



含多种分布式电源的微电网控制系统研究

王立涛,田卫华,郑百祥

(北京国电通网络技术有限公司 北京 100070)

摘要:针对微网的并网与离网运行方式以及两种运行方式之间的转换,提出一种含多种新能源分布式电源的微网控制策略,建立控制系统。采用直流与交流微电网混合方式对交流负荷供电,在交流侧,采用独立的公共 DC/AC 变换,连接到一条微网母线上。针对微网的并网运行模式,建立 P/Q 控制模型,离网运行模式采用 V/f 控制方法。采用风力发电、光伏发电、蓄电池储能 3 种微源作为组网单元,对 3 种微源进行并/离网切换及负荷切断/闭合运行控制,建立微电网系统仿真,初步验证系统可行性。

关键词:微电网;分布式发电;蓄电池

doi: 10.3969/j.issn.1000-0801.2013.12.011

Research on Microgrid Control System with Different DG Types

Wang Litao, Tian Weihua, Zheng Baixiang

(Beijing GuoDianTong Network Technology Co., Ltd., Beijing 100070, China)

Abstract: According to the grid-connected and islanded operating modes of microgrid and the changeover between them, a control strategy of microgrid with different kinds of DG (distributed generation) was proposed, which monitors the operating states of both microgrid and power network and provides the unified coordinating control by the central controller of microgrid. DC micro-grid and AC micro-grid hybrid was adopted. An independent public DC/AC converter used in AC side. Not only the load demand was satisfied, but also the converter resources were saved. P/Q control model was established based on grid-connected model. And in isolated mode, the converter was working in V/f control. The direct-drive permanent magnet wind power generation system, dual-stage PV generation system and Li-ion battery energy storage system were used as networking unit, and the results of transferring microgrid operation, modes and cutting or increasing load in islanded mode show the effectiveness and feasibility of the proposed control strategies.

Key words: microgrid, distributed generation, battery

1 引言

随着全球对电能的需求越来越大,各国都制定相关政策鼓励发展可再生能源(如光伏、风能、生物质能、燃料电池等)的分布式发电。但目前新能源接入成本高、运行控制困难等问题限制其大规模应用^[1]。且新能源大多为间歇性能源,发电波动严重影响电网的电能质量、降低电网供电

可靠性,对电网造成严重冲击。2001年,美国威斯康星大学 Lasseter R H 提出了微电网的概念^[2]。微电网将分布式电源、储能、负荷及电力电子装置有机结合,形成自愈性强的可控发用电系统。相对主网,微电网可作为一个高可控性模块单元,对大电网进行有力补充,当大电网失电时为电网重要负载提供可靠高质量电能。

微电网有并网与离网两种运行状态。在电网正常时,



微电网接入传统配电网实现并网运行管理,当电网失电或电能质量低时,微电网可自动、快速地与电网断开连接,并确保负载不间断运行,此时微电网离网运行,并结合发电单元与储能单元实际情况自动切断非敏感负荷,保证重要负载安全运行。

近年来,国内外大学及实验室对微电网系统进行了广泛的研究,尤其在微电网综合能量管理系统和电力电子设备(如光伏并网逆变器、风机逆变器等)等方面取得了明显的成果,大量文献^[3]对微电网的并网及离网运行控制进行了建模分析及研究,目前已得到公认的控制主要是通过控制逆变器或变流器实现模式转换,逆变器实现技术采用P/Q控制和V/f控制方法,通过模拟电力系统中发电单元和负荷单元的频率、电压、有功功率、无功功率等特性分析控制各个分布式发电单元。目前大多只是分别研究微电网的并网及离网运行方式、方法,对两种运行方式之间的转换鲜有研究。

