

微网监控系统及其控制策略设计

周钰¹, 郝为瀚¹, 李涛², 鲁丽娟¹, 郭芳¹

(1. 中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 510663; 2. 广州供电局有限公司, 广州 510610)

摘要: [目的]为解决微网的监控系统及其控制策略设计这一难题。[方法]从工程实践的角度出发,介绍了微网的监控系统及其控制策略的设计方法,随后提出了微网监控系统的功能构架、网络结构及微网的控制策略,同时给出并网点并离网控制的具体流程。[结果]最后开展一个工程实例设计,给出了工程实例的网架结构及控制策略。[结论]工程实例表明了该方案的有效性,对实际工程具有指导意义。

关键词: 微网; 并网网切换; 控制策略; 监控系统设计

中图分类号: TM7; TM732

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2018)S1-0177-06

Design of Monitoring System and Control Strategy for Micro-grid

ZHOU Yu¹, HAO Weihang¹, LI Tao², LU Lijuan¹, GUO Fang¹

(1. China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, China;

2. Guangzhou Power Supply Bureau Co., Ltd., Guangzhou 510610, China)

Abstract: [Introduction] The monitoring system and control strategy of micro-grid has been considered as one of the difficulties to be solved in the micro-grid design process. [Method] Based on project experience, the design method of the micro-grid monitoring system and its control strategy were described in the paper. And then, the functional framework, the network structure and the control strategies of monitoring system in the micro-grid were proposed, at the same time, the paper gave the concrete process of PCC switching strategy. [Result] Finally, a project example was given in the paper, the network structure and the control strategies of the example were proposed. [Conclusion] The example shows the effectiveness of the program, it has guiding significance for practical project.

Key words: micro-grid; grid-connected/grid-disconnected transfer; control strategy; monitoring system design

随着能源需求的不断增加、人们对环境的要求日益提高,传统石化能源被清洁能源代替也随之呼声日益提高,从而提出了一种微型电力系统,它是由微源、负荷、各系统的连接线件构成、运行方式灵活、可并网运行也可以独立运行的微型电力系统。2015年国家能源局国能新能〔2015〕265号文也指出,新能源微网代表未来能源发展趋势,是“互联网+”在能源领域的创新性应用,对推进节能减排和实现能源可持续发展具有重要意义^[1-2]。

微网应具备以下特点^[3-6]:

- 1) 分布式能源的集成与应用。
- 2) 运行方式灵活。
- 3) 电网自我调节能力强,电能质量优。
- 4) 高可靠性可脱离大电网独立运行。

基于上述特点,在微网建设过程中可能涉及的关键技术包括基于电力电子技术新型逆变器、静态开关、电能质量控制器,微网故障检测与保护技术、通信技术以及微网系统的规划、运行控制、能量管理、仿真建模、经济性评估等^[5]。

本文以实现微网高效、可靠运行为目标,从微网监控系统设计、控制策略实现、并网网切换技术等方面进行了探讨。

收稿日期: 2018-01-06 修回日期: 2018-03-12

基金项目: 中国能建广东院科技项目“智能微网规划设计试验研究”(EV00691W)

1 监控系统设计

监控系统是整个微网系统协调控制的核心，是实现微网协调、稳定控制、高效可靠、能源最大化利用的重要设备。

1.1 监控系统特点

区别于变电站、火力发电厂的监控系统，微网监控系统有着自己的特点：

- 1)控制对象分散布置。微源、负荷以区域为单位，分散布置于各处。
- 2)运行模式多样。并网运行模式及孤网运行模式均有不同的控制目标及控制策略。
- 3)不同控制策略对系统响应速度需求存在差异。如电能质量调节、无缝切换等要求监控系统的响应在毫秒级；经济发电运行、削峰填谷等要求监控系统的响应为分钟级或者小时级。
- 4)个性化设计需求高，不同微网根据其微源的特点，分布情况，监控系统均需要定制化的设计，以达到微网的整体运行目标。

