

文章编号: 2095-2163(2020)03-0228-05

中图分类号: TP3-05

文献标志码: A

配电网故障定位算法研究综述

王静, 李泽滔

(贵州大学电气工程学院, 贵阳 550025)

摘要: 电力系统通过配电网与电力用户相连,快速准确的配电网故障定位技术是提高供电可靠性的必然要求。目前,针对配电网故障定位技术的研究已经有了很多成果,结合国内外学者对配电网故障定位技术研究的成果,对配电网故障定位算法进行了综述。根据配电网故障定位的方式不同,主要从两方面进行阐述,一是传统测距方法,二是配电网自动化故障定位方法。并着重分析了配电网故障定位的经典算法,包括算法的基本原理及其优缺点。结合现有配电网故障定位技术的研究成果和社会对供电可靠性的需求,对未来配电网故障定位技术的研究进行了初步展望。

关键词: 配电网; 故障测距; 故障区段定位; 传统故障测距算法; 配网自动化算法

A survey of fault location algorithms in distribution network

WANG Jing, LI Zetao

(College of Electrical Engineering, Guizhou University, Guiyang 550025, China)

[Abstract] The power system is connected to the power users through the distribution network. The fault location technology of distribution network is necessary to improve the reliability of power supply. At present, a lot of achievements have been made in the research on fault location technology of distribution network. According to the different fault location methods of the distribution network, mainly from two aspects: one is the traditional distance measurement method, the other is the distribution network automation fault location method. The classical fault location algorithm of distribution network is analyzed emphatically, including its basic principle, advantages and disadvantages. Combined with the research results of the existing distribution network fault location technology and the demand of the society for power supply reliability, the study of the future distribution network fault location technology is preliminarily prospected.

[Key words] distribution network; fault location; fault section locating; conventional fault locating algorithms; distribution automation algorithms

0 引言

近几年,智能配电网技术得到了快速的发展,越来越多的分布式电源接入配电网,配电网的规模正逐渐扩大,改变了传统配电网的拓扑结构,配电网的结构也随即变得更加复杂。由于新能源的接入导致配电线路更加复杂^[1],适用于传统配电网的故障定位方法和设备在实际应用中也无法达到预期的效果。同时,在一些经济发展相对落后的地方,还是采取人工故障定位,这种故障定位方式不但造成了人力资源的浪费,而且定位效率低,比起配网自动化定位方式,故障修复时间难以保证,甚至会导致故障范围扩大。在配电网故障定位算法中,不同的算法有各自的优势,因此,本文首先探讨了配电网故障定位的方法,然后对配电网故障定位方法进行研究,最后对目前的配电网故障定位方法做了总结和展望。

1 传统配电网故障定位方法

中国绝大多数电力系统故障都是单相接地故障,国内外学者对配电网单相接地故障的研究也取得了一系列的成果,按照测距原理的不同,主要可以分为阻抗法、注入法和行波法。

1.1 阻抗法

阻抗法的故障测距原理很简单,即在线路传输均匀的前提下,故障发生时回路中的阻抗(或电抗)和线路的单位阻抗(或电抗)成正比。通过数学计算就可以测得测量点到故障发生点的距离。文献[2]提出了一种改进阻抗法,改进后的阻抗法对单相接地故障的测量精度有了明显的提高。文献[3]提出了一种基于稀疏电压幅值量测的配网故障测距方法,该方法只需要少量测点的电压信息和节点阻抗矩阵就能实现配电网故障测距。文献[4]提出了一种基于频变参数模型的单端故障测距方法,该方

作者简介: 王静(1993-),女,硕士研究生,主要研究方向:配电网故障定位;李泽滔(1960-),男,教授,博士生导师,主要研究方向:智能电网、故障诊断、计算机控制技术等。

通讯作者: 李泽滔 Email:935222310@qq.com

收稿日期: 2019-11-16

法对采样频率要求不高,在一定程度上提高了故障定位的可靠性。文献[5]采用的故障测距方法是相量分析法和阻抗法相结合,主要是利用故障点处的功率特性,建立了不同故障类型的数学模型,从而进行故障测距。文献[6-9]也提出了基于阻抗法故障测距的其他方法,这些方法在故障定位中都有各自的优势。

