_n^{1'}$ 是在支路 L_2 断开的情况下支路 L_n 对支路 L_1 的相关因子。由线路相关因子的物理意义可

知,由于支路 L_2 断开,原来在 L_1 断开后本该由 L_2 承担的潮流现在又要按比例分担一部分到支路 L_n 上,这个比例数即支路 L_n 对支路 L_2 的相关因子。所以满足

$$\lambda_n'' = \lambda_n' + \lambda_n^{2'} \lambda_2' \quad (7)$$

将式(7)代入式(6)可以得到式(5),同时式(6)也可满足两支路完全相关和完全不相关的情况。推而广之,可以得出多支路断开线路相关集的计算方法:在多条支路同时断开或在极短时间内相继断开的情况下,在计算支路的线路相关集及线路相关因子时各自独立计算,不考虑其余断开线路的存在。这样多条支路的线路相关集与线路相关因子的计算可进行,与计算单一线路断开所用的时间相同。

3 基于线路相关集的事故预警系统

根据以上讨论,系统中每条线路的线路相关集可以提前计算出,当系统中某条线路需要断开时,可以快速方便地计算出其线路相关集中任一线路在线路断开后的有功潮流,如若线路 L_i 断开其线路相关集中任一线路 L_j 的有功潮流为

$$P_j^{(i)} = P_j^{(0)} + \lambda_j^{(i)} P_i^{(0)}$$

式中 $P_i^{(0)}$ 为线路 L_i 断开前的有功潮流, $P_j^{(0)}$ 为线路 L_i 断开前线路 L_j 的有功潮流, $P_j^{(i)}$ 为线路 L_i 断开后线路 L_j 的有功潮流; $\lambda_j^{(i)}$ 为线路 L_j 对线路 L_i 的相关因子。

由于每条线路都有其固定的最大容许有功负荷 $P_{\max}$, 当计算出的 $P_j^{(i)} \geq P_{\max}$ 时,可以判定线路 L_j 为危险临界线路。

事故预警系统此时可以准确判断出线路过负荷事故进行预警,以便调度人员可以及时采取有效的控制措施来预防事故的发生。

4 仿真算例分析

为验证上述事故预想的有效性,采用 CEPRI 36 节点系统进行仿真算例分析。仿真系统接线见图 1, 仿真工具为 PSASP 仿真系统。

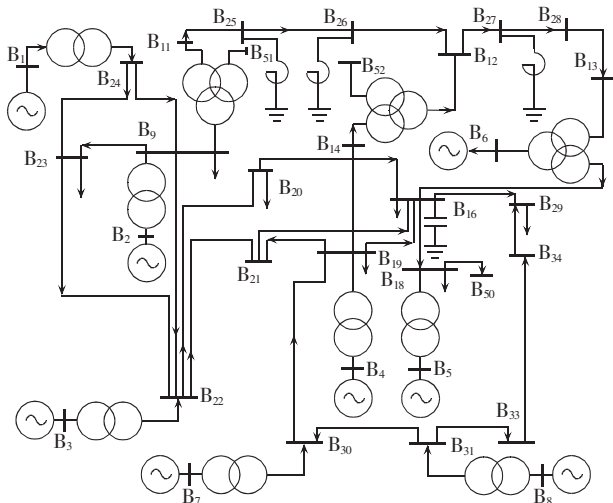


图 1 CEPRI 36 节点系统接线图

Fig.1 Wiring diagram of CEPRI 36-bus system

假设母线 B_{16} 到母线 B_{19} 之间的线路需要断开, 最终确定的线路相关集如表 1 所示。

表 1 线路相关集

Tab.1 Relative cluster of transmission lines

序号	k 最短路径	序号	k 最短路径
1	16-21-19	3	16-29-34-33-31-30-19
2	16-20-22-21-19	4	16-13-28-27-12-14-19(最短)

仿真得到的各线路潮流的变化量与线路相关因子计算值及根据线路相关因子计算的线路相关集的潮流的变化量对比表如表 2 所示。

表 2 仿真与计算潮流变化量对比表

Tab.2 Comparison between calculated and simulative results

线路	仿真 $\Delta P/\text{MW}$	λ	计算 $\Delta P/\text{MW}$	误差/%
14-19	52.246	0.53	50.63	3.1
28-27	51.355	0.53	50.63	1.4
27-12	51.355	0.53	50.63	1.4
13-28	49.88	0.53	50.63	1.5
21-19	28.333	0.31	29.61	4.5
34-33	15.78	0.16	15.29	3.1
33-31	15.78	0.16	15.29	3.1
31-30	15.78	0.16	15.29	3.1
30-19	14.427	0.16	15.29	6.0
16-29	14.144	0.16	15.29	8.1
29-34	14.144	0.16	15.29	8.1
16-21	13.546	0.157	14.99	10.7
20-22	12.981	0.153	14.61	12.5
16-20	12.524	0.153	14.61	16.7
22-21	12.509	0.153	14.61	16.8
22-9	1.018			
23-24	0.961			
26-12	0.891			
22-23	0.878			
11-25	0.798			
25-26	0.798			
9-24	0.369			
23-9	0.148			
16-18	0.001			
18-50	0			

由表 2 可知,所有受线路 16-19 断开影响较大的线路都包含所求得的线路相关集中,且与断开线路相关因子计算求得的潮流变化量与仿真结果非常近似。

5 结语

事故预警系统是电力系统安全分析的重要组成部分,它为系统运行人员判断当前系统的运行状态是否安全提供了信息,也为制订正确处理对策提供了前提。

所提出的基于线路相关集的事故预警方法,可方便快捷地预想出一条或多条输电线路需要开断后是否会引起其他线路发生过负荷事故,以便提前对可能发生的事故进行预防。该方法原理简单,实现方便,仿真表明该方法准确有效,完全可以满足实际应用。

