

智能配电网的故障自愈技术研究

王学冬, 肖 白

(东北电力大学 电气工程学院, 吉林 吉林 132012)

摘 要:为解决配电网严重滞后的问题,减少电力系统大面积级联事故的发生,进一步加快电网建设,优化配电网的结构模式,电力系统将“自愈”这一概念引入到智能配电网中.主要研究含分布式电源的配电网自愈控制技术,研究分析故障自愈技术如何消除分布式电源并网后对线路的网络损耗及节点电压等参数的影响.通过借助蚁群算法的分析模式,进一步降低网络损耗,平衡电路负荷,提高电压水平.

关 键 词:配电网;分布式电源;自愈控制;蚁群算法

中图分类号: TM72; TM76

文献标识码: A

配电系统处于电力系统的末端,其作用是将电源系统或输变电系统与用电设备连接起来,是向用户设施分配、供给电能的重要环节^[1].配电自动化技术是提高配电系统运行稳定性的重要方法.最近几年,随着通讯技术与信息技术的飞速进步,人们对配电自动化的研究越来越深入,使我国的配电自动化技术更加完善、成熟,电气设施的生产也经历了巨大的变革,这些都为配电自动化的深入发展提供了很好的基础^[2~3].经过数年的发展,现已形成一个较为完整的配电自动化系统.

随着世界经济的发展,能源需求量越来越大,但是随之而来的环境问题也日益严峻,因此调整和优化能源结构,满足可持续发展的要求,成为未来电网必须考虑的一个重要问题^[4~6].近些年,分布式电源作为一种小型、分散化、靠近用户端的高效、可靠的发电单元,得以大量应用到电力系统中,其优势主要在于:可以充分开发和利用各种能源,尤其是可再生能源,这样不仅能解决大量的用电需求,还能满足国家可持续发展的战略要求^[7];分布式电源能够直接与用户端相连,减少了长距离输电过程中传输线带来的损耗,减少运行及维护成本,提高经济效益;分布式电源在用作备用电源进行投切时,操作方便的同时还能保证电力的持续供应^[8].现如今,由于分布式电源被大量投入到电力系统的日常运行,针对分布式电源的故障自愈技术逐渐成为配电网智能化的核心,也是智能配电网建成的重要特征和标志之一^[9].

1 智能配电网特点

智能配电网以配电自动化技术为理论研究基础,结合了传感技术、控制科学技术、计算机与网络通信技术等,在智能开关设备、双向通信网络及可视化等软件技术的支持下,实现智能配电网在正常的运行状态下监测、保护和优化控制以及在非正常运行状态下的自愈保护控制^[10~11].

智能配电网和传统的配电网比较,主要具有以下优势^[12]:具有更好的供电可靠性;具有故障自愈能力;具有更高的电能质量;具有更好的兼容性;具有更强的互动性;具有更高的电网利用率;具有可视化

收稿日期:2017-07-02

第一作者:王学冬(1991-),男,在读硕士研究生,主要研究方向:电力系统自动化、电力系统规划与运行

通讯作者:肖 白(1971-),男,博士,教授,主要研究方向:电力系统自动化、电力系统规划与运行

电子邮箱:343004932@qq.com(王学冬);xbxiaobai@126.com(肖白)

的管理平台。

1.1 配电网自愈控制的概念及特点

智能电网中的故障自愈技术是指在电网运行过程中能及时发现并快速诊断、隔离和调整电路中故障的技术,消除故障对电力系统运行的不良影响;在故障发生时,利用先进的科学技术监视控制手段在少许或没有人工控制的情况下,连续地对电网的安全运行状态进行在线自我评估,并且在故障发生时能够快速发现诊断并隔离故障,采取安全有效的预防控制策略,使电网能够自我控制恢复供电到正常安全稳定的运行状态,避免发生大面积事故停电,使事故发生时几乎不中断对用户负荷的供电服务不影响正常供电,降低用户遭受的停电风险与影响^[13~14]。智能配电网的基本构成,如图 1 所示。

