

文章编号:1671-251X(2017)04-0055-05

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2017.04.013

程学珍,林晓晓,朱春华,等.含分布式电源的配电网故障诊断方法[J].工矿自动化,2017,43(4):55-59.

含分布式电源的配电网故障诊断方法

程学珍^{1,2}, 林晓晓^{1,2}, 朱春华^{1,2}, 雷倩¹, 陈强^{2,3}

(1. 山东科技大学 电气与自动化工程学院, 山东 青岛 266590;

2. 山东科技大学 矿山灾害预防控制省部共建国家重点实验室培育基地, 山东 青岛 266590;

3. 国网福建省电力有限公司 莆田供电公司, 福建 莆田 351100)

摘要:分布式电源接入配电系统后会改变配电网故障电流的大小和方向,使配电网故障诊断复杂化。针对该问题,提出了基于故障功率方向判据和 Petri 网的配电网故障诊断方法。该方法利用上传和实测双重故障信息实现冗余纠错,快速诊断出故障区域,提高了含分布式电源的配电系统故障诊断的准确性、容错性;利用 Petri 网独特的图形描述和并行处理能力,保证了故障定位模型的通用性和故障诊断的快速性。算例仿真结果验证了该方法的可行性、有效性。

关键词:配电网;分布式电源;Petri 网;故障诊断;故障定位

中图分类号:TD611 文献标志码:A 网络出版时间:2017-03-28 17:29

网络出版地址:<http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20170328.1729.013.html>

Fault diagnosis method of distribution network with distributed generation

CHENG Xuezhen^{1,2}, LIN Xiaoxiao^{1,2}, ZHU Chunhua^{1,2}, LEI Qian¹, CHEN Qiang^{2,3}

(1.College of Electrical Engineering and Automation, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266590, China; 2.State Key Laboratory of Mining Disaster Prevention and Control Co-founded by Shandong Province and the Ministry of Science and Technology, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266590, China; 3.Putian Power Supply Company, State Grid Fujian Electric Power Company, Putian 351100, China)

Abstract:It can change magnitude and direction of fault current of distributed network after distributed generation was connected to power distribution system, which made fault diagnosis of power distribution system complicated. For the above problem, a fault diagnosis method of distribution network based on power direction criterion and Petri net was proposed. The method uses uploading and measured double fault information to realize redundant error correcting, and can accurately and quickly diagnose fault areas, so as to improve fault diagnosis accuracy and fault tolerance of distribution system with distributed generation. At the same time, the method uses unique graphic description and parallel processing ability of Petri nets to ensure universality of fault location model and rapidity of fault diagnosis. The example simulation results verify feasibility and effectiveness of the proposed method.

Key words: power distribution network; distributed generation; Petri net; fault diagnosis; fault location

收稿日期:2016-11-18;修回日期:2017-02-09;责任编辑:张强。

基金项目:国家自然科学基金重大项目(U1261205);国家自然科学基金项目(61503224);山东省重点研发计划项目(2016GSF117009);青岛市黄岛区科技计划项目(2014-2-29)。

作者简介:程学珍(1964—),女,山东沂水人,教授,博士研究生导师,博士,主要研究方向为检测技术及新型传感器、电力系统自动化,E-mail:zhenxc6411@163.com。

0 引言

随着电力系统的快速发展,越来越多的分布式电源接入配电系统,因此,配电网结构越来越复杂。当配电网发生故障时,准确高效地找出故障点或区域是快速隔离和尽快恢复供电的前提条件,对提高配电系统可靠性具有重要意义。

