



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103166812 B

(45) 授权公告日 2016.04.27

(21) 申请号 201310105191.3

(22) 申请日 2013.03.28

(73) 专利权人 广东电网公司电力调度控制中心
地址 510699 广东省广州市越秀区梅花路
75号
专利权人 华北电力大学

(72) 发明人 汪莹 曾瑛 樊冰 蒋康明
吴润泽 李伟坚 唐良瑞

(74) 专利代理机构 广州华进联合专利商标代理
有限公司 44224

代理人 王茹 曾旻辉

(51) Int. Cl.

H04L 12/26(2006.01)

H04B 17/00(2015.01)

H04B 3/54(2006.01)

(56) 对比文件

CN 102609778 A, 2012.07.25,

CN 101588263 A, 2009.11.25,

展敬宇. “基于最小路集的通信网络可靠性
计算方法的优化设计”. 《万方学位论文》. 2012,
赵振东 等. “电力通信网可靠性评价模型的
构建”. 《电力技术》. 2010, 第 19 卷 (第 9 期),

审查员 李福涛

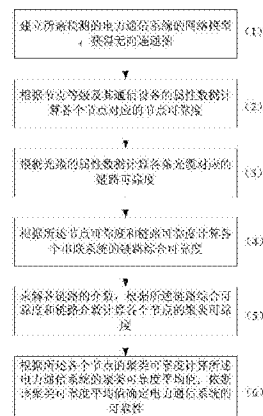
权利要求书2页 说明书5页 附图8页

(54) 发明名称

电力通信系统可靠性测定方法

(57) 摘要

一种电力通信系统可靠性测定方法,包括步骤:(1)建立所需检测的电力通信系统的网络模型,获得无向连通图;(2)根据节点等级及其通信设备的属性数据计算各个节点对应的节点可靠度;(3)根据光缆的属性数据计算各条光缆对应的链路可靠度;(4)根据所述节点可靠度和链路可靠度计算各个串联系统的链路综合可靠度(5)求解各链路的介数,根据所述链路综合可靠度和链路介数计算各个节点的聚类可靠度;(6)根据所述各个节点的聚类可靠度计算所述电力通信系统的聚类可靠度平均值,依据该聚类可靠度平均值确定电力通信系统的可靠性。上述电力通信系统可靠性测定方法,测定结果准确性高、更为客观地反映所需测定的电力通信系统的实际可靠性。



1. 一种电力通信系统可靠性测定方法,其特征在于,包括如下步骤:

(1) 建立所需检测的电力通信系统的网络模型,获得无向连通图 $G(V, E)$;其中, V 为网络模型的节点集, E 为网络模型的链路集, $V = \{v_1, v_2, \dots, v_N\}$, $E = \{e_1, e_2, \dots, e_M\}$, 节点集 V 中的节点对应于电力通信系统中的通信设备,链路集 E 对应于连接节点的各项光缆;

(2) 根据节点等级及其通信设备的属性数据计算各个节点对应的节点可靠度;

(3) 根据光缆的属性数据计算各条光缆对应的链路可靠度;计算方法包括:

$$R_{Ej} = R_{E0}^{\lceil l_j \rceil}, j = 1, 2, 3, \dots$$

$$R_{E0} = 1 - F_{E0} = \exp \left\{ -N_p \left[\left(1 + \frac{\sigma_s^n t_s}{\sigma_p^n t_p} \right)^{\frac{m}{n-2}} - 1 \right] \right\}$$

式中, R_{Ej} 为采用收发双纤同缆、单光缆的通信方式对应的链路可靠度, l_j 表示链路 j 的长度,符号 $\lceil \cdot \rceil$ 为向上取整, R_{E0} 为单位长度链路可靠度, F_{E0} 为光缆在可期使用寿命期内失效率, N_p 为单位长度光缆应力筛选试验中的失效次数, σ_s 为使用期内光缆的光纤静态应力, t_s 为光缆的光纤使用寿命, σ_p 为光缆的光纤应力筛选试验后的最低强度, t_p 为光缆的光纤应力筛选试验时长, n 为光缆应力腐蚀影响系数, m 为光缆的光纤强度分布参数;

(4) 根据所述节点可靠度和链路可靠度计算各个串联系统的链路综合可靠度;其中,一条链路与其两端节点构成一个串联系统,链路综合可靠度的计算公式为:

$$R_j = R_{Ej} \cdot R_1 \cdot R_2$$

式中, R_1 、 R_2 是分别为链路 j 两端节点对应的节点可靠度, R_{Ej} 为链路 j 的链路可靠度, R_j 为链路综合可靠度;

