



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104375055 B

(45)授权公告日 2017.05.17

(21)申请号 201310356104.1

(22)申请日 2013.08.15

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 104375055 A

(43)申请公布日 2015.02.25

(73)专利权人 通用电气公司
地址 美国纽约州

(72)发明人 吴之林 何立汉 许之晗
伊利亚.沃尔哈

(74)专利代理机构 北京市柳沈律师事务所
11105

代理人 封新琴

(51)Int.Cl.
G01R 31/08(2006.01)

(56)对比文件

US 2011031977 A1,2011.02.10,

US 2011031977 A1,2011.02.10,

CN 101533061 A,2009.09.16,

CN 102928739 A,2013.02.13,

Mikael M. Nordman等.Design of a
Concept and a Wireless ASIC Sensor.《IEEE
TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY》.2006,第21
卷(第3期),

审查员 王改英

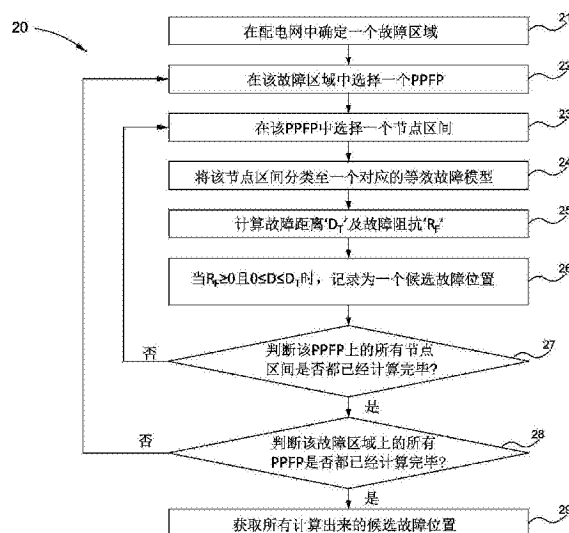
权利要求书2页 说明书8页 附图14页

(54)发明名称

配电网的故障定位装置及方法

(57)摘要

本发明揭示一种故障定位装置,包括至少一个传感器及故障位置评估装置。该至少一个传感器安装在配电网,用于感应安装位置的电流并将该配电网分割成至少两个区域。该故障位置评估装置包括故障区域确定单元,用于根据该传感器感应的电流来确定该至少两个区域中哪个区域为故障区域。本发明还揭示有一种故障定位方法。



1. 一种故障定位装置,用于定位配电网中的故障位置,其特征在于:该故障定位装置包括:

至少一个传感器,安装在配电网,用于感应安装位置的电流及电压;

故障位置评估装置,包括:

PPFP选择单元,用于依次选择配电网的每一个PPFP;

节点区间选择单元,用于在选取的每一个PPFP中依次选取每一个节点区间;

节点区间分类单元,用于基于选取的PPFP来将每一个选取的节点区间分类至一个对应的等效故障模型;

故障位置参数计算单元,用于基于对应的等效故障模型计算每一个选取的节点区间中假定故障点的故障距离 ' D ' 及故障阻抗 ' R_F ' ;

候选故障位置记录单元,用于当计算出的故障距离 ' D ' 及故障阻抗 ' R_F ' 满足 $R_F \geq 0$ 及 $0 \leq D \leq D_T$ 时,将对应的假定故障点记录为候选故障位置,其中, ' D_T ' 为对应节点区间的总长度。

2. 如权利要求1所述的故障定位装置,其特征在于:当选取的节点区间位于至少两个PPFP内时,该故障距离 ' D ' 为对应的至少两个计算得出的故障距离 ' D ' 的平均值或其中一个值。

3. 如权利要求1所述的故障定位装置,其特征在于:该等效故障模型包括至少一个传感器对应点、故障点、故障阻抗、节点区间对应的线路阻抗。

4. 如权利要求3所述的故障定位装置,其特征在于:该故障距离 ' D ' 及故障阻抗 ' R_F ' 是根据该至少一个传感器感应的电流、电压及对应的等效故障模型的已知参数计算得出的。

5. 如权利要求1所述的故障定位装置,其特征在于:该至少一个传感器将该配电网分割成至少两个等分的区域。

6. 一种故障定位方法,用于定位配电网中的故障位置,其特征在于:该故障定位方法包括:

使用至少一个传感器,感应配电网中至少一个位置的电流和电压;

依次选取配电网的每一个PPFP;

在选取的每一个PPFP中依次选取每一个节点区间;

基于选取的PPFP,将每一个选取的节点区间分类至一个对应的等效故障模型;

基于对应的等效故障模型,计算每一个选取的节点区间中假定故障点的故障距离 ' D ' 及故障阻抗 ' R_F ' ;及

当计算出的故障距离 ' D ' 及故障阻抗 ' R_F ' 满足 $R_F \geq 0$ 及 $0 \leq D \leq D_T$ 时,将对应的假定故障点记录为候选故障位置,其中, ' D_T ' 为对应的节点区间的总长度。

7. 如权利要求6所述的故障定位方法,其特征在于:当选取的节点区间位于至少两个PPFP内时,该故障距离 ' D ' 为对应的至少两个计算得出的故障距离 ' D ' 的平均值或其中一个值。

8. 如权利要求6所述的故障定位方法,其特征在于:该等效故障模型包括至少一个传感器对应点、故障点、故障阻抗、节点区间对应的线路阻抗。

9. 如权利要求8所述的故障定位方法,其特征在于:该故障距离 ' D ' 及故障阻抗 ' R_F ' 是根据该至少一个位置处感应的电流、电压及对应的等效故障模型的已知参数计算得出的。

10. 如权利要求6所述的故障定位方法,其特征在于:该至少一个位置将该配电网分割

成至少两个等分的区域。

配电网的故障定位装置及方法

技术领域

[0001] 本发明公开的实施方式涉及电力系统上的故障定位装置和方法,尤其是针对对配电网(Distribution Network)上的故障进行定位的装置及方法。

背景技术

[0002] 在电力系统中,故障的快速、准确定位是一个非常重要的环节,以保证电力系统的正常运行进而降低系统平均停电持续时间指标(system average interruption duration index, SAIDI)。当一个故障发生时,例如短路故障,必须要作出快速的响应以缩小该短路故障影响的范围。

[0003] 在输电网(transmission network)上通过现有的阻抗法(impedance-based method)可较容易找到故障点位置,因为输电网通常只有一条主线路。但是,对于配电网来说,其除了包括一条主线路以外,还包括大量的分支线路及分支负载。因此,通过现有的阻抗法来定位配电网上的故障点则很困难,无法获得较高的精准度,且效率低下。

[0004] 因此,有必要提供一种改进的故障定位装置及方法以解决至少上述技术问题。

发明内容

[0005] 有鉴于上述提及之技术问题,本发明的一个方面在于提供一种故障定位装置。该故障定位装置包括:

[0006] 至少一个传感器,安装在配电网,用于感应安装位置的电流并将该配电网分割成至少两个区域;及

[0007] 故障位置评估装置,其包括故障区域确定单元,用于根据该传感器感应的电流来确定该至少两个区域中哪个区域为故障区域。

[0008] 本发明的另一个方面在于提供另一种故障定位装置。该故障定位装置包括:

[0009] 至少一个传感器,安装在配电网,用于感应安装位置的电流及电压;

[0010] 故障位置评估装置,包括:

[0011] 节点区间选择单元,用于依次选取该配电网内的每一个节点区间;

[0012] 节点区间分类单元,用于将每一个选取的节点区间分类至一个对应的等效故障模型;

[0013] 故障位置参数计算单元,用于基于对应的等效故障模型计算每一个选取的节点区间中假定故障点的故障距离‘D’及故障阻抗‘RF’;及

[0014] 候选故障位置记录单元,用于当计算出的故障距离‘D’及故障阻抗‘RF’满足 $RF \geq 0$ 及 $0 \leq D \leq DT$ 时,将对应的假定故障点记录为候选故障位置,其中,‘DT’为对应节点区间的总长度。

[0015] 本发明的再一个方面在于提供一种故障定位方法。该故障定位方法包括:

[0016] 感应配电网中至少一个位置的电流;

[0017] 基于该至少一个位置将该配电网分割成至少两个区域;及

[0018] 根据该至少一个位置处感应的电流来确定该至少两个区域中哪个区域为故障区域。

[0019] 本发明提供的故障定位装置及方法,通过在配电网中设置传感器,通过该传感器将配电网分割为若干个区域,一方面可以根据传感器感测的电流确定该若干区域内哪一个区域为故障区域,因此缩小了故障排查范围;另一方面,根据故障位置评估装置来对故障区域内的所有节点区间进行计算以找出符合上述两个条件的节点区域中的候选故障位置。计算出来的候选故障位置的数量往往很少,有时甚至只有一个,在此基础上,操作人员便可较容易的排查出真实的故障位置,花费的时间大大缩短,且精确度也非常高。

附图说明

[0020] 通过结合附图对于本发明的实施方式进行描述,可以更好地理解本发明,在附图中:

[0021] 图1所示为应用本发明故障定位装置的配电网的一种实施方式的示意图。

[0022] 图2所示为本发明故障定位系统的较佳实施方式的部分示意图。

[0023] 图3所示为图1配电网中显示出一个故障区域的示意图。

[0024] 图4所示为本发明故障定位系统的较佳实施方式的另一部分示意图。

[0025] 图5所示为本发明故障定位方法的较佳实施方式的流程图。

[0026] 图6所示为图1配电网中显示出一个故障区域及其内三个PPFP的示意图。

[0027] 图7-图14分别所示为八种等效故障模型的等效示意图。

[0028] 图15所示为图1配电网中显示出一个故障区域及其内一段节点区间的示意图。

[0029] 图16所示为图15所示节点区间与其对应的等效故障模型的示意图。

[0030] 图17所示为图6中包含两个候选故障位置的示意图。

[0031] 图18所示为四种故障阻抗下应用本发明故障定位装置进行定位故障具有的距离精确度的仿真图。

具体实施方式

[0032] 本发明揭露的一个或者多个实施方式涉及具有候选故障位置评估功能的故障定位系统及故障定位方法,以用于评估配电网中每一个节点区间是否存在故障的可能性。通过本发明故障定位系统及故障定位方法进行评估,可以对配电网中所有的节点区间进行自动判断,并找出最有可能存在故障点的节点区间,即确定出候选故障位置。确定好的候选故障位置的数量非常少,可能为一个或几个。在此判断的基础上,操作人员可能有时就可以直接解决故障问题,或者仅需要再检查这些少量的候选故障位置即可,精确度和效率都非常高。