阻抗法的优势在于成本低,但是由于近年来配电网线路越来越复杂,分支也越来越多,导致其定位效率较低。

1.2 行波法

由行波理论可知,当配电网发生相间短路故障或者单相接地故障时,线路的两端都会检测到行波信号,因此,可以利用线路两端检测到的行波信号实现短路故障测距。文献[10]提出了一种基于小波变换的混联配电网故障定位方法,首先为了解决行波传播时存在的频散问题,文献中提出的方法通过小波变换的方式把行波做分解,解决了该问题。在此基础上则利用神经网络进行故障区段定位,提高了神经网络拟合的准确性。文献[11]利用馈线终端单元传回主站的故障信息,结合改进的行波法进行故障定位。该方法提高了定位精度和实时性。文献[12]提出了行波-直流综合定位方法,直流法能够对故障分支进行准确的确定,而C型特征波能够对故障距离进行准确的测量,两种方法结合,利用了各自的优势,提高了故障定位的可靠性。类似于文献[12]所提的方法,文献[13]同样是提出了特征波的概念,利用对特征波的分析定位故障分支。该方法使得配电网故障测距的精度得到了大幅度的提高。文献[14-15]提出了行波法在配电网故障定位中的其他方法。文献[14-17]是国外早期对行波理论研究的经典文献,仍具有不可忽视的意义。

1.3 信号注入法

信号注入法分为很多种,文献[18]采用故障终端单元和S信号注入法结合的方法,先利用馈线终端单元的信息采集功能,采集故障信息并传回主站,主站根据故障信息判断故障所在的大概位置,然后利用S信号注入法确定故障的准确位置。该方法提高了配电网故障定位的精度。文献[19]研究了脉冲信号注入法的故障定位原理。文献[20]不但探究了S信号注入法,还对传递函数法以及端口故障诊断法进行了研究。但是传递函数法和端口故障诊断法在实用性上还存在一定的欠缺。文献[21-25]对信号注入法也进行了相应的研究,有一定的参考

价值。

2 配电网自动化故障定位方法

2.1 矩阵算法

矩阵算法的基本原理是利用故障判断矩阵对配电网故障进行分析,故障判断矩阵主要是通过馈线终端单元采集的故障信息编写故障矩阵,再根据各个节点的编号信息构造网络描述矩阵,故障矩阵和网络描述矩阵通过数学计算得出的。

针对矩阵算法在配电网故障定位中的应用,为了改善矩阵算法的容错性差的问题,文献[26]提出了改进的矩阵算法。首先构造一个反映网络的拓扑结构的网络关系矩阵,然后通过故障诊断矩阵得出故障评价函数。当故障评价函数值最小时为最佳状态,根据这个时候的状态矩阵即可得出配电网故障区段所在位置。文献[27]基于矩阵算法的容错性差和优化算法的定位时速度慢的问题,提出了二者优势互补的算法。该算法首先利用矩阵算法进行故障区段的大致定位,以此来降低优化变量的维数;然后根据网络描述矩阵进行优化模型的建立,经过降维的变量,利用优化算法进行故障定位时便提高了模型的收敛速度。文献[28]提出了一种基于有向拓扑-时间延时和容错机制的配电网故障定位方法,这个方法主要是针对馈线终端单元将故障信息传回主站时存在的通信延迟、漏报和误报的问题提出的,针对通信延迟采取的措施是设置一个延时值 t ,当配电网发生故障的时候,以主站收到的第一组故障信息的时间为起点,顺延时间 t 作为收集故障信息的时间间隔,这样就保证了故障信息的完整性;对于漏报和误报的情况,采取的措施分别是忽略漏报终端信息和采取修正矩阵的办法。该方法节省了故障排查的时间,提高了定位效率。文献[29]提出的改进矩阵算法网络描述矩阵形成简单,简化了计算过程,提高了判断效率。文献[30]针对传统矩阵算法容错性差的问题,提出了一种实用的复杂配电网故障定位方法。文献[31-32]提出的矩阵算法,都是针对分布式电源接入配电网后的故障定位问题,这些算法都有着计算过程简单,定位效率高的优点。