(5) 求解各链路的介数,根据所述链路综合可靠度和链路介数计算各个节点的聚类可靠度;其中,聚类可靠度的计算公式为:

$$C_i = \frac{2E_i \sum_{j=1}^{E_i} x_j R_j}{k(k-1) \sum_{j=1}^{E_i} x_j}$$

其中, E_i 为节点 i 相邻节点之间包含的链路数, k 为与节点 i 相连的链路数量, x_j 为链路 j 的介数;

(6) 根据所述各个节点的聚类可靠度计算所述电力通信系统的聚类可靠度平均值,依据该聚类可靠度平均值确定电力通信系统的可靠性。

2. 根据权利要求1所述的电力通信系统可靠性测定方法,其特征在于,所述步骤(1)中的节点集 V 中的节点对应于电力通信系统中设于变电站、发电厂、调度中心或营业所的通信设备。

3. 根据权利要求1所述的电力通信系统可靠性测定方法,其特征在于,所述通信设备包括:传输复用设备、电话交换设备、接入设备、通信配线设备或通信电源设备。

4. 根据权利要求1所述的电力通信系统可靠性测定方法,其特征在于,若所述电力通信系统采用收发双纤同缆、主备光缆分离的通信方式,则计算光缆对应的链路可靠度的方

法还包括：

$$R_{Ej} = 1 - \left(1 - R_{E0}^{[L_j]} \right)^2, j = 1, 2, 3 \dots$$

5. 根据权利要求 1 所述的电力通信系统可靠性测定方法,其特征在于,所述计算聚类可靠度平均值的公式为：

$$C = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N C_i$$

式中, N 为所述电力通信系统的节点总数, C 为聚类可靠度平均值。

电力通信系统可靠性测定方法

技术领域

[0001] 本发明涉及通信网可靠性技术领域,特别是涉及一种电力通信系统可靠性测定方法。

背景技术

[0002] 电力通信系统是电力系统重要的组成部分,它的可靠性直接影响到电力系统的安全生产与可靠运行。对电力通信系统进行可靠性测定,可以从整体上了解当前网络的运行状况,及时发现薄弱环节及故障,从而为故障排除、及网络改造提供直接的依据,进而保障了电力通信网络的稳定性,提高通信质量。

[0003] 目前,国内关于电力通信系统可靠性的研究大多是采用层次分析法、模糊综合评判法、主成份分析法和神经网络等方法确定评价指标的权重,进而计算网络的可靠度,国外则主要集中在拓扑可靠性和网络连通度的精确计算上。

[0004] 电力通信系统是具有复杂拓扑结构和动力学行为的复杂网络。目前对于复杂网络可靠性的测定方法,主要是通过测定最大集团尺寸和子集团平均最短路径、全网效能、连通系数、平均最短路径、平均聚类系数、耦合矩阵特征值等。这些测定方法相对比较片面,不能准确地测定到通信网络的整体特性,在针对复杂大电网下电力通信系统的拓扑结构进行可靠性测定时,测定的结果准确性较低,难以客观地反映所需测定的电力通信系统的实际可靠性。

发明内容

[0005] 基于此,有必要针对现有的测定方法准确性较低、难以客观地反映所需测定的电力通信系统的实际可靠性的问题,提供一种电力通信系统可靠性测定方法。

[0006] 一种电力通信系统可靠性测定方法,包括如下步骤:

[0007] (1) 建立所需检测的电力通信系统的网络模型,获得无向连通图 $G(V, E)$; 其中, V 为网络模型的节点集, E 为网络模型的链路集, $V = \{v_1, v_2, \dots, v_N\}$, $E = \{e_1, e_2, \dots, e_M\}$, 节点集 V 中的节点对应于电力通信系统中的通信设备, 链路集 E 对应于连接节点的各条光缆;

[0008] (2) 根据节点等级及其通信设备的属性数据计算各个节点对应的节点可靠度;

[0009] (3) 根据光缆的属性数据计算各条光缆对应的链路可靠度;

[0010] (4) 根据所述节点可靠度和链路可靠度计算各个串联系统的链路综合可靠度; 其中, 一条链路与其两端节点构成一个串联系统, 链路综合可靠度的计算公式为:

$$[0011] \quad R_j = R_{E_j} \cdot R_1 \cdot R_2$$

[0012] 式中, R_1 、 R_2 是分别为链路 j 两端节点对应的节点可靠度, R_{E_j} 为链路 j 的链路可靠度, R_j 为链路综合可靠度;