[0033] 在本文中所使用的术语“可能的功率流路径(possible power flow path,PPFP)”代表的是在一个配电网的故障区域内从一个初始端发送电流后,该电流可能的流经路径。本文中的传感器在一些实施方式为电流电压传感器,用于感应其所在位置处的电流及电压,有些实施方式中仅感应电流。该术语“节点区间”为配电网中两个相邻节点(node)之间的区间线路,每一个PPFP可能包括若干个节点区间,具体由配电网自身的网络结构所决定。该节点可能为配电网的一些装置或电子元件所在的位置,例如变电站、发电机、电阻元

件、晶体管元件等均可作为节点,这些节点及节点间电路的参数是事先可以确定的。

[0034] 以下将描述本发明的一个或者多个具体实施方式。首先要指出的是,在这些实施方式的具体描述过程中,为了进行简明扼要的描述,本说明书不可能对实际的实施方式的所有特征均作详尽的描述。应当可以理解的是,在任意一种实施方式的实际实施过程中,正如在任意一个工程项目或者设计项目中,为了实现开发者的具体目标,或者为了满足系统相关的或者商业相关的限制,常常会做出各种各样的具体决策,而这也从一种实施方式到另一种实施方式之间发生改变。此外,还可以理解的是,虽然这种开发过程中所作出的努力可能是复杂并且冗长的,然而对于与本发明公开的内容相关的本领域的普通技术人员而言,在本公开揭露的技术内容的基础上进行的一些设计,制造或者生产等变更只是常规的技术手段,不应当理解为本公开的内容不充分。

[0035] 除非另作定义,在本说明书和权利要求书中使用的技术术语或者科学术语应当为本发明所属技术领域内具有一般技能的人士所理解的通常意义。本说明书以及权利要求书中使用的“第一”或者“第二”以及类似的词语并不表示任何顺序、数量或者重要性,而只是用来区分不同的组成部分。“一个”或者“一”等类似词语并不表示数量限制,而是表示存在至少一个。“或者”包括所列举的项目中的任意一者或者全部。“包括”或者“包含”等类似的词语意指出现在“包括”或者“包含”前面的元件或者物件涵盖出现在“包括”或者“包含”后面列举的元件或者物件及其等同元件,并不排除其他元件或者物件。“连接”或者“相连”等类似的词语并非限定于物理的或者机械的连接,而是可以包括电性的连接,不管是直接的还是间接的。此外,“电路”或者“电路系统”以及“控制器”等可以包括单一组件或者由多个主动元件或者被动元件直接或者间接相连的集合,例如一个或者多个集成电路芯片,以提供所对应描述的功能。

[0036] 图1所示为应用本发明故障定位装置的配电网10的一种实施方式的示意图。在下面的描述中,为了更好的理解本发明的较佳实施方式,该配电网10仅通过若干个节点及它们之间的连接关系进行表示,其具体结构未示意出来。该配电网10可以为任何类型的电力系统,例如城市配电网系统、农村配电网系统等。

[0037] 在图1所示的实施方式中,该配电网10包括一条主线路(包括节点800、802、806、808、812、814、850、816、824、828、830、854、852、832、858、834、860、836、840)及八条分支线路(第一条分支线路包括节点808、810;第二条分支线路包括节点816、818、820、822;第三条分支线路包括节点824、826;第四条分支线路包括节点854、856;第五条分支线路包括节点832、888、890;第六条分支线路包括节点858、864;第七条分支线路包括节点834、842、844、846、848;第八条分支线路包括节点836、862、838)。图1仅仅给出一个示例,其他实施方式中,该配电网10的具体拓扑结构不限于上述给出的例子。

[0038] 请共同参见图1及图2,该配电网10进一步包括一个故障定位装置18,该故障定位装置18包括两个电流电压传感器11、12及一个故障位置评估装置19。该故障位置评估装置19可以为任何形式的数据处理装置,例如一个计算机、一个微控制器、一个数字信号处理器或其他类型的可编程控制器等。该故障位置评估装置19可以为一个单独的装置设置在配电网10合适的位置,也可以是一个远程的装置位于配电网10的监控系统中,或内嵌至配电网10的其他控制系统中,具体可根据实际配电网的具体要求而设计。

[0039] 在图1所示的实施方式中,该传感器11安装于该配电网10的主线路的节点812上,

该传感器12安装于该配电网10的主线路的节点830上。在其他实施方式中,该传感器11及12还可安装在配电网10任意合适的位置上。例如,该传感器11还可安装在节点812与节点814之间的线路上,该传感器12还可安装在节点828与节点830之间的线路上。传感器的数量和安装位置均可根据实际需要进行调整,不局限于本实施方式给出的例子。

[0040] 通过在配电网10上安装上述传感器11及12,该配电网10将被分割成三个区域,安装的传感器的数量越多分割的区域也就相应的越多并且区域范围越小。本实施方式中,一个区域从节点800到该传感器11(即节点812),一个区域从节点812到传感器12(即节点830),一个区域从节点830到节点840。在一些实施方式中,传感器将配电网10分割为若干等分或基本等分的区域,例如各个区域中主线路(或主线路与分支线路)的总长度相等或大致相等,以使后续对各个区域的计算量大致达到平衡。但这不是绝对的,其他实施方式中,各个区域也可以不是等分的,或者其中的几个区域等分而其他区域不等分。上述区域的划分取决于配电网10的拓扑结构及关注的具体区域的位置等考虑因素。正如之前提到的,传感器的数量也可调整,区域的数量也将相应调整。例如,当安装的传感器仅有一个时,这时配电网10将被分割成两个区域,该两个区域可以等分也可以不等分设计。当安装的传感器多于两个时,分割的区域对应多于三个。

[0041] 请再次参考图2,该故障位置评估装置19包括一个故障区域确定单元191,用于确定上述分割的区域中哪一个区域发生了故障。具体地,该故障位置评估装置19接收该传感器11及12感应的电流信号,并根据电流信号的变化及电学原理来确定故障发生的区域,即确定故障区域。

[0042] 请参考图3,例如,假设位于传感器11与传感器12之间的区域13中发生了故障(如短路故障),故障点819假设位于节点818与节点820之间,也可以位于区域13内的任意一点处,这里仅是为了说明作了如上假设。在此假设基础上,当故障点819处发生故障后,根据电路原理可知,该传感器11感应的电流的幅值将会突然迅速的增加,而传感器12感应的电流的幅值将会突然迅速的降低,因为故障点819处发生了短路故障。那么反过来说,根据传感器11及传感器12感应的电流的幅值的突然变化及应用电路原理即可直接推导出故障点位于的区域是哪个。再比如,当传感器11及传感器12感应的电流的幅值均同时突然迅速的降低时,则可推断出故障点发生在节点800至节点812之间的区域。当传感器数量变化时,推导的方法也相似,例如当传感器仅为一个时,那么分割的区域为一个前区域及一个后区域,当传感器感应的电流的幅值突然迅速降低时,表明故障发生在前区域,反之发生在后区域。其他情形的推断方法与前面举例的方法相似,不再一一列举。

[0043] 在某些情况下,根据上述确定的故障区域,操作人员即可直接处理故障问题,例如确定后的故障区域范围已经较整个配电网10大大缩小了,故障人员排查故障的范围也就大大缩小了,此时排查的时间可能会很短,可以满足故障排查的要求。在其他情况下,在故障区域确定好之后,为了进一步缩小排查范围,该故障位置评估装置19还可进一步确定少量个候选故障位置,具体见后续说明部分。

[0044] 请参考图4,为了确定候选故障位置,该故障位置评估装置19进一步包括PPFP选择单元192、节点区间选择单元193、节点区间分类单元194、故障位置参数计算单元195、候选故障位置记录单元196、节点区间评估完成确定单元197、PPFP评估完成确定单元198及候选故障位置获取单元199。在一些实施方式中,上述单元191-199可能为一个独立的单元。在其

他实施方式中,上述单元191-199中的两个或多个可能整合为一个共同的单元。

[0045] 请参考图5,为本发明故障定位方法20的较佳实施方式的流程图。在图示的实施方式中,该故障定位方法20包括步骤21-29,分别由上述单元191-199执行。

[0046] 在步骤21中,基于计算该传感器11及传感器12感应的电流的幅值来确定分割的区域中哪一个为故障区域,上述段落已详细描述具体计算方法,这里不再赘述。

[0047] 在故障区域(例如区域13)被确定后,其上所有的PPFP也就对应的确定下来了。例如,参见图6,故障区域13中包括三条PPFP14、15、16。即,第一条PPFP14从节点812至节点822,第二条PPFP15从节点812至节点826,第三条PPFP16从节点812至节点830。进一步地,每个PPFP包括若干个节点区间。例如,第一条PPFP14包括六个节点区间,即第一节点区间从节点812至节点814,第二节点区间从节点814至850,第三节点区间从节点850至816,第四节点区间从节点816至818,第五节点区间从节点818至820,第六节点区间从节点820至822。

[0048] 基于电学原理,无论故障点位于哪一个节点区间上,该具有故障点的节点区间都可以被分类至一个对应的等效故障模型中,以便于后续的计算。在一些实施方式中,图7至图14分别给出了八种不同的等效故障模型61-68。该第一等效故障模型61表征的是故障点‘F’位于故障区域的一个PPFP中,且该PPFP中仅包含一个传感器并且不包含分支线路;该第二等效故障模型62表征的是故障点‘F’位于故障区域的一个PPFP中,且该PPFP中包含两个传感器并且不包含分支线路;该第三等效故障模型63表征的是故障点‘F’位于故障区域的一个PPFP中,且该PPFP中仅包含一个传感器并且包含一条上游分支线路;该第四等效故障模型64表征的是故障点‘F’位于故障区域的一个PPFP中,且该PPFP中包含两个传感器并且包含一条上游分支线路;该第五等效故障模型65表征的是故障点‘F’位于故障区域的一个PPFP中,且该PPFP中仅包含一个传感器并且包含一条下游分支线路;该第六等效故障模型66表征的是故障点‘F’位于故障区域的一个PPFP中,且该PPFP中包含两个传感器并且包含一条下游分支线路;该第七等效故障模型67表征的是故障点‘F’位于故障区域的一个PPFP中,且该PPFP中仅包含一个传感器并且包含一条上游分支线路及一条下游分支线路;该第八等效故障模型68表征的是故障点‘F’位于故障区域的一个PPFP中,且该PPFP中包含两个传感器并且包含一条上游分支线路及一条下游分支线路。

