

多代理分层的智能配电网自愈控制研究

张明光, 鲁云云

(兰州理工大学 电气工程与信息工程学院, 甘肃 兰州 730050)

摘要: 介绍了配电网自愈的基本概念,对传统的框架体系进行了改进,并提出一种基于智能多代理分层的配电网自愈控制技术。根据配电网的功能进行了分层,将智能多代理技术与电网的运行状态相结合,根据不同的运行状态执行不同的控制策略,并充分利用多代理技术的自治性和协同性,为智能配电网自愈控制提供理论和方法上的依据。

关键词: 配电网;自愈;框架;多代理

中图分类号: TM761

文献标识码: A

文章编号: 0258-7998(2012)11-0077-03

A self-healing of smart distribution control based on multi-agent system

Zhang Mingguang, Lu Yunyun

(College of Electrical and Information Engineering, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China)

Abstract: This paper introduces the basic concepts of the self-healing distribution, improved the traditional framework, and puts forward a self-healing control based on multi-agent and hierarchical formation, which combines the agent technology with the state of distribution, makes full use of the autonomy and coordination of agent technology. This provides a basic for the self-healing of smart distribution.

Key words: distribution network; self-healing; framework; multi-agent

1 智能配电网自愈

随着现代经济和社会的快速发展,电力供应需求量急剧上升,对电能质量和供电可靠性的要求也越来越高。如果出现突发事件就会影响电力负荷的正常供电,从而影响社会生活和发展的正常进行。因此构建一个能够处理紧急和灾难能力的自愈智能电网显得尤为重要^[1-2]。

自愈作为智能电网的“免疫系统”,也是其最重要的特征。而配电网直接面向用户,其自愈能力的高低直接影响电网对用户的供电质量^[3]。因此,研究并推广智能配电网的自愈控制技术对于提高供电可靠性和稳定性具有重要的意义。

配电网自愈是指配电网的自我预防和自我恢复的能力,这种能力来源于对电网参数的检测和有效的控制策略。自我预防是通过系统正常运行时对电网进行实时运行评价和持续优化来完成的,自我恢复是指当电网经受扰动或故障时,能自动地进行故障检测、隔离和恢复供电。具有自愈能力的配电网可以提高供电的可靠性和稳定性,有效地防止配电网在故障时进一步恶化^[4-6]。

2 智能配电网自愈控制的框架体系

智能配电网要实现自愈,首先应从整体上构建一个框架体系,参考文献[7]提出了“2-3-6”的框架体系,虽然这个框架体系对电网实施了多个控制,但其忽略了故障诊断和快速仿真等因素。本文根据自愈电网的功能重新进行了分层和划分,由2环控制、3层结构和8个控制环节组成。

2.1 两环控制

智能配电网的自愈控制根据自愈速度的不同可分为两环:局部控制环和全局控制环。局部的控制主要是对应控制保护装置,其响应速度比较快。而全局的控制主要是针对具体的控制保护方案,其响应速度比较慢,如图1所示。

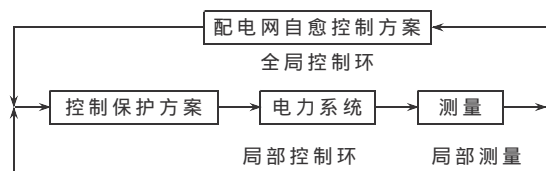


图1 配电网自愈的两环控制

2.2 三层结构和八个控制环节

智能配电网的自愈控制根据监测、运行状态评价及故障诊断和控制保护的不同功能,将电网分成了3层。

(1)系统层:位于局部控制环,由采集测量、监视和控制执行这3个控制环节组成。采集测量环节有稳态测量和动态测量,监视环节实现对配电网的监视功能,而控制执行环节负责执行保护控制的指令。

(2)控制层:位于全局控制环,由控制方案和部署这两个控制环节组成。控制方案根据评价的状态采取不同的控制方案,部署环节以控制方案为基础,把它解析为一些可以执行的行动指令和控制条件。

(3)过程层:位于全局控制环,在系统层和控制层之间,起辅助和协调作用,为控制层更好地做决策提供理论支持,由评价状态、故障诊断、快速仿真这3个控制环节组成。评价状态根据采集的信息对系统的运行状态进行判断,故障诊断可以快速地对故障进行定位和判断,快速仿真对控制方案进行一个效果评价,如图2所示。