[0013] (5) 求解各链路的介数, 根据所述链路综合可靠度和链路介数计算各个节点的聚类可靠度; 其中, 聚类可靠度的计算公式为:

$$[0014] \quad C_i = \frac{2E_i \sum_{j=1}^{E_i} x_j R_j}{k(k-1) \sum_{j=1}^{E_i} x_j}$$

[0015] 其中, E_i 为节点 i 相邻节点之间包含的链路数, k 为与节点 i 相连的链路数量, x_j 为链路 j 的介数;

[0016] (6) 根据所述各个节点的聚类可靠度计算所述电力通信系统的聚类可靠度平均值, 依据该聚类可靠度平均值确定电力通信系统的可靠性。

[0017] 上述电力通信系统可靠性测定方法, 首先建立所需测定的电力通信系统的网络拓扑, 区分不同类型的节点, 分别计算各个节点对应的节点可靠度; 然后计算连接在各个节点之间的光缆链路的链路可靠度, 再根据节点可靠度和链路的可靠度计算链路综合可靠度; 最后根据链路综合可靠度, 计算每个节点的聚类可靠度并计算全网聚类可靠度平均值, 进而根据聚类可靠度平均值确定电力通信系统的可靠性。在测定过程中结合了复杂大电网下电力通信系统特点, 增加了节点和链路的可靠度对电力通信系统可靠性的影响因素, 考虑了节点与链路的相关性, 同时也计算了链路介数和节点的聚类对电力通信系统的影响, 测定结果准确性高、更为客观地反映所需测定的电力通信系统的实际可靠性。

附图说明

[0018] 图 1 为一个实施例的电力通信系统可靠性测定方法流程图;

[0019] 图 2 为一个电力通信系统的拓扑结构图;

[0020] 图 3 为一个变电站内部的通信设备的示意图;

[0021] 图 4 为图 3 所示变电站内部各通信设备的编号示意图;

[0022] 图 5 为计算的节点可靠度的表格;

[0023] 图 6 为收发双纤同缆、主备光缆分离的通信方式的示意图;

[0024] 图 7 为一个串联系统的示意图;

[0025] 图 8 为计算的各个链路的链路可靠度及链路综合可靠度的表格;

[0026] 图 9 为计算的各个链路的介数的表格;

[0027] 图 10 为计算的聚类可靠度的表格;

[0028] 图 11 为失效后的网络拓扑结构示意图;

[0029] 图 12 为失效后剩余各链路介数变化的表格;

[0030] 图 13 为失效后聚类可靠度的变化的表格所示。

具体实施方式

[0031] 下面结合附图对本发明的电力通信系统可靠性测定方法的具体实施方式作详细描述。

[0032] 图 1 为一个实施例的电力通信系统可靠性测定方法流程图, 包括如下步骤:

[0033] (1) 建立所需检测的电力通信系统的网络模型, 获得无向连通图 $G(V, E)$; 其中, V 为网络模型的节点集, E 为网络模型的链路集, $V = \{v_1, v_2, \dots, v_N\}$, $E = \{e_1, e_2, \dots, e_M\}$, 节点集 V 中的节点对应于电力通信系统中的通信设备, 链路集 E 对应于连接节点各条光缆,

$|V| = N, |E| = M$, N 表示节点集中元素数量, M 表示链路集中元素数量。

[0034] 其中, 所述节点集 V 中的节点可以对应于电力通信系统中设于变电站、发电厂、调度中心或营业所等位置处的通信设备。

[0035] 所述通信设备包括传输复用设备、电话交换设备、接入设备、通信配线设备、通信电源设备等。

[0036] 一般情况下, 设置无向连通图 $G(V, E)$ 中每一个单元仅有正常和故障两种状态, 无向连通图 $G(V, E)$ 中所有单元发生故障的概率是相互独立的, 如图 2 所示, 图 2 为一个电力通信系统的拓扑结构图, 图中节点中间的数字代表该节点编号, 链路上的数字代表该链路编号、括号内数字表示链路长度。

[0037] (2) 根据节点等级及其通信设备的属性数据计算各个节点对应的节点可靠度。

[0038] 具体的, 根据电力通信系统中对于各节点对应的等级、内部通信设备不同, 将所有节点划分为若干种类型, 每种类型根据其重要性等设置相应的权值。

[0039] 例如, 在本实施例中可以将节点划分为两种类型, 对应图 2 中两种节点 (圆形和三角形), 对于每一类型的节点, 根据其内部通信设备及其连接方式的不同, 可以计算出各个节点对应的节点可靠度。