[0049] 在其他实施方式中,该等效故障模型可能根据其他算法进行相应的调整,例如,仅包括两个等效故障模型,其中一个等效故障模型表征故障点位于两个或多个传感器之间,另一个等效故障模型表征故障点位于所有传感器的一侧。具体模型的构建不拘泥于本发明给出的例子,可根据实际需要构建需要的模型。

[0050] 为了方便解释,在图7至图14中,‘L’代表一个左侧点且一个传感器位于该点处;‘R’代表一个右侧点,且一个传感器可能位于该点处或其仅为一个节点;‘F’代表故障发生的故障点;‘VL’代表左侧点‘L’处的电压;‘IL’代表左侧点‘L’处流经的电流;‘D’代表故障点所在节点区间的初始点至故障点之间的故障距离;‘Dt’代表故障点所在节点区间的总长度;‘ZL’代表单位长度的线路阻抗(line impedance),故,‘D×ZL’代表故障点所在节点区间的初始点至故障点之间的线路阻抗;‘Rf’代表故障点‘F’至地之间的故障阻抗(fault resistance);‘Ir’代表流经右侧点‘R’的电流;‘Ze’代表右侧点‘R’与地之间的等效电阻;‘M’代表故障点所在节点区间的一个端点;‘H’代表故障点所在节点区间的另一端点;‘ZLM’代表左侧点‘L’与端点‘M’之间的线路阻抗;‘ZMR’代表右侧点‘R’与端点‘M’之间的线路阻

抗；‘ I_M ’代表流经端点‘M’的电流；‘ Z_{load} ’及‘ Z_{load_M} ’代表端点‘M’与地之间的等效电阻；‘ Z_{LH} ’代表左侧点‘L’与端点‘H’之间的线路阻抗；‘ I_H ’代表流经端点‘H’的电流；‘ Z_{load_H} ’代表端点‘H’与地之间的等效电阻。

[0051] 在步骤22中,在该故障区域13选取一个PPFP。例如,图15示意了一个实施方式,即首先选取了第一PPFP14。在其他实施方式中,该第二PPFP15及第三PPFP16也可以首选被选取,选取的顺序可以任意调整,总之所有的PPFP都会被依次选取到。

[0052] 在步骤23,在选取的PPFP14中选取一个节点区间。例如,图15示意的实施方式中首先选取了节点816与节点818之间的节点区间141。在其他实施方式中,该PPFP14中的其他任意节点区间也可以首选被选取,选取的顺序可以任意调整,同理所有的节点区间都会被依次选取到。

[0053] 在步骤24中,将被选取的节点区间141分类至一个对应的等效故障模型。参考图16,假定一个故障点817位于该节点区间141内,根据上述提供的八种等效故障模型的特点,可以将该节点区域141(也就是该假定的故障点817)分类至第三等效故障模型63。这是因为该假定的故障点817位于该故障区域13的PPFP14中,且该PPFP14中仅包含一个传感器11并且包含一条上游分支线路(从节点816至节点824),符合第三等效故障模型63的特点。如此,对应该节点区域141与该第三等效故障模型63,该第三等效故障模型63中的‘L’点对应该传感器11,端点‘M’代表该节点区间141的起始节点816,该故障点‘F’代表该假定的故障点817,该右侧点‘R’代表该节点区间141的另一节点818,‘ Z_{LM} ’代表左侧点‘L’与端点‘M’之间的线路阻抗,‘ Z_{load} ’代表端点‘M’与地之间的等效电阻,‘ Z_E ’代表右侧点‘R’与地之间的等效电阻,‘D’代表该假定故障点817所在节点区间141的初始点816至故障点817之间的故障距离,‘ D_T ’代表故障点所在节点区间141的总长度,‘ Z_L ’代表单位长度的线路阻抗。在其他假定情形下,当假定的故障点位于其他节点区间时,根据相似的方法既可确定对应的等效故障模型,以方便后续计算,这里不再一一列举。

[0054] 在步骤25中,在被选取的节点区间所对应的等效故障模型确定后,根据该等效故障模型及电学原理计算出对应的故障距离‘D’及故障阻抗‘ R_F ’。例如,对于图16中选取的PPFP14中的节点区间141来说,根据确定的等效故障模型63及欧姆定律,可以得到以下两个公式:

$$[0055] \quad V_M = V_L - Z_{LM} I_L \quad (1)$$

$$[0056] \quad I_M = I_L - (V_L - Z_{LM} I_L) / Z_{load} \quad (2)$$

[0057] 假定该故障是存在阻抗的,则上述公式(1)及(2)可以推导出一个故障距离‘D’的二次方程式(3),对应地,该故障阻抗‘ R_F ’也可推导出来:

$$[0058] \quad D = [-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}] / 2a \quad (3)$$

$$[0059] \quad R_F = (V_M - D \times Z_L \times I_M) [(D_T - D) \times Z_L + Z_E] / [I_M \times (D_T \times Z_L + Z_E) - V_M] \quad (4)$$

[0060] 其中:

$$[0061] \quad a = I_M [Z_L^2 \times (D_T \times Z_L + Z_E - V_M / I_M) *] \quad (5)$$

$$[0062] \quad b = I_M [-Z_L \times (D_T \times Z_L + Z_E + V_M / I_M) \times (D_T \times Z_L + Z_E - V_M / I_M) *] \quad (6)$$

$$[0063] \quad c = I_M [(V_M / I_M) \times (D_T \times Z_L + Z_E) \times (D_T \times Z_L + Z_E - V_M / I_M) *] \quad (7)$$

[0064] 其中,‘ $I_M[\dots]$ ’代表复数的虚部,‘*’代表复共轭。根据公式(3)可知,该故障距离‘D’有两个解,计算出后可以将为负值的解直接剔除掉,因为距离必然大于等于零。上述公

式中的参数 ' V_L ' 及 ' I_L ' 是通过传感器11直接获得的,而其他参数 ' D_T '、' Z_{LM} '、' Z_E '、' Z_{Load} ' 可以事先确定出来。同理,其他节点区间假定的故障点也可通过相似的方法计算出对应故障距离 ' D ' 及故障阻抗 ' R_F ', 这里不再一一说明。

[0065] 在步骤26中,在故障距离 ' D ' 及故障阻抗 ' R_F ' 计算出来之后,判断该故障距离 ' D ' 是否大于等于零且小于等于节点区间141的总长度 ' D_T ', 及判断该故障阻抗 ' R_F ' 是否大于等于零,如果同时满足上述两个条件,可以将该假定的故障点(如图16的故障点817)看作为一个候选故障位置,也就是说其可能为真实的故障位置。

[0066] 在步骤27中,判断是否该选取PPFP中所有的节点区间已经被计算完毕。如果是,则进入步骤28,如果否,则返回步骤23,直到所有的节点区间已经被计算完毕。也就是说,判断选取的PPFP中的所有的节点区间是否包含候选故障位置,并作记录。

[0067] 在步骤28中,判断是否该故障区域13中所有的PPFP已经被计算完毕。如果是,则进入步骤28,如果否,则返回步骤22,直到所有的PPFP已经被计算完毕。也就是说,判断故障区域13中所有PPFP中所有的节点区间是否包含候选故障位置,并作记录。

[0068] 在步骤29中,在故障区域13中所有PPFP中所有的节点区间都已经计算完毕后,所有的候选故障位置即被确定下来。例如,在图17的示意图中,在故障区域13中所有PPFP中所有的节点区间都已经计算完毕后,仅有两个候选故障位置817及825被确定下来,也即该两个候选故障位置817及825满足上述故障距离 ' D ' 及故障阻抗 ' R_F ' 的两个条件。作为一个例子,该两个候选故障位置817及825分别位于节点区域141及151内。

[0069] 经过上述筛选过程,在绝大部分情况下,可能仅有一个或几个候选故障位置被最终确定出来。在一些情况下,操作人员可以仅根据上述确定好的少量候选故障位置即可快速解决故障问题,例如通过结合其它侦测方法即可进一步确定实际故障位置。在另一些情况下,由于确定出来的候选故障位置的数量很少且具体位置已经明确,故操作人员仅需要分别检查这些候选故障位置即可快速、准确地确定实际的故障位置,较现有方法大大提高了效率和精确度,因为现有技术需要人为分别对大量的节点区域进行检查,有时需要花费大量的时间,且精确度不高。

[0070] 在一些实施方式中,上述步骤22及28也可以省略,而直接分别对故障区域内的所有节点区域进行判断哪些包含候选故障位置,此时可能需要修改对应的等效故障模型。在另外一些实施方式中,仅仅应用步骤21缩小故障区域范围即可满足侦测要求,例如,当配电网10的线路长度相对很短,且安装了很多传感器,且这些传感器将该配电网10分割成很多个较小的区域,当通过步骤21确定出故障区域之后,由于该故障区域较小,操作人员不需花费大量的时间即可排查出实际的故障位置,因此无需再进行后续步骤22-29的计算,也能满足要求。但在大部分实施方式中,还需进行后续步骤22-29的计算,才能满足侦测要求。

[0071] 在一些情形下,一些节点区域可能同时属于两个或多个PPFP,例如图6中的节点区间(节点816至824)同时属于三个PPFP14、15、16。因此,在上述计算该节点区间中假定的故障点的故障距离 ' D ' 及故障阻抗 ' R_F ' 时,将会计算三次。在一些实施方式中,可以仅选取其中的一次计算值,在另一些实施方式中,也可以计算出三次计算值后取平均值。