本文采用光伏电池、风力发电和锂离子电池作为微电网中的分布式电源,根据微源的发电特性分别选择光伏并网逆变器、风机逆变器、储能变流器,基于LCL滤波器的储能电压源型功率变化器(VCS)及DC/AC双向逆变器(PCS),提出储能单元控制策略,提高储能系统使用容量,实现微电网并网、离网、并/离网及离/并网安全运行、负荷无缝切换控制。采用综合能量管理系统平抑可再生能源功率波动

控制策略,通过储能系统改善风力发电和光伏发电的输出特性,实现储能系统与可再生能源协调运行从而消除间歇性发电对电网的冲击影响。提出的控制策略及微电网系统将在项目中进行测试、试运行以验证其可行性。

2 微电网结构与组成

美国电力可靠性技术方案解决协会(CERTS)提出的微电网结构是目前世界上最权威的微电网结构^[2]。图1为经典智能微电网结构示意图^[2],包含各种类型的负载,几种主要的分布式电源,储能系统设备,综合能量管理系统,开关,公共连接点(PCC)接口,微电源保护设备,A、B、C 3条微网馈线和一条负荷母线,网络结构呈辐射状。IEEE规定了智能微电网并网标准^[4],在PCC处,微电网系统各项技术指标必须满足规范要求,国家电网公司也提出了适用于中国的分布式电源接入标准。现在多数示范点以该结构为基础,结合实际构建适应本地条件的微电网,以解决复杂控制机构和信息交流机制带来的不便,更好地发挥微电网电能质量和稳定性等方面的优势。

图2为本文根据项目实际情况设计的混合微电网结构示意图。风力发电机通过逆变器连接到交流配电柜;光伏电池通过回流配电装置连接并网逆变器,接到交流配电柜;蓄电池通过双向变换器接入交流配电柜,实现蓄电池的充放电功能;交流配电柜向交流负荷供电。在整体控制