[0040] 另外, 在实际应用中, 针对于各个节点对应的节点可靠度, 可以根据所设定原则进行直接设定。

[0041] 参考图 3 所示, 图 3 为一个变电站内部的通信设备的示意图; 对于一类节点 (变电站), 其内部的通信设备包括调度业务设备及综合业务设备, 如电源, 光纤配线架 ODF, 数字配线架 DDF, 音频配线单元 VDF, 编码设备 PCM, 网络交换机, ISDN 设备, 综合监控系统设备, 交换设备等, 由于各通信配线设备、SDH 设备、交换设备等可靠度可根据该设备的历史数据 / 出厂数据进行设定, 然后根据设备间逻辑关系, 如串联非冗余、并联冗余、备份冗余、表决、非串行 / 非并行混合等连接方式进行可靠度计算。

[0042] 例如对于图 3 所示的变电站节点, 在不考虑设备间线缆时, 计算节点可靠度可以表示为:

$$[0043] \quad R = [1 - (1 - R_2)(1 - R_3)] R_4 [1 - (1 - R_5)(1 - R_6)] R_7 R_8 [1 - (1 - R_9)(1 - R_{10})(1 - R_{11})] R_{12}$$

[0044] 其中, 图 3 中的变电站内部各通信设备的编号如图 4 所示, 上述公式中 R 表示节点可靠度, R 带的下标表示该编号对应的通信设备的可靠度。

[0045] 对于图 2 中的拓扑结构的电力通信系统, 其各个计算的节点可靠度可以如图 5 中的表格所示。

[0046] (3) 根据光缆的属性数据计算各条光缆对应的链路可靠度。

[0047] 在一个实施例中, 计算光缆对应的链路可靠度的公式表达如下:

$$[0048] \quad R_{Ej} = R_{E0}^{[l_j]}, \quad j = 1, 2, 3 \dots$$

$$[0049] \quad R_{E0} = 1 - F_{E0} = \exp \left\{ -N_p \left[\left(1 + \frac{\sigma_s^2 t_s}{\sigma_p^2 t_p} \right)^{\frac{m}{n-2}} - 1 \right] \right\}$$

[0050] 式中, R_{Ej} 为采用收发双纤同缆、单光缆的通信方式对应的链路可靠度, l_j 表示链路

j 的长度,符号 $\lceil \cdot \rceil$ 为向上取整, R_{E0} 为单位长度链路可靠度, F_{E0} 为光缆在可期使用寿命期内失效率, N_p 为单位长度光缆应力筛选试验中的失效次数, σ_s 为使用期内光缆的光纤静态应力, t_s 为光缆的光纤使用寿命, σ_p 为光缆的光纤应力筛选试验后的最低强度, t_p 为光缆的光纤应力筛选试验时长, n 为光缆应力腐蚀影响系数, m 为光缆的光纤强度分布参数。

[0051] 在一个实施例中,考虑到电力通信系统一般采用收发双纤同缆、主备光缆分离的通信方式,如图6所示,图6为收发双纤同缆、主备光缆分离的通信方式的示意图,针对于上述通信方式的链路,计算光缆对应的链路可靠度的公式表示如下:

$$[0052] \quad R_{Ej} = 1 - \left(1 - R_{E0}^{\lceil l_j \rceil} \right)^2, j = 1, 2, 3 \dots$$

[0053] 式中, R_{Ej} 为采用收发双纤同缆、主备光缆分离的通信方式对应的链路可靠度, l_j 为链路 j 对应的长度,符号 $\lceil \cdot \rceil$ 为向上取整。

[0054] (4) 根据所述节点可靠度和链路可靠度计算各个串联系统的链路综合可靠度;其中,一条链路 j 与其两端节点 (A, B) 构成一个串联系统,如图7所示,图7为一个串联系统的示意图,则其链路综合可靠度的计算公式为:

$$[0055] \quad R_j = R_{Ej} \cdot R_A \cdot R_B$$

[0056] 式中, R_A 、 R_B 是链路 j 两端节点 A 与 B 对应的节点可靠度, R_{Ej} 为链路 j 的链路可靠度, R_j 为链路综合可靠度。

