

柔性配电网故障定位技术评述

谢百明¹, 谈竹奎¹, 徐玉韬¹, 班国邦¹, 高吉普¹, 袁旭峰², 曹明杰^{1,2}

(1. 贵州电网有限责任公司电力科学研究院, 贵州 贵阳 550002;

2. 贵州大学 电气工程学院, 贵州 贵阳 550025)

摘 要:为了使 FDN 安全可靠稳定运行,对柔性配电网(flexible distribution network, FDN)进行分析,但当 FDN 发生故障时进行故障的隔离和恢复存在很大困难,因此研究 FDN 故障定位技术具有重大的现实意义。首先对 FDN 的概念进行分析研究,对比传统配电网的运行方式闭环设计开环运行模式所存在的难题,对 FDN 的基础技术结合最新研究方向进行分析研究,传统配电网如何转变为 FDN 进行说明;然后文章总结研究传统配电网故障区段定位、故障定位;对故障区段定位、故障定位所涉及的主要研究方法进行分析,通过文献研究其适用范围和优缺点,并针对这些提出对应的建议,并结合上述分析,研究 FDN 故障定位技术和其所存在的缺陷以及未来所要研究的主要方向。最后指出当前柔性配电网和有源配电网研究主要存在的问题及未来研究的方向。

关键词:柔性配电网;闭环;开环;故障定位;有源配电网

文章编号:2096-4633(2019)05-0019-07 **中图分类号:**TM72 **文献标志码:**B

随着我国电力行业的飞速发展,伴随着分布式电源(distributed generation, DG)的不断接入^[1],如何利用电力电子技术来有效解决配电网发展中的一些瓶颈问题,由此柔性配电网(flexible distribution network, FDN)这一概念由此产生^[2,7]。FDN 是指能实现柔性闭环运行的配电网,由天津大学肖峻教授提出,与传统配电网相比,能够更好的进行主动消纳和可变动负荷消纳的能力,并可充分调动 DG 进行系统运行优化。FDN 主要利用电力电子技术中的软开关(如 SNOP、SOP、DC Link)^[3-6],换流器(VSC、MMC)等进行配电网灵活构建,从而使配电网更加安全可靠、稳定、高效的运行。

埃及学者 Mahmoud A. Sayed 利用统一潮流控制器(universal power flow controller, UPFC)实现了配电单环网的柔性闭环运行,可实现单环网的全节点电压调节,并降低线路运行损耗。也提出了一种由单并联 STATCOM、多串联 SSSC 构成的多端 UPFC 结构,用于多电源环网馈线的有功潮流控制与无功电压控制,降低环网损耗。英国学者 Jeffrey M. 提出了柔性化联络开关(soft normally-open points, SNOP)概念,即将传统馈线间的联络开关用背靠背变流器或其它具有直流隔离的双端电力电子装置代替,从而将开环运行配

网变为闭环运行模式。采用这种技术手段后,能有效提升配电网的分布式电源承载能力。

当前配电网越来越难以满足电力用户的需求,另外也对我国配电网的稳定运行提出了更多挑战,而配电网作为电力系统中重要的一部分。所以当配电网某处发生故障时,要求能够快速准确的进行故障定位和隔离,并迅速进行紧急恢复供电,所以配电网故障定位技术就显得尤为重要。当前电网利用柔性电力电子技术进行配电网的改造是未来的一个重要的趋势,本文针对柔性配电网最新的研究动向,结合 FDN 概念和特点,并展开分析如何针对 FDN 研究较可靠的故障定位方法。所以综上,研究 FDN 故障定位技术具有很重要的现实意义。并且本文所阐述的方法研究对有源配电网故障定位的最新问题和智能电网的发展有重要研究价值。

1 FDN 的概念

1.1 传统配电网运行方式

传统配电网采用闭环设计开环运行的模式^[7,8],这种运行方式存在很多问题,如容易发生故障,可变动负荷和电源接入存在一定困难、运行可靠性较低。且难以从本质上改变配电网系统级的不可