参考文献:

- [1] U.S.-Canada Power Systems Outage Task Force. Final report on the August 14,2003 blackout in the United States and Canada [EB/OL]. [2007-05-15]. <http://www.ferc.gov/>.
- [2] 李再华,白晓民,丁剑,等. 西欧大停电事故分析[J]. 电力系统自动化,2007,31(1):1-3.
LI Zai-hua,BAI Xiao-min,DING Jian,et al. Analysis of the Western Europe blackout [J]. Automation of Electric Power Systems,2007,31(1):1-3.
- [3] 鲁顺,高立群,王珂,等. 莫斯科大停电分析及启示[J]. 继电器,2006,34(16):27-31.
LU Shun,GAO Li-qun,WANG Ke,et al. Analysis and inspiration on blackout of Moscow[J]. Relay,2006,34(16):27-31.
- [4] 唐葆生. 伦敦南部地区大停电及其教训[J]. 电网技术,2003,27(11):1-5,12.
TANG Bao-sheng. Blackout in south of London and its lessons [J]. Power System Technology,2003,27(11):1-5,12.
- [5] HAPP H H. Cost of wheeling methodologies[J]. IEEE Trans on Power System,1994,9(1):147-156.
- [6] 薛禹胜. 综合防御由偶然故障演化为电力灾难——北美“8.14”大停电的警示[J]. 电力系统自动化,2003,27(18):1-5.
XUE Yu-sheng. The way from a simple contingency to system - wide disaster — lessons from the eastern interconnection blackout in 2003 [J]. Automation of Electric Power Systems, 2003,27(18):1-5.
- [7] 张保会. 广域动态信息条件下电网安全紧急控制的研究[J]. 电力自动化设备,2005,25(8):1-8.
ZHANG Bao-hui. Study on network security, stability and emergency control system based on wide dynamic information [J]. Electric Power Automation Equipment,2005,25(8):1-8.
- [8] 曹一家,陈晓刚,孙可. 基于复杂网络理论的大型电力系统脆弱线路辨识[J]. 电力自动化设备,2006,26(12):1-5.
CAO Yi-jia,CHEN Xiao-gang,SUN Ke. Identification of vulnerable lines in power grid based on complex network theory [J]. Electric Power Automation Equipment,2006,26(12):1-5.
- [9] 王明俊. 大电网继电自动装置的隐藏故障、脆弱性和适应性问题[J]. 电力自动化设备,2005,25(3):1-4.
WANG Ming-jun. Hidden failure,vulnerability and adaptability of relaying automations in large interconnected power systems [J]. Electric Power Automation Equipment,2005,25(3):1-4.
- [10] TAN J C,CROSSLEY P A,MCLAREN P G,et al. Sequential tripping strategy for transmission network back-up protection expert system[J]. IEEE Transactions on Power Delivery,2002,17(1):68-74.
- [11] van CUTSEM T,JACQUEMART Y,MARQUET J N,et al. A comprehensive analysis of mid-term voltage stability[J]. IEEE Transaction on Power System,1995,10(3):1173-1182.
- [12] 李成江. 新的 k 最短路算法[J]. 山东大学学报:理学版,2006,41(4):40-43.
LI Cheng-jiang. A new algorithm to find the k shortest paths [J]. Journal of Shandong University:Natural Science,2006,41(4):40-43.
- [13] EPPSTEIN D. Finding the k shortest paths[J]. SIAM Journal on Computing,1999,28(2):652-673.
- [14] 王朝明,唐国庆. 基于最短路径的配电网单负荷转移[J]. 电力自动化设备,2003,23(6):25-27.
WANG Chao-ming,TANG Guo-qing. Single load shifting of power distribution systems based on shortest path arborescence [J]. Electric Power Automation Equipment,2003,23(6):25-27.
- [15] 邱关源. 电路(上)[M]. 3版. 北京:高等教育出版社,1999.

(责任编辑:康鲁豫)

作者简介:

张 玮(1973-),女,山东聊城人,博士研究生,研究方向为电力系统继电保护(E-mail:zhangwei_jn@mail.sdu.edu.cn);
潘贞存(1962-),男,山东菏泽人,教授,博士研究生导师,研究领域为电力系统继电保护和安全自动控制;
舒安杰(1972-),男,浙江宁波人,工程师,博士研究生,研究方向为电力市场。

Accident forewarning system based on RCTL

ZHANG Wei¹,PAN Zhen-cun¹,SHU An-jie²

(1. School of Electrical Engineering,Shandong University, Ji'nan 250061, China;

2. State Electricity Regulation Committee, Beijing 100031, China)

Abstract: The analysis of recent catastrophic blackouts occurred in many countries points out that the power flow transfer caused by the tripping of one or a few transmission lines in power grid results in the cascading trips of backup protections. The concept of RCTL(Relative Cluster of Transmission Lines) is defined strictly to limit the influencing range of power flow transfer and accelerate power flow calculation. The search of RCTL is regarded as a shortest path problem and the k shortest path algorithm is applied to it. The RCTL search for multi-line simultaneous trip is also discussed. The concept of RCTL relative factor is defined to evaluate the flow distribution for power flow transfer. DC power flow algorithm is used to calculate the RCTL relative factors, based on which, the accident forewarning system is proposed. It quickly calculates the power flow transfer of an expected accident and exactly estimates the overloaded transmission lines for accident forewarning. Simulation results of CEPRI 36-bus system show its correctness and effectiveness.

This project is supported by the National Natural Science Foundation of China(50477041).

Key words: accident forewarning system; relative cluster; shortest path searching; relative factor; power flow transfer