[0057] 对于图2中的拓扑结构的电力通信系统,其计算的各个链路的链路可靠度及链路综合可靠度可以如图8中的表格所示。

[0058] (5) 求解各链路的介数,根据所述链路综合可靠度和链路介数计算各个节点的聚类可靠度;其中,聚类可靠度的计算公式为:

$$[0059] \quad C_i = \frac{2 \sum_{j=1}^{E_i} x_j R_j}{k(k-1) \sum_{j=1}^{E_i} x_j}$$

[0060] 其中, E_i 为节点 i 相邻节点之间包含的链路数, k 为与节点 i 相连的链路数量,即节点 i 的度, x_j 为链路 j 的介数, C_i 的取值范围为 $[0, 1]$ 。

[0061] 优选的,采用Dijkstra算法求解最短路径,进而求解各链路的介数;对于图2中的拓扑结构的电力通信系统,其计算的各个链路的介数可以如图9中的表格所示。

[0062] (6) 根据所述各个节点的聚类可靠度计算所述电力通信系统的聚类可靠度平均值,依据该聚类可靠度平均值确定电力通信系统的可靠性。

[0063] 具体的,计算聚类可靠度平均值的公式为:

$$[0064] \quad C = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N C_i$$

[0065] 式中, N 为所述电力通信系统的节点总数, C 为聚类可靠度平均值。

[0066] 对于 C 值的反映电力通信系统可靠性的准确性,可以进行如下验证:

[0067] 对于图2中的拓扑结构的电力通信系统,根据图5、图8、图9中表格计算的数据,

则其计算的聚类可靠度可以如图 10 中的表格所示,对应的聚类可靠度平均值为:

$$[0068] \quad C = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N C_i = 0.4045$$

[0069] 对于图 2 中的拓扑结构的电力通信系统,假设链路 3 因为故障失效,如图 11 所示,图 11 为失效后的网络拓扑结构示意图,则失效后剩余各链路介数与各节点的聚类可靠度 C_i 也相应发生改变,具体的,失效后剩余各链路介数变化如图 12 中的表格所示,失效后聚类可靠度的变化如图 13 中的表格所示。

[0070] 则其重新计算的聚类可靠度平均值为:

$$[0071] \quad C = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N C_i = 0.3062, \text{ 其中, } N = 7$$

[0072] 从上述验证可以看出, C 可以准确地表征电力通信系统整体的可靠性程度。

[0073] C 的取值范围为 $[0, 1]$, C 值越大,网络的可靠性越高;依据 C_i 测定电力通信系统的可靠性,从而可以提高电力通信网故障排除及架设、升级改造的效率,保障了电力通信网的稳定性,提高电力通信网的通信质量。

[0074] 以上所述实施例仅表达了本发明的几种实施方式,其描述较为具体和详细,但并不能因此而理解为对本发明专利范围的限制。应当指出的是,对于本领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明构思的前提下,还可以做出若干变形和改进,这些都属于本发明的保护范围。因此,本发明的保护范围应以所附权利要求为准。