控性,不能适应多元电力供应方式。即便是采用环网接线模式的城市配电网,实质上也是馈线按辐射状分区供电,各个分区之间存在负载率不均衡,相互之间缺乏有功功率和无功功率的支持,进而导致中压线路设备利用率低,电压质量参差不齐,难以满足配电网在电压/无功补偿、电能质量等方面的要求,不能适应高密度分布式电源的接入。

1.2 FDN 产生的技术支撑

2013 年,深圳供电局开展了 863 项目“基于柔性直流的智能配电关键技术研究与应用”的研究,主要包括:柔性直流配电系统的建模与仿真技术、交直流配网的运行控制与保护技术、关键设备(包括直流断路器和直流变压器)研制、直流配电网关键设备工程应用等。随着柔性直流配电网技术的发展,应用电力电子技术来研究柔性化的配电网是未来的一个重要方向。柔直技术在配电网的广泛应用,为 FDN 的产生和研究奠定基础。

利用柔性直流电力电子技术提升配电网的可控能力有以下三个方面:

(1)采用一、二次融合的方式将原有的断路器和配电变压器进行水平提升,如智能断路器、智能环网柜、智能变压器等;

(2)利用 DFACTS 装置提升配电网的控制能力,如:SVC、STATCOM、APF、DVR 等;

(3)利用柔性控制技术,改变配电网的原有运行模式。

1.3 FDN 的架构

文献[7]提出为解决传统配电网运行方式所存在的难题,将馈线间的联络开关采用柔性开关代替。这些柔性开关即柔性电力电子装置,即软开关(如 SNOP、SOP、DC Link、),换流器(VSC、MMC)等。这些柔性开关可以构成 FSS,当多回路系统通过在关键联络位置通过多个 FSS 替代联络开关构成大系统时,此时这个系统就被成为 FDN,基于本项目(南方电网项目)的柔性配电网组网形态如图 1 所示。

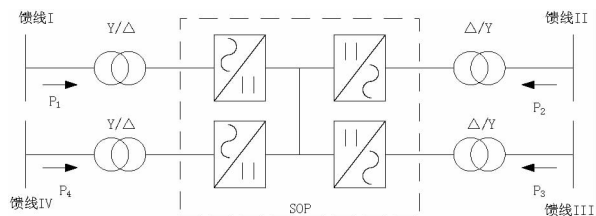


图 1 柔性配电网结构

Fig. 1 The structure of FDN

2 传统配电网故障定位技术

2.1 故障区段定位

故障区段定位是实际故障点被定位到分段开关或联络开关之间,可以将故障的范围压缩到某一区段,从而隔离故障区域恢复非故障区域的供电。按故障类型的不同,本文根据国内外学者的研究将其分为两大类:单相直接接地的故障区段定位和非单相接地的故障区段定位。

2.2 单相接地故障区段定位

为解决系统单相接地故障定位问题,研究并分析大量文献,主要针对小电流接地故障进行研究,并且当前对发生故障时故障信息不多存在一定困难,故主要对小电流接地故障进行研究。

2.2.1 S 注入法

s 注入法主要是当线路发生故障时,通过对系统线路注入特殊信号,接着通过特殊设备对该信号进行跟踪,当此注入信号消失的地方即为故障点^[9,10]。文献[11]提出“直流开路、交流寻踪”的离线故障定位新方法,该方法考虑到故障发生后可能存在线路绝缘恢复的可能,需外加直流高压保持接地点持续的击穿状态,然后才注入检测信号,进行故障定位。但 S 注入法存在注入能量有限,当过渡电阻和电容过大时,存在信号识别困难,并且高电阻接地时,检测效果不好,所以此问题亟待解决,提升此方法的使用范围。

