



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102570451 B

(45) 授权公告日 2014. 12. 31

(21) 申请号 201110459330. 3

(22) 申请日 2011. 12. 31

(73) 专利权人 中国电力科学研究院

地址 100192 北京市海淀区清河小营东路
15号

专利权人 上海市电力公司
重庆市电力公司

(72) 发明人 宋云亭 江峰青 李亚军 祝达康
张鑫 彭卉 庞爱莉 赵晋
杨海涛 邹舒

(74) 专利代理机构 北京安博达知识产权代理有
限公司 11271

代理人 徐国文

(51) Int. Cl.

H02J 3/00(2006. 01)

G06F 17/50(2006. 01)

(56) 对比文件

CN 101984533 A, 2011. 03. 09, 全文.

CN 102208809 A, 2011. 10. 05, 全文.

CN 101425686 A, 2009. 05. 06, 全文.

范明天, 苏傲雪. 基于可靠性的配电网规
划思路和方法 讲座五 配电系统可靠性评估方
法. 《供用电》. 2011, 第 28 卷 (第 5 期), 12-18.

王秀丽, 罗沙, 谢绍宇, 王新, 张艳丽. 基于最
小割集的含环网配电系统可靠性评估. 《电力系统
保护与控制》. 2011, 第 39 卷 (第 9 期), 52-58.

汪溪. 变电站供电可靠性评估技术的应用研
究. 《山东大学硕士学位论文》. 2010, 7-26.

审查员 王晓曦

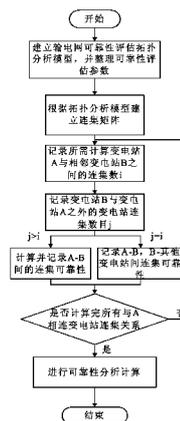
权利要求书2页 说明书6页 附图2页

(54) 发明名称

一种输电网静态可靠性评估方法

(57) 摘要

本发明具体涉及一种输电网静态可靠性评估方法。该方法包括下述步骤：(1) 建立输电网可靠性评估拓扑分析模型，并确定评估参数；(2) 建立拓扑分析模型的连集矩阵；(3) 比较所需计算变电站与相邻的变电站之间的连集数 i 和相邻变电站之间的连集数 j 的大小，计算变电站之间的回路可靠性数据；(4) 确定可靠性指标；(5) 根据步骤 (4) 确定的指标，分析输电网系统的可靠性能。本发明提供的方法依靠输电网系统的拓扑模型，可快速的评估输电网系统的可靠性水平，计算简单，在反复修改、校正规划和运行方案时，为运行和规划人员提供了一个便捷计算可靠性指标的方法，该方法计算简捷、直观，具有较好的实际指导意义和应用价值。



1. 一种输电网静态可靠性评估方法,其特征在于,所述方法包括下述步骤:

(1) 建立输电网可靠性评估拓扑分析模型,并确定评估参数;

(2) 建立所述拓扑分析模型的连集矩阵;

(3) 比较所需计算变电站与相邻的变电站之间的连集数 i 和相邻变电站之间的连集数 j 的大小,计算变电站之间的回路可靠性数据;

(4) 确定可靠性指标;

(5) 根据步骤(4)确定的所述指标,分析所述输电网系统的可靠性能;

所述步骤(1)中的可靠性评估参数包括:元件的故障率 λ 、故障平均修复时间 r 和系统的不可用率 U ;

所述步骤(2)的建立连集矩阵包括所需计算变电站与相邻变电站的连集关系,并对所述相邻的变电站进行标注;

所述步骤(3)中,所述变电站包括所需计算变电站和相邻变电站;通过比较所述连集数 i 和连集数 j 的大小计算所述变电站之间的连集可靠性;

若所述连集数 $j \leq i$,则计算所需变电站与相邻变电站之间的回路可靠性数据,记为 λ_{k1} ,再计算相邻变电站之间的回路可靠性数据,记为 λ_{k2} ;若所述连集数 $j > i$,则只计算所需计算变电站与相邻的变电站之间的回路可靠性数据,记为 λ_{k1} ,令 $\lambda_{k2} = 0$;所述 k 为与所需计算变电站相连变电站的编号;