近年来,学者们提出了许多电网故障智能诊断算法,如基于专家系统^[1-2]、基于神经网络^[3-4]、基于模糊集理论^[5]、基于 D-S 证据理论^[6]等故障诊断方法。Petri 网作为离散事件数学表示和行为分析的一种方法,在解决系统异步并发、分步并行方面具有优势。因此,一些学者将 Petri 网理论应用到电网故障诊断中^[7]。如文献[8-9]对每个元件建立故障诊断的模糊 Petri 网模型,根据收集到的警报信息赋予相应的初始概率值并进行故障推理。文献[10]建立了故障区域的 Petri 网模型,并对故障模型结构进行了优化设计,避免了矩阵维数的过大。文献[11-12]提出了一种基于加权模糊推理算法的 Petri 网诊断方法,针对保护和断路器动作对故障诊断的影响力不同,设定不同的权值建立模糊 Petri 网模型,通过矩阵的简单迭代计算进行模糊推理,提高了模型的容错性。以上基于 Petri 网的故障诊断方法主要利用继电保护和断路器的动作信息判断故障元件或故障区域,大多应用于输电系统。而在配电网中,保护配置不同于输电系统,因此,基于继电保护和断路器信息进行建模的故障诊断 Petri 网模型不适用于配电系统。文献[13]根据电气量和保护动作信息,采用基于冗余嵌入 Petri 网的方法进行故障诊断,文献[14]充分利用电流判据和电压判据,通过结合概率信息的 Petri 网进行故障定位。以上方法可以有效解决无源配电网故障定位问题。但是分布式电源(Distributed Generation, DG)接入配电网后,会改变配电网故障电流的大小和方向,所以,上述方法对于含分布式电源的配电网故障定位有一定的局限性。针对以上问题,本文提出了一种基于故障功率方向判据和 Petri 网的配电网故障诊断方法,利用双重故障信息实现冗余纠错,能够准确判断出故障区域。

1 Petri 网基本理论

1.1 基本 Petri 网

库所、变迁及它们之间的流通关系可构成一个基本 Petri 网^[15]。库所中的托肯(token)表示该库

所所处的状态,变迁表示在使能状态下对事件的处理,即库所的状态发生变化且达到一定条件时变迁将被触发,托肯将由一个库所转移到下一个库所,使得下一个库所的状态发生改变。

1.2 带抑制弧的 Petri 网

带抑制弧的 Petri 网可定义为一个 6 元组:

$$S = \{P, T, C, M, I, P^0\} \quad (1)$$

式中: P 为一个有限的库所集, $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$, 用图形“○”表示; T 为一个有限的变迁集, $T = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$, 且 $P \cap T = \Phi$, 用图形“|”表示; $C: P \rightarrow T$, C 为子网的关联矩阵($n \times m$), 描述网络的拓扑结构, $C = [c_{ij}]$; M 为网的标志向量; $I \subset P \times T$, 称为抑制弧集, $I \cap C = \Phi$, 对 $t \in T$, 如果 ① $\forall p \in P: (p, t) \in C \rightarrow M(p) \geq 1$, 则 t 在标志向量 M 有发生权; ② $\forall p \in P: (p, t) \in I \rightarrow M(p) = 0$, 则 t 在标志向量 M 没有发生权; P^0 为各库所初始状态。

当库所 p_i 指向变迁 t_j 时, $c_{ij} = -1$; 当变迁 t_j 指向库所 p_i 时, $c_{ij} = 1$; 没有关联时, $c_{ij} = 0$ 。(P, T, C) 构成一个基本 Petri 网。

2 基于 Petri 网的配电网故障定位模型

故障发生后,配电网控制中心汇集各终端节点所监视馈线的功率方向信息(设定由系统电源提供的功率短路方向为正,上传信息和实测功率短路方向为正方向时,相应库所初始赋值为 1,即获得托肯,反方向时赋值为 0),同时利用实际测量功率方向进行冗余纠错。

2.1 基于功率方向信息的故障诊断原理

配电网中,将开关或未梢点围成的、其中不再包含开关的子网称作最小配电区域,简称区段。最小配电区域是配电网中所能隔离的最小单元,也是负荷转移的最小单元^[14]。本文的故障定位方法是以区段为单位进行的。对于含分布式电源的配电网,基于功率方向信息的故障诊断原理如下:

规则 1 根据故障功率方向就可以实现故障定位,终端中只需要判断出故障功率方向前后相反的区段即可,故障区段的特征是该区段前后终端上传的故障功率方向相反,即故障区段故障功率流向故障处。