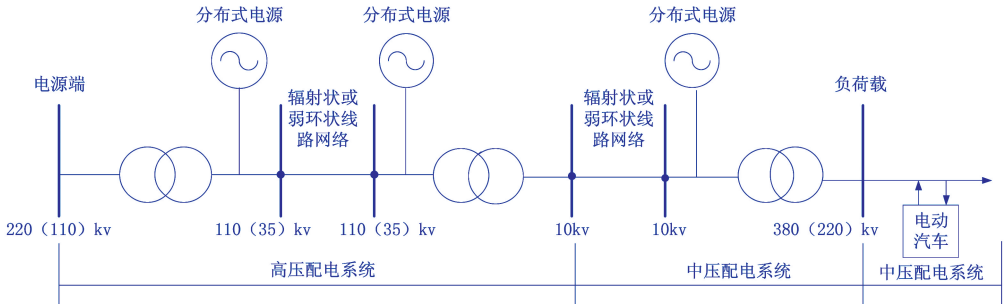


图 1 智能化配电网的示意图

1.2 配电网自愈控制模式

1.2.1 分层递阶控制结构

分层递阶控制结构分为两种^[15~16]:一种是 Villa 提出的以数学解析与知识表述为基础的两层递阶控制结构,另一种是 Saridis 提出的以 IPDO 原理与三个控制层为基础的三级分层递阶控制结构^[12],如图 2 所示。

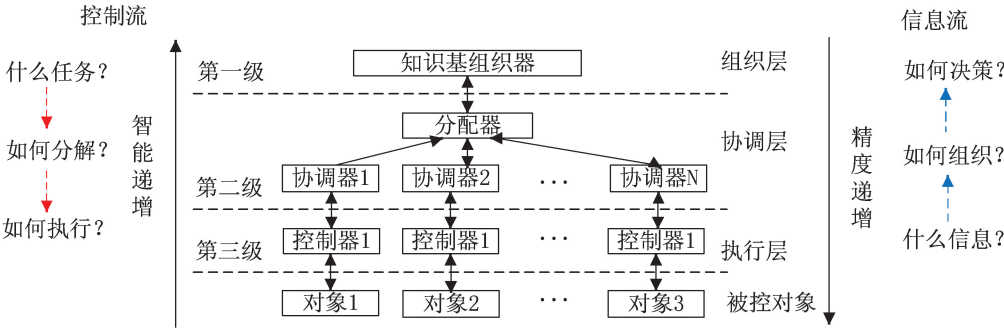


图 2 分层递阶控制系统三层结构示意图

1.2.2 运行状态分析

设备运行状态分析是根据系统获取设备的量测信息,对配电网的分布式电源、变压器、母线、开关等设施的状态作相应的判断,并对设施的潮流、电压等作相应的测量,确保系统运行状态判断的准确性^[17~18]。

1.2.3 诊断决策框架

对于不同强度的电压,配电网具有不同的运作方式,因而需要采取的诊断决策措施也有较大的差异。如果配电网的电压等级为高压,应当以灵敏度计算为基础,将规划方案结合起来,给出负荷与电源点调节的整体性意见;如果配电网的电压等级为中压,应当通过调整电网的运行方式,实现越限消除与持续供电^[19]。

配电网状态诊断及控制决策主要包括以下步骤:

(1) 配电网监测信息的监听和判别;

- (2)故障诊断和风险评估;
- (3)恢复决策与控制.

2 基于蚁群算法的配电网重构

2.1 蚁群算法简介

蚁群算法的灵感来源于动物界的蚂蚁,蚂蚁能通过感知其他蚂蚁释放出的路径信息素的多少以及强度,通过路径的概率高低搜求食物的所在地,最终形成最短路径.实际上这一方法是蚂蚁通过判断概率的形式来完成线路的搜索和寻找,蚁群算法有很大的可能会向已经成功寻找正确的解集或领域来选择搜索的方向^[20~23].