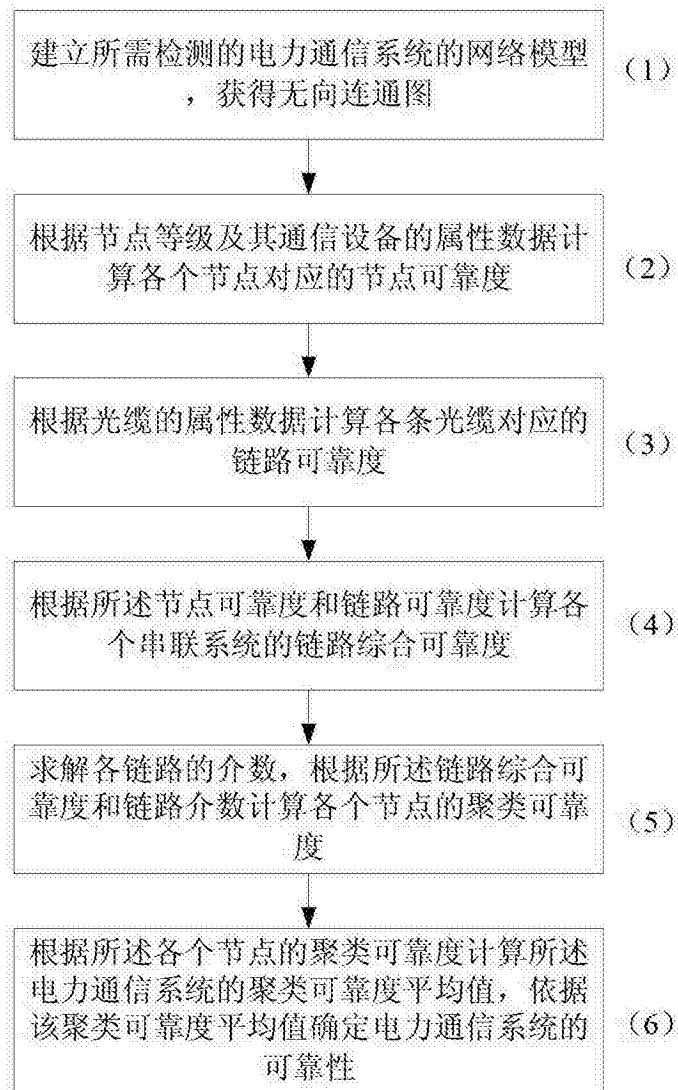


图 1

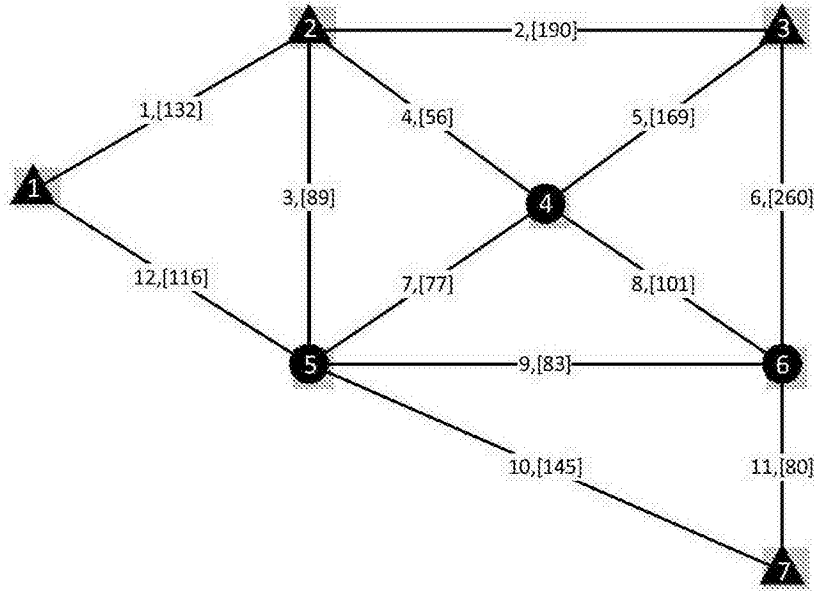


图 2

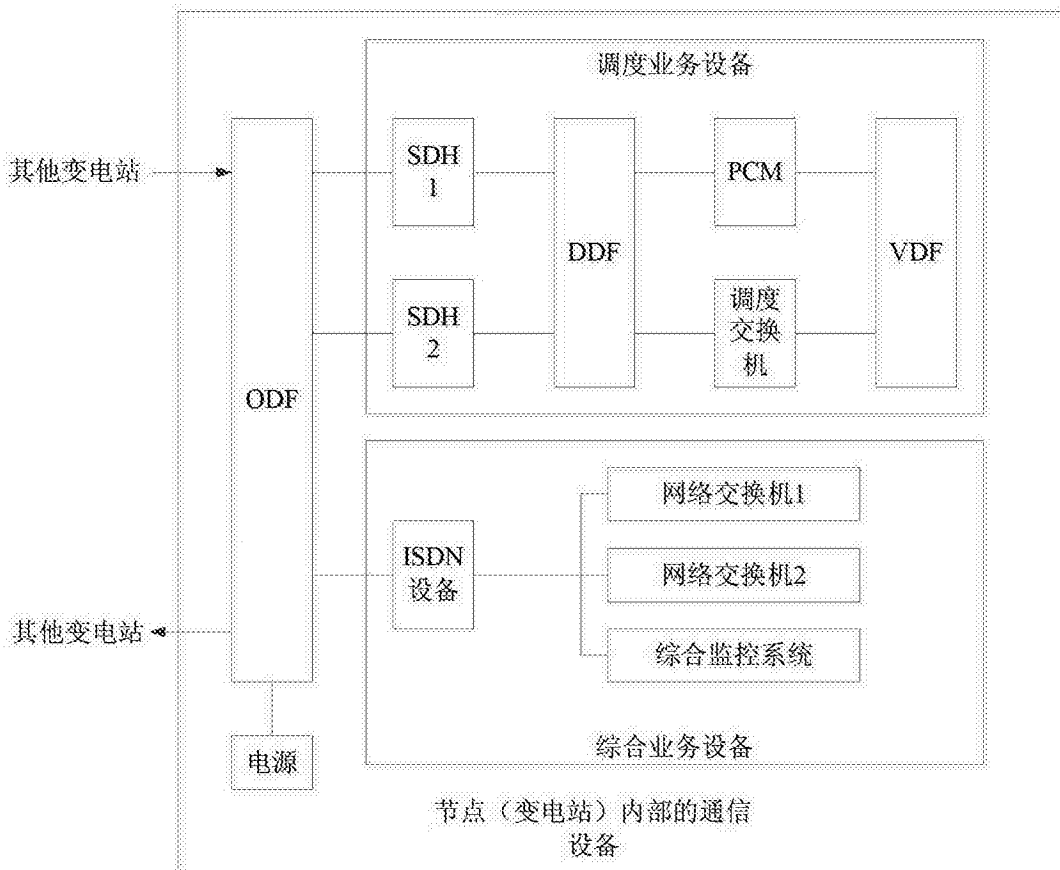