所述步骤(4)中,所述确定可靠性指标包括将所述的回路可靠性数据写成如下矩阵:

$$\begin{bmatrix} \lambda_{11} & \lambda_{12} \\ \lambda_{21} & \lambda_{22} \\ \dots & \dots \\ \lambda_{n1} & \lambda_{n2} \end{bmatrix}$$

其中, n 为与所需计算变电站相连变电站的数量;

从上述矩阵的每一行中均取一个数值形成一个数组,则该数组就为一个割集,根据串并联支路计算分析法进行可靠性计算,当计算完所有排列组合后,得到可靠性最终指标;

所述串并联支路计算分析法包括串联等值计算、两元件并联等值计算和两元件共模等值计算;

所述串联等值计算的公式如下:

$$\lambda_s = \sum_i \lambda_i; \quad (1)$$

$$U_s = \sum_i \lambda_i r_i; \quad (2)$$

$$r_s = \frac{U_s}{\lambda_s} = \frac{\sum_i \lambda_i r_i}{\sum_i \lambda_i}; \quad (3)$$

其中: λ_i -元件 i 的故障率; i 为自然数;

λ_s - 元件串联时系统的故障率；
 U_s - 元件串联时系统的不可用率；
 r_i - 元件 i 的故障平均修复时间；
 r_s - 元件串联时系统的故障平均修复时间；
 所述两元件并联等值计算的公式如下：

$$\lambda_p = \lambda_1 \lambda_2 (r_1 + r_2) \quad (4)$$

$$r_p = \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2}; \quad (5)$$

$$\text{当 } \lambda_i r_i \ll 1 \text{ 时; } U_p = \lambda_p r_p \approx \lambda_1 \lambda_2 r_1 r_2; \quad (6)$$

其中： λ_1 - 元件 1 的故障率；
 λ_2 - 元件 2 的故障率；
 r_1 - 元件 1 的故障平均修复时间；
 r_2 - 元件 2 的故障平均修复时间；
 λ_p - 两个元件并联时组成系统的故障率；
 U_p - 两个元件并联时组成系统的不可用率；
 r_p - 两个元件并联时组成系统的故障平均修复时间；
 所述两元件共模计算的公式如下：

$$\lambda_{12} = \alpha * \text{Max}(\lambda_1, \lambda_2); \quad (7)$$

$$r_{12} = \beta * \text{Max}(r_1, r_2); \quad (8)$$

$$\lambda_{pp} = \lambda_1 \lambda_2 (r_1 + r_2) + \lambda_{12}; \quad (9)$$

$$r_{pp} = \frac{\lambda_1 \lambda_2 r_1 r_2 + \lambda_{12} r_{12}}{\lambda_{pp}}; \quad (10)$$

其中： λ_1 - 元件 1 的故障率；
 λ_2 - 元件 2 的故障率；
 λ_{12} - 元件 1 和元件 2 的共模故障率；
 r_{12} - 元件 1 和元件 2 的共模故障修复时间；
 λ_{pp} - 系统共模故障率；
 r_{pp} - 系统共模故障平均修复时间；
 α - 共模故障率系数；
 β - 共模故障修复时间系数。

一种输电网静态可靠性评估方法

技术领域

[0001] 本发明属于电力系统的模拟与计算领域,具体涉及一种输电网静态可靠性评估方法。

背景技术

[0002] 可靠性代表系统保证满足用户需求功能的能力,电力系统可靠性是对电力系统按可接受的质量标准和所需数量不间断地向电力用户供应电力和电能能力的度量。电力系统可靠性包括充裕性和安全性两个方面。

[0003] 充裕性 (adequacy) 是指电力系统维持连续供给用户总的电力需求和总的电能量的能力,同时考虑到系统元件的计划停运及合理的期望非计划停运。充裕性又称静态可靠性,也就是在静态条件下电力系统满足用户电力和电能能量的能力。

[0004] 安全性 (Security) 是指电力系统承受突然发生的扰动,例如突然短路或未预料短路或预料到的失去系统元件的能力。安全性也称动态可靠性,即在动态条件下电力系统经受住突然扰动并不间断地向用户提供电力和电能能量的能力。

[0005] 图论拓扑分析中常用到的概念分别解释如下:

[0006] (1) 图:图是节点和弧的集合,由无向弧构成的图称为无向图,由有向弧构成的图称为有向图。

[0007] (2) 路集:连接任意两节点间有向弧组成的弧的集合,称为这两个节点间的一条路或称道路;由输入节点到输出节点的所有路的集合,称为路集。

[0008] (3) 最小路:如果一条路中移去任意一条弧后就不再构成路,则称这条路为最小路;由最小路构成的集合称为最小路集。

[0009] (4) 割集:割集是网络中由弧构成的一个集合;若这些弧失效,则导致网络由起点到终点的有向路径全部失效。

[0010] (5) 最小割集:如果从一个割集中任意移去一条弧后就不再是割集,则称这个割集为最小割集。

[0011] 在基于连通性的算法中,首先将主接线拓扑化,找出变电站到源点的最小路,然后结合一定的准则,求出系统正常工作的所有情况,也就是正常工作的通路集。将通路集中所有通路不交化后,就可以得到系统正常工作的拓扑表达式。根据这个表达式就可以分析出在给定的准则下输电网系统的可靠性指标。

[0012] 最小割集算法也是通过拓扑分析,搜索出变电站到源点的最小路,但并不去求系统正常的情况,而是通过对这些最小路进行数学处理,得到影响变电站到源点的故障集合。从图论上理解,这个故障集合就是变电站到源点的最小割集。它与偶发事故枚举法中所提到的停运事故的特性有很好的相近之处,也就是低阶割集事件不会出现在高阶割集事件中,而且这些事件就是偶发事故枚举法中提到的对系统可靠性影响最大的停运事件组合。

发明内容

[0013] 本发明的目的是提供一种输电网静态可靠性评估方法,该方法利用网络拓扑分析,可快速的评估输电网系统的大致可靠性水平,计算简单,在反复修改、校正规划和运行时,为运行和规划人员提供了一个便捷计算可靠性指标的方法,该方法计算简捷、直观,具有较好的实际指导意义和应用价值。

[0014] 本发明的目的是采用下述技术方案实现的:

[0015] 一种输电网静态可靠性评估方法,其改进之处在于,所述方法包括下述步骤:

[0016] (1) 建立输电网可靠性评估拓扑分析模型,并确定评估参数;

[0017] (2) 建立所述拓扑分析模型的连集矩阵;

[0018] (3) 比较所需计算变电站与相邻的变电站之间的连集数 i 和相邻变电站之间的连集数 j 的大小,计算变电站之间的回路可靠性数据;

[0019] (4) 确定可靠性指标;

[0020] (5) 根据步骤(4)确定的所述指标,分析所述输电网系统的可靠性能。

[0021] 本发明提供的一种优选的技术方案是:所述步骤(1)中的可靠性评估参数包括:元件的故障率 λ 、故障平均修复时间 r 和系统的不可用率 U 。

[0022] 本发明提供的第二优选的技术方案是:所述步骤(2)的建立连集矩阵包括所需计算变电站与相邻变电站的连集关系,并对所述相邻的变电站进行标注。

[0023] 本发明提供的第三优选的技术方案是:所述步骤(3)中,所述变电站包括所需计算变电站和相邻变电站;通过比较所述连集数 i 和连集数 j 的大小计算所述变电站之间的连集可靠性。

[0024] 本发明提供的第四优选的技术方案是:若所述连集数 $j \leq i$,则计算所需变电站与相邻变电站之间的回路可靠性数据,记为 λ_{k1} ,再计算相邻变电站之间的回路可靠性数据,记为 λ_{k2} ;若所述连集数 $j > i$,则只计算所需计算变电站与相邻的变电站之间的回路可靠性数据,记为 λ_{k1} ,令 $\lambda_{k2} = 0$;所述 k 为与所需计算变电站相连变电站的编号。

[0025] 本发明提供的第五优选的技术方案是:所述步骤(4)中,所述确定可靠性指标包括将所述的回路可靠性数据写成如下矩阵:

$$[0026] \begin{bmatrix} \lambda_{11} & \lambda_{12} \\ \lambda_{21} & \lambda_{22} \\ \dots & \dots \\ \lambda_{n1} & \lambda_{n2} \end{bmatrix}$$

[0027] 其中, n 为与所需计算变电站相连变电站的数量;

[0028] 从上述矩阵的每一行中均取一个数值形成一个数组,则该数组就为一个割集,根据串并联支路计算分析法进行可靠性计算,当计算完所有排列组合后,得到可靠性最终指标。