2.2.2 零序电流法

零序电流法利用故障线路零序电流的幅值和相位进行故障区段定位^[12]。文献[12]提出利用故障点同侧暂态零序电流极性相同、幅值相近、波形相似;故障点两侧极性相反、幅值不同,波形差异大进行分析,根据故障前后波形和幅值确定故障区段,并进行定位。但是仍旧存在搜索故障范围过大的困难。

2.2.3 中阻法

零序电流幅值法:并联中电阻检测附加零序电流实现定位

零序有功功率法:配电终端计算零序有功功率实现定位

2.2.4 其他方法

随着故障定位技术的发展,除了上述主要集中方法外,还有基于故障指示器、自动重合闸、馈线智

能终端等的故障区域定位算法研究越来越多,愈加成熟。文献[13]根据图论知识对网络拓扑结构进行研究,形成拓扑描述矩阵,然后根据矩阵的思想研究故障电流,通过故障判定矩阵,判断故障发生的准确区域和范围。文献[14-15]基于智能终端进行故障分析,通过智能终端采集电气量信息,研究测量装置的上下游信息。

2.2.5 难点和建议

目前区段定位虽发展迅速,但应用于现场的产品却不多,研究难点为小电流单相接地故障电流较小,故障特征不明显以及现场的随机不确定因素等都会给故障区段定位带来很大困难。

针对上述技术难点,本文对此提出几点研究建议:

(1)借鉴中性点有效接地的故障定位的一些成熟方法,并进行对比,研究出适合小电流接地的方案。

(2)借鉴故障选线的技术,在现场检测信号时应尽量基于本地信息,避免其他信息的干扰。

(3)结合当前人工智能的算法,并结合其他方法的优点进行组合,有希望能够探索出具有很高定位性能的方法。

(4)结合有源配电网的发展形势,针对潮流双向流动等新特点,对故障区段研究提出新的挑战。

2.3 非单相接地故障区段定位

2.3.1 矩阵算法

基于网基结构的矩阵算法是一种无向图的矩阵描述方式,仅考虑配电网的拓扑结构,而没有考虑配电网的运行方式。文献[16]在构造网络描述矩阵的同时建立了电源点分布向量,将该向量用于故障定位的矩阵运算中,提高了算法的简便性和准确性。网基结构矩阵虽然构造简单,但准确度低、适用性差。由于无法获取配电网耦合点的故障信息,故该算法仅适用于单电源和少分支的简单辐射状网络的单一故障定位^[17]。基于网形结构的矩阵算法将配电网的馈线视为有向边,反映了配电网的运行方式。在形成故障判别矩阵时不需要进行规格化处理,根据故障电流“有进无出”的原理就可进行故障区段的判断。网形结构矩阵算法虽然在适用性和效率方面有了很大的提高,但存在误判的可能性,算法的容错性有待进一步提高^[18]。

2.3.2 对矩阵算法的改进

国内外学者针对基于网形结构的矩阵算法进行了大量的改进,在提高计算效率、定位的灵活性、准确性和程序的实现等方面都取得了显著的成果。这些改进主要体现在两个方面:相关矩阵的构建和算法结果的容错纠正。

相关矩阵的构建即对矩阵算法中用到的网络描述矩阵、故障信息矩阵、故障判别矩阵的构建方法进行改进。文献[19]提出了一种优化矩阵算法,即在故障判别的过程中事先不考虑非故障区间的影响,可有效提高定位的效率,但在故障信息发生畸变或缺失时,难以对故障点进行准确定位。文献[20]针对上述存在的多重故障定位和容错性等问题,提出了改进的矩阵算法,但故障判定条件较为繁琐,对于畸变信息的处理过程也较为复杂,算法的快速性受到严重影响。