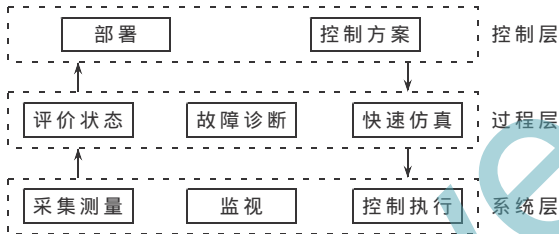


图2 配电网自愈的3层结构8个控制环节

这种框架体系基于传统的框架体系,并进行了一定的改进,将每层的功能划分得更为细化,使其具有更广的应用范围和适应性,也更加符合实际情况。基于这种框架体系,提出了多代理分层的智能配电网自愈控制技术。

3 多代理分层的智能配电网自愈控制

多代理技术源于分布式人工智能,通过将复杂问题分解,用不同的多个代理共同协调合作解决超出单个代理能力的问题,从而实现一些全局目标,增强了问题的求解能力和求解的可靠性^[8]。本文将多代理技术应用于智能配电网自愈控制中,并与配电网的运行状态结合起来,将整个智能配电网自愈控制系统分为3层:系统层、过程层和控制层。其框架如图3所示。

3.1 系统层

配电网是一个复杂的系统,要对这样一个系统实行有效的控制,必须要能够全面地观测这个系统。系统层是电网的最底层,也是实现智能配电网自愈控制的基础。需要采集大量设备的状态数据和表计计量数据,尤其是对关键电力设备的监测。系统层主要由电网监控代理、设备代理、负荷代理、线路代理等组成。

电网监控代理通过调度监控数据采集系统(SCADA)和同步相量测量技术(PMU)对电网实现监控,它们是智能配电网在线监测数据采集和监控的主要系统,SCADA技术对系统进行稳态测量;PMU技术以精确时间为基

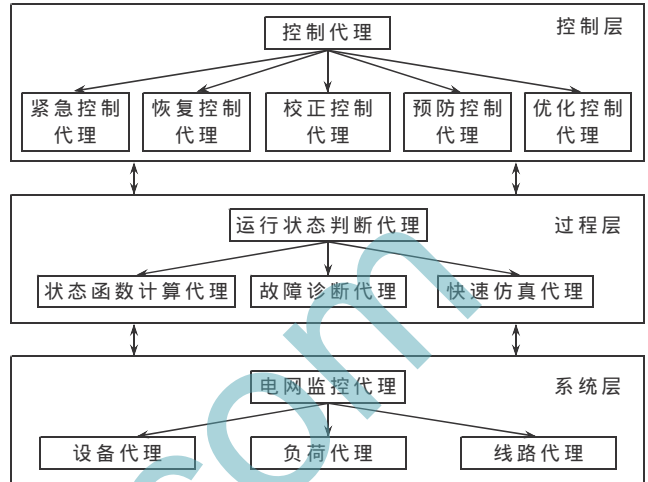


图3 多代理分层的配电网自愈控制图

准,进行动态测量,为实现电力系统全局稳定性控制创造了条件。其智能化程度越高,则支持配电网实现自愈的能力也越强。

设备代理负责执行保护控制方案,由隔离器、分段器、重合器等自动化装置对故障进行隔离、切除和恢复供电等控制。负荷代理为电网提供负荷的实时信息及负荷的重要级别。线路代理负责获取配电线路的信息,是否发生故障及故障类型等。

3.2 过程层

过程层位于电网的中间层,起着协调的作用,判断电网的运行状态。它主要由运行状态判断代理、状态函数计算代理、故障诊断代理、快速仿真与模拟代理组成。

状态函数计算代理根据系统层所采集的电网状态量如电压、电流、功率、频率,构造一个状态函数简记为 $f(\cdot)$,然后分别设定电网在紧急状态、恢复状态、异常状态、警戒状态下不同函数范围的限定值, f_1, f_2, f_3, f_4 。再根据所采集的数据计算出系统的状态函数并与所设定的限定值进行比较,从而确定系统属于哪一个运行状态。

故障诊断代理在故障发生时,通过馈线自动化和故障停电管理技术,根据采集到的故障信息快速准确地确定故障位置和类型并对其行隔离。

仿真与模拟代理通过快速仿真与模拟技术对控制方案进行快速仿真和控制效果的评价,从而为控制层提供理论支持。这也是智能配电网实现自愈控制的一个核心技术。

3.3 控制层

控制层是电网的最高层,控制代理根据系统所处的不同状态和故障,由不同的代理实施不同的控制,使得系统不断地向更加健康的状态转移,提高配电网的供电安全性和可靠性^[9-12]。如图4所示。