[0029] 本发明提供的第六优选的技术方案是:所述串并联支路计算分析法包括串联等值计算、两元件并联等值计算和两元件共模等值计算。

[0030] 本发明提供的第七优选的技术方案是:所述串联等值计算的公式如下:

$$[0031] \quad \lambda_s = \sum_i \lambda_i; \quad (1)$$

$$[0032] \quad U_s = \sum_i \lambda_i r_i; \quad (2)$$

$$[0033] \quad r_s = \frac{U_s}{\lambda_s} = \frac{\sum_i \lambda_i r_i}{\sum_i \lambda_i}; \quad (3)$$

[0034] 其中： λ_i -元件 i 的故障率（i 为自然数）；

[0035] λ_s -元件串联时系统的故障率；

[0036] U_s -元件串联时系统的不可用率；

[0037] r_i -元件 i 的故障平均修复时间；

[0038] r_s -元件串联时系统的故障平均修复时间。

[0039] 本发明提供的第八优选的技术方案是：所述两元件并联等值计算的公式如下：

$$[0040] \quad \lambda_p = \lambda_1 \lambda_2 (r_1 + r_2) \quad (4)$$

$$[0041] \quad r_p = \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2}; \quad (5)$$

$$[0042] \quad \text{当 } \lambda_i r_i \ll 1 \text{ 时；} U_p = \lambda_p r_p \approx \lambda_1 \lambda_2 r_1 r_2; \quad (6)$$

[0043] 其中： λ_1 -元件 1 的故障率；

[0044] λ_2 -元件 2 的故障率；

[0045] r_1 -元件 1 的故障平均修复时间；

[0046] r_2 -元件 2 的故障平均修复时间；

[0047] λ_p -两个元件并联时组成系统的故障率；

[0048] U_p -两个元件并联时组成系统的不可用率；

[0049] r_p -两个元件并联时组成系统的故障平均修复时间。

[0050] 本发明提供的第九优选的技术方案是：所述两元件共模计算的公式如下：

$$[0051] \quad \lambda_{12} = \alpha * \text{Max}(\lambda_1, \lambda_2); \quad (7)$$

$$[0052] \quad r_{12} = \beta * \text{Max}(r_1, r_2); \quad (8)$$

$$[0053] \quad \lambda_{pp} = \lambda_1 \lambda_2 (r_1 + r_2) + \lambda_{12}; \quad (9)$$

$$[0054] \quad r_{pp} = \frac{\lambda_1 \lambda_2 r_1 r_2 + \lambda_{12} r_{12}}{\lambda_{pp}}; \quad (10)$$

[0055] 其中： λ_1 -元件 1 的故障率；

[0056] λ_2 -元件 2 的故障率；

[0057] λ_{12} -元件 1 和元件 2 的共模故障率；

[0058] r_{12} -元件 1 和元件 2 的共模故障修复时间；

[0059] λ_{pp} -系统共模故障率；

[0060] r_{pp} -系统共模故障平均修复时间；

[0061] α -共模故障率系数；

[0062] β -共模故障修复时间系数。

[0063] 与现有技术相比，本发明达到的有益效果是：

[0064] 1、本发明提供的输电网静态可靠性评估方法在计算时，只分析所要计算所需计算

变电站周边的拓扑情况,摒弃了繁杂的求取最小路集再求取最小割集的计算,使得计算速度大大增加。

[0065] 2、本发明提供的输电网静态可靠性评估方法的计算方法简捷,速度快。

[0066] 3、本发明提供的输电网静态可靠性评估方法可计算输电网系统各种可靠性相关指标,如:停电频率、停电持续时间和停电概率。

[0067] 4、本发明提供的输电网静态可靠性评估方法,具有很好的可计算性和广泛适应性,计算简单,速度快,可计算不同方式下的输电网系统可靠性指标。

附图说明

[0068] 图1是本发明的输电网静态可靠性评估方法的流程图;

[0069] 图2是本发明的输电网静态可靠性评估方法的计算输电网系统接线图。

具体实施方式

[0070] 下面结合附图对本发明的具体实施方式做进一步的详细说明。

[0071] 如图1所示,图1是本发明的输电网静态可靠性评估方法的流程图,该方法包括以下步骤:

[0072] (1) 建立输电网可靠性评估拓扑分析模型,并确定评估参数;

[0073] (2) 建立所述拓扑分析模型的连集矩阵;

[0074] (3) 比较所需计算变电站与相邻的变电站之间的连集数 i 和相邻变电站之间的连集数 j 的大小,计算变电站之间的回路可靠性数据;