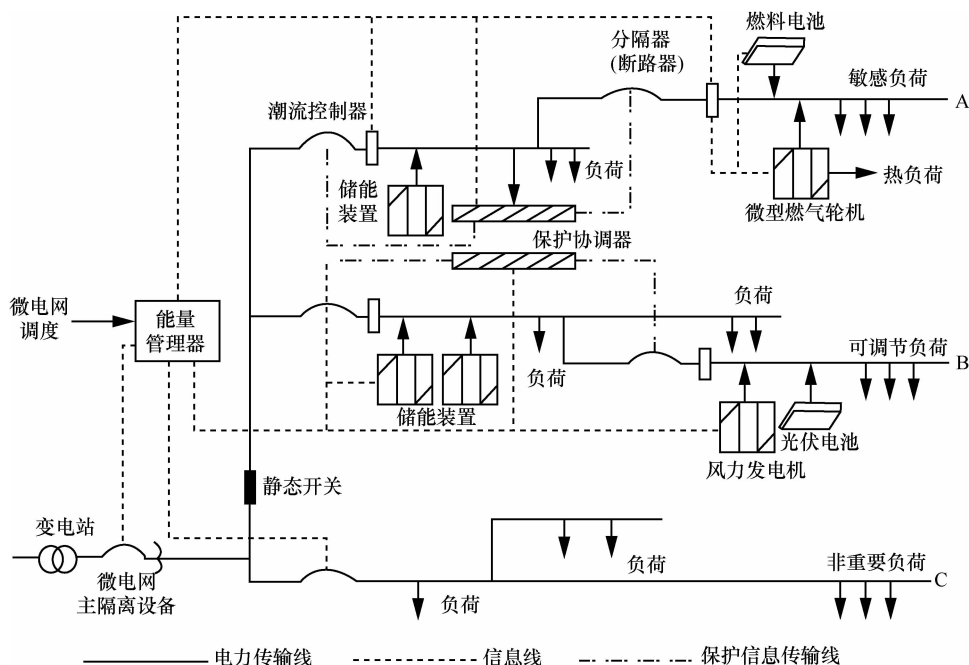


图1 经典微网拓扑结构

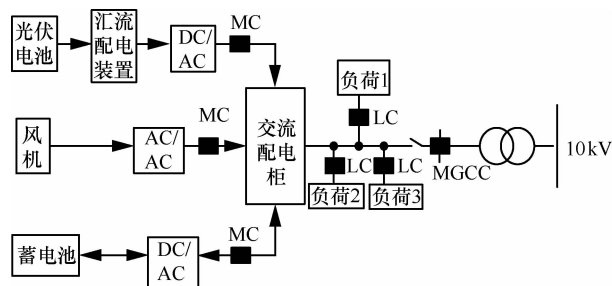


图 2 混合微电网结构示意图

策略上,微网控制器(MGCC)、微电源控制器(MC)和负荷控制器(LC)采用 485 或光纤等方式建立可靠通信连接。微网控制器安装在微电网并网附近,实现微电网与传统电网协调控制;LC 和 MC 从属于 MGCC 管理,实现对负荷和分布式电源的控制。

本系统通过监控系统对微电源运行进行统一能量管理、并离网运行策略控制、综合能效分析、分布式电源保护、风功率预测、光功率预测等,同时系统具有自趋优运行功能,保证系统内部安全可靠运行,实现电力稳定输出,微电网与配电网之间通过电力电子装置及控制模块实现快速切换,不会对电网造成压力,减少可再生能源对电网冲击影响。通过发电单元功率预测、负荷单元预测,系统实时调整控制策略,实现系统最优、最经济运行。

2.1 分布式电源

目前微电网系统中可以应用多种分布式电源,如微型燃气轮机、固体氧化燃料电池、光伏电池、生物质能等,本文中采用光伏电池和风力发电机组作为微电源。

2.1.1 光伏发电系统

光伏组件发电电路模型如图 3 所示,光伏组件属半导体光电模式,太阳光照射到光伏组件上,光伏组件电子跨越禁带产生光生电压,电压两端接上负载时,就会产生电流为负载供电。根据电路原理及 Shockly 的扩散理论,可以推导出光伏电池的电流输出特性。本文不具体推导光伏电池特性,主要介绍光伏发电结构。光伏发电输出直流电采用双级式并网逆变结构^[9],光伏发电前级采用 BOOST

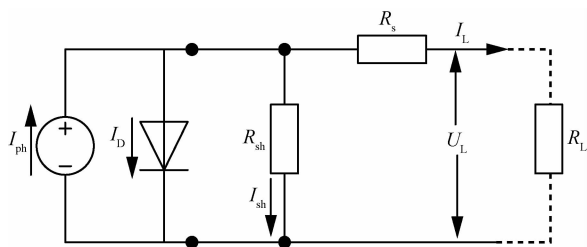


图 3 光伏电池等效电路模型

变换器实现最大功率跟踪(MPPT)控制,同时经过 DC/DC 升压;后级经过 DC/AC 逆变将直流电变换为 220 V 交流电,实现有功功率、无功功率控制和传输。光伏组件阵列发出的功率送到微电网系统母线上。MPPT 采用电压扰动法^[9],通过在光伏组件工作点电压施加微小扰动,从而判断输出功率变化方向,最终实现光伏组件阵列工作在最大功率点附近。

2.1.2 风力发电系统

风力发电是根据空气动力学理论,风力机从风能中捕捉到功率,将机械能转化为电能,本项目中风力机采用垂直轴风力发电机组,敏感性高、机械损耗小。采用变速恒频发电技术捕获最大风能,提高风力发电利用率,并用爬山法实现 MPPT 控制,提高风力发电机组的整体运行效率,采用双 PWM 变流器控制风力发电系统发出的有功功率和无功功率,改善输出特性。

