一种基于电压等级拓扑分析法的站域孤岛判断方法

华秀娟[1]，姜　淼[1]，徐光福[1]，丁晓兵[2]，魏承志[2]，余群兵[1]
（1. 南京南瑞继保工程技术有限公司，江苏 南京 211102；
2. 中国南方电网电力调度控制中心，广东 广州 510623）

摘　要：基于通信的站域防孤岛保护借助站域网络通信平台可快速实现孤岛拓扑判断，可弥补主动式和被动式防孤岛保护原理的不足。针对目前基于固定网架结构分析的站域孤岛判断方法不具备普遍适用性的问题，提出了一种基于电压等级拓扑分析法的站域孤岛判断方法，利用电力系统各节点的电压等级不尽相同的特点来优化搜索路径。与全矩阵自乘法和树状搜索法的对比分析验证了所提方法具有算法简单、占用内存资源较小、计算速度快的特点，适合于站域保护装置应用且适用于电力系统各种网架结构。另外文中还提出断路器位置容错校验防误机制，进一步加强保护算法的可靠性。

关键词：站域孤岛判断方法；拓扑分析；电压等级；断路器容错校验
中图分类号：TM744　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**2096-3203(2018)04-0097-06

0　引言

近年来，能源需求和环境保护促进了分布式电源（distributed generation，DG）爆发式的增长，非计划性孤岛对电网恢复供电、人身安全、用电设备等带来的不利影响也愈加显著[1-3]。因此，如何安全、快速、准确地切除 DG，防止非计划孤岛运行成为研究的热点。

目前防孤岛保护体系主要包括逆变器侧防孤岛保护和并网点侧防孤岛保护，分别采用主动式防孤岛保护原理和被动式防孤岛保护原理。逆变器侧主动式防孤岛保护采取注入扰动的方式判断孤岛[3-4]，检测到孤岛后跳逆变器的接触器。这种方式虽然检测精度较高，但可能影响电能质量，且多个逆变器同时作用可能产生稀释效应，1 台逆变器未能可靠跳闸会导致非计划性孤岛就仍然存在。并网点侧被动式防孤岛保护采用电压、频率判据，原理简单，但存在检测盲区，且动作时间必须与线路保护配合，动作较晚等问题。

鉴于以上问题，站域防孤岛概念被提出。随着智能变电站的发展[5-7]，基于 IEC 61850 的网络化通信技术越来越成熟[8]，为站域防孤岛保护的实现奠定了基础。利用全站信息共享的优势收集站域侧相关开关量和模拟量信息，并进行系统状态分析以判断非计划孤岛状态，保证了非计划孤岛产生时立即发出跳闸命令，切除 DG，动作快速且有效，弥补了逆变器侧和并网点防孤岛保护装置的不足。

目前的站域防孤岛保护试点模式一般都是基于固定的网架基础[9]进行孤岛判断，采用的是拓扑枚举法，不具备普遍适用性，网络架构变化后就得重新修改程序。针对这一问题，提出了一种基于电压等级的拓扑分析法[10-12]来实现站域孤岛判断。在传统深度优先搜索法的基础上，将节点电压等级纳入到算法之中，极大地提高了搜索效率。同时对断路器位置采取容错校验的防误机制，保证算法的准确性和可靠性，适用于电力系统任何网架结构。最后，采用 MATLAB 对不同算法进行仿真，通过算例分析验证了本文算法的可执行性和高效性。

1　电力系统拓扑分析

基于电压等级拓扑分析法首先需要分析系统的拓扑结构[13]。本节简单介绍站域防孤岛保护中待分析系统拓扑结构的形成过程。

1.1　节点分类

为了分析更全面，本文以图 1 复杂系统为例对电力系统进行拓扑分析。将电力系统中的节点分成 4 类：系统电源、母线或者分支交点、DG、负荷。母线和分支交点在站域防孤岛保护分析中因为功能类似，被划为一类，如图 1 中节点 4、5、6、7、8、9、10、11、12；对于变电站而言，进线视为系统电源，如图中节点 1、2、3；负荷不影响孤岛判断，不纳入拓扑分析考虑；DG 如图中节点 13、14。节点之间的连通性由断路器位置决定，断路器为闭合状态，则节点是连通的。