[0075] (4) 确定可靠性指标;

[0076] (5) 根据步骤(4)确定的所述指标,分析所述输电网系统的可靠性能。

[0077] 本发明的方法针对具体的变电站时的步骤为:

[0078] (1) 根据计算需求搭建数据,建立可靠性评估计算所需的拓扑分析模型,整理可靠性参数;

[0079] 计算所需的拓扑分析模型包括计算中涉及的站点、线路、开关;可靠性参数包括:元件的故障率 λ (次/年)、故障平均修复时间 r (小时/次) 和系统的不可用率 U (次/年)。

[0080] (2) 根据拓扑分析模型建立连集矩阵,确定所需计算变电站 A 与周边变电站连接关系,并对相邻变电站 B 进行标注。

[0081] (3) 搜索所需计算变电站 A 与相邻的变电站 B 之间的连集关系,记录连线路数目为 i 。

[0082] (4) 搜索变电站 B 与除变电站 A 之外变电站之间的连集关系,记录连接线路数目为 j 。

[0083] (5) 比较 i 和 j ,若 $j \leq i$,则先计算变电站 A 与变电站 B,即 A-B 之间的回路可靠性数据,记为 λ_{k1} ,再计算变电站 B 与出变电站 A 之外的其他变电站之间回路的可靠性数据,记为 λ_{k2} ;若 $j > i$,则只计算 A-B 之间的回路可靠性数据,记为 λ_{k1} ,令 $\lambda_{k2} = 0$,以此类推按照上述计算方法计算所有与变电站 A 相连变电站的可靠性,其中 k 为与 A 相连变电站的编号。

[0084] (6) 根据步骤 (5) 中所述, 将所有回路可靠性数据按照编号形成如下矩阵:

$$[0085] \begin{bmatrix} \lambda_{11} & \lambda_{12} \\ \lambda_{21} & \lambda_{22} \\ \dots & \dots \\ \lambda_{n1} & \lambda_{n2} \end{bmatrix}$$

[0086] 其中, n 为与所需计算变电站 A 相连变电站数量; 从每一行中取一个数值形成一个数组, 则该数组就为一个割集, 根据串并联支路的计算分析方法进行可靠性计算, 当计算完所有排列组合后, 得到可靠性最终指标。

[0087] 串并联支路的计算分析方法如下:

[0088] ① 串联等值计算的公式如下:

$$[0089] \lambda_s = \sum_i \lambda_i;$$

$$[0090] U_s = \sum_i \lambda_i r_i;$$

$$[0091] r_s = \frac{U_s}{\lambda_s} = \frac{\sum_i \lambda_i r_i}{\sum_i \lambda_i};$$

[0092] 其中: λ_i - 元件 i 的故障率 (i 为自然数);

[0093] λ_s - 元件串联时系统的故障率;

[0094] U_s - 元件串联时系统的不可用率;

[0095] r_i - 元件 i 的故障平均修复时间;

[0096] r_s - 元件串联时系统的故障平均修复时间。

[0097] ② 两元件并联等值计算的公式如下:

$$[0098] \lambda_p = \lambda_1 \lambda_2 (r_1 + r_2) \text{ 当 } \lambda_i r_i \ll 1 \text{ 时};$$

$$[0099] r_p = \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2};$$

$$[0100] U_p = \lambda_p r_p \approx \lambda_1 \lambda_2 r_1 r_2;$$

[0101] 其中: λ_p - 两个元件并联时组成系统的故障率;

[0102] U_p - 两个元件并联时组成系统的不可用率;

[0103] r_p - 两个元件并联时组成系统的故障平均修复时间。

[0104] ③ 两元件共模计算的公式如下:

$$[0105] \lambda_{12} = \alpha * \text{Max}(\lambda_1, \lambda_2);$$

$$[0106] r_{12} = \beta * \text{Max}(r_1, r_2);$$

$$[0107] \lambda_{pp} = \lambda_1 \lambda_2 (r_1 + r_2) + \lambda_{12};$$

$$[0108] r_{pp} = \frac{\lambda_1 \lambda_2 r_1 r_2 + \lambda_{12} r_{12}}{\lambda_{pp}};$$

[0109] 其中: λ_{12} - 元件 1 和元件 2 的共模故障率;