2.3.3 人工智能算法

人工智能算法(ANN)以其高容错性得到广泛应用,有利于解决配电网故障信息畸变和漏报的问题。算法主要包括人工神经网络法、遗传算法、模糊理论、专家系统、蚁群算法等。

人工神经网络是模拟大脑神经突触的结构建立数学模型来处理数据信息[21]。利用人工神经网络进行故障定位是将FTU上报的信息序列当作输入,如开关的分断状态;以得出的馈线区间的状态序列当作输出,如故障定位结果。通过对神经网络的训练可将样本集的知识以网络的形式存储在神经网络的各连接权中。文献[22]提出利用局部逼近的径向基函数神经网络进行故障定位,具有很快的收敛效果。虽然人工神经网络处理信息的速度较快,具有很强的自学习和容错能力,但针对复杂的配电网结构,信息知识库的建立较为困难,样本的选取将直接影响到训练的结果,并且需要神经网络具有较强的适应能力,因此,在实际的工程应用中很少使用。

文献[23]对遗传算法进行了改进,针对遗传算法在搜索过程中可能会陷入局部最优的问题,改进算法将所有的单一故障作为最优解,在遗传过程中保留了最优解,并且交叉和变异的概率随着遗传过程而不断变化,该算法加快了收敛速度,减小了算法陷入局部最优的可能性。遗传算法是一种随机性、无导向的搜索过程,特别是当种群个体数目较多时,

算法的迭代过程变得复杂,定位效率不高,定位的准确性易受到影响。

模糊理论是基于模糊集合的概念,主要用于处理不确定性问题[24],常与人工神经网络、专家系统等算法相结合,弥补了其他人工智能算法的缺陷,将其用于故障定位时可提高结果的准确率。但配电网的结构和规模对其运算的速度有很大影响。

蚁群算法是一种启发式的人工智能搜索算法,主要用来求解组合优化的问题。应用蚁群算法进行故障定位与遗传算法的原理类似,形成初始种群和建立开关函数,用适应度函数对解集进行评价,得到的使适应度函数最小的解即为所求故障区间。但相比遗传算法,由于初始种群是随机产生的,搜索需要花费较长的时间,并且局部最优的问题较突出。针对存在的问题,文献[25]通过对信息素的设置,并引入解的扰动规则对算法进行改进。但效率问题依然没有得到很好的解决,故蚁群算法仅适用于规模较小、结构简单的配电网场合。

2.4 故障定位

故障定位是根据故障发生的位置进行量测,并结合故障区段,从而较为准确的测量出故障点。从而省时省力,节省大量人力物力,对电网发展具有重要意义。故障定位按照原理分:故障分析法、注入法等,本文主要研究故障分析法和外加注入法。现有配电网还把故障定位(故障测距)主要分为阻抗法、行波法和 S 注入法。

2.4.1 故障分析法

故障分析法主要根据故障发生时故障点产生的故障电气量信息,从而进行故障定位的,主要分为:阻抗法、行波法和故障特征分析法。

阻抗法是根据故障时故障点到测量点跟线路有一个阻抗值,从而进行故障测量。文献[26]根据阻抗法进行改进的算法,利用测量信息和配电自动化结合起来进行测量,比较繁琐复杂。并且阻抗法的特点是适合均匀传输线路,但投资小,计算起来比较方便。

行波法是根据行波故障理论进行分析,原理是利用故障时善生的行波到达测量的两端来实现故障定位。文献[27]提出利用行波法,从而提取故障信息,并识别不同分支上的反射行波,进行故障定位。该方法结合神经网络进行研究,在复杂

配电网也具有很好的效果,但需要对样本进行大量的训练。综合对文献分析行波法在拓扑结构简单的输电网应用已经非常成熟,但在复杂配电网应用不是完全成熟,并且行波的衰减一定程度上限制了其广泛应用。

2.4.2 注入法

注入法是在故障后注入某种信号,进行检测,主要有 S 注入法、单端注入行波法、端口故障诊断及加信传递函数法。上述几种分析方法,目前只有 S 注入法比较成熟,但是也存在注入能量有限,应用受限,对此不再详细介绍。