图 3

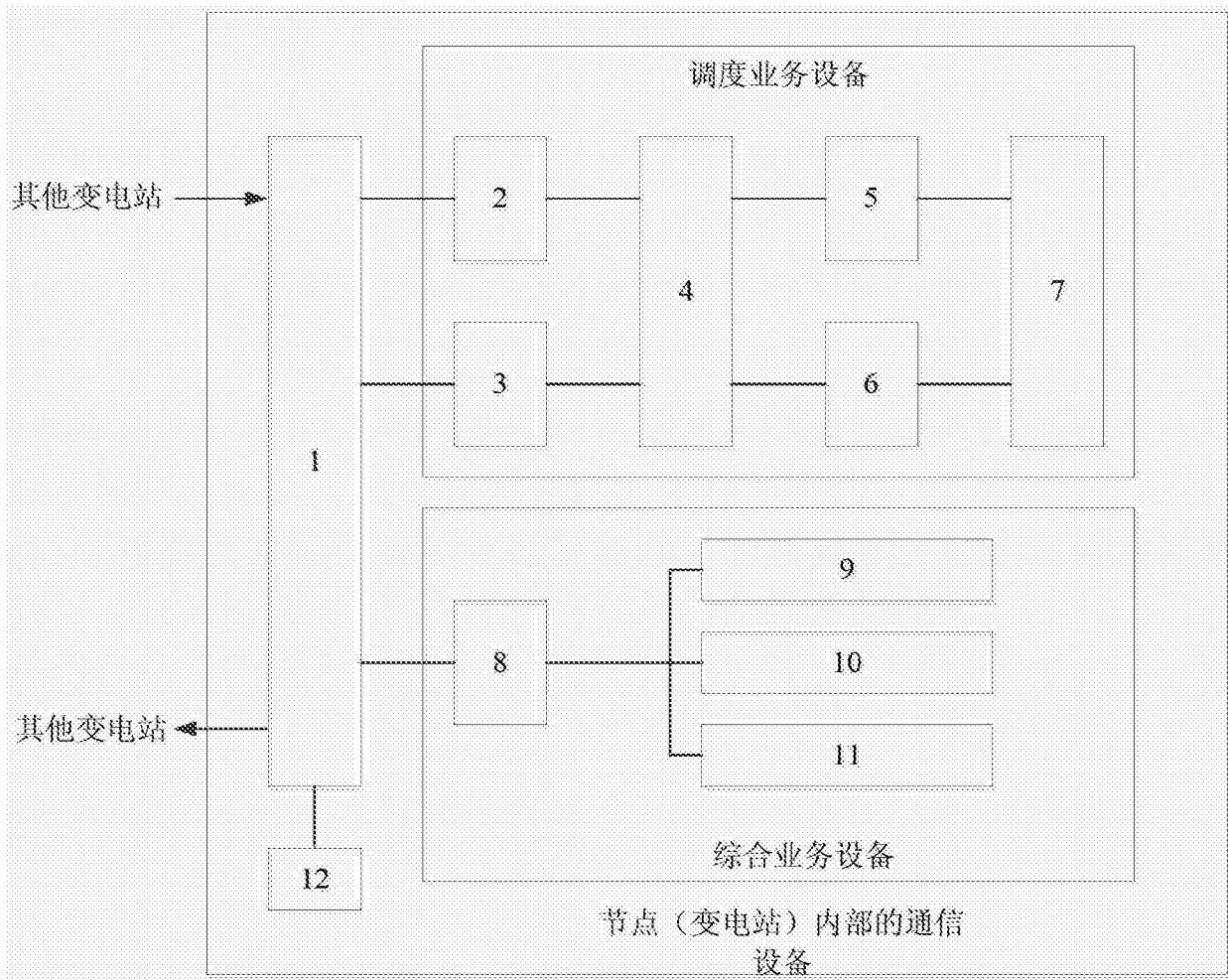


图 4

节点可靠度表格	
节点编号	节点可靠度
1	0.9893
2	0.9893
3	0.9893
4	0.9976
5	0.9976
6	0.9976
7	0.9893