1.2 监控系统构成

1.3 监控系统功能构架

根据微网监控的特点，在设计微网监控系统功能时，可采用模块化设计方式，以适应各项功能的组合需求。纵向看，系统功能分为三个层面：平台基础功能、业务应用功能、综合应用功能，如图1所示。

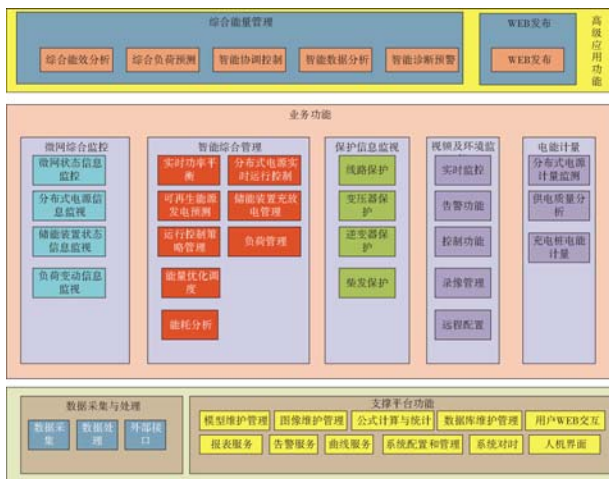


图1 微网监控系统功能构架

Fig. 1 Functional framework of micro-grid monitoring system

平台基础功能主要为微网监控系统提供基础服务支撑，包括数据库、报表、模型、统计、告警等

方面的内容。

业务应用层主要结合微网内各元素配置情况设定，至少应包含微网综合监控、综合管理、保护及监视信息等内容。

综合应用功能包含能效分析、发电预测、负荷预测、协调控制、专家预测及事故预警等方面内容。

1.4 监控系统网络结构

根据监控系统的功能需求，结合监控系统的特点，微网监控的构架建议采用分层分级设计方式，主要分为三个层次：系统控制层、区域控制层、就地控制层。具体网络结构图如图2所示。

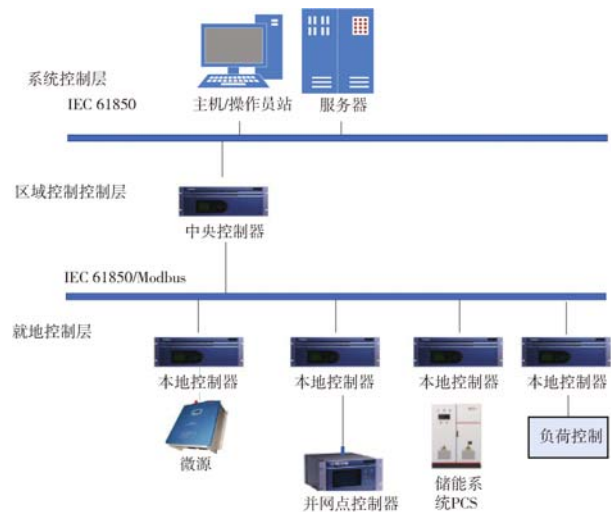


图2 微网监控系统网络构架

Fig. 2 The network structure of micro-grid monitoring system

1)系统控制层：系统控制层主要完成微源和负荷的协调控制、能量管理、配电系统管理、电能计量等。电能计量设备、视频及环境监测系统通过站控层交换机接入监控不同安全分区的主机。

2)区域控制层：区域控制层的核心设备为中央控制器。中央控制器负责自动并网控制、配合调度指令完成并网控制；中央控制器具备对系统各微源控制器及负荷的控制及调节能力，能够对其控制模式及控制参数进行设置，实现整个微网的协调控制，保证微网的新能源最大化利用及系统的可靠稳定运行。

3)就地控制层：负责微网内单元设备的保护与控制。光伏系统控制器、发电机控制器及储能系统控制器等就地控制层设备主要功能为协调微网系统内各元件的监测与控制，能够与微网中央控制器进