1.2　拓扑图

图 1 对应的一次接线的拓扑结构如图 2 所示。可以看出，站域防孤岛保护的孤岛判断就是通过寻

收稿日期：2018-03-15；修回日期：2018-04-11

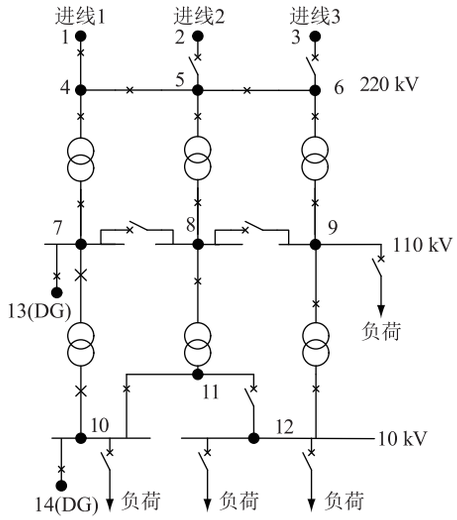


图 1　一次接线示例图

Fig.1　An example diagram of power system network

找 DG 节点与系统电源节点之间断路器全闭合的通路来判断两者之间的连通性。当 DG 节点与所有系统电源节点都不具备连通性时，认为此时发生孤岛现象，孤岛内包含该 DG 节点。

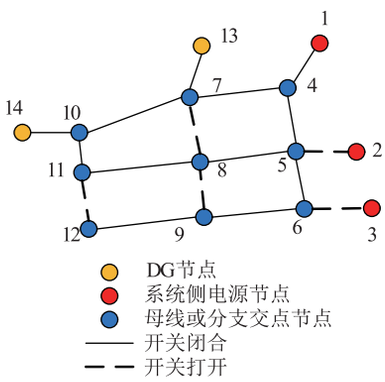


图 2　一次接线拓扑结构

Fig.2　Topology diagram of power system network

2　一种基于电压等级拓扑分析法的站域孤岛判断方法

2.1　邻接矩阵

为了得到 DG 节点与电源节点之间的连通性实现孤岛判断，本文用邻接矩阵[14]来存储电气一次接线拓扑图 2 中的节点信息，如矩阵 $\boldsymbol{A}$ 所示。$\boldsymbol{A}_{ij}$代表节点 i 与节点 j 的直接连通关系，为 1 代表节点 i 与节点 j 之间直接连通，为 0 则表示两节点不直接相连或断路器是断开的。由矩阵 $\boldsymbol{A}$ 可看出，邻接矩阵是对称的，因此只须存储上三角以减少所需的存储空间。在系统节点过多时可能存在邻接矩阵过大的问题，由于邻接矩阵中非零元素较少，可以采用稀疏矩阵来进一步减少所需存储空间。

$$\boldsymbol{A}=\begin{bmatrix}
1&0&0&1&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\\
0&1&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\\
0&0&1&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\\
1&0&0&1&1&0&1&0&0&0&0&0&0&0\\
0&0&0&1&1&1&0&1&0&0&0&0&0&0\\
0&0&0&0&1&1&0&0&1&0&0&0&0&0\\
0&0&0&1&0&0&1&0&0&1&0&0&1&0\\
0&0&0&0&1&0&0&1&0&0&1&0&0&0\\
0&0&0&0&0&1&0&0&1&0&0&1&0&0\\
0&0&0&0&0&0&1&0&0&1&1&0&0&1\\
0&0&0&0&0&0&0&1&0&1&1&0&0&0\\
0&0&0&0&0&0&0&0&1&0&0&1&0&0\\
0&0&0&0&0&0&1&0&0&0&0&0&1&0\\
0&0&0&0&0&0&0&0&0&1&0&0&0&1
\end{bmatrix} \tag{1}$$

2.2 基于电压等级的拓扑分析法

邻接矩阵 $\boldsymbol{A}$ 是表示节点间直接连接的矩阵，可以通过全矩阵自乘法[15-16]和树状搜索法[17-19]进一步分析任意两个节点间的连通性。