在实际应用过程中,矩阵算法不但定位速度快而且具有较高的准确率。但却对含有畸变信号的情况比较敏感,一旦馈线终端单元上传的故障信息中含有畸变信号就会影响最终的故障定位效率。因此,提高算法的容错性是未来配电网故障定位方法的需求。

2.2 蝙蝠算法

蝙蝠算法是一种智能优化算法,于2010年提出。蝙蝠算法的由来主要是模拟蝙蝠在追捕猎物时的一种行为。蝙蝠算法的原理是:首先设定蝙蝠种群的数目、空间维数、蝙蝠位置、速度、脉冲频率范围、脉冲频度、脉冲响度等基本参数;然后通过对速度和位置的改变以及较优解替换较差解的迭代过程,使其不断地接近最优解,最终得到最优解。文献[33]提出的用于配电网故障定位的混合算法,不仅解决了蝙蝠算法在故障定位过程中的种群多样性不够容易陷入局部最优的困难,同时也解决了差分进化算法在故障定位时收敛精度差的问题,2种算法优势互补,提高了故障定位精度。文献[34]以蝙蝠算法为基础融入了元胞自动机原理,使算法的局部寻优能力提高。文献[35-37]中利用蝙蝠算法进行配电网故障定位时,对评价函数进行了改进,同时将混沌搜索策略引入蝙蝠算法中,改进后的算法对新能源接入配电网造成的网络拓扑结构的变化有更强的适应性,同时也使算法跳出了易陷入局部最优的限制,提高了故障定位精度。文献[38]将可逆元胞自动机与蝙蝠算法相结合,提高了故障处理速度。

蝙蝠算法能够在全局和局部搜索之间实现自动转换,同时可以通过对脉冲响度和脉冲频度的大小进行调节来控制蝙蝠行为^[34]。在配电网故障定位的智能算法中,蝙蝠算法的实用性较强,可以很好地结合其他算法的优势,提高配电网故障定位的自动化程度。

2.3 遗传算法

遗传算法具有大范围全局搜索能力,通过选择、交叉、变异等操作增加了种群的多样性,同时遗传算法能够根据实际情况调整搜索的方向,并能同时处理种群中的多个个体,从而实现全局最优。

分布式电源接入配电网使得遗传算法在配电网故障定位中出现了收敛速度慢的问题。针对这一问题,文献[39]提出了改进的遗传算法,根据种群规律构建新的概率函数和相似函数,并在遗传算法中引入了单体交叉因子,改进后的遗传算法性能上有所提高,解决了收敛速度慢的问题。文献[40-41]中为了避免遗传算法在运算过程中陷入局部最优,对交叉算子和变异算子加以适当的调整,同时为了加快算法的计算速度以及算法能够更好地适应分布式电源的接入,还对适应度函数和开关函数进行了适当的改进,改进后算法的收敛速度得到了明显的提升。文献[42]提出了一种模糊自适应模拟退火

遗传算法,该算法实现了模糊推理和自适应机制的完美结合,同时引入了模拟退火算法辅助遗传算法跳出易陷入局部最优的弊端。文献[43]提出了一种将信号谱分析引入遗传算法的新算法。该方法是在非故障线路透射波的区域进行故障定位的方法,有着较高的准确性。文献[44-46]提出了遗传算法在故障定位过程中的其他应用,依然有很大的参考价值。

遗传算法基本上可以解决故障定位问题,但是在计算临近结束时会出现冗余迭代。影响了故障定位的准确性和快速性,降低了求解效率,因此,需要改进遗传算法,提高算法的计算速度。

2.4 神经网络算法

人工神经网络是模拟人类大脑的一种数学模型。神经网络算法在配电网中的应用主要是进行故障定位。神经网络算法进行配电网故障定位的原理是以配电网的馈线终端设备的状态信息作为输入信号,而输出即配电网所有可能的故障位置。相比于其他的智能算法,神经网络具有很强的自适应性,这将推动配电网故障定位技术更进一步的创新与发展。