行快速通信,并通过站控层网络与后台进行通信。

4)通信方式及通信规约:系统控制层与区域控制层之间的通信一般采用以太网结构、IEC 61850 规约。区域控制层与就地控制层的通信根据设备及运行需求,优先采用以太网结构、IEC 61850 规约通信,条件不具备时也可采用 Modbus TCP/IP 或者 Modbus 串口通信规约。目前大部分设备能够支持系统控制层与区域控制层之间的通信采用 IEC 61850 规约,区域控制层与就地控制层的通信采用 Modbus TCP/IP 或者串口通信规约。

通过三层网络,可实现数据的分级处理。就地控制层主要实现就地的数据采集及控制命令的传达,区域控制层主要实现时间尺度在 ms 级的控制策略,系统控制层主要实现时间尺度在 min 级及以上的控制策略及微网的综合辅助决策策略。三层网络结构各层各司其职,最终实现系统的高效、可靠运行。

此外目前国内及国外部分厂家微网监控系统产品中央控制器与本地控制能够互为备用,当本地控制与中央控制器通信出现故障时,能够由预先写入的应急控制程序短时自主运行,保证控制对象运行的可靠性^[7-9]。

2 控制策略

2.1 运行目标

2.1.1 系统的稳定运行

维持微网内运行的稳定性,主要包括电压值、频率值两个指标。并网时,微网的电压和频率主要由主网决定;离网时,电压和频率需要微网自主调节,微网可通过控制策略,调节系统内微源的运行控制参数,保证整个系统的电压、频率的稳定。

2.1.2 保证系统的高效运行

在微网运行过程中,能够最大限度的利用可再生资源资源、实现资源的优化配置,储能作为微网系统内重要的调节元件,在调节过程中起到不可替代的作用,通过储能元件与光伏等可再生资源的密切配合,可实现上述目标^[10-11]。

2.2 运行控制策略

微网的运行控制策略的确定需要与网络结构设计相结合,根据网络构架,各层的控制器承担不同的控制策略。

系统控制层的控制策略包括可再生能源发电预

测、运行控制策略管理、能量优化调度、能耗分析、多电源协调控制等、平滑分布式电源波动、智能数据分析、智能诊断预警、离网稳定与经济运行、储能装置充放管理、负荷管理等。

区域控制层的运行控制策略包括并网点(PCC)控制、微网并离网切换、紧急调频、孤岛检测、多储能系统的协调控制、分布式电源实时运行控制、低压/低频减载、联络线功率控制、动态调压等。

本地控制层的运行控制策略主要包括本地子系统的内部协调控制、与上级控制器通信失效的应急控制、上级控制指令的分解与下达等。

2.3 并离网控制策略

本文阐述的并离网控制指的并网点的控制策略,并离网控制根据其控制过程可分为计划性并网转离网、计划性离网转并网、非计划性并网转离网三个过程的控制。不同的微网,并离网控制策略由于设备选型、微网组成不同,存在较大差异,本文给出并网型且需要无缝并离网切换的微网推荐性的控制方法,具体如下:

2.3.1 计划性并网转离网

监控系统限光伏等微源的出力,调节并网点功率平衡,随后监控系统发出并转离控制指令给并离网控制器,并离网控制器接受命令后分开并网点开关,同时通知储能系统进行 PQ-Vf 的模式转换。具体控制流程图如图 3 所示。

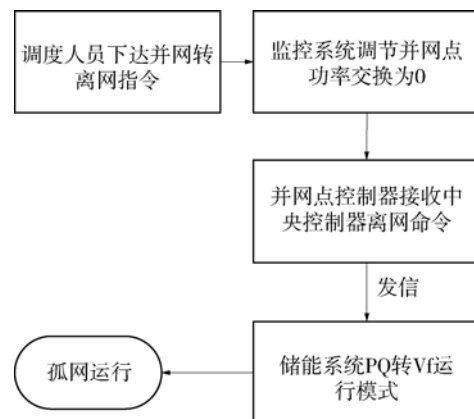


图3 计划性并网转离网控制流程图

Fig. 3 Planned grid-connected mode transfer to grid-disconnected mode control procedure diagram