[0072] 请参考图18,为四种故障阻抗下应用本发明故障定位装置进行故障定位时具有的故障定位精确度的仿真图,图18中的故障距离是指配电网10的初始点至故障点的距离。该四种故障阻抗分别为 $R_F=00\Omega$, $R_F=100\Omega$, $R_F=300\Omega$, $R_F=500\Omega$ 。当 $R_F=00\Omega$ 时,故障定位精确度

大约位于5米到100之间,精确度非常高。即使当 $R_F=500\Omega$ 时,故障定位精确度大约位于60米到520米之间,对于数量级在几十千米至上百千米的配电网来说,此精度也同样非常高,满足测试要求。

[0073] 虽然结合特定的实施方式对本发明进行了说明,但本领域的技术人员可以理解,对本发明可以作出许多修改和变型。因此,要认识到,权利要求书的意图在于涵盖在本发明真正构思和范围内的所有这些修改和变型。

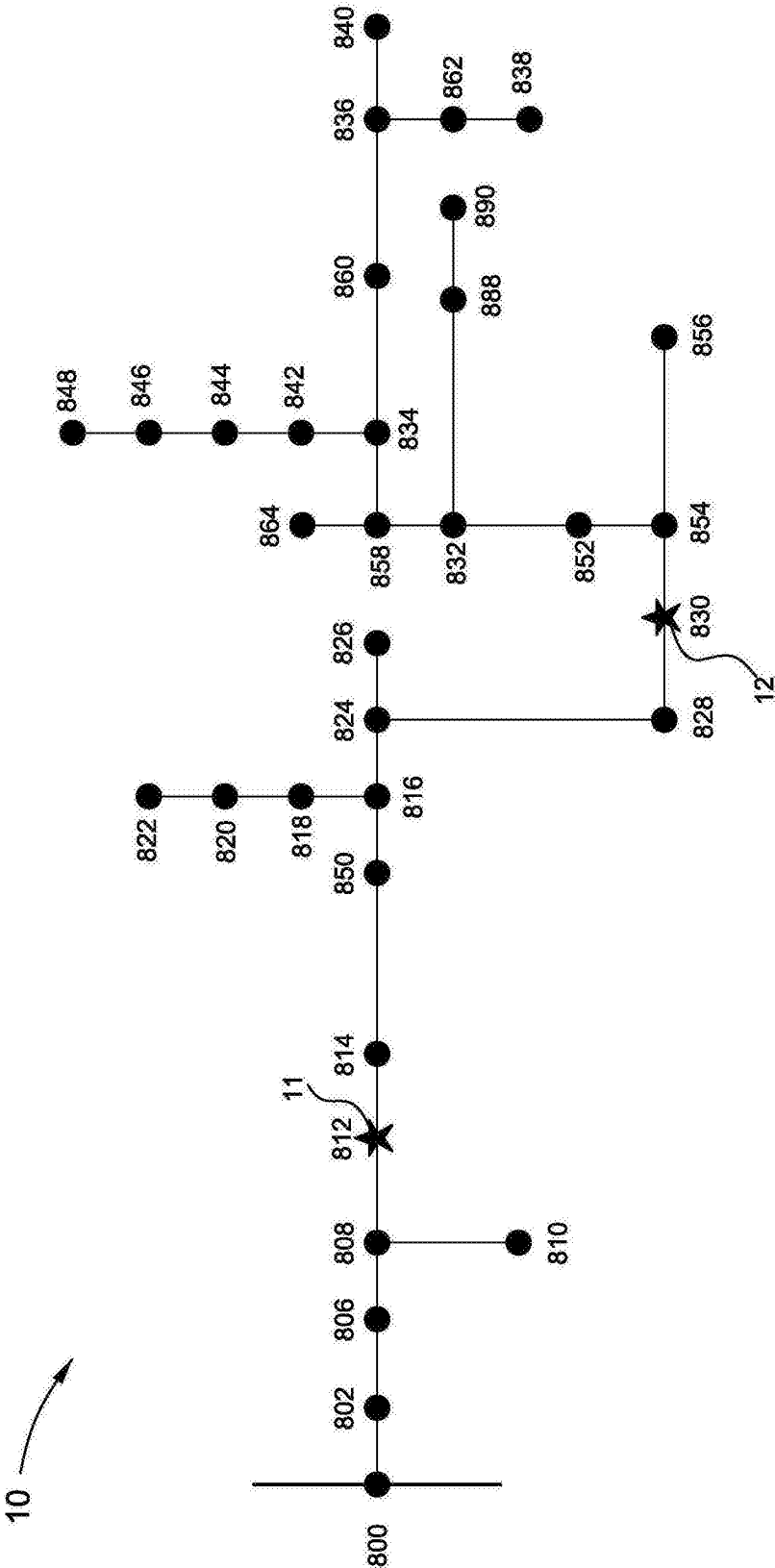


图1

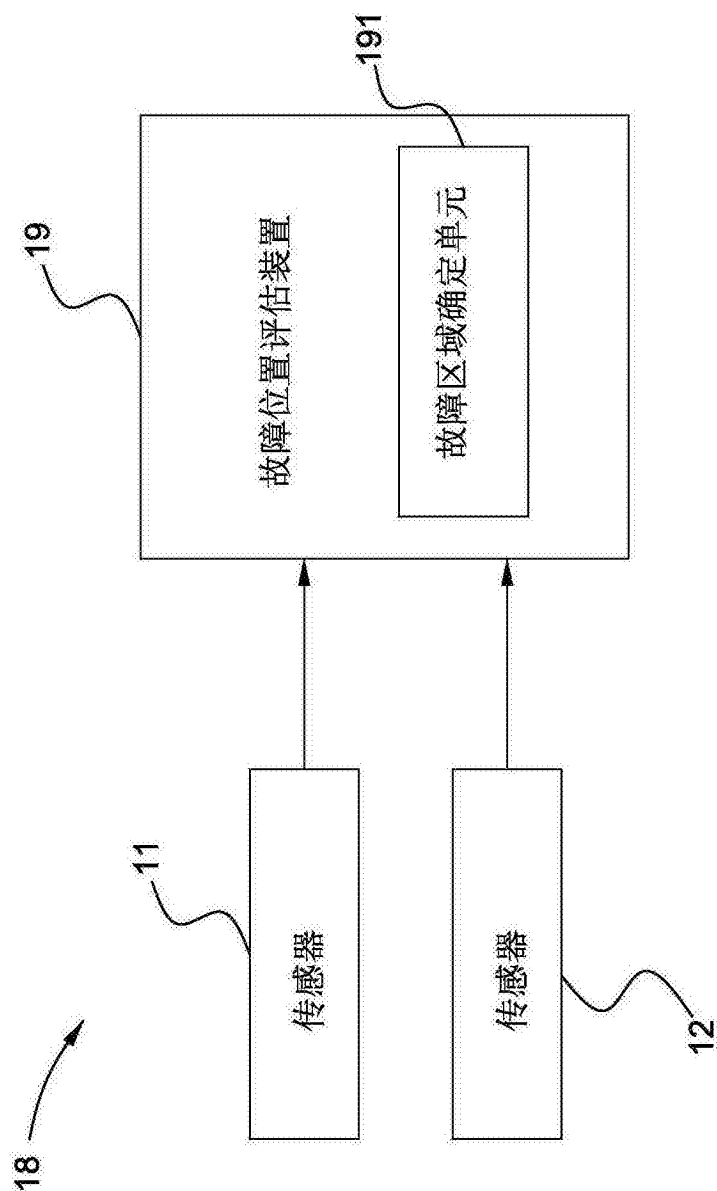


图2