3 FDN 的故障定位

柔性配电网的故障定位技术是保证其安全稳定运行的重要保证,为实现其发生故障时能够快速准确的定位故障位置,并迅速进行紧急恢复供电,所以配电网故障定位技术就显示其重要性。所以本文首先研究了传统配电网故障定位的方法,并利用小节 3 的原理研究适合 FDN 的故障定位新方法。

3.1 FDN 故障定位技术

随着新能源技术的发展,大量的分布式电源接入配电网。配电网接入分布式电源后,配电网的潮流分布和拓扑结构发生了变化,主要表现在双向潮流和多电源供电网络,针对这种情况,传统的矩阵算法将不能准确的进行故障定位。研究柔性配电网和含 DG 的配电网故障定位原理基本相似,一般选用改进的矩阵算法和人工智能方法进行求解。由于接入配电网的分布式电源容量一般较小,所以流经分布式电源处的故障电流较小,并且故障电流经并网逆变装置处理后会变得很小甚至切除,造成的波形畸变对故障定位产生影响,易造成误判、漏判等情况。针对上述存在的问题,文献[28]提出了一种含 DG 的基于多代理技术的故障定位新策略。将含 DG 的配电网中的节点分为有源多分支节点、有源二分支节点、无源节点和混合节点四类,分别总结出针对四种不同类型节点的配电网故障实用化判据,若符合该判据则说明故障发生在此分支线路上,即可以对含 DG 的配电网基于多代理技术故障定位策略进行分析,分为多种节点进行分析,因此可以直流配电中心中柔性开关、SOP 等分为分支节点,简化模型的同时用上述方法进行定位,提高准确性。该方法适用性较强,可以应用在有源配电网和柔性配电

网研究中。

3.2 基于智能终端的 FDN 故障定位技术

智能终端装置是实现配电自动化(Distribution Automation, DA)的基础环节,包括柱上开关上的线路监控终端 FTU(Feeder Terminal Unit)、配电变压器配电终端 TTU(Transformer Terminal Unit)、开闭所、环网柜远方监控终端(Distribution Terminal Unit, DTU)等。文献[29,30]提出当系统发生故障时,通过各分段器和重合之间的逻辑配合,利用重合器就地识别故障区域并将故障切除,同时恢复非故障区段的供电。文献[31]提出利用智能终端,当有源配电网网内发生故障时,根据智能终端能够迅速采集电网内的故障信息,并且智能终端间可以实现实时交互,从而结合对应算法,进行对应的故障区段定位、故障精准定位,模型和所研究算法具有很强的应用性,但针对带分支线路也有一点局限性。

4 结论

4.1 总结

本文通过对 FDN 进行详细介绍,并分析研究传统配电网故障定位的方法,并介绍它们的优缺点及适用范围,最后阐述针对上述方法提出 FDN 的研究方案,即对含 DG 的配电网基于多代理技术故障定位策略进行分析,可以将直流配电中心中柔性开关、SOP 等分为分支节点,简化模型的同时用上述方法进行定位,减少直流配电中心所带来的装置误差,提高准确性。然后又结合智能终端的方法进行分析,多种方法结合,并故障定位装置研究也具有推动作用,为以后工程实践奠定基础。

4.2 展望

对于有源配电网和柔性配电网,两者具有很大相似之处,也有很大不同之处,针对两者未来发展方向,本文认为可以从以下几个方面进行针对性研究。

(1)如何把多种故障区段定位、故障测距方法结合起来用到有源配电网和柔性配电网,并且现场测试如何在排除其他因素干扰下,可靠有效的采集故障信号,并进行定位。

(2)从柔性配电网方面,背靠背直流配电中心发生故障,或线路发生故障如何对配网线路进行分割,而提高故障定位的准确性。

参考文献:

- [1] 徐玉韬,谈竹奎,吕黔苏,等. 基于差分进化的改进细菌觅食算法在智能配电网故障定位方法中的应用[J]. 电力大数据, 2018,21(05):1-7.
XU Yutao, TAN Zhukui, LY Qiansu, et al. Application of improved bacteria feeding algorithm based on differential evolution in fault location of smart distribution network[J]. Power Systems and Big Data, 2018,21(05):1-7.
- [2] 肖峻,刚发运,蒋迅,等. 柔性配电网:定义、组网形态与运行方式[J]. 电网技术, 2017,41(05):1435-1446.
XIAO Jun, GANG Fayun, JIANG Xun, et al. Flexible distribution network: definition, morphology and operation mode [J]. Power System Technology, 2017,41(05):1435-1446.
- [3] 王成山,宋关羽,李鹏,等. 基于智能软开关的智能配电网柔性互联技术及展望[J]. 电力系统自动化, 2016,40(22):168-175.
WANG Chengshan, SONG Guanyu, LI Peng, et al. Research and prospect for soft open point based flexible interconnection technology for smart distribution network [J]. Automation of Electric Power Systems, 2016,40(22):168-175.
- [4] 王成山,宋关羽,李鹏,等. 一种联络开关和智能软开关并存的配电网运行时序优化方法[J]. 中国电机工程学报, 2016,36(09):2315-2321.
WANG Chengshan, SONG Guanyu, LI Peng, et al. A hybrid optimization method for distribution network operation with SNOP and tie switch[J]. Proceedings of the CSEE, 2016,36(09):2315-2321.
- [5] 宋毅,孙充勃,李鹏,等. 基于智能软开关的有源配电网供电恢复方法[J]. 中国电机工程学报, 38(15):1-8.
SONG Yi, SUN Chongbo, LI Peng, et al. SOP based supply restoration method of active distribution networks using soft open point[J]. Proceedings of the CSEE, 38(15):1-8.
- [6] ROMERO-RAMOS E, GOMEZ-EXPOSITO A., MARANO-MARCOLINI A., et al. Assessing the loadability of active distribution networks in the presence of DC controllable links [J]. IET Generation Transmission & Distribution, 2011,5(11):1105-1113.
- [7] 肖峻,刚发运,黄仁乐,等. 柔性配电网的最大供电能力模型[J]. 电力系统自动化, 2017,41(05):30-38.
XIAO Jun, GANG Fayun, HUANG Renle, et al. Total supply capability model for flexible distribution network [J]. Automation of Electric Power Systems, 2017,41(5):30-38.
- [8] 袁旭峰,文劲宇,程时杰. 多端直流输电系统中的直流功率调制技术[J]. 电网技术, 2007,31(14):57-61,78.
YUAN Xufeng, WEN Jinyu, CHENG Shijie. DC power modulation in multi-terminal HVDC transmission system [J]. Power System Technology, 2007,31(14):57-61.
- [9] 郝建强. S注入法的配电网故障定位的研究[J]. 电力学报, 2011,26(02):124-126.
HAO Jianqiang. Research on fault location in distribution network