根据配电网的运行状态,可将配电网的自愈控制分为5种情况,并由紧急控制代理、恢复控制代理、校正控制代理、预防控制代理和优化控制代理进行控制。

(1)紧急控制代理:当 $f(\cdot) \geq f_1$ 时,配电网的运行状

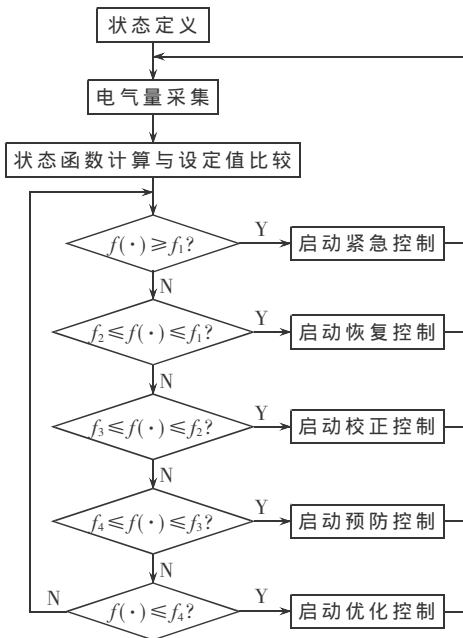


图4 基于系统运行状态的自愈控制图

态处于紧急状态,为了使电网可以安全稳定地持续供电,可采取切机、切负荷等紧急控制措施,使系统转到恢复状态。如图5所示。

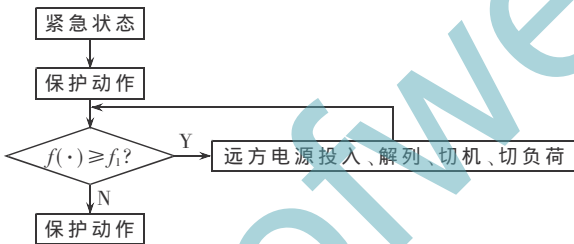


图5 紧急控制

(2)恢复控制代理:当 $f_2 \leq f(\cdot) \leq f_1$ 时,电网的参数基本上可以满足运行的约束条件,但如果还存在失去部分负荷,可采取就地恢复策略和远方恢复策略,改变供电路径,排除故障,使停运的机组投入运行,列解的小系统逐步并列运行,使系统转到异常状态、警戒状态或者正常状态。如图6所示。

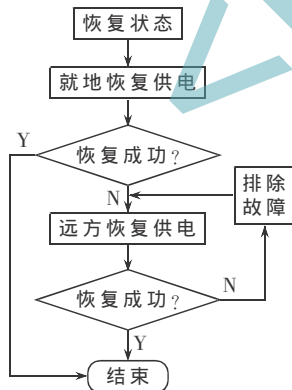


图6 恢复控制

(3)校正控制代理:当 $f_3 \leq f(\cdot) \leq f_2$ 时,此时配电网处在异常状态,存在过负荷,但持续时间在准许范围内,采取措施排除异常设备并调整运行结构,通过补偿控制策略消除过负荷和过电压,使电压稳定,系统转到警戒状态或正常运行状态。如图7所示。

(4)预防控制代理:当 $f_4 \leq f(\cdot) \leq f_3$ 时,配电网的电压频率等参数仍然在允许的范围,但已处于临界状态,储备系数大为减小。此时电网已处于警戒状态,要对网

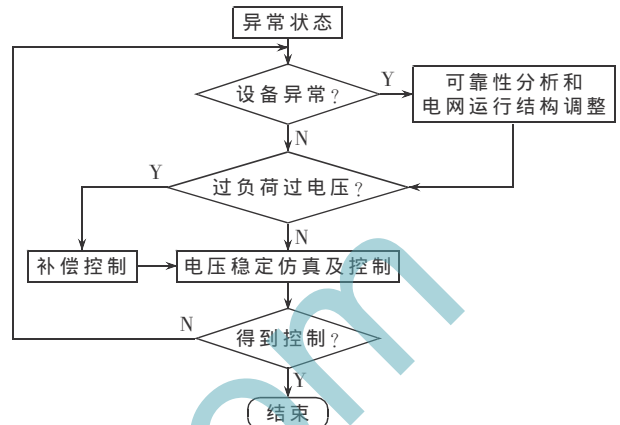


图7 校正控制

络的运行方式结构的变化进行保护定值的整定和校验,并进行故障的预测,对故障进行负荷转移,在无负荷转移能力时,可通过网络结构控制决策,调节无功补偿、改变运行方式等措施,排除隐患,使得系统转入正常运行状态。如图8所示。