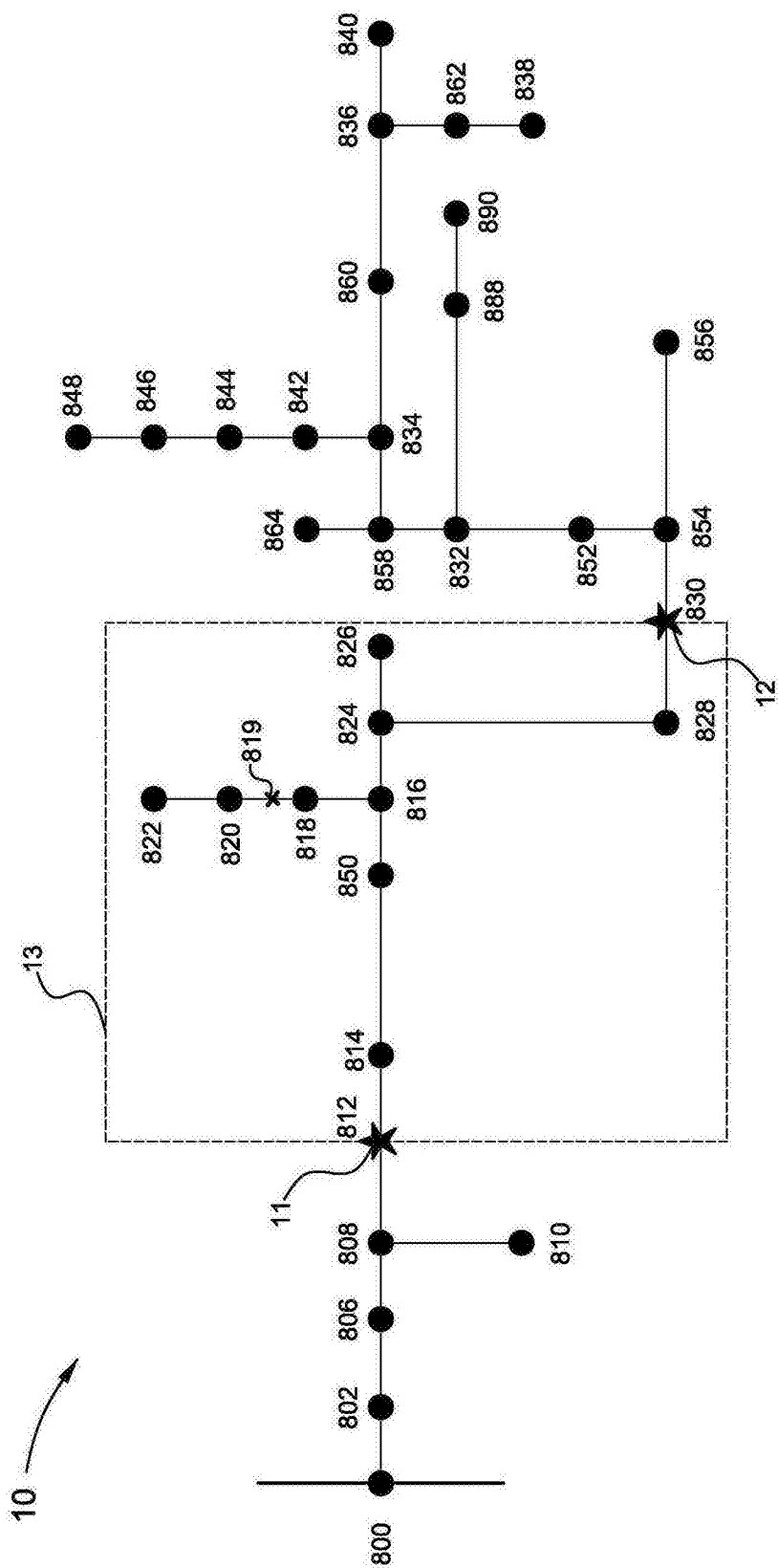


图3

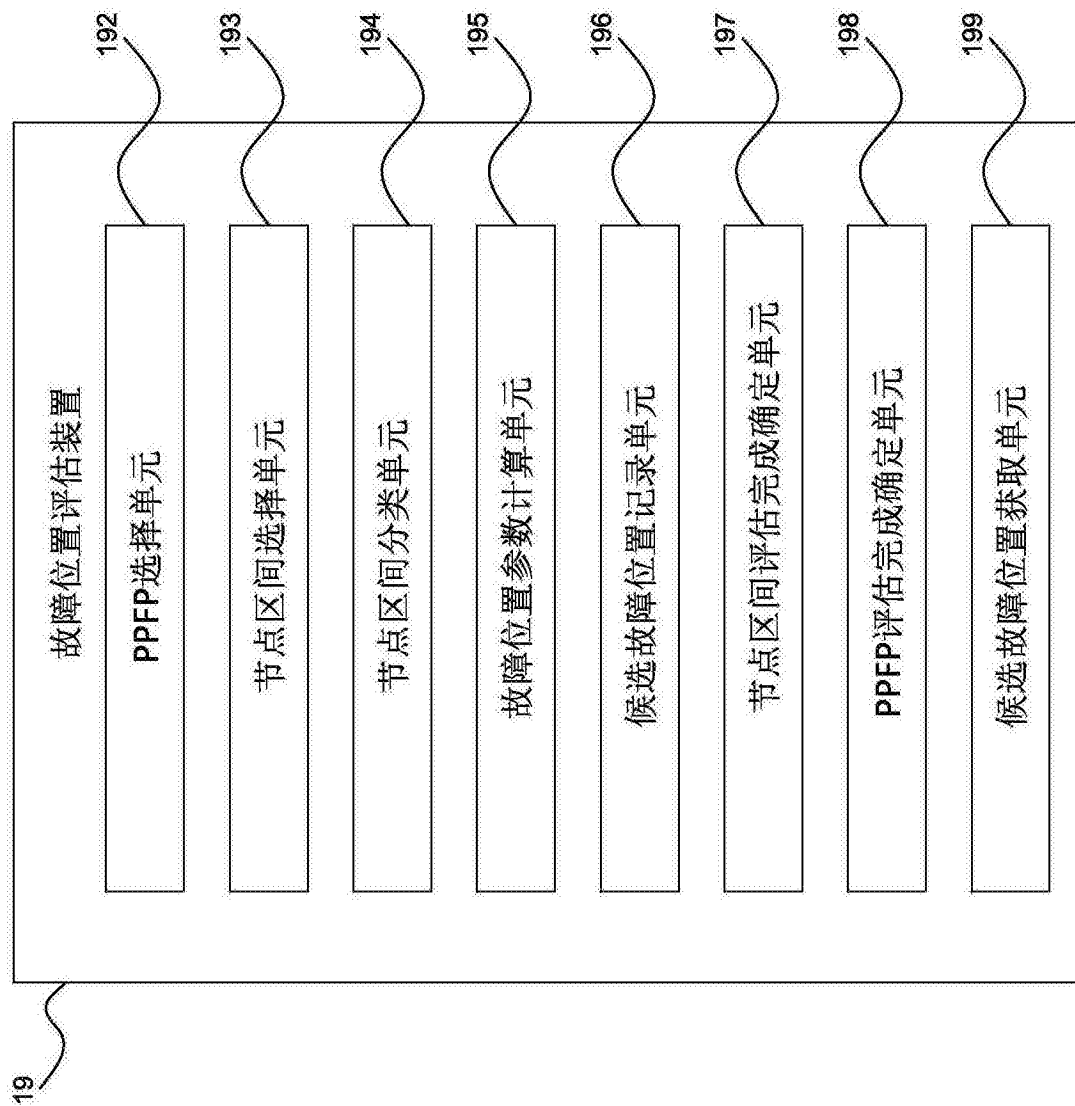


图4

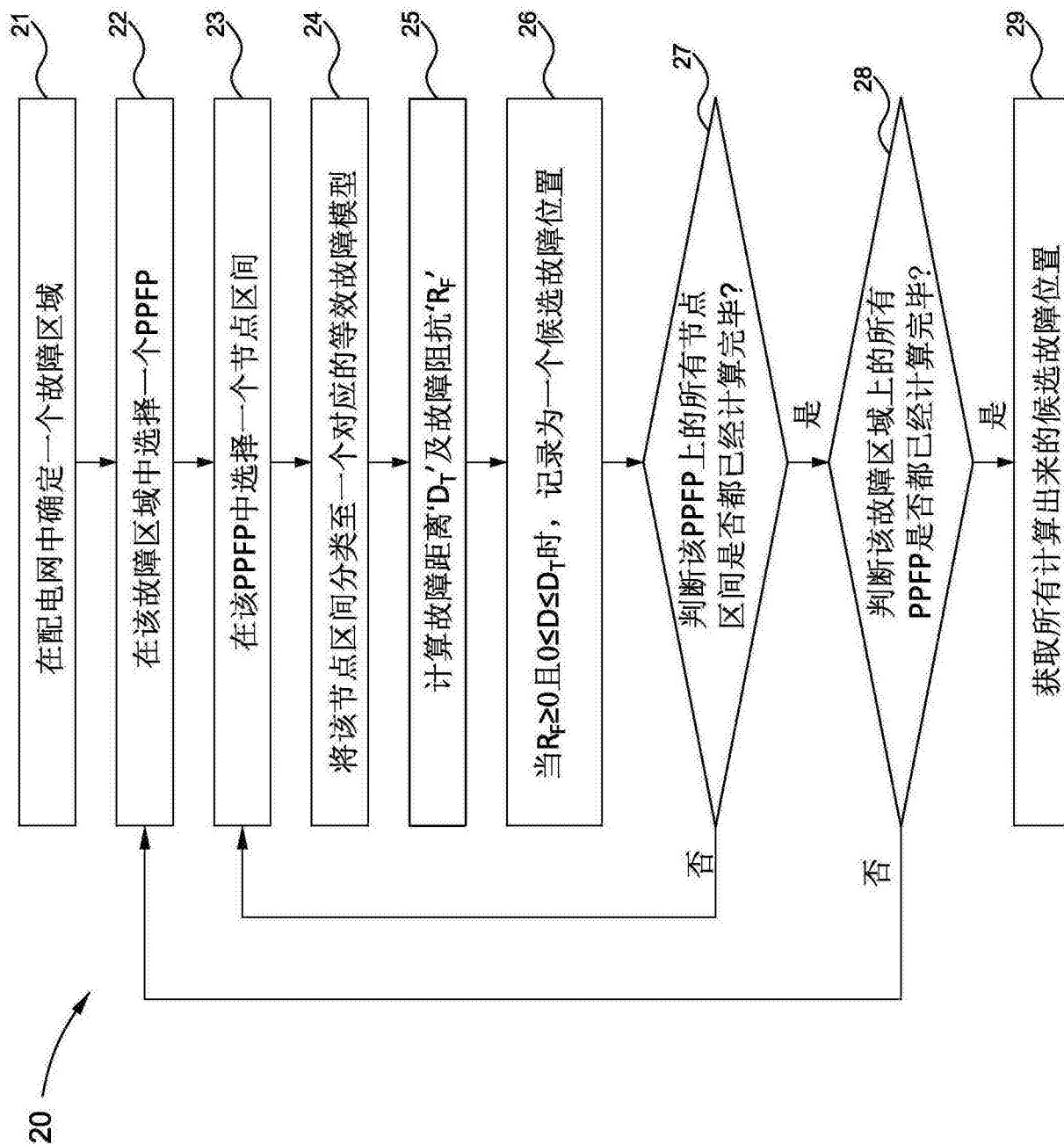


图5

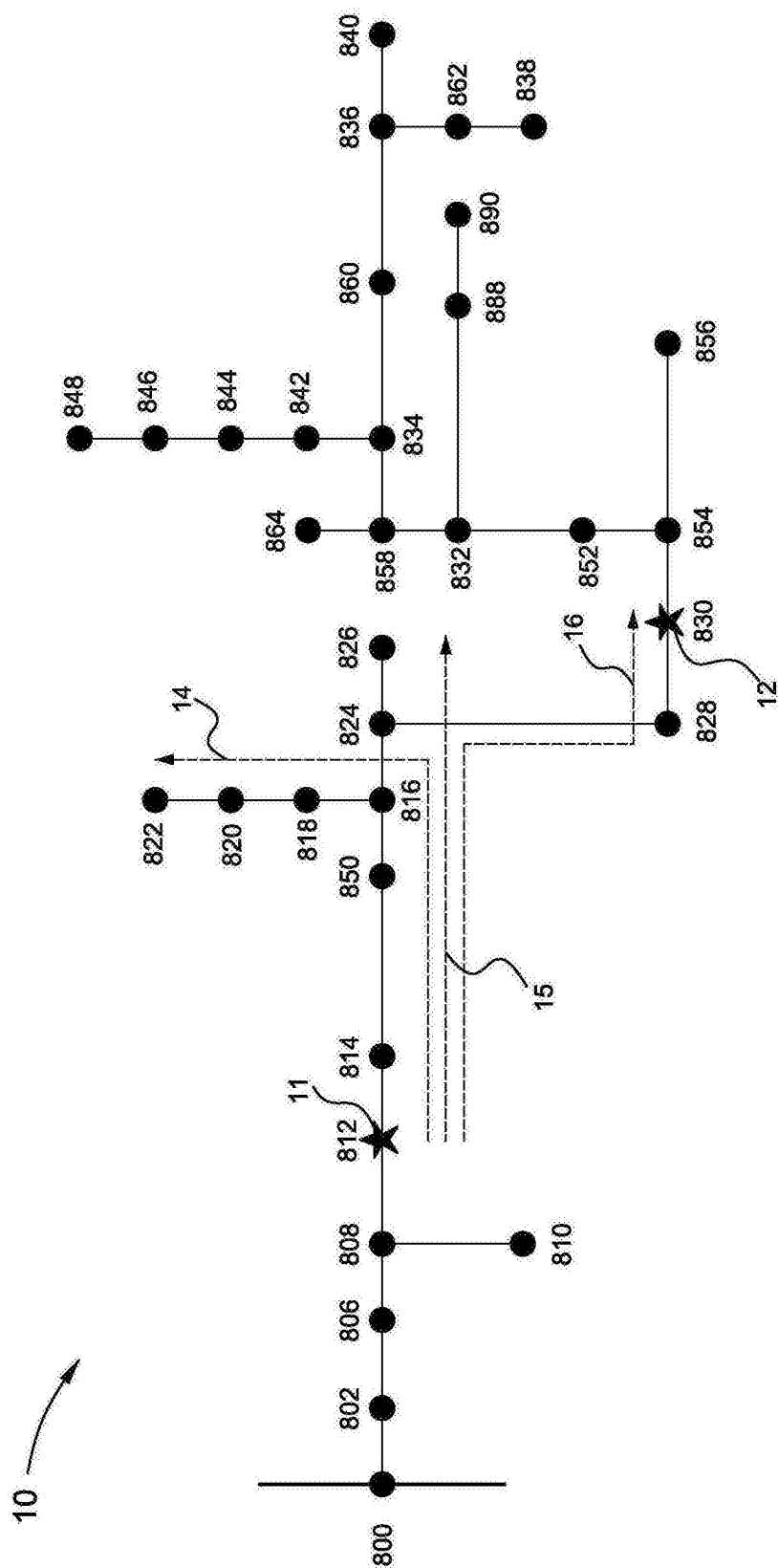


图6

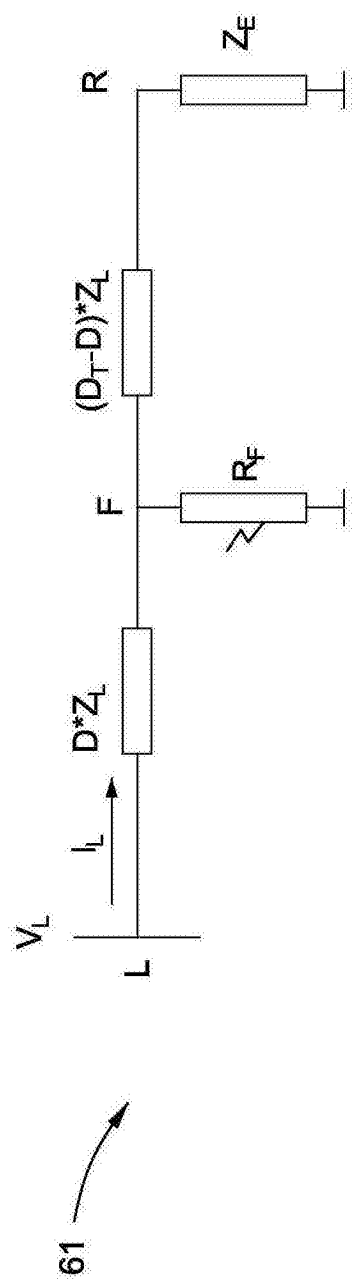


图7

62

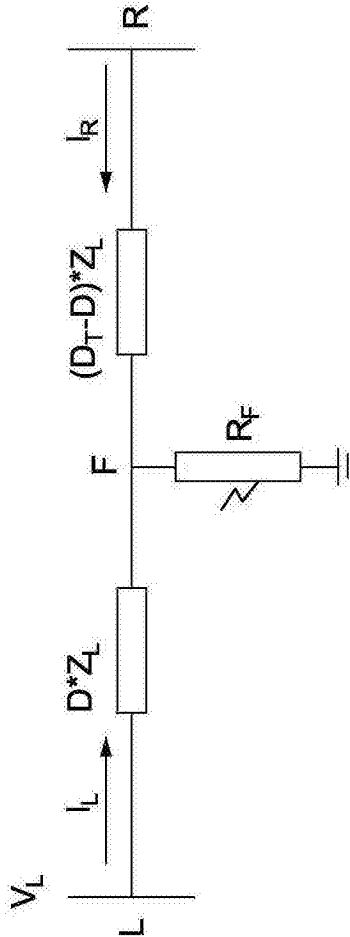