[0110] r_{12} - 元件 1 和元件 2 的共模故障修复时间;

[0111] λ_{pp} - 两元件共模故障率；

[0112] r_{pp} - 两元件共模故障平均修复时间；

[0113] α - 共模故障率系数；

[0114] β - 共模故障修复时间系数；

[0115] 对于同一路径线路， α 可取为 0.1， β 可取为 1.5。

[0116] 对双重以上故障，按双重故障公式先求出等效元件可靠性参数，再计算双重以上故障的故障率及故障平均修复时间。

[0117] 下面通过实施例对本发明详细说明。

[0118] 实施例

[0119] 采用图 2 中简单系统作为示例，该系统中共有 13 个节点，计算可靠性结果进一步说明本方法的实现步骤，假定所有单回线路故障率为 0.1 次 / 年，恢复时间为 0.005 小时 / 次：

[0120] 1. 建立系统拓扑分析模型，由于系统较为简单，可直接利用接线图作为拓扑分析模型；

[0121] 2. 计算系统中站点 A 的可靠性，确定与其相连的站点为 B、C、D；

[0122] 3. 站点 A- 站点 B 之间线路数为 1，站点 B 与其他站点之间线路数也为 1，因此记录回路可靠性数据 $\lambda_{11} = 0.1$ ， $\lambda_{12} = 0.1$ ；站点 A 与站点 C 之间线路数为 1，站点 C 与其他站点之间线路数为 3，因此记录回路可靠性数据 $\lambda_{21} = 0.1$ ， $\lambda_{22} = 0$ ；同理 $\lambda_{31} = 0.1$ ， $\lambda_{32} = 0$ ；

[0123] 4. 形成回路可靠性数据矩阵如下：

$$[0124] \begin{bmatrix} 0.1 & 0.1 \\ 0.1 & 0 \\ 0.1 & 0 \end{bmatrix}$$

[0125] 由上述矩阵可计算站点 A 停电频率为 1.5×10^{-7} 次 / 年，停电概率为 2.5×10^{-10} 。

[0126] 本发明提供的基于网络拓扑分析的输电网静态可靠性评估方法计算比较方便，概念清晰，在实际输电网中得到了应用和验证。

[0127] 最后应当说明的是：以上实施例仅用以说明本发明的技术方案而非对其保护范围的限制，尽管参照上述实施例对本发明进行了详细的说明，所属领域的普通技术人员应当理解：本领域技术人员阅读本发明后依然可对申请的具体实施方式进行种种变更、修改或者等同替换，这些变更、修改或者等同替换，其均在其申请待批的权利要求范围之内。