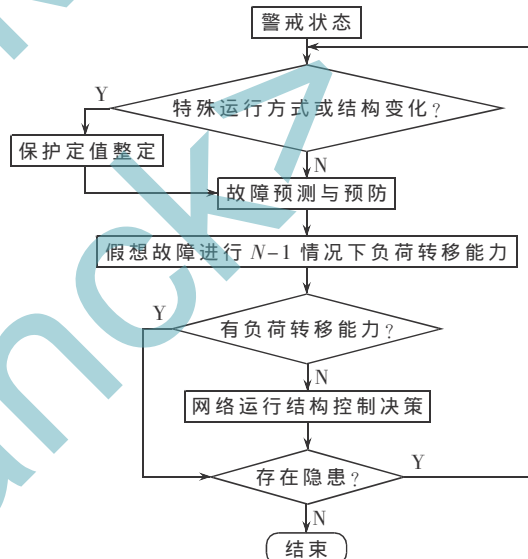


图8 预防控制

(5)优化控制代理:当 $f(\cdot) \leq f_4$ 时,系统处于正常运行状态,电网参数都满足运行约束条件,但系统也可能存在薄弱环节。此时可通过配电网网络重构或电容器投切等措施使网损减小,改善电能的质量,使得电网更加经济安全地运行。如图9所示。

基于多代理分层的智能配电网自愈控制技术根据电网的功能将配电网分成了3层:

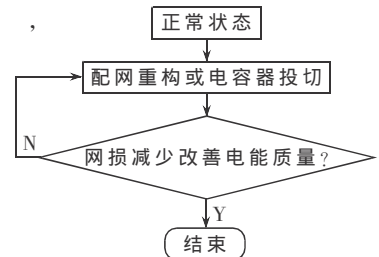


图9 优化控制

系统层、过程层、控制层。每层都有多个代理共同构成,每个代理都有自己的职责。系统层感知电网物理设备,

并与过程层进行数据交换;过程层获取配电网的监控数据,进行电网运行状态的评价,并对控制层的控制方案进行仿真与评价;控制层根据系统的运行状态由不同的代理执行不同的控制方案。这样更加合理和快速,也使电网不断向更加健康的状态转移。

本文对传统的配电网自愈控制框架体系进行了改进,并提出了基于多代理分层的配电网自愈控制技术,将多代理技术与系统的运行状态结合起来,根据系统所处的不同状态执行不同的保护控制。配电网的自愈是智能电网的重要内容,我国现阶段的自愈水平还不是很高,要不断地加强自愈能力的研究,从而推进智能电网的建设。

参考文献

[1] 陈星莺,顾欣欣,余昆,等.城市电网自愈控制体系结构[J].电力系统自动化,2009,33(24):38-42.

[2] 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.

[3] 李天友,徐丙垠.智能配电网自愈功能与评价指标[J].电力系统保护与控制,2010,38(22):105-108.

[4] 王明俊.自愈电网与分布能源[J].电网技术,2007,31(7):1-7.

[5] 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.

[6] Gao Xiang, Ai Xin. The Application of self-healing technology in smart grid[C]. Power and Energy Engineering Conference, 2011.

[7] 郭志忠.自愈控制方案[J].电力系统自动化,2005,2(10):85-91.

[8] 罗凯明,李兴源,李雪.多代理技术在电力系统中的应用[J].电网技术,2004,8(3):38-43.

[9] MOSLEHI K, KUMAR A B R, SHURTLEFF D, et al. Hirsch framework for self-healing power grid[C]. Power Engineering Society General Meeting, IEEE, 2005.

[10] Li Tianyou, Xu Bingyin. The self-healing technologies of smart distribution grid[C]. Electricity Distribution, 2010 China International Conference, 2010.

(收稿日期:2012-05-17)

作者简介:

张明光,男,1971年生,硕士研究生,教授,主要研究方向:电力系统自动化,控制理论和控制工程等。

鲁云云,女,1988年生,硕士研究生,主要研究方向:智能配电网的自愈控制。