规则 2 对于含有多分支线路的馈线,当馈线主干线和分支入口处的终端故障功率同为正方向时,即可判断故障发生在此分支内,故障分支内定位故障区段可利用规则 1。

规则 3 上传实际测量的功率方向,若上报的

含分布式电源的配电系统如图 3 所示, S 为主网系统电源, DG_1 、 DG_2 、 DG_3 为分布式电源。S₁—S₁₇ 为

分段开关, $L_1—L_{17}$ 为馈线区段。假设故障后所有 DG 均继续并网运行以提高供电可靠性, 根据配电系统图, 建立基于 Petri 网的含分布式电源的配电网故障定位模型, 如图 4 所示。

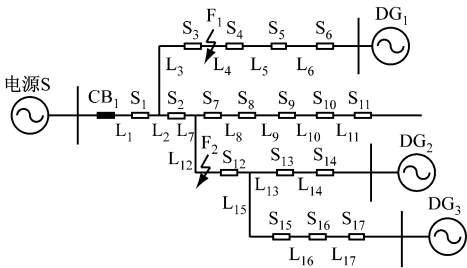


图 3 含分布式电源的配电系统

3.2 单一故障

当线路区段 L_4 发生故障 F_1 时, 终端 CB_1 和 S_n 上传信号, 故障诊断时可将配电网分为 4 个部分, 分别为主线路、 DG_1 、 DG_2 、 DG_3 馈线部分。区段 L_4 发生故障, CB_1 动作, 由于系统电源作用, S_1 、 S_3 上传功率方向为正方向, 由于 DG_1 存在, S_4 、 S_5 、 S_6 上传功率方向为反方向, 由于未发生故障, 其他部分处于正常状态, 功率方向都为正方向。利用故障功率方向判据分配初始标志向量, 满足条件的变迁触发, 托肯向下传递直至达到稳定状态, 最终库所 L_4 存在托肯, 即区段 L_4 发生故障, 模型故障诊断结果正确。单一故障上传功率方向信息见表 2。