图8

63

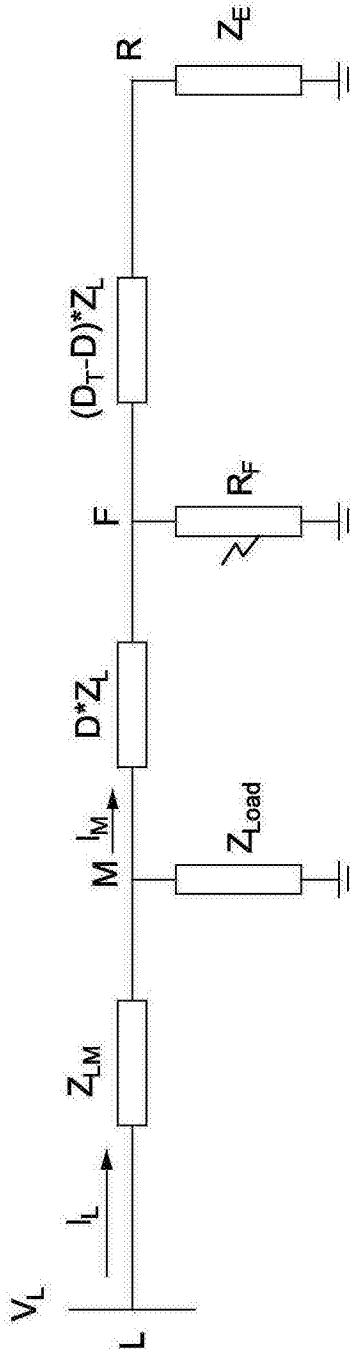


图9

64

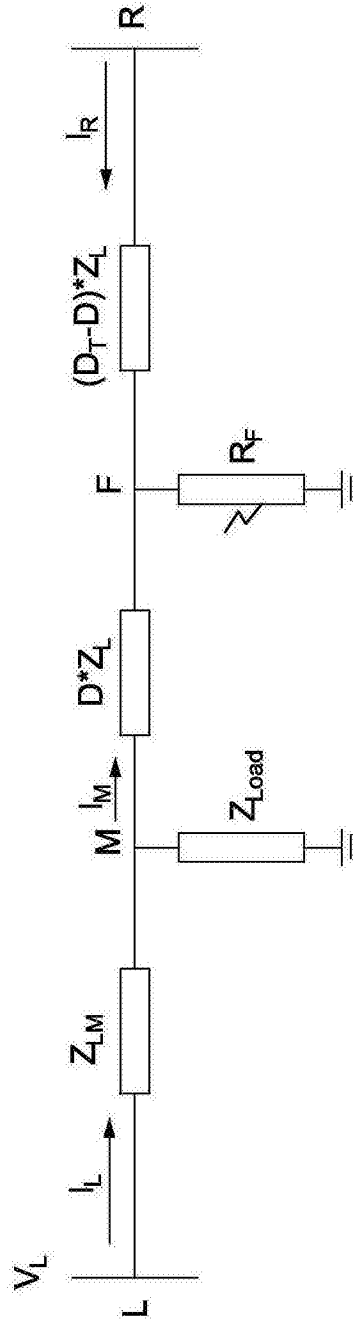


图10

65

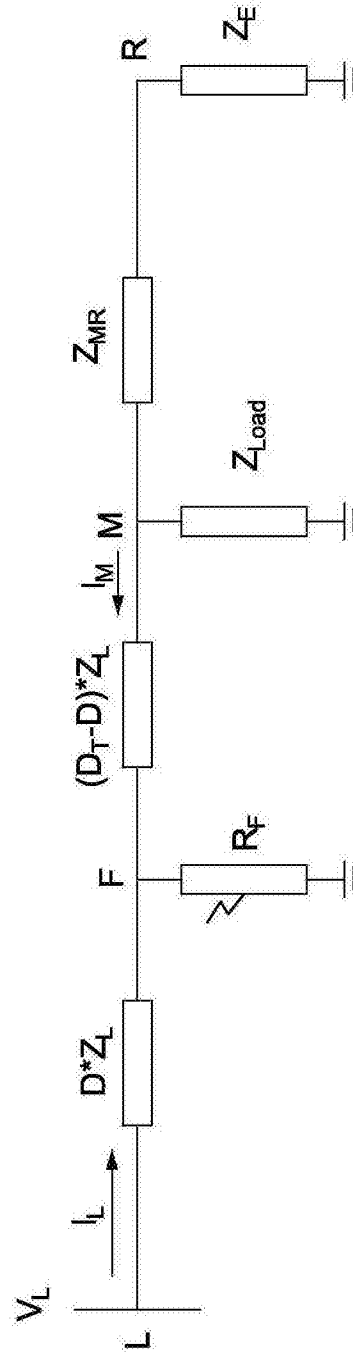


图11

66

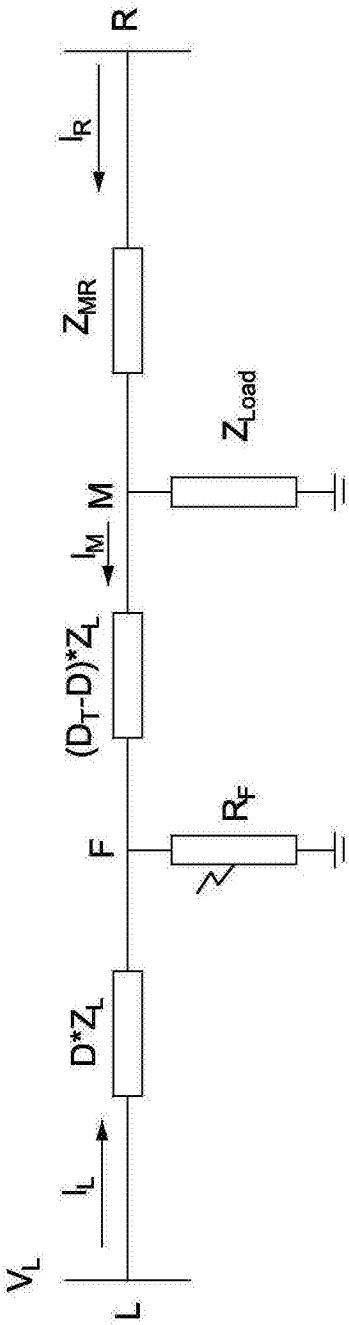


图12

67

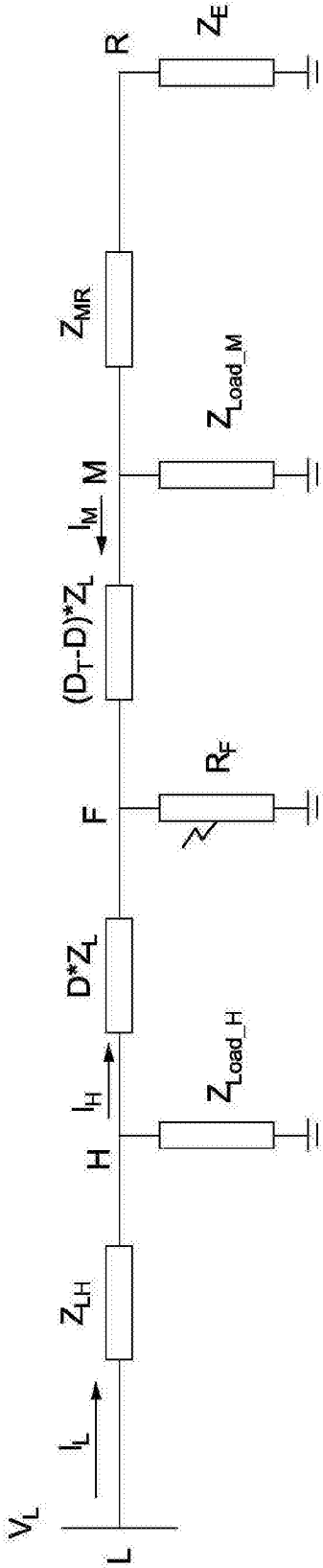