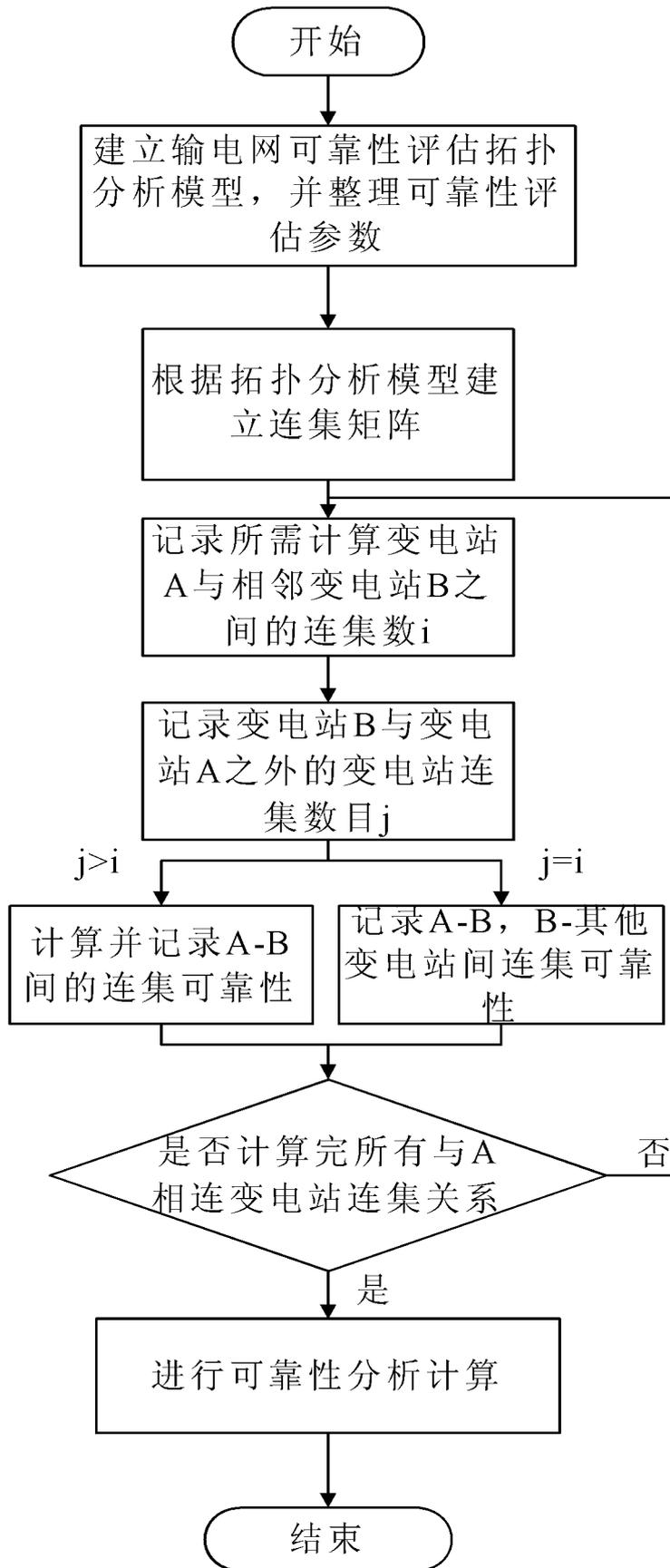


图 1

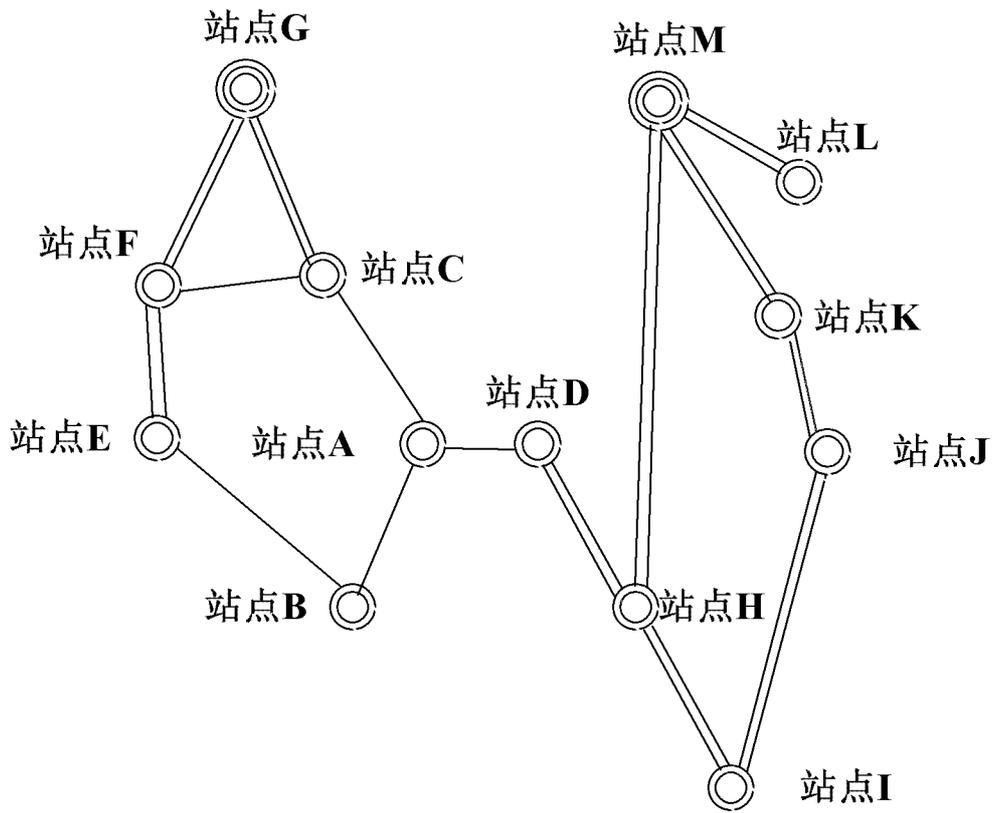


图 2