图 5

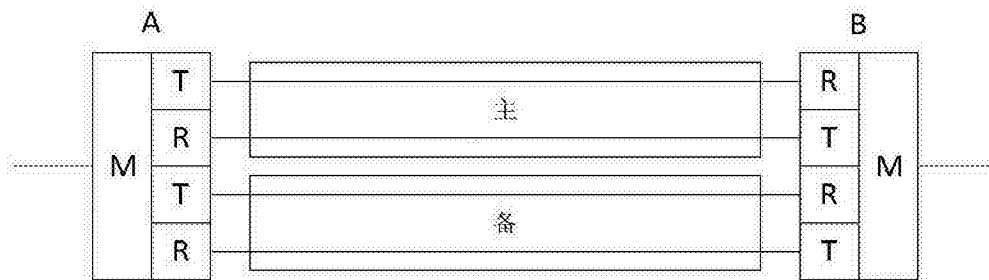


图 6

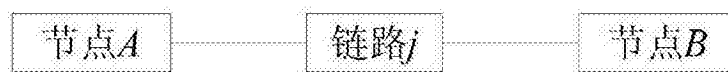


图 7

各链路的链路可靠度及链路综合可靠度		
链路编号	链路可靠度	链路综合可靠度
1	0.9965	0.9753
2	0.9939	0.9725
3	0.9985	0.9855
4	0.9993	0.9863
5	0.9949	0.9819
6	0.9885	0.9756
7	0.9988	0.9940
8	0.9978	0.9930
9	0.9985	0.9937
10	0.9960	0.9830
11	0.9988	0.9858
12	0.9974	0.9844

图 8

各链路的介数	
链路编号	链路介数
1	6
2	8
3	8
4	6
5	4
6	8
7	8
8	6
9	8
10	8
11	6
12	8

图 9

节点的 C_i 值	
节点编号	聚类可靠度 C_i
1	0.9819
2	0.1646
3	0.3299
4	0.1639
5	0.0985
6	0.0987
7	0.9937

图 10

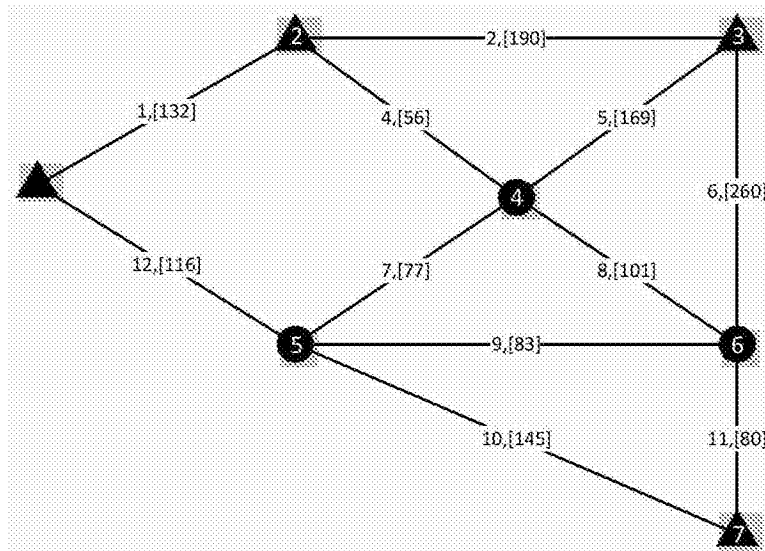


图 11

链路 3 失效后各链路的介数	
链路编号	链路介数
1	5
2	4
3	-
4	6
5	2
6	4
7	6
8	4
9	2
10	5
11	5
12	6

图 12

链路3失效后各节点的 C_i 值	
链路编号	链路介数
1	5
2	4
3	-
4	6
5	2
6	4
7	6
8	4
9	2
10	5
11	5
12	6

图 13