文献[47]提出了优化的BP神经网络算法用于故障定位,该算法的优化过程是先利用遗传算法对初始连接权值和阈值做出优化,然后再利用改进后的BP神经网络算法进行故障定位,经过改进的算法在定位精度上得到了明显的提高。文献[48]利用小波神经网络方法进行故障定位,故障定位原理是先利用小波变换理论进行故障信息的提取和分析,并与神经网络的非线性拟合能力相结合,在故障位置和故障特性之间建立起对应关系,以此达到故障定位的精准度要求。文献[49]提出一种利用遗传算法优化后的粗糙集神经网络进行电网线路故障定位的方法,提高了算法的容错能力。文献[50]利用小波变换、神经网络、遗传算法三种算法结合进行优势互补,得出了新的故障定位算法,定位速度快,稳定性高。文献[51]为解决传统直流输电故障测距方法的不足,研发出将小波分解与径向基函数神经网络结合的故障定位法。文献[52]提出了基于迁移学习的深度卷积神经网络故障区域定位的方法,以数据驱动方式作为新的方法应用在配电网故障定位中,解决了深度学习在配电网故障定位的应用中存在的问题。

3 其他算法

近些年,国内外学者提出了很多的人工智能算

法,这些算法应用在配电网故障定位中都有各自的优势和不足,除了上述所提到的算法外,还有果蝇算法、免疫算法、粒子群算法、和声算法、防电磁学算法、petri网等。文献[53]提出一种基于动态时间弯曲距离搜索的故障区段定位方法。文献[54]提出了一种基于果蝇优化算法的故障定位方法。这些方法的应用都在一定程度上说明了新算法在配电网故障定位中的重要性。

4 结束语

配电网是电力系统网络的最后一个环节,作为与用户直接联系的供电系统,配电网能更加直接地反映电力用户对供电质量和供电安全的需求,配电网的安全稳定运行关系到社会生产生活的方方面面,一旦发生故障,就会造成不可估计的损失。分布式电源接入配电网,给社会创造效益的同时,也带来了配电网安全稳定运行的挑战,当配电网发生故障后,复杂的线路和庞大的配网规模导致故障定位的准确性和快速性问题长期存在且不易解决。

实现配电网故障定位自动化是智能电网发展的必然要求,而传统的故障测距方法在新能源接入后的配电网故障定位中实用性大大降低,在新兴的配电网自动化算法中,矩阵算法原理简单,计算速度快,但容错性差。人工智能算法虽然在容错性上有所提高,但是都存在易陷入局部最优的缺点。因此,随着经济社会的快速发展,人们对电能的需求日益提高,为了实现更加安全、可靠和高效的电力供应,研究高性能的配电网故障定位算法是必然趋势。

参考文献

- [1] 刘文杰,舒勤,韩晓言. 基于广义S变换和TEO的配电网故障定位方法[J]. 电力系统及其自动化学报,2019,31(1):12.
- [2] 张建国,周鹏,陈焕桐. 基于改进阻抗法的单相接地故障测距仿真[J]. 电测与仪表,2018,55(3):84.
- [3] 贾科,董雄鹰,李论,等. 基于稀疏电压幅值量测的配电网故障测距[J]. 电网技术,2020,44(3):835.
- [4] 薛士敏,陆俊弛,刘冲,等. 基于虚拟线路阻抗的MMC-HVDC输电系统单端故障测距方法[J]. 电网技术,2019,43(8):2868.
- [5] 戴志辉,王旭. 基于改进阻抗法的有源配电网故障测距算法[J]. 电网技术,2017,41(6):2027.
- [6] 夏经德,张向聪,黄新波,等. 基于纵向阻抗的双端量故障测距新算法[J]. 电力自动化设备,2015,35(10):133.
- [7] 郑涛,潘玉美,郭昆亚,等. 基于节点阻抗矩阵的配电网故障测距算法[J]. 电网技术,2013,37(11):3233.
- [8] 卢继平,黎颖,李健,等. 行波法与阻抗法结合的综合单端故障测距新方法[J]. 电力系统自动化,2007,31(23):65.
- [9] 陈平,徐丙垠,李京,等. 现代行波故障测距装置及其运行经验[J]. 电力系统自动化,2003,27(6):66.
- [10] 陈志伟,舒勤. 基于小波包变换的混联配电网故障定位方法[J]. 广东电力,2019,32(1):100.
- [11] 朱勇,陶用伟,李泽群,等. 基于FTU的配电网故障快速定位的