全矩阵自乘法是通过纯矩阵自乘计算来得到任意两个节点间连通性的全连通矩阵，总节点数为 N 的系统至多进行 $N-2$ 次矩阵自乘。这种方法运算量很大，计算费时，不适合作为保护算法，并且站域防孤岛保护本质上是判断 DG 节点与系统电源节点的拓扑连通性[20-21]，不需要得到所有节点的连通性，因此不采用全矩阵自乘法。

树状搜索法以深度优先遍历法（depth-first search，DFS）和广度优先遍历法（breadth-first search，BFS）为主要代表，DFS 和 BFS 的遍历序列有多种，不同的遍历序列对站域防孤岛保护而言搜索效率不同。另外 DFS 需要回溯，存在不必要的重复搜索；BFS 采用按层搜索，逐层进行，虽一定程度上避免 DFS 存在的节点重复搜索问题，但对站域防孤岛而言也存在不必要的搜索，且和 DFS 一样，搜索效率与电网的网络结构密切相关。

对站域防孤岛保护而言，保护进行孤岛判断所用的网络结构只是电网中的一部分，寻找 DG 节点与电源节点之间的连通路径与树状搜索法的理念相通，因此本文提出一种基于电压等级拓扑分析法，基于树状搜索法的思想，通过设置电压等级来提高搜索的效率，实现孤岛判断。

在电力系统变电站中，系统电源一般都处于分析系统的最高电压等级处。因此从一个 DG 节点开始搜索的时候，优先选择与其连通的节点中电压等级最高的节点开始搜索；如若出现若干个电压等级相同的最高电压等级节点，则依次进行搜索。这样

可以有效避免搜索系统电源不可能存在的低电压等级节点,减少无效搜索。例如,从节点 n 搜索节点 m,k,j 时,如果节点 m 的电压等级高于 k,j,则只搜索 m;若 m,k 电压等级相同且高于 j,则依次搜索 m,k。

为避免搜索电压等级低的节点以及重复搜索节点,使用禁忌表 T_{tab} 来记录搜索历史。例如从节点 n 搜索 m 时,如果发现禁忌表 $T_{tab}(n,m)$ 为 1,则不会搜索节点 m。在节点搜索过程中,将已经搜过的节点与节点之间的禁忌表 T_{tab} 相应值置 1,表示已经搜索过。同样的 $\boldsymbol{T}_{tab}$ 具有对称和稀疏特性,可以采用稀疏矩阵技术节省存储空间。通过以上方法,可以大大减小搜索节点数提高搜索效率。

当所有节点搜索完毕之后,仍然没有电源节点则判定为孤岛;如果搜索到电源节点则停止搜索,判定 DG 不是孤岛。例如,从节点 n 搜索节点 m,k,j 时,若节点 m,k,j 没有连通更高或相同电压等级节点,且都不是系统电源则判定为孤岛;若节点 m,k,j 存在一个是系统电源则判定不是孤岛。

本文算法的流程如图 3 所示,定义节点总个数 N,起始搜索节点编号 m;节点类型向量 $\boldsymbol{N}_T$,存储每个节点类型;节点电压等级向量 $\boldsymbol{N}_V$,存储每个节点的电压等级高低。通过记录循环次数 n,来防止搜索中出现异常死循环并校验算法。

从上述基于电压等级的拓扑分析法的介绍可知,该方法与电网结构无关,无论是链式结构、环形结构还是网形结构都能够适用。

2.3 断路器位置容错校验的防误机制

本文算法在实际应用中需要较多的断路器位置信号,智能变电站中一般采用站控层或过程层通信(GOOSE)方式传输断路器位置信息,GOOSE 传输方式无论采用点对点或者组网方式都存在因为通讯故障而造成断路器位置信号无效的可能性。另外断路器本身也有可能存在位置异常的现象。不同断路器位置的异常或无效对算法的结果影响可能不同,有的断路器对搜索结果没有影响,有的则会直接决定是否是孤岛。