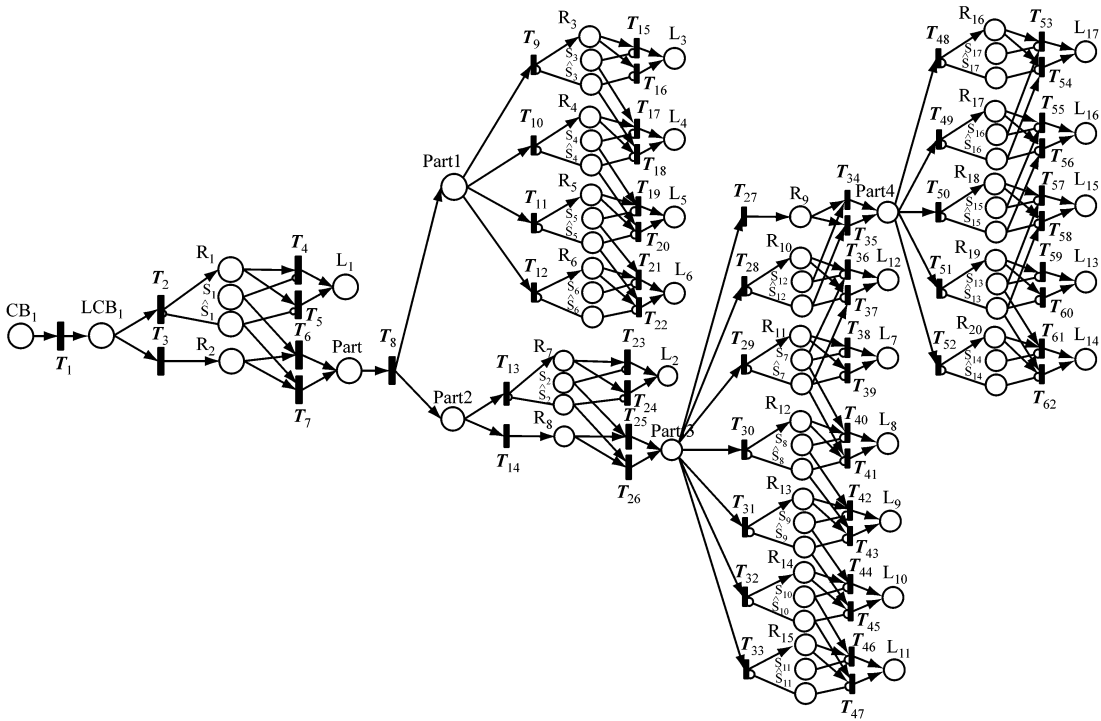


图 4 基于 Petri 网的含分布式电源的配电网故障定位模型

表 2 单一故障上传功率方向信息

主线路	CB_1	S_1	S_2	S_7	S_8	S_9	S_{10}	S_{11}
功率方向	1	1	1	1	1	1	1	1
DG_1	CB_1	S_1	S_3	S_4	S_5	S_6		
功率方向	1	1	1	0	0	0		
DG_2	CB_1	S_1	S_2	S_{12}	S_{13}	S_{14}		
功率方向	1	1	1	1	1	1		
DG_3	CB_1	S_1	S_2	S_{12}	S_{15}	S_{16}	S_{17}	
功率方向	1	1	1	1	1	1	1	

3.3 多重故障

当线路区段 L_4 和 L_{12} 同时发生故障 F_1 和 F_2 时, 各终端 CB_1 和 S_n 上传信息, 并根据故障功率方向判据分配初始标志向量, 见表 3, DG_1 部分分析同

单一故障, 不再赘述。 DG_2 和 DG_3 部分, 区段 L_{12} 发生故障, DG_2 和 DG_3 提供功率, S_{13} 、 S_{14} 由于 DG_2 作用, S_{15} 、 S_{16} 、 S_{17} 由于 DG_3 及 S_{12} 由 DG_2 、 DG_3 共同作用, 因此, $S_{12}—S_{17}$ 上传故障功率方向与正方向相反, 经过 Petri 网模型推理, 满足条件变迁触发, 托肯传递, 直至模型达到稳定状态, 库所 L_4 和 L_{12} 存在托肯, 其他库所 L_n 不存在托肯, 即区段 L_4 和 L_{12} 同时故障, 诊断结果正确。

3.4 诊断方法性能分析

3.4.1 模型通用性

模型通用性强, 当配电网系统拓扑结构发生变化时, 只需增减相应区段的模型部分即可, 如若 DG_1 部分要退出运行, 只要将模型中 Part1 部分删除即可。

表3 多重故障上传功率方向信息

主线路	CB ₁	S ₁	S ₂	S ₇	S ₈	S ₉	S ₁₀	S ₁₁
功率方向	1	1	1	1	1	1	1	1
DG ₁	CB ₁	S ₁	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆		
功率方向	1	1	1	0	0	0		
DG ₂	CB ₁	S ₁	S ₂	S ₁₂	S ₁₃	S ₁₄		
功率方向	1	1	1	0	0	0		
DG ₃	CB ₁	S ₁	S ₂	S ₁₂	S ₁₅	S ₁₆	S ₁₇	
功率方向	1	1	1	0	0	0	0	

3.4.2 容错性

假设数据传输过程中信号发生畸变或者丢失现象,利用实际测量故障功率方向对信号进行纠正,实测信号 $\hat{S}_i$ 独有的对变迁 T_i 的抑制弧,一旦实际测量故障功率方向为正方向时,则抑制变迁发生,防止由于上传信息畸变或丢失导致故障诊断错误,提高了电网故障诊断的容错性。除此之外,当区段 L_{13} 发生故障时,CB₁跳闸,S₁上传信息,故障功率方向为正方向,S₂发生信息丢失,S₁₂上传故障功率方向为正,S₁₃、S₁₄上传故障功率方向为反方向,根据上传信息判断,S₂丢失信息为故障功率方向正方向,S₁₂和S₁₃之间前后功率方向相反,区段 L_{13} 发生故障,信息丢失不影响故障诊断。