- 研究[J]. 能源与环保,2018,40(2):122.
- [12] 张改,张晓,张月. 行波——直流综合定位法在10kV配电网线路接地故障中的应用分析[C]//陕西省电网节能与电能质量技术学会. 陕西:陕西省电网节能与电能质量技术学会,2017:20.
- [13] 于盛楠,杨以涵,鲍海. 基于C型行波法的配电网故障定位的实用研究[J]. 继电器,2007,35(10):1.
- [14] 刘胤良,曾德辉. 基于零模电流行波的配电网故障区段定位方法[J]. 电气自动化,2019,41(2):73.
- [15] 梁睿,靳征,王崇林,等. 行波时频复合分析的配电网故障定位研究[J]. 中国电机工程学报,2013,33(28):130.
- [16] IBE A O, CORY B J. A travelling wave-based fault locator for two- and three-terminal networks[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 1986,6(2):283.
- [17] EI-HAMI M, LAI L L, DARUVALA D J, et al. A new travelling-wave based scheme for fault detection on overhead power distribution feeders[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 1992,7(4):1825.
- [18] 杜刚,刘迅,苏高峰. 基于FTU和“S”信号注入法的配电网接地故障定位技术的研究[J]. 电力系统保护与控制,2010,38(12):73.
- [19] 刘洋. 基于脉冲响应法10kV配电网故障定位研究[D]. 武汉:湖北工业大学,2018.
- [20] 张宏亮. 基于信号注入的10kV配电网故障定位系统设计[D]. 广州:华南理工大学,2017.
- [21] 程肖,焦彦军,王立宗. 基于特高频信号注入法的配电网故障定位研究[J]. 陕西电力,2012,40(1):33.
- [22] 马佳,余文辉,车伟扬,等. 基于改进的S注入法的新型树状配电网故障检测装置[J]. 继电器,2002(10):51.
- [23] 鲍小峰,肖开伟,杨隽,等. 基于主动注入信号法的单相接地故障定位方法[J]. 电工技术,2018(17):135.
- [24] 王栋,朱拓夫,谢翔羽,等. 试论基于信号注入的配电网单相接地故障定位研究[J]. 电子世界,2019(5):104.
- [25] 徐嘉伟. 基于可控信号注入的小电流接地系统单相接地故障定位方法研究[D]. 重庆:重庆大学,2018.
- [26] 黄佳乐,杨冠鲁. 配电网故障区间定位的改进矩阵算法[J]. 电力系统保护与控制,2014,42(11):41.
- [27] 徐彪,尹项根,张哲,等. 矩阵算法和优化算法相结合的配电网故障定位[J]. 电力系统自动化,2019,43(5):152.
- [28] 邓飞,梁仕斌,田庆生,等. 基于有向拓扑-时间延时和容错机制的配电网故障定位方法[J]. 电气自动化,2019,41(3):73.
- [29] 罗梅,杨洪耕. 配电网故障定位的一种改进通用矩阵算法[J]. 电力系统保护与控制,2012,40(5):64.
- [30] 梅念,石东源,杨增力,等. 一种实用的复杂配电网故障定位的矩阵算法[J]. 电力系统自动化,2007,31(10):66.
- [31] 王一非,贾燕冰. 含分布式电源配电网故障定位改进矩阵算法[J]. 计算机仿真,2018,35(4):58.
- [32] 李小强,王军,张贺,等. 一种改进的故障定位矩阵算法[J]. 中国科技论文,2017,12(23):2685.
- [33] 罗钱,粟时平,刘桂英,等. 基于混合算法的含DG配电网故障区段定位[J]. 电力系统及其自动化学报,2016,28(5):86.
- [34] 付家才,陆青松. 基于蝙蝠算法的配电网故障区间定位[J]. 电力系统保护与控制,2015,43(16):100.
- [35] 裴文杰,谭阳红,汪润,等. 蝙蝠算法在含DG配电网故障定位中的应用[J]. 计算机工程与应用,2016,52(22):218.
- [36] 李贺,靳庆路,高善波. 基于蝙蝠算法的含分布式电源配电网故障定位[J]. 电气技术,2017(1):34.