2.2 负荷与储能系统

微电网负荷主要是分散型用户,微电网为用户提供安全、高效、便捷的工作生活环境,用户可以了解各个用电设备的详细用电数据信息和运行状态,并根据需要合理调整设备运行参数和运行计划,实现智能用电。微电网的负荷可分为重要负荷、一般负荷和可中断负荷等。实际中,部分非敏感负荷可看作可控负荷,可以用于削峰平滑负荷波形,当需要切换负荷时,非敏感负荷中的不可控负荷部分是第一个被选择切除的对象,当微电网脱离大电网进入孤岛运行时,为保证重要负荷和一般负荷稳定持续供电,控制系统将切除非重要负荷。图 4 为微电网负荷优先级控制原理。

本文中,风力发电系统和太阳能光伏发电系统具有间歇性和随机性的特点,并且设置负荷为随机变化,因此本系统运行控制较为复杂。储能对于实现微网内部能量的瞬时平衡、维持微网的稳定运行、并/离网平滑切换具有非常重要的作用。锂离子电池具有大容量、高效率、高能量密度等其他储能无法企及的优势,本文采用的储能系统为锂离子电池储能系统,大规模储能系统运行中出现电池组的

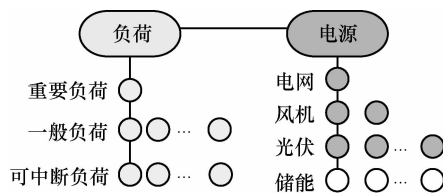


图 4 微电网负荷优先级控制原理



不一致性会影响存储能量,存在安全隐患,因此需配备电池管理系统(BMS)对蓄电池进行均衡和策略管理。

图5为本公司自主研发的BMS框架,BMS采集储能系统信息,并通过监控系统对其进行监控及策略管理。BMS采集电池电压、电流、温度及电池充放电次数记录等电池重要信息。通过数学算法实现高精度估算电池剩余电量(SOC)及电池健康状态(SOH),BMS采用双向自适应无损耗主动电荷均衡策略,消除电池组之间的不一致性,使本系统的电池可用容量提高,电池使用效率提高,电池组的使用寿命延长,降低了电池的维护成本。与风能、太阳能等可再生能源结合输出稳定的电能,并提高发电设施和电力传输设施的使用效率,通过BMS与微电网管理系统连接,可以统一调控并管理储能系统。图6为电池均衡测试结果。

2.3 电力电子装置

分布式发电系统和储能系统都需要电力电子装置控制逆变才能接入微电网系统,本系统主要包括光伏并网逆变器、风机并网逆变器和储能双向变流器等。风力发电机输出的高频交流电需通过AC/AC整流器进行整流;光伏组件阵列输出端的直流电需接入buck-boost变换电路以提高光伏板的输出电压与动态响应速度;储能系统需要接入

双向变流器实现DC/AC双向转换。

3 微电网并网与控制

3.1 微电网并网运行

微电网并网运行时,微电网与大电网相连,微网母线电压及频率由大电网支撑,微网内部的各个微源只需控制功率输出以确保微电网内部的功率平衡,储能系统采用P/Q控制方式,将风力发电和光伏发电的功率和滤波后与实际功率的差作为储能系统有功功率输出,保证微网系统向外电网输出平滑功率,通过获得滤波信号控制储能逆变器的SVPWM信号。

针对新能源的随机性、间歇性、波动性特点,系统并网运行时具有调度模式,此时微网相对电网可作为可调负荷进行调度管理;同时微网具有削峰填谷模式、平抑可再生能源波动、储能优化管理及系统智能自趋优运行等控制策略,确保可再生能源友好接入电网,电网—微网—负荷协调运行,实现能量管理,确保系统安全稳定运行。