当断路器位置异常或无效时,可以通过报警并闭锁保护的方式来处理,也可以通过以下断路器位置容错校验防误机制来避免误发孤岛跳闸命令:假设对图 1 中节点 13 的 DG 进行孤岛判断,当邻接矩阵 $\boldsymbol{A}_{78}$ 对应的断路器位置出现异常,算法首先置 $\boldsymbol{A}_{78}$ 为 0 进行搜索,若搜索结果不为孤岛,则结束搜索;若搜索结果是孤岛,则置 $\boldsymbol{A}_{78}$ 为 1 再次进行搜索。如果搜索结果和为 0 状态时相同,说明该断路器位置对该 DG 的孤岛判定没有影响,保护按照搜索结果发孤岛跳节点 13 的命令;如果搜索结果不同,说明该断路器位置对该 DG 的孤岛判定具有决定性影响,闭锁发孤岛跳节点 13 的命令。

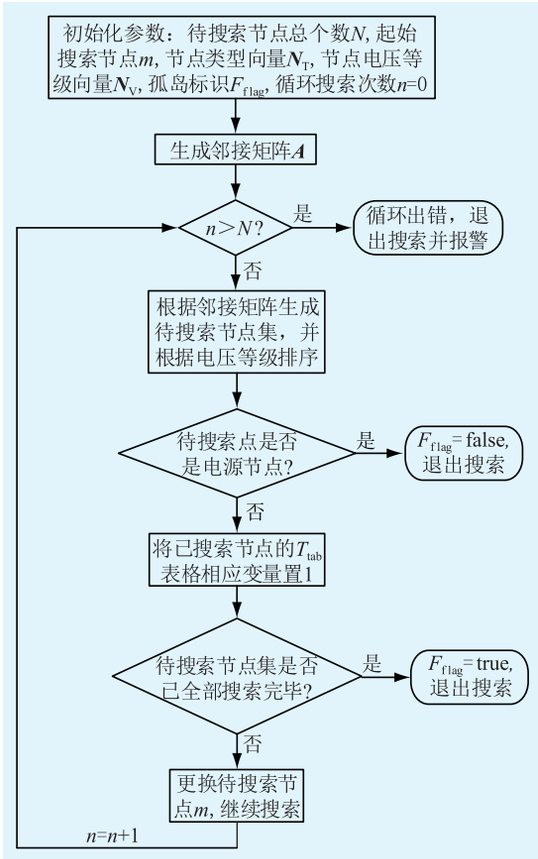


图 3 算法流程

Fig.3 Algorithm flow chart

2.4 算法对比理论分析

从时间复杂度与空间复杂度角度分析比较全矩阵自乘、树状搜索、基于电压等级拓扑分析法,结果如表 1 所示。表 1 中,V 表示拓扑图中节点个数,E 表示图中边个数,D 为 DG 节点个数。从中可以得知,全矩阵自乘算法的时间复杂度与空间复杂度最大,不适合作为保护算法;树状搜索算法与本文所提算法时间复杂度与空间复杂度较优,后者因为需要电压等级信息所以空间复杂度比前者多了 V,但是时间复杂度下降了 $D\times E$。对于保护算法来说,降低时间复杂度更为重要,而且本文所提算法的空间复杂度也是足以满足实际运行要求的。

表 1 3 种算法复杂度比较

Tab.1 Complexity comparison of three algorithms

复杂度	全矩阵自乘法	树状搜索法	本文方法
时间复杂度	$O(V^4)$	$O[D\times(V+E)]$	$O(D\times V)$
空间复杂度	$O(V^2)$	$O(2V+E)$	$O(3V+E)$

3 算例仿真分析

目前,基于电压等级拓扑分析法的站域孤岛判断方法已经在保护装置中实现,以下内容是MATLAB用不同算法呈现图2和图4中拓扑的站域孤岛判断的仿真结果,通过对比分析,进一步验证了本文方法应用于孤岛判断的正确性以及高效性。图2对应拓扑图中未形成孤岛,孤岛状态如图4所示。