2.2 求解流程

本文结合蚁群算法分析含分布式电源的配网重构问题,将负荷、变电站、电源都定义为节点,节点连接线表示电气设施中的一对节点间的相连.蚂蚁能自动形成遍历各个节点的辐射形态的网络,并且可行解可以是算例中的每个解.蚂蚁在运动过程中所感知的信息正反馈现象,使得其路径上蚂蚁经过的路越来越多,最后选择这条线路搜索选择的概率就会增多.对事故停电地区进行配电网的供用电恢复的重构整体步骤如下:

(1)对整个配电网所有节点和支路进行重新编号,输入配电网的原始数据信息,形成包含所有联络开关的连通图 G ,可操作开关集,设定 m 为蚂蚁在蚁群的总数目,初始化“信息素”密度 $\tau_{ij}(0) = const$,设定 N_{ma} 为最大迭代次数, ρ 为信息素的挥发率, β 为期望的启发式因子,信息素强度 Q ,以及 α 为信息的启发式因子等参数的数据^[20];

(2)初始化蚁群,运用潮流计算,计算初始网损值 $f_{best} = f(0)$,开关转换次数 $\min S_w = S_w(0)$,负荷平衡 $\min LB_{sys} = LB_{sys}(0)$;记录形成的重构方案 A_{max} ;

(3)设定迭代次数 N 为 0, $k = 1, 2, \dots, m$;

(4) $k = k + 1$,蚂蚁每次的循环都需要从电源处开始分头寻找它们自身的最优路径,把走过的节点路径储存在禁忌表 $tabu_k$ 中,剩余的节点存在于 $allowed_k = \{C - tabu_k\}$,根据公式计算转换概率 $p_{ij}^k(t)$,分配每只蚂蚁的路径来选择每一节点,形成一个辐射网络,记录形成的 m 个重构策略的方案 A_1, A_2, \dots, A_m ;

(5)调用潮流程序计算每只蚂蚁的配电网重构所设定的目标函数值 f, S_w, LB_{sys} ;对于满足符合设定约束条件的,找出其中的最小值 $f_{\min}, S_w \min, LB_{sys} \min$ 及重构方案 A_{\min} 并与目标函数比较,若其值小于目标函数则其值代替初始值,否则对“信息素”进行更新;

(6)迭代次数 $N = N + 1$,判断迭代次数是否小于 N_{ma} ,若是则返回步骤(4),否则进行下一步;

(7)输出 $f_{best}, \min S_{best}, LB_{sys best}$ 以及重构方案

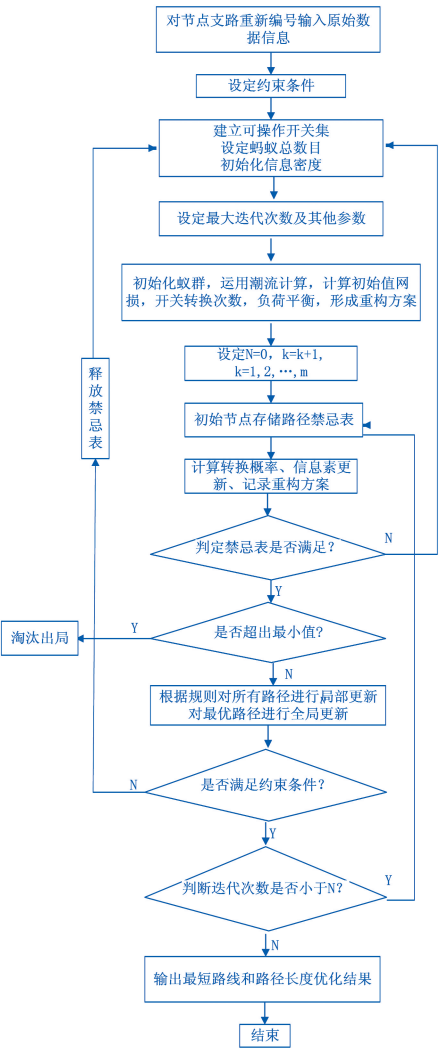


图 3 配电网重构流程图

A_{best} . 配电网重构流程图,如图 3 所示.

2.3 算例分析

引用 IEEE14 节点配电网算例^[24~26],应用 Matlab 编程软件对基于蚁群算法的配网重构问题进行仿真模拟分析,其中有 16 条支路、3 个联络开关、13 个分段开关、1 个电源网络基准电压 23 kV、三相功率取值 100 MVA、整个网络总负荷为 28.7 MW+j7.75 MVAR. 当主网与配电网相连接的线路因发生事故故障而停电,那么整个电网就形成一个失电区域,我们需要寻求新的供电运行方式以及路径信息来对停电的地方进行供电恢复,如图 4 所示.