3.2 微电网离网运行

当微网独立运行时,断开与大电网的连接。此时需要储能系统维持微电网的电压和频率,储能系统变流器采用V/f控制方式,变流器的输出电压与参考电压相比较,误差

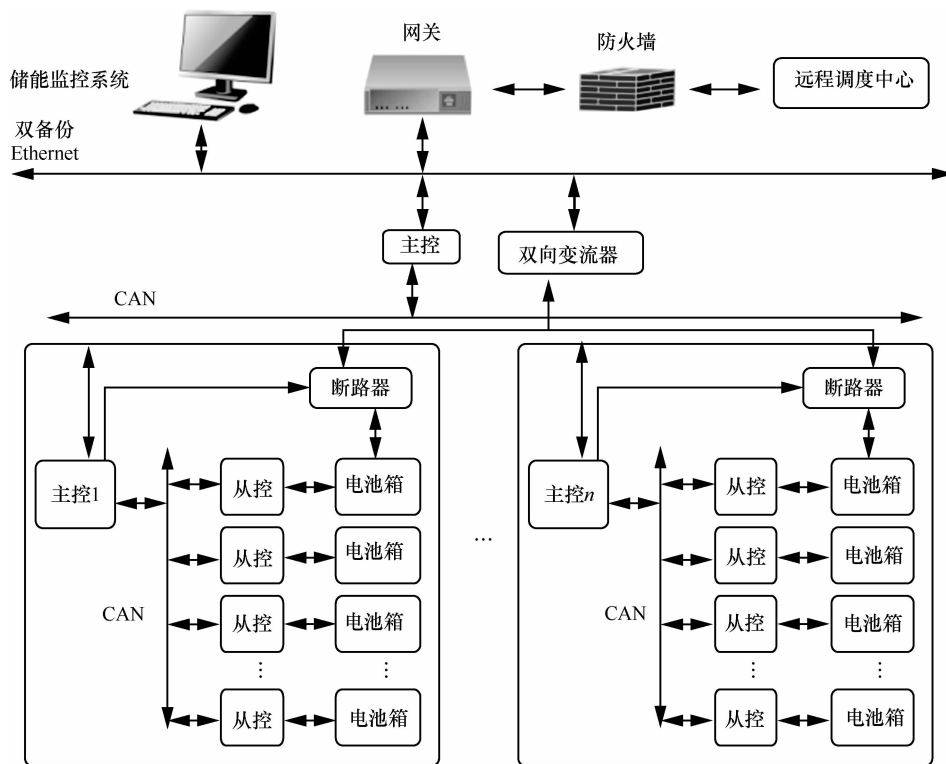


图5 BMS架构

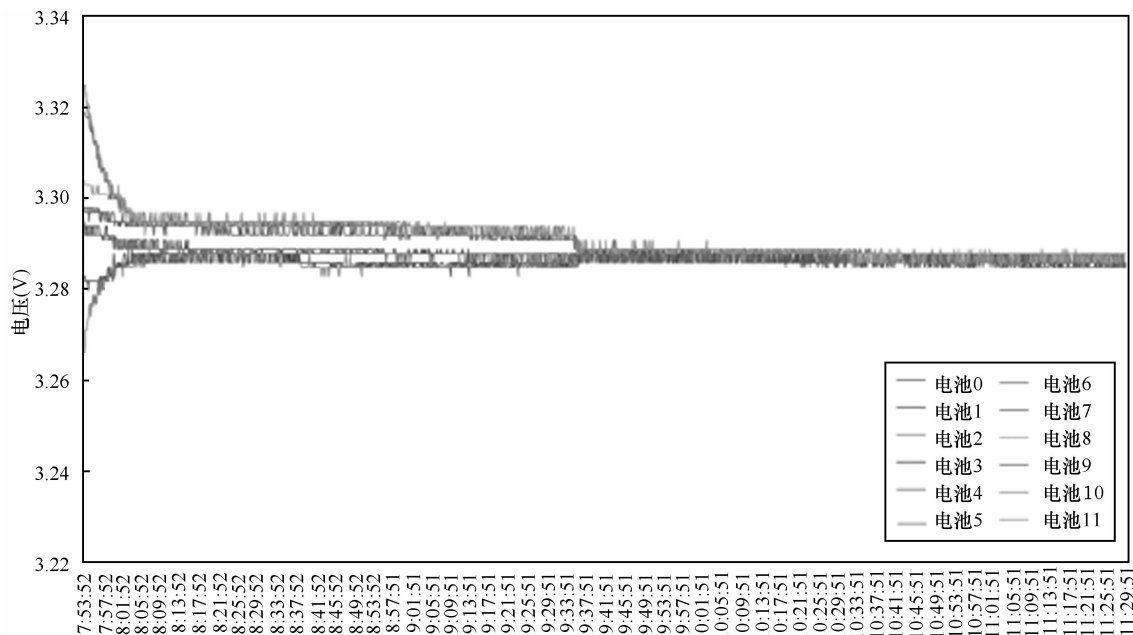


图6 电池均衡测试

信号经调节后输出为电流内环作为参考。采用滤波电感电流和电容电压双环控制,确保微网系统离网时可再生能源输出平滑功率,实现负载可靠供电。通过综合能量管理系统进行策略分析,合理调节负荷,保证重要负荷持续供电。

3.3 微电网并网/离网模式转换

并网模式下,当大电网故障或电能质量较低时,微网控制器断开并网开关,系统切换至离网模式,储能双向变流器从三环控制方式切换至双环工作方式。控制策略上储能逆变器从 P/Q 控制调整为 V/f 控制。平抑功率波动策略不变以确保系统能平滑快速地转换。

离网模式下,当接到并网指令时,储能变流器检测配电网的电压幅值与相位,并调节与电网同步,当满足并网条件时并网开关闭合,同时,储能变流器转为间接电流控制模式,储能系统从 V/f 控制调整为 P/Q 控制。微网并网时需实现微网系统与大电网严格同步,从而减少微电网并网瞬间的冲击电流,保证微电网友好接入大电网,并网条件高于 IEEE 1547 标准。

4 仿真分析

本文在 MATLAB/PSCAD 环境下搭建微网系统仿真模型,仅提供并网/网切换及负荷增/切等详细仿真结果,如图7所示,系统频率为 50 Hz,母线线电压为 220 V,光伏发电系统峰值功率为 15 kW_p,风机发电额定功率为 20 kW,储能单元为 50 kW·h;敏感负荷的有功功率为 12 kW,无功