2.3.2 计划性离网转并网

监控系统对并网点控制器下发离网转并网控制指令,并网点控制器检同期并网,并网点开关自行

同期合闸，在合上并网开关同时并通知储能系统进行 Vf-PQ 的模式转换。具体控制流程图如图 4 所示。

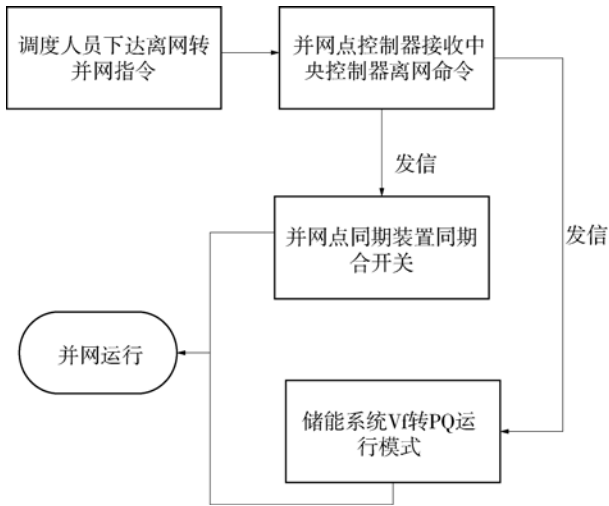


图4 计划性离网转并网控制流程图

Fig. 4 Planned grid-disconnected mode transfer to grid-connected mode control procedure diagram

2.3.3 非计划性的并网转离网

并网点控制器根据自身故障检测技术，当检测到电网发生故障需要与主网脱离时，并网点控制器应能进行并网转离网操作。并网点控制器发跳令断开并网的断路器，同时通知储能系统进行 PQ-Vf 模式转换。控制流程图如图 5 所示。

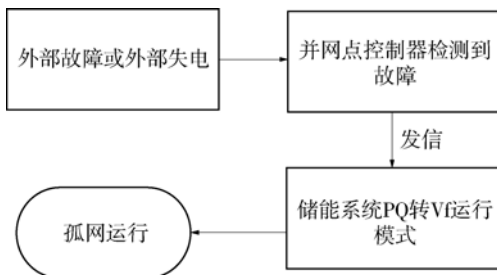


图5 非计划性的并网转离网控制流程图

Fig. 5 Unplanned grid-connected mode transfer to grid-disconnected mode control procedure diagram

并离网切换的关键为在于采用的切换技术，并网开关是否选用快速开关、储能系统切换过程中是否采用下垂控制策略、微源是否采用虚拟同步技术均对于能否实现无缝切换有影响。

推荐采用并网点控制器与储能直接通信实现并离网切换，可最大限度的减小小时延，提高切换的成功率，减少切换的过度时间。

3 案例分析

3.1 系统结构

以广州南沙区国家能源局面向特大城市微电网示范项目为例，该微网站采用 1 回 10 kV 线路接入系统，站内本期配置 3 台 630 kVA 主变，配置储能电池锂电池 500 kW/780 kWh、柴油发电机 350 kW、光伏 260 kWp、负荷根据季节在 45 kW ~ 120 kW 范围波动。具体主接线如图 6 所示：