3.4.3 诊断速度

模型进行故障诊断时,S₁上传故障功率方向为正方向,L₁未发生故障,则Part获得托肯,变迁 T_8 满足条件触发,库所Part1和Part2同时获得托肯,Part1代表DG₁部分,Part2代表剩余部分,此时诊断同时在Part1和Part2进行,充分利用了Petri网并行处理的优势,大大提高了故障诊断的速度。

4 结语

分布式电源越来越多接入配电系统已经成为未来电网的发展趋势,但是由于分布式电源的存在会影响到故障电流的大小和方向,所以,传统的配电网故障诊断方法不再适用。基于故障功率方向判据和Petri网的配电网故障诊断方法充分利用上传和实测双重故障信息,保证了含分布式电源的配电系统故障诊断的准确有效;利用Petri网并行处理的优势,大大提高了故障诊断的速度。在信息缺失或发生畸变的多重复杂情况下,该方法仍能准确判断出配电网故障区域,满足了现代配电网故障诊断的需求。

参考文献:

[1] 赵伟,白晓民,丁剑,等. 基于协同式专家系统及多智能体技术的电网故障诊断方法[J]. 中国电机工程学报,2006,26(20):1-8.

[2] 段杰,王秀丽,侯雨伸,等. 基于模糊专家系统的输电线路分段冰风荷载等效停运率模型[J]. 电工技术学报,2016,31(8):220-228.

[3] 李文江,屈海峰,马云龙. 基于BP神经网络的矿井提升机故障诊断研究[J]. 工矿自动化,2010,36(4):44-47.

[4] 陈仕龙,谢佳伟,毕贵红,等. 一种特高压直流输电线路神经网络双端故障测距新方法[J]. 电工技术学报,2015,30(4):257-264.

[5] 罗宇锋,赵宇丹,陈曦辉. 基于模糊推理的配电网单相接地故障诊断方法[J]. 工矿自动化,2012,38(3):32-35.

[6] 曹斌. 基于DS证据理论的电网故障诊断系统的研究[J]. 工矿自动化,2011,37(6):53-55.

[7] 程学珍,陈强,于永进,等. 基于最大似然译码字的Petri网故障诊断方法[J]. 电工技术学报,2015,30(15):46-52.

[8] 程学珍,王程,于永进,等. 一种基于模糊故障Petri网的三相异步电动机故障分析方法[J]. 电工技术学报,2015,30(17):132-139.

[9] XU Luo, KEZUNOVIC M. Implementing fuzzy reasoning Petri-nets for fault section estimation[J]. IEEE Transactions on Power Delivery,2008,23(2):676-685.

[10] 公茂法,柳岩妮,王来河,等. 基于优化模糊Petri网的矿井提升机故障诊断[J]. 工矿自动化,2016,42(7):50-53.

[11] 杨健维,何正友,臧天磊. 基于方向性加权模糊Petri网的电网故障诊断方法[J]. 中国电机工程学报,2010,30(34):42-49.

[12] WANG Y N, YE J F, XU G J, et al. Novel hierarchical fault diagnosis approach for smart power grid with information fusion of multi-data resources based on fuzzy Petri net[C]//IEEE International Conference on Fuzzy Systems, Beijing, 2014:1183-1189.

[13] 吉兴全,梁瑜娜,于永进,等. 基于冗余嵌入Petri网的电网故障诊断方法[J]. 安徽大学学报(自然科学版),2016,40(5):50-56.

[14] 高正中,许焕奇,雷倩,等. 基于Petri网和双层判据的配电网故障定位方法[J]. 工矿自动化,2016,42(8):37-42.

[15] 陈强,程学珍,刘建航,等. 基于分层变迁的WFPN电网故障分析[J]. 电工技术学报,2016,31(15):125-135.