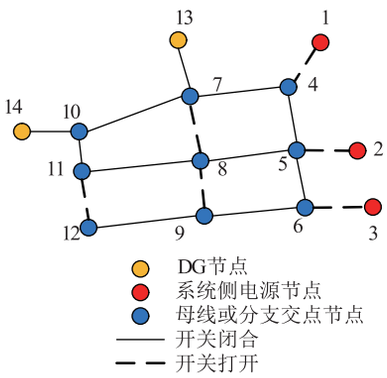


图4 孤岛情况下的拓扑结构

Fig.4 Topology diagram in the case of island

3.1 搜索路径对比

全矩阵自乘是纯算法,因此本文以BFS算法作为对比,两种算法的仿真结果如表2。

表2 两种算法的搜索路径

Tab.2 The search path of the two algorithms

项目	算法			
	本文方法		BFS	
搜索起始DG	节点13	节点14	节点13	节点14
图2搜索路径及结果	13-7-4-1,节点13未形成孤岛	14-10-7-4-1,节点14未形成孤岛	13-7-4-10-1,节点13未形成孤岛	14-10-7-11-4-13-8-1,节点13未形成孤岛
图4搜索路径及结果	13-7-4-5-6,节点13形成孤岛	14-10-7-4-5-6,节点14形成孤岛	13-7-4-10-5-11-14-6-8-9-12,节点13形成孤岛	14-10-7-11-4-13-8-5-6-9-12,节点14形成孤岛
结论	正确,路径最短	正确,路径最短	正确,路径较长	正确,路径较长

由表2可看出,采用本文提出的基于电压等级拓扑分析法来判断孤岛,仿真得出的孤岛结论与实际情况一致,对比BFS搜索路径,基于电压等级拓扑分析法的搜索路径为最优搜索路径。

3.2 搜索时间对比

对比全矩阵自乘、BFS、基于电压等级拓扑分析法的运行速度,对于图2拓扑结构,3种算法分别运行50 000次,搜索时间记录如表3所示。

表3 运行时间对比

Tab.3 Running time comparison

算法	时间/s
全矩阵自乘法	9.786
BFS	8.271
本文方法	7.177

表3中的仿真结果再次验证了全矩阵自乘算法最慢,不适合作为保护算法,本文所提算法速度最快,得益于优先搜索高电压等级的搜索策略减少了无效搜索路径,相对于BFS算法的速度提高约15%,算法运行速度优越性十分明显。实际上,随着网架结构复杂化以及节点增多,基于电压等级拓扑分析法的速度优势愈加明显。

4 结语

站域防孤岛保护通过网络通信可快速实现孤岛拓扑判断。目前基于固定网架结构的站域防孤岛保护方法限制了保护的适用范围,使得站域防孤岛保护不能被广泛使用,本文提出了一种基于电压等级拓扑分析法来实现站域孤岛判断。利用电力系统电压等级特征来优化树状搜索路径,有效地避免了传统全矩阵自乘算法计算量大以及传统树状搜索算法搜索效率低的缺点,显著提升了算法速度,同时采用断路器位置容错校验的防误机制,保证了算法结果的可靠性。通过算例验证,本文算法可靠且有效、运算速度较快、适用于电力系统各种网架结构,具有实际应用价值。

参考文献:

[1] 王希舟,陈 鑫,罗 龙,等. 分布式发电与配电网保护协调性研究[J]. 继电器,2006,34(3):15-19.
WANG Xizhou,CHEN Xin,LUO Long,et al. Research on the coordination of distributed generation and distribution system protection[J]. Relay,2006,34(3):15-19.

[2] 张颖璐,诸葛萱,石 浩,等. 防止分布式光伏10 kV并网点倒送电安措技术研究[J].江苏电机工程,2015,34(4):32-35.
ZHANG Yinglu,ZHUGE Xuan,SHI Hao,et al. Research on countermeasures for preventing reverse power supply of 10 kV distributed photovoltaic power generation at grid connection point [J]. Jiangsu Electrical Engineering,2015,34(4):32-35.

[3] 袁 超,吴 刚,曾祥君,等. 分布式发电系统继电保护技术[J]. 电力系统保护与控制,2009,37(2):99-105.
YUAN Chao,WU Gang,ZENG Xiangjun,et al. Protection technology for distributed generation systems[J]. Power System Protection and Control,2009,37(2):99-105.

[4] 程启明,王映斐,程尹曼,等. 分布式发电并网系统中孤岛检测方法的综述研究[J]. 电力系统保护与控制,2011,39(6):147-154.