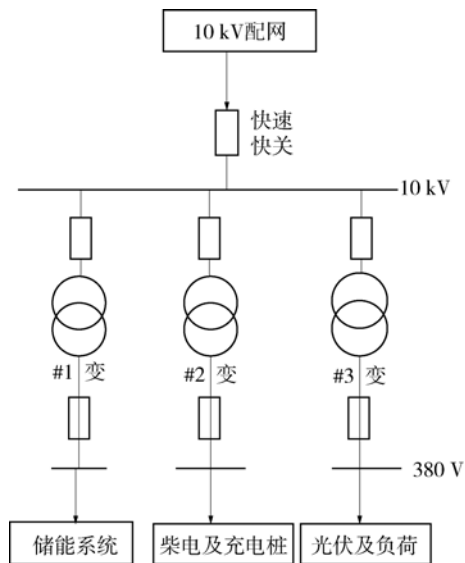


图6 某微网示范项目主接线

Fig. 6 The single line diagram of a micro-grid project

该工程微网监控系统采用三层两网结构，设置系统控制层、区域控制层、本地控制层，具体网络结构如附图 7 所示。

系统控制层配置数据服务器、应用服务器、操作员站、打印机等设备，主要负责分钟级及以上的控制策略及各微源之间的协调控制。

区域控制层配置 1 台中央控制器，主要负责毫秒级快速控制，包括并离网切换、紧急调频、无功支撑等。

本地控制层主要为光伏、柴发、储能系统及负荷主要负责数据采集及接收中央控制器的控制命令进行调节。

案例中采用无缝切换技术，并网开关采用分断时间小于 10 ms 的真空永磁开关，并网开关断路器并离网切换时间小于 50 ms。并网开关与储能系统的并离网控制命令信息交互通过硬接点实现。整个控制策略的分层分级，三层结构的协同

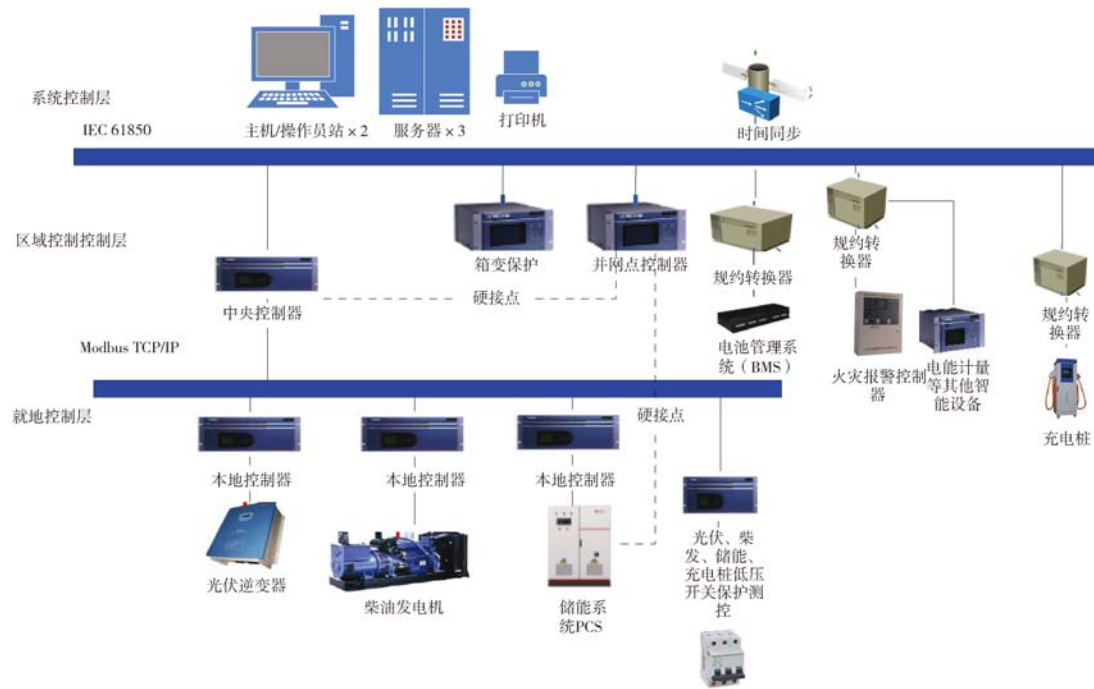


图 7 南沙微网监控系统网络结构图

Fig. 7 The monitoring and control system network structure of Nansha micro-grid project