- on S injection method [J]. Journal of Electric Power, 2011, 26 (02): 124 - 126.
- [10] 翟运娟. 基于注入法的配电系统单相接地故障自动定位系统研究[D]. 青岛: 山东大学, 2009.
- [11] 张慧芬, 潘贞存, 桑在中. 基于注入法的小电流接地系统故障定位新方法[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(03): 64 - 66. ZHANG Huifen, PAN Zhencun, SANG Zaizhong. Injection current based method for fault location in neutral isolated power System [J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(03): 64 - 66.
- [12] 郭玉会, 戚宇林. 基于零序电流的单相接地故障定位系统[J]. 电力学报, 2012, 27(06): 550 - 553. GUO Yuhui, YAN Yulin. Based on zero sequence current of single phase grounding fault location system [J]. Journal of Electric Power, 2012, 27(06): 550 - 553.
- [13] 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 - 45. HUANG Jiale, YANG Guanlu. Modified matrix algorithm for fault section location of distribution network [J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(11): 41 - 45.
- [14] 李小鹏, 杨健维, 何正友, 等. 一种新型电流极性比较式方向元件[J]. 中国电机工程学报, 2015, 35(06): 1399 - 1405. LI Xiaopeng, YANG Jianwei, HE Zhengyou, et al. A Novel directional element based on current polarity comparison [J]. Proceedings of the CSEE, 2015, 35(06): 1399 - 1405.
- [15] TRINIDADE F C L, FREITAS W, VIEIRA J C M. Fault location in distribution systems based on smart feeder meters [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2014, 29(1): 251 - 260.
- [16] WENJUN XIAO, WEIDONG CHEN, WENHONG WEI. Fully symmetric swapped networks based on bipartite cluster connectivity [J]. Information Processing Letters, 2010, 110(6): 211 - 215.
- [17] 郑涛, 潘玉美, 王英男, 等. 配电网具有容错性的快速故障定位方法研究[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 06: 63 - 68. ZHENG Tao, PAN Yumei, WANG Yingnan, et al. Fast and robust fault location for distribution systems [J]. Power System Protection and Control, 2014, 06: 63 - 68.
- [18] 芦兴, 王瑞闯. 配电网故障定位方法研究[J]. 电网与清洁能源, 2013, 29(07): 26 - 30. LU Xing, WANG Ruichuang. Research on fault location methods of distribution network [J]. Power System and Clean Energy, 2013, 29(07): 26 - 30.
- [19] 马强, 张利民, 刘皓明. 配电网故障区间判断的通用矩阵算法[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(05): 14 - 17. MA Qiang, ZHANG Limin, LIU Haoming. General matrix algorithm for fault section detection in distribution network [J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(05): 14 - 17.
- [20] 王阳, 曾祥君, 黎锐峰, 等. 基于图论的配电网故障行波定位新算法[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(18): 143 - 147. WANG Yang, ZENG Xiangjun, LI Ruifeng, et al. A traveling wave fault location algorithm for distribution network based on graph theory [J]. Automation of Electric Power Systems, 2012, 36(18): 143 - 147.
- [21] 阮羚, 谢齐家, 高胜友, 等. 人工神经网络和信息融合技术在变压器状态评估中的应用[J]. 高电压技术, 2014, 40(03): 822 - 828. RUAN Ling, XIE Qijia, GAO Shengyou, Nie Dexin, Lu Wenhua, Zhang Hailong. Application of artificial neural network and information fusion technology in power transformer condition assessment [J]. High Voltage Engineering, 2014, 40(03): 822 - 828.
- [22] 石东源, 熊国江, 陈金富, 等. 基于径向基函数神经网络和模糊积分融合的电网分区故障诊断[J]. 中国电机工程学报, 2014, 34(04): 562 - 569. SHI Dongyuan, XIONG Guojiang, CHEN Jinfu, et al. Divisional fault diagnosis of power grids based on rbf neural network and fuzzy integral fusion [J]. Proceedings of the CSEE, 2014, 34(04): 562 - 569.
- [23] 严太山, 崔杜武, 陶永芹. 基于改进遗传算法的配电网故障定位[J]. 高电压技术, 2009, 35(02): 255 - 259. YAN Taishan, CUI Duwu, TAO Yongqin. Fault location for distribution network by improved genetic algorithm [J]. High Voltage Technology, 2009, 35(02): 255 - 259.
- [24] 吕天光, 艾芊, 韩学山, 等. 基于模糊理论的并网型含光伏微电网功率控制[J]. 电网技术, 2014, 38(09): 2404 - 2409. LV Tianguang, AI Qian, HAN Xueshan, et al. FUZZY theory based grid-connected power control of microgrid containing photovoltaic system [J]. Power System Technology, 2014, 38(09): 2404 - 2409.
- [25] 王林川, 李庆鑫, 刘新全, 等. 基于改进蚁群算法的配电网故障定位[J]. 电力系统保护与控制, 2008, 36(22): 29 - 33, 53. WANG Linchuan, LI Qingxin, LIU Xinquan, et al. Distribution network fault location based on the improved ant colony algorithm [J]. Power System Protection and Control, 2008, 22: 29 - 33, 53.
- [26] 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 - 3240. ZHENG Tao, PAN Yumei, GUO Kunya, et al. A nodal impedance matrix based fault location algorithm for distribution network [J]. Power System Technology, 2013, 37(11): 3233 - 3240.
- [27] 梁睿, 孙式想. 单端行波故障测距的组合方法研究[J]. 电网技术, 2013, 37(03): 699 - 706. LIANG Rui, SUN Shixiang. A combined method for single-ended traveling wave fault location [J]. Power System Technology, 2013, 37(03): 699 - 706.
- [28] 刘青原, 孟相如, 杨婷, 等. 基于免疫遗传算法的网络故障定位方法研究[J]. 计算机仿真, 2013, 30(12): 281 - 285, 341. LIU Qingyuan, MENG Xiangru, YANG Ting, et al. NETWORK failure localization approach based on immune genetic algorithm [J]. Computer Simulation, 2013, 30(12): 281 - 285, 341.
- [29] 周文俊, 李春建, 王良, 等. 分层分区的馈线自动化配置方案研究[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(17): 71 - 76.