CHEN Qiming, WANG Yingfei, CHENG Yinman, et al. Overview study on islanding detecting methods for distributed generation grid-connected system [J]. Power System Protection and Control,2011,39(6):147-154.

[5] 李孟超,王允平,李献伟,等. 智能变电站及技术特点分析[J]. 电力系统保护与控制,2010,38(18):59-62.
LI Mengchao,WANG Yunping,LI Xianwei,et al. Smart substation and technical characteristics analysis[J]. Power System Protection and Control,2010,38(18):59-62.

[6] 刘世丹, 袁亮荣, 曾耿晖,等. 基于同步功能改进的智能变电站区域保护系统[J]. 广东电力,2017,30(7):35-39.
LIU Shidan, YUAN Liangrong, ZENG Genghui, et al. Regional protection system of intelligent substation based on synchronization improvement[J]. Guangdong Electric Power,2017,30(7):35-39.

[7] 李志坚,潘书燕,宋 斌,等. 智能变电站站域保护控制装置的研制[J]. 电力系统自动化,2016,40(13):107-113.
LI Zhijian,PAN Shuyan,SONG Bin,et al. Development of substation-area protection and control device in smart substation [J]. Automation of Electric Power Systems,2016,40(13):107-113.

[8] 魏承志,王 凯,文 安,等. 基于站域保护的简易母线研究[J]. 江苏电机工程,2016,35(2):72-76.
WEI Chengzhi,WANG Kai,WEN An,et al. Study on substaion-area protection based simple bus protection [J]. Jiangsu Electrical Engineering,2016,35(2):72-76.

[9] 李育燕,薛健斌,孙玉彤 等. 220 kV 琴韵 3C 绿色变电站站域防孤岛保护实现方法[J]. 电力自动化设备,2013,33(6):152-156.
LI Yuyan,XUE Jianbing,SUN Yutong,et al. Realization of station-domain islanding protection for 220 kV Qinyun 3C green substation[J]. Electric Power Automation Equipment,2013,33(6):152-156.

[10] 张俣好,马 静,王增平. 利用拓扑基与半径搜索法识别厂站内拓扑[J]. 电网技术,2013,37(9):2664-2668.
ZHANG Yuyu,MA Jing,WANG Zengping. Identification of topology inside substation by basis and radius search method[J]. Power System Technology,2013,37(9):2664-2668.

[11] 王增平,张晋芳,张亚刚. 基于开关路径函数集的新型厂站内网络拓扑方法[J]. 中国电机工程学报,2013,33(1):137-144.
WANG Zengping,ZHANG Jinfang,ZHANG Yagang. A novel substation configuration identification algorithm based on the set of breaker-path functions[J]. Proceedings of the CSEE, 2013,33(1):137-144.

[12] 姚玉斌,王 丹,吴志良,等. 方程求解法网络拓扑分析[J]. 电力自动化设备,2010,30(1):79-93.
YAO Yubin,WANG Dan,WU Zhiliang,et al. Network topology analysis by solving equations[J]. Electric Power Automation Equipment,2010,30(1):79-93.

[13] 张 宏,郭宗仁. 配电网拓扑结构等效解耦的方法[J]. 电网技术,2004,28(15):88-91.
ZHANG Hong,GUO Zongren. Methods for topology equivalent uncoupling of distribution system[J]. Power System Technology,2004,28(15):88-91.

[14] 邱 生,张 焰,孙建生,等. 用邻接表保存中压配电网拓扑结构[J]. 电力系自动化设备,2005,25(3):57-59.
QIU Sheng,ZHANG Yan,SUN Jiansheng,et al. Adjacency list saving topology structure of mid-voltage distribution system [J]. Electric Power Automation Equipment,2005,25(3):57-59.

[15] 苏义荣,邱淘西,邱家驹. 配电网络拓扑分析方法的研究[J]. 浙江电力,2001,20(5):9-13.
SU Yirong,QIU Taoxi,QIU Jiaju. Study on topology analysis for distribution network[J]. Zhejiang Electric Power,2001,20(5):9-13.