图13

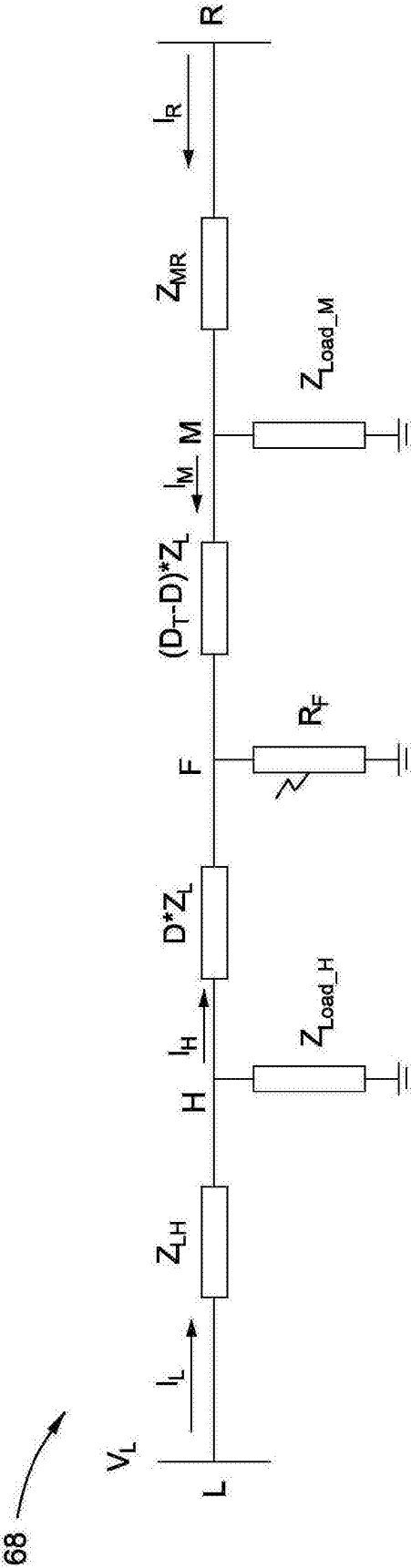


图14

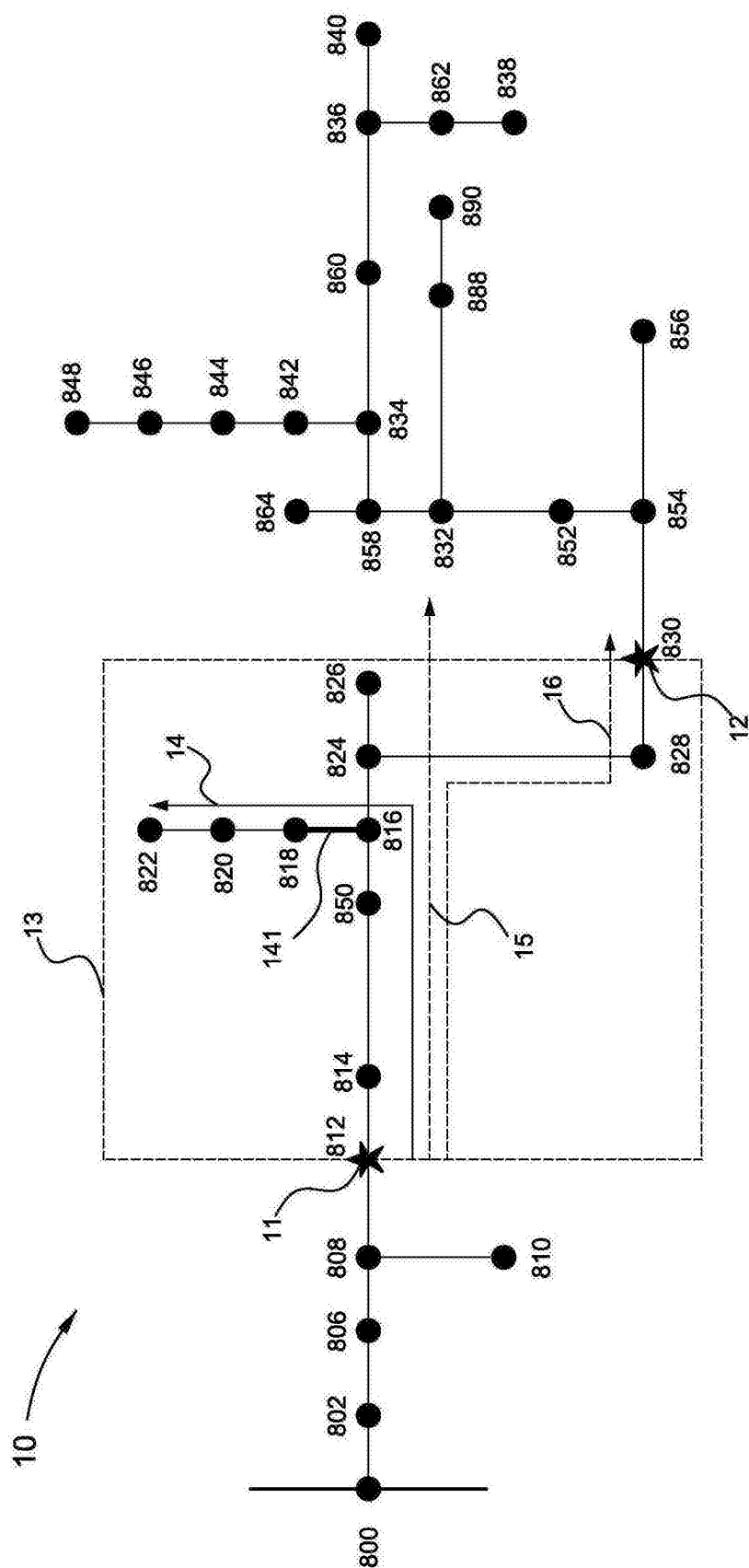


图15

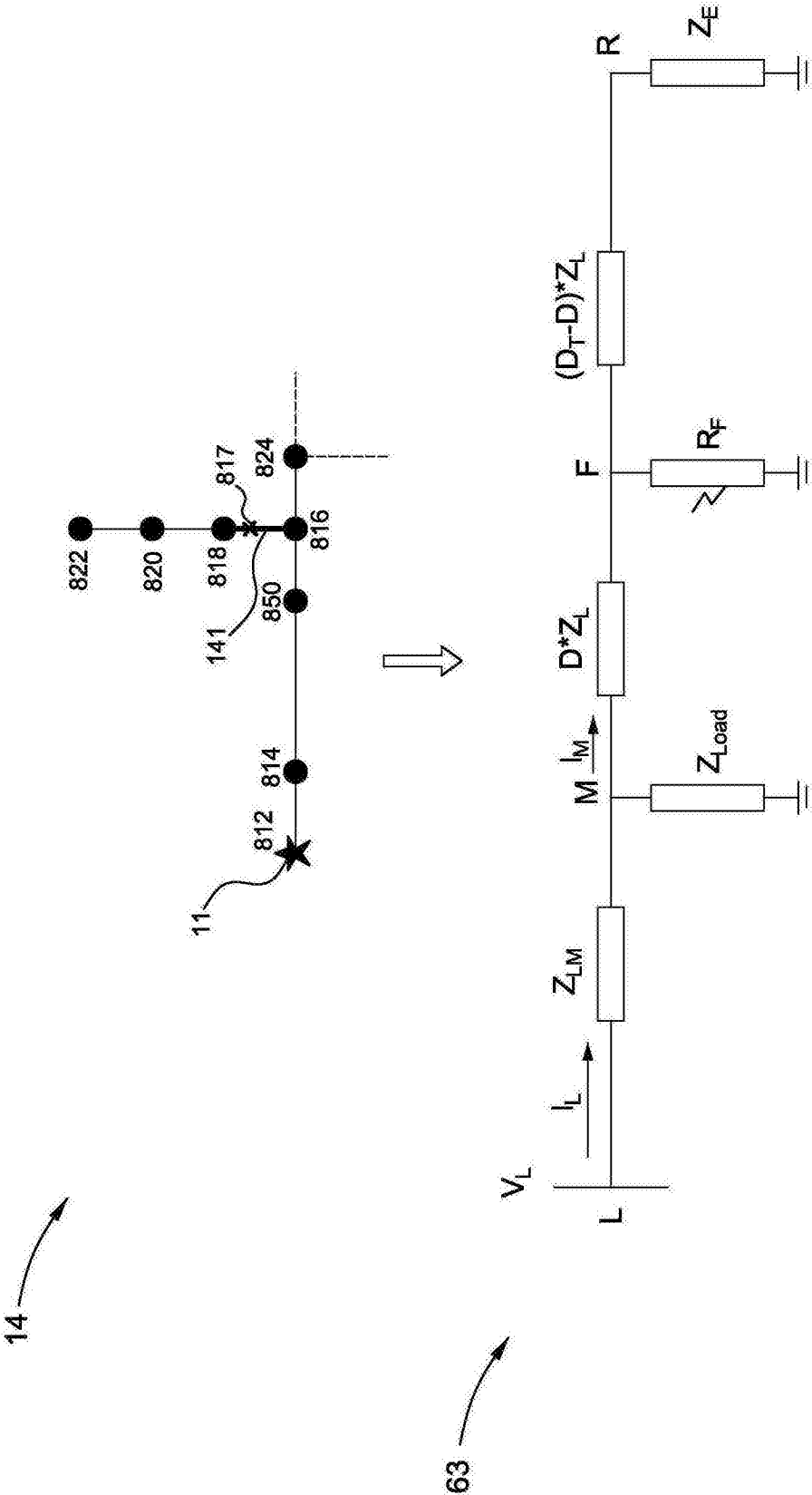


图16

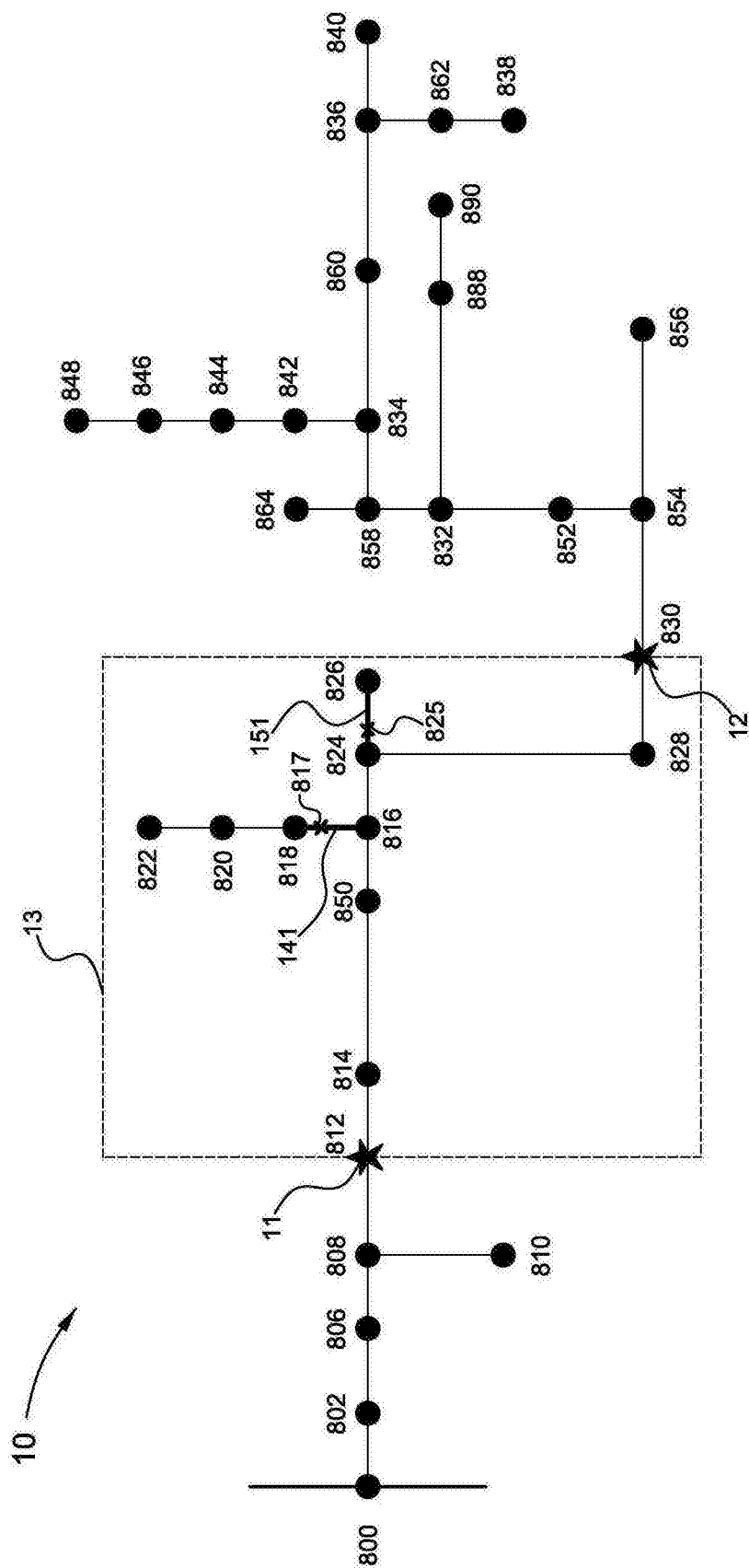


图17

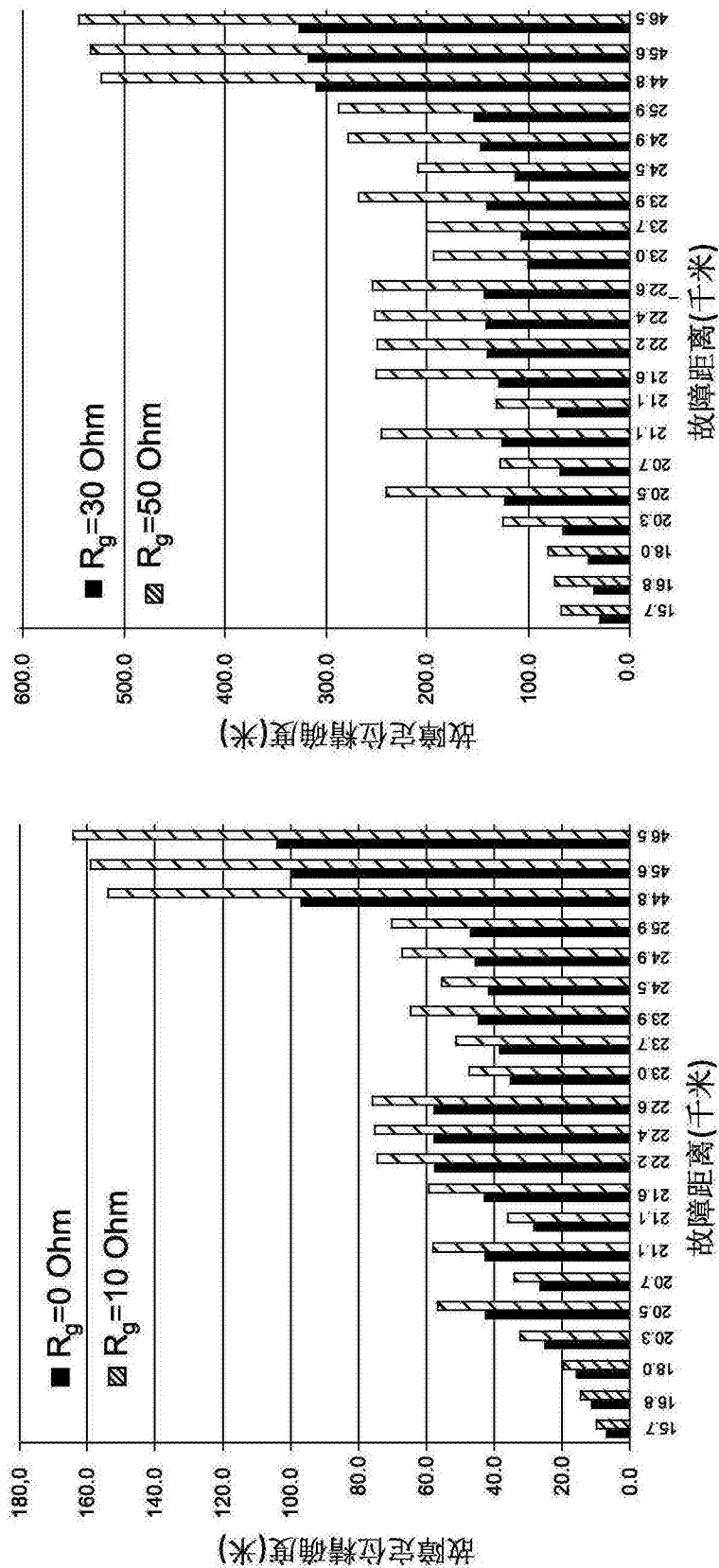


图18