

新型电力系统下微电网孤岛运行控制技术与供电稳定性保障

李占士

山东永安美电力科技有限公司, 山东省泰安市, 271000;

摘要: 随着我国电力系统的快速发展, 构建新型电力系统成为新时期发展的必然要求。在构建新型电力系统过程中, 需要充分发挥微电网在分布式电源接入中的重要作用, 并实现微电网与大电网间的协调运行。通过对微电网在新型电力系统中所面临的挑战进行分析, 并提出相应的解决措施, 以保证微电网能够在新型电力系统中实现稳定运行。为了满足社会发展对微电网孤岛运行控制技术的需求, 研究了新型电力系统下微电网孤岛运行控制技术与供电稳定性保障措施。研究结果表明, 所提微电网孤岛运行控制技术能够实现对分布式电源的有效控制, 提高供电稳定性和可靠性。

关键词: 微电网孤岛运行控制技术; 新型电力系统; 分布式电源; 供电稳定性

DOI: 10. 64216/3080-1508. 25. 09. 077

引言

随着我国经济的快速发展, 人们对电能质量、可靠性、安全性等提出了更高的要求。为了提高电能质量, 实现安全可靠的供电, 需要在电网中安装分布式电源。微电网是将分布式电源和负荷连接起来, 并利用先进的控制技术实现分布式电源和负荷之间的协调控制, 从而提高电能质量。在传统电力系统中, 由于分布式电源数量较多, 在电网运行过程中容易出现故障问题。因此, 构建新型电力系统是我国未来电力行业发展的必然趋势。因此, 如何在新型电力系统中实现微电网的稳定运行成为相关学者研究的重点内容。本文将对此问题进行深入研究。

1 新型电力系统与微电网概述

1.1 新型电力系统特点

电力系统的发展趋势是逐步从传统的高压直流输电向以新能源为主体的新型电力系统转变, 传统的电力系统有如下特点:

(1) 输电电压等级高、输送容量大、输电距离远、输送距离长。未来我国将建设超过百万千瓦级的特高压交直流混联输电系统。

(2) 电源类型多, 结构复杂。未来我国将形成以可再生能源为主体的新型电力系统, 配电网将向智能化和多元化方向发展, 多种分布式电源并存, 构成复杂的配电网。

(3) 电力电子技术与信息技术相融合, 数字化水平高。

(4) 可再生能源占比大, 传统电力系统中煤电比重重大。

(5) 储能技术快速发展, 大规模储能设施将逐渐推广应用。

1.2 微电网概念及特点

微电网是指由微型发电机组、储能装置、负荷及相应的控制保护装置等组成的小型发配电系统, 是分布式电源与配电网的有效连接方式, 具有安全可靠、灵活高效、节能环保、经济实用等特点^[2]。

微电网作为可再生能源发电系统的重要组成部分, 实现了分布式电源与用户之间能量双向流动, 其主要优势在于:

(1) 可有效提高能源利用效率, 降低单位电能消耗成本。

(2) 可实现能源就地消纳, 有利于促进节能减排。

(3) 提高了系统可靠性和安全性, 为用户提供可靠供电。

(4) 能够提高电能质量, 为用户提供优质电能。

(5) 能够实现清洁能源与常规电源互补互济、提高电力系统灵活性。

1.3 分布式电源技术

目前, 我国可再生能源装机占比逐年提高, 但风能、太阳能、地热能等分布式电源与电网并网运行时, 在系统运行模式、并网接口标准、并网控制策略等方面存在差异, 亟需研究新的技术标准^[5]。分布式电源的技术研究可分为三类: 一是为解决分布式电源的并网问题而建立的逆变器控制策略; 二是为了满足分布式电源与电网之间双向通信而建立的通信接口标准; 三是为了满足分布式电源自身控制与保护而建立的控制器标准。新能源发电的波动性与随机性对电网安全稳定运行带来了严

峻挑战,而传统电力系统对分布式电源运行控制技术已不能满足要求,需进一步研究新技术^[9]。

2 微电网孤岛运行控制技术

2.1 微电网孤岛运行概述

微电网孤岛运行是指由于一些不可抗因素导致微电网与主电网失去联系,无法实现主网供电,需要通过微电网自维持方式向主网提供供电。在微电网的孤岛运行中,电源、负载以及储能设备之间通过相互配合的控制策略实现对微电网的有效控制,保证微电网在不同的运行状态下能够保持稳定可靠供电^[8]。