[16] GODERYA F, METWALLY A A, ANSOUR O. Fast detection and identification of islands in power networks [J]. IEEE Transaaactions on Power Apparatus and Systems, 1980, 99(1):217-221.

[17] 竺 炜,穆大庆. 电力网络实时拓扑分析的两种算法的实现[J]. 长沙电力学院学报(自然科学版),2001,16(2):23-25.
ZHU Wei, MU Daqing. Two methods of power network topology analysis [J]. Journal of Changsha University of Electric Power(Natural Science),2001,16(2):23-25.

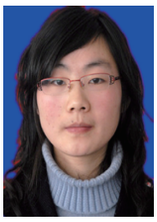
[18] PRAIS M,BOSE A. A topology processor that tracks networkk modifications[J]. IEEE Transactions on Power Systems,1988, 3(3):992-998.

[19] YEHSAKUL P D , DABBAGHCHI I. A topology-based algorithm for tracking network connectivity [J]. IEEE Transactions on Power Systems,1995,10(1):339-346.

[20] 张俣好. 电力网络拓扑快速识别方案研究[D]. 北京:华北电力大学,2014.
ZHANG Yuyu. Research on fast identification of power network topology analysis [M]. Beijing :North China Electric Power University,2014.

[21] 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 Xiaoping,ZHOU Hongxin. Coloured petri-net models for topology analysis of power networks[J]. Power System Technology,2000,24(12):5-10.

作者简介:


华秀娟

华秀娟(1984—),女,硕士,工程师,从事电力系统继电保护、分布式发电保护产品研发工作(E-mail:huaxj@nrec.com);

姜 淼(1989—),男,硕士,工程师,从事分布式发电保护产品研发工作(E-mail:jiangmiao@nrec.com);

徐光福(1982—),男,硕士,高级工程师,从事电力系统继电保护、分布式发电保护控制产品的研发工作。

(下转第 131 页)

Two-terminal Fault Location Method Based on Amplitude of Function and Line Equal Partition

LI Cheng, YUAN Leipin, YAN Hui, SHAO Liang, ZHANG Yuling
(State Grid Wuxi Power Supply Company, Wuxi 214061, China)

Abstract: The high probability of transmission line short circuit fault is due to bad weather, external damage, insulation aging and bird damage. In order to accurately locate the fault location and speed up line repair, this paper proposed a two-terminal fault location method using voltage and current data. In this method, the uniform transmission line equation was used to derive a new fault location function based on the unsynchronized data on both sides of the line, and the specific fault point or searching range was obtained by the amplitude characteristic of the function and line equal partition method. At last, MATLAB simulation and calculation results show that the proposed fault location method is simple and easy by meeting the line-searching needs, the located result(fault point or searching range) can overcome transition resistance and the unsynchronized data on both sides of the line, and is applicable to all kinds of short circuit fault type.

Key words: uniform transmission line; amplitude of function; equal partition method; fault location

(编辑　陈　娜)

(上接第 101 页)

A Station Domain Islanding Judgment Method Based on Voltage Class Topology Analysis

HUA Xiujuan[1], JIANG Miao[1], XU Guangfu[1], DING Xiaobing[2], WEI Chengzhi[2], YU Qunbing[1]
(1. Nanjing Nari-Relays Electric Co., Ltd., Nanjing 211102, China;
2. Power Dispatching and Control Center of China Southern Power Grid, Guangzhou 510623, China)

Abstract: Based on the network communication platform, the islanding protection in the station domain can quickly realize the islanding state judgment which can make up for the deficiency of the principle of active and passive island protection. The current station-domain islanding judgment method which is based on the fixed grid structure analysis does not have universal applicability, so this paper proposes a method based on voltage class topology analysis to judge the isolated island in the station domain, in which the different voltage class characteristics is used to optimize the search path. Compared with the full matrix self multiplication and traditional tree search method, the proposed method is simple, small in memory and fast in computation. It is proved that the method is feasible and applicable to all kinds of grid structures in power system. In addition, this paper also puts forward the error prevention mechanism through the switch position fault tolerance verification to further strengthen the reliability of the protection algorithm.

Key words: judgment method of isolated island in station domain; topology analysis; voltage class; fault tolerance check for circuit breaker

(编辑　钱　悦)