功率为 1.8 kVar,一般负荷的有功功率为 9 kW,无功功率为 1.2 kVar,不重要负荷的有功功率为 5 kW,无功功率为 0.5 kVar。通过对微电网系统并网/离网模式转换、离网时切断与闭合负荷进行仿真分析,验证系统控制策略的可行性。微网在 0~2 s 为并网运行,2~20 s 为孤岛运行,20 s 以后并网运行。10 s 时不重要负荷断开,18 s 时给不重要负荷供电。

图 7(a)、图 7(b)为捕获最大风能及光能,本系统采用模拟仿真光伏最大功率点跟踪技术,捕获最大光能。图 7(c)为光伏、风机、储能系统 3 个微电源输出有功功率仿真结果,图 7(d)为光伏、风机、储能系统 3 个微电源输出无功功率仿真,图 7(e)为微网分布式电源功率总和,图 7(f)为微电网投入负荷后负载有/无功功率变化曲线。从图 7(c)~图 7(f)仿真结果分析,微电源有无功功率变化与负载有无功功率变化一致,微电网并网/离网运行正常,在运行到 18 s 时非敏感负荷投切,储能系统、微电网系统以及负荷功率及时发生更改且变化一致,表明该系统运行逻辑正常,结果与预期一致。图 7(g)与图 7(h)表明微电网在运行过程中频率稳定,敏感负荷电压相对稳定,只有微小波动属于正常现象,从两图中可以看出该微电网系统能够对敏感负荷提供稳定的供电可靠性及供电质量,确保敏感负荷安全可靠运行。储能系统在仿真过程中灵活合理充/放电,图 7(e)表明储能系统实现了功率平滑稳定输出,消除清洁能源功率波动对微电网的影响。在孤岛模式下,储能单元 V/f 控制