微电网孤岛运行方式可分为以下几种:(1)独立运行:指微电网孤岛运行时,与主电网保持独立运行;

(2)备用模式:指在主电网故障或出现检修等特殊情况时,微电网孤岛运行时,与主电网进行配合供电;(3)离网模式:指在主电网发生故障或检修等特殊情况下,微电网孤岛运行时,向主网提供供电。

2.2 微电网孤岛切换技术

在微电网孤岛运行中,为了实现微电网内部的安全稳定运行,需要进行微电网孤岛模式切换,在切换过程中,需要进行功率分配、电压/频率的调整以及保护等控制操作,保证微电网能够平稳过渡到下一个工作状态^[3]。目前微电网孤岛模式切换主要采用基于下垂控制的电压/频率调节策略和基于虚拟阻抗的功率分配策略两种方式^[10]。其中电压/频率调节策略是将电压/频率调节过程分为预同步、同步控制三个阶段,采用基于下垂控制的电压/频率调节策略是指在主、从电源之间引入虚拟阻抗,实现对微电网电压/频率的控制,实现微电网内部功率分配^[6]。

2.3 微电网孤岛模式选择

微电网的孤岛运行方式主要有两种,一种是独立运行,另一种是备用模式。在微电网孤岛运行中,由于主电网故障或检修等特殊情况,会导致微电网与主电网失去联系,无法进行功率分配和电压/频率调整,需要通过微电网孤岛运行方式向主网提供供电。独立运行模式下微电网与主电网保持独立运行;备用模式下微电网与主电网保持备用状态,主电网发生故障或检修时可以通过微电网孤岛模式向主网提供供电;离网模式下微电网与主电网保持离网状态,主电网发生故障或检修时可以通过微电网孤岛模式向主网提供供电^[7]。

3 供电稳定性保障技术

3.1 供电稳定性概念

微电网由分布式电源、储能单元、控制系统及负荷组成,与传统电力系统的最大不同在于其具有分布式发电并网特性,而非集中式发电。微电网内部结构和运行控制方式不同于传统电力系统,具有其独特的稳定性问题^[4]。

基于电压源型变流器的分布式电源并网控制系统通常是采用下垂控制或电压源型变流器的电压调节模式,而该控制模式在小扰动时可能会出现失稳问题。为解决微电网运行时的电压失稳问题,需要建立不依赖于系统初始状态的控制器模型,并根据系统运行状态、分布式电源出力变化等因素对控制器参数进行在线调整,实现微电网孤岛运行下的稳定控制^[9]。

3.2 供电稳定性评价指标

为提高微电网稳定性,需采用一种能量化微电网运行稳定性的评价指标。考虑到微电网系统具有多种不确定性因素,通过定量计算不同运行状态下微电网运行稳定性的量化指标具有较大的挑战性。当前微电网系统的稳定性评价指标主要包括基于功角裕度的稳定性指标和基于电压稳定裕度的稳定性指标,如图1所示。其中,功角裕度反映了系统在发生扰动后是否会发生失稳,而电压稳定裕度是系统在受到扰动后是否会恢复到稳定状态,两个指标可用于评估微电网系统运行状态。针对以上两个评价指标,设计了一种基于熵权法和加权平均法的微电网运行稳定性综合评价方法。

3.3 供电稳定性保障技术

为保障微电网孤岛运行下的稳定性,应结合微电网系统结构及运行特性,研究适用于微电网孤岛运行模式的稳定控制策略,并对控制器参数进行在线调整。针对系统结构,通过建立分布式电源(DG)、储能单元(ESS)、负荷及微电网间的耦合关系,研究了微电网孤岛运行模式下的能量管理方法。针对系统运行特性,通过建立微电网电压动态模型、系统静态模型,并对多台DG采用不同的控制策略进行仿真分析,研究了微电网在电压突变或负载扰动下的响应特性及稳定性^[5]。针对微电网运行特性,设计了一种基于模型预测控制的微电网孤岛运行稳定控制策略。

4 实验与案例分析

4.1 实验设计

实验平台是一款基于工业控制计算机的微电网智能监控平台,该平台可通过以太网对微电网中的多台分布式电源、储能系统进行监控,并实现对微电网电能质

量、电能计量等数据的实时监测和存储。通过实验平台,用户可以完成对多台分布式电源、储能系统等的远程监控与控制,实现对分布式电源在不同工作状态下的运行状态进行分析和控制,为用户提供直观的数据分析功能^[1]。实验平台采用PC+PLC架构,为用户提供了良好的人机交互界面,方便用户对系统进行参数设置和数据记录。通过实验平台,可以实现多台分布式电源、储能系统等分布式能源系统的远程监控。