ZHOU Wenjun, LI Chun jian, WANG Liang, et al. Research on feeder automatic configuration scheme based on hierarchical partitioning[J]. Power System Protection and Control, 2013, 41 (17): 71 – 76.

[30] 孙福杰,何俊佳,邹积岩. 基于重合器和分段器的 10 kV 环网供电技术的研究及应用[J]. 电网技术, 2000, 24 (07): 33 – 36.

SUN Fujie, HE Junjia, ZOU Jiyan. Study and application of power supply techniques for 10 kV loop networks based on recloser and section switch[J]. Power System Technology, 2000, 24 (07): 33 – 36.

[31] 戴桂木. 有源配电网故障定位技术研究[D]. 南京:东南大学, 2016.

收稿日期: 2019 – 01 – 21

作者简介:



谢百明(1963),男,本科,高级工程师,从事电网建设工程及物资管理,熟悉电网工程规划、设计、建设、调试、运行等工作。

(本文责任编辑:龙海丽)

Review on fault location technology in flexible distribution network

XIE Baiming¹, TAN Zhukui¹, XU Yutao¹, BAN Guobang¹, GAO Jipu¹, YUAN Xufeng¹, CAO Mingjie^{1,2}

(1. Electric Power Research Institute of Guizhou Power Grid Co., Ltd., Guiyang 550002 Guizhou, China;
2. College of Electrical Engineering, Guizhou University, Guiyang 550025 Guizhou, China)

Abstract: This paper analyzes the flexible distribution network (FDN), in order to make FDN safe, reliable and stable, it is very difficult to isolate and recover faults when FDN fails. Therefore, it is important to study FDN fault location technology. The practical significance. Firstly, the concept of FDN is analyzed and compared, and the problems existing in the open-loop design mode of the closed-loop design of the traditional distribution network are compared. The basic technology of FDN is combined with the latest research direction, and how the traditional distribution network is transformed into FDN. The paper summarizes the fault location and fault location of the traditional distribution network, analyzes the main research methods involved in fault location and fault location, and studies its application scope, advantages and disadvantages through literature, and proposes corresponding solutions. The recommendations, combined with the above analysis, study the FDN fault location technology and its shortcomings and the main directions to be studied in the future. Finally, the main problems of current flexible distribution network and active distribution network research and the direction of future research are pointed out.

Key words: flexible distribution network (FDN); closed loop; open loop; fault location; active distribution network