两台分布式电源 DG 接入配电网中,分布式电源的容量详见表 1 所示,配电网中含有三条联络开关分别是 S15、S16、S17,需控制联络开关的闭合来进行重构.

表 1 DG 安装位置和容量

| 节点位置 | 分布式电源 | 容量 (MW) | 功率因数 |
|------|-----------------|---------|------|
| 11 | DG ₁ | 1.8 | 0.8 |
| 6 | DG ₂ | 2.3 | 1 |

根据蚁群算法,将电源、变电站、负荷都定义为节点,边表示电气设施中的一对节点间的连接. 对整个配电网所有节点和支路进行编号,输入配电网的原始数据信息,形成包含所有联络开关的连通图 G,可操作开关集,依据蚁群算法设定蚂蚁数量等于节点数量,均为 14.

然后对所有节点和支路进行编号,输入配电网的原始数据信息,形成包含所有联络开关的连通图 G,可操作开关集,依据蚁群算法设定蚂蚁数量等于节点数量,均为 14. 设定初始化“信息素”密度 $\tau_{ij}(0) = const$,信息的启发式因子 α 为 2,期望的启发式因子 β 为 0,信息素的蒸发系数 ρ 为 0.1,信息素的更新总量设为 100,迭代最大次数 N_{ma} 为 200. 先求取分段与联络开关之间的转换概率 $p_{ij}^k(t)$,在初始的时刻,设定各开关信息素数值都相等 $\tau_{ij}(0) = const$. 还需要为每只蚂蚁建立数据结构,并记录每只蚂蚁已经走完的行进路径,并且在此次整体循环中蚂蚁不能够行进相同的路径. 然后,随时进行信息素更新迭代,最终经过 Matlab 编程计算得到最小网损值为 536.030 4 的全局最优解为整个配电网的重构结果,最终整个配网重构选定联络开关为 S15、S16 连接网络. 优化后的配电网重构图,如图 5 所示.

通过以上算法验证了蚁群算法在含分布式电源的配网重构中的应用,该实例也说明了本方法的有效性.

3 结 论

配电网故障处理是配电自动化系统的核心技术以及智能配电网自愈控制的基础应用中的重要一环. 本文阐述了智能配电网自愈控制的基本概念和理论,分析智能配电网自愈控制框架,并阐述了相关控制模式. 利用蚁群算法解决离散型问题的优势对含分布式电源的配电网进行故障后配电网重构处理,对整个配电网所有节点和支路进行编号,输入原始信息形成连通图,通过 Matlab 编程进行信息素更

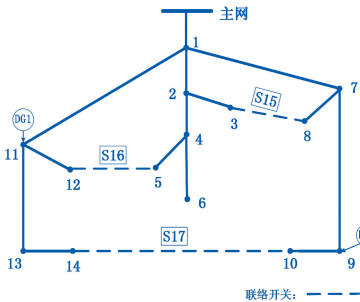


图 4 含分布式电源 DG 的 14 节点配电网系统图

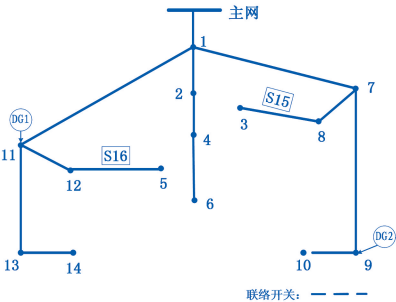


图 5 配电网重构后的优化结构图

新迭代,计算最小网损值,从而降低网络损耗,提高电压水平及平衡负荷,进行供电恢复的配电网重构。结合配电网案例进行仿真分析,验证蚁群算法在含分布式电源的配电网自愈控制应用中的有效性,实现配电网快速的恢复供电。