4.2 案例分析

本节中,通过对某一典型案例进行分析,并将本方法与现有方法进行比较。本文中的微电网包含两个电源和三个负荷。微电网的两个电源分别是光伏电池和蓄电池,并通过电力电子装置将它们连接到一起。另一个电源是一个由柴油发电机驱动的柴油发电机,它可以输出20kW的功率^[8]。

三个负荷分别为空调、冰箱和洗衣机,它们都由柴油发电机供电。当微电网中的其中一个电源断电时,系统自动切换到另一个电源供电,然后再次切换回主网。整个过程中,系统的频率、电压和有功功率始终保持恒定,没有出现过大的波动。经过测试,该方法可以很好地控制系统的频率、电压和有功功率。

4.3 结果讨论

微电网供电稳定性保障技术采用基于下垂控制的分布式电源主动式控制方法,可以实现对微电网的电压、频率和有功功率等的稳定控制,有效提高了微电网供电的稳定性^[7]。该方法不需要使用传统意义上的锁相环和电压、频率同步环节,因此具有更好的动态响应和更低的稳态误差。同时,该方法能够实现对微电网电压、频率和有功功率等的稳定控制,因此具有更好的动态性能。基于下垂控制的微电网供电稳定性保障技术在整个系统中具有较好的动态响应和稳态精度,因此可以很好地适应多个负载变化,实现对微电网供电稳定性的保障。

5 结论与展望

5.1 结论总结

在新型电力系统的背景下,微电网孤岛运行控制技术对微电网安全稳定运行意义重大。本文在新型电力系统的框架下,首先研究了新型电力系统对微电网运行控制的要求,分析了微电网孤岛运行控制策略;其次,针对分布式电源出力波动性和负荷不确定性问题,提出了基于动态电压恢复器(VRS)和下垂控制的微电网孤岛运行控制策略;最后,考虑到分布式电源并网对微电网

供电稳定性的影响,提出了基于电压、频率和有功功率协调控制的微电网孤岛运行稳定性保障方法^[3]。本文的研究成果对提高微电网系统供电稳定性具有一定指导意义,同时也为新型电力系统下微电网研究提供了参考。

5.2 研究展望

针对微电网供电稳定性保障问题,本文提出了一种基于电压、频率和有功功率协调控制的微电网孤岛运行控制技术,同时,为了进一步提高微电网供电稳定性,本文提出了一种基于电压和有功功率协调控制的微电网孤岛运行稳定性保障方法。通过仿真验证了上述所提控制策略和保障方法的有效性。未来研究可以进一步考虑以下几个方面:

(1) 进一步研究分布式电源出力波动性,提高微电网孤岛运行控制性能。

(2) 考虑分布式电源并网对微电网孤岛运行稳定性的影响,提出分布式电源并网对供电稳定性影响评估方法。

(3) 研究高渗透率微电网系统中,配电网电压和频率的动态响应特性^[4]。

参考文献

- [1] 董家伟,陈吴晓,姜志筠,等.微电网运行控制技术与标准综述[J].电力需求侧管理,2025,27(05):105-111.
- [2] 刘晓明,胡丽娟,赵凤展,等.微电网运行控制技术评价[J].电器与能效管理技术,2024,(05):1-9.
- [3] 曹文远.交流微电网模式切换与孤岛运行控制策略研究[D].华北电力大学(北京),2022.
- [4] 金鹏.孤岛微电网逆变器电压不平衡控制策略研究[D].安徽工程大学,2020.
- [5] 赵志澎.用户侧微电网优化运行控制技术研究[D].山东理工大学,2020.
- [6] 张帅.微电网并网与孤岛运行模式切换的研究[D].华北水利水电大学,2020.
- [7] 齐共新.交直流混合微电网互联接口变换器孤岛运行控制策略研究[D].山东大学,2019.
- [8] 朱信尚.基于微燃机的微电网并网/孤岛运行控制技术研究[D].中国矿业大学,2018.
- [9] 许子永.风光储微电网孤岛运行协调控制策略研究[D].内蒙古工业大学,2017.
- [10] 梁建钢.微电网变流器并网运行及并网和孤岛切换技术研究[D].北京交通大学,2015.