参 考 文 献

- [1] 刘健,倪建立,邓永辉. 配电自动化系统[M]. 北京:中国水利水电出版社,1999.
- [2] 王守相,成山. 现代配电系统分析[M]. 北京:高等教育出版社,2007.
- [3] 刘振亚. 智能电网技术[M]. 北京:中国电力出版社,2010.
- [4] 秦立军,马其燕. 智能配电网及其关键技术[M]. 北京:中国电力出版社,2010.
- [5] 李勋,龚庆武,胡元潮. 智能配电网体系探讨[J]. 电力自动化设备,2011,18(8):108-111.
- [6] 徐丙垠,李天友,薛永端. 智能配电网与配电自动化[J]. 电力系统自动化,2009,33(17):38-55.
- [7] 龙仁兵,徐元杰. 浅论现阶段我国智能配电网的建设探讨[J]. 北京电力高等专科学校学报,2012,29(5):47-50.
- [8] National Energy Technology Laboratory. The modern grid initiative[R]. US:Department of Energy,2008:26-30.
- [9] Saifur Rahman. Global energy use, climate change, distributed generation and energy efficiency[R]. China:Electric Power Research Institute,2006.
- [10] 胡学浩. 智能电网—未来电网发展的态势[C]. 中国科学院电工研究所科技前沿论坛,北京,2009.
- [11] 李宁. 分布式电源在配电网中布点规划研究[J]. 东北电力大学学报,2015,35(4):21-24.
- [12] H. Liu, X. Chen, K. Yu, et al. The control and analysis of self-healing urban power grid[J]. Smart Grid, IEEE Transactions on, 2012, 3(3): 1119-1129.
- [13] S. Nasir, M. Taimor, H. Gul. Optimization of decision making in CBR based self-healing systems[C]. Frontiers of Information Technology, International Conference, 2012:68-72.
- [14] 王迪,吴鑫强,王振浩. 基于改进遗传算法的含分布式电源配电网故障定位[J]. 东北电力大学学报,2016,36(2):12-16.
- [15] 万秋兰. 大电网实现自愈的理论研究方向[J]. 电力系统自动化,2009,33(17):29-32.
- [16] 周学斌,段斌. 基于 IEC61850 的电网自愈控制操作研究[J]. 现代电力,2010,27(3):7-12.
- [17] 鲁丽娟. 自愈性的智能电网[J]. 科技情报开发与经济,2009,19(35):92-95.
- [18] 李大虎. 智能电网的自愈功能分析与展望[J]. 湖北电力,2010,34(A1):12-14.
- [19] 王明俊. 自愈电网与分布能源[J]. 电网技术,2007,31(6):1-7.
- [20] 丘东元,张波,潘虹. 级联型多电平变换器一般构成方式及原则研究[J]. 电工技术学报,2009,24(1):24-35.
- [21] 李广春. 综合自动化技术应用具有的基本功能研究[J]. 辽宁工学院学报,2000,29(4):18-21.
- [22] 崔其会,薄纯杰,李文亮. 10kV 配电线路保护定值的整定探讨[J]. 供用电,2009,26(6):32-34.
- [23] 万善良,胡春琴,张玲. 配电网继电保护若干技术问题的探讨[J]. 供用电,2005,22(3):12-15.
- [24] 陈根军,王磊,唐国庆. 基于蚁群最优的配电网络重构算法[J]. 电力系统及其自动化学报,2005,13(2):48-53.
- [25] 吕勇,赵光宙. 蚁群优化算法及其在电力系统中的应用[J]. 电工技术学报,2003,18(4):70-74.
- [26] 彭春华,徐雪松. 基于蚁群算法的电力网络节点编号多方案优化[J]. 电力系统及其自动化学报,2007,19(2):60-65.

Research on Technologies of Self healing Control on Smart Distribution Network

Wang Xuedong, Li Yingqiao

(Electrical Engineering College, Northeast Electric Power University, Jilin Jilin 132012)

Abstract: In order to solve the serious lag issues of our country distribution network, to reduce the incidence of large cascading accidents of grid, to speed up construction of power grids, to optimize network structure and built a strong distribution network, People will biosphere's "self-healing" concept introduced to the power system, but also Self-healing is one of notable difference of a smart distribution network and the traditional grid. The self-healing control technology of distribution network with distributed generation technology is discussed in this paper. Therefore, Algorithm-ant colony optimization with the help of a simulated ant foraging behavior algorithms, in order to reduce network losses and improve voltage level and balance the load, restore the power supply.

Key words: Distribution network; Distributed generation; Self-healing control; Colony optimization