合作实现微网高效有序地运行。

4 结论

本文在结合微网的特点及运行目标, 提出了微网监控系统的软件功能构架及微网监控系统设备的网络结构; 随后提出了监控系统三层两网的各层的控制策略。着重阐述了计划性并网转离网、计划性离网转并网、非计划性并网转离网三种典型工况的并离网控制逻辑, 并给出详细流程图。最后, 通过广州南沙某示范项目工程设计实例, 对本监控系统设计方法及控制策略进行说明。

随着分布式能源的应用越来越广泛, 虚拟同步技术等先进的控制技术产品化日益成熟, 相信微网会有广阔的应用前景和发展空间。

参考文献:

[1] 国家能源局. 关于推进新能源微网示范项目建设的指导意见 [R/OL]. (2015-07-13) [2018-01-06] http://zfxgk.nea.gov.cn/auto87/201507/t20150722_1949.htm.
 [2] 郑漳华, 艾芊. 微电网的研究现状及在我国的应用前景 [J]. 电网技术, 2008, 32(16): 27-31 +58.
 ZHENG Z H, AI Q. Present situation of research on microgrid and its application prospects in China [J]. Power System Tech-

nology, 2008, 32(16): 27-31 +58.
 [3] 丁明, 张颖媛, 茆美琴. 微网研究中的关键技术 [J]. 电网技术, 2009, 33(11): 6-11.
 DING M, ZHANG Y Y, MAO M Q. Key technologies for microgrids being researched [J]. Power System Technology, 2009, 33(11): 6-11.
 [4] LASSETER R H. The role of distributed energy resources in future electric power systems [C]. Energy Systems Seminar, University of Wisconsin, 2006.
 [5] 鲁宗相, 王彩霞, 闵勇, 等. 微电网研究综述 [J]. 电力系统自动化, 2007, 31(19): 100-107.
 LU Z X, WANG C X, MIN Y, et al. Overview on microgrid research [J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(19): 100-107.
 [6] 赵宏伟, 吴涛涛. 基于分布式电源的微网技术 [J]. 电力系统及其自动化学报, 2008, 20(1): 121-128.
 ZHAO H W, WU T T. Review of distributed generation based microgrid technology [J]. Proceedings of the CSU-EPSSA, 2008, 20(1): 121-128.
 [7] SOUZA H D, BRADASCHIA F, NEVES F, et al. A method for extracting the fundamental-frequency positive sequence voltage vector based on simple mathematical transformations [J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2009, 56(5): 1539-1547.
 [8] 翟笃庆, 李常, 吕学山, 等. 微网控制系统架构及控制方式

研究 [J]. 南方能源建设, 2016, 3(2): 113-117.

ZHAI D Q, LI C, LÜ X S, et al. Research on structure and method of microgrid control system [J]. Southern Energy Construction, 2016, 3(2): 113-117.

[9] BARKLUND E, POGAKU N, PRODANOVIC M, et al. Energy management in autonomous micro-grid using stability constrained droop control of inverters [J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2008, 23(5): 2346-2352.

[10] 郭金川, 贺艳芝, 郭芳, 等. 电池储能系统对微电网运行特性的改善作用研究 [J]. 南方能源建设, 2015, 2(2): 35-40.

GUO J C, HE Y Z, GUO F, et al. Operation performances enhancement of micro-grid by battery energy storage system [J]. Southern Energy Construction, 2015, 2(2): 35-40.

[11] 石晶, 龚康, 刘洋, 等. 复合储能在微网中的应用研究 [J]. 南方能源建设, 2015, 2(2): 28-34.

SHI J, GONG K, LIU Y, et al. Application of hybrid energy storage system in micro-grid [J]. Southern Energy Construction, 2015, 2(2): 28-34.

作者简介:



ZHOU Y

周钰(通信作者)

1986-, 女, 江西九江人, 高级工程师, 硕士, 主要从事微电网、储能、智能变电站设计及应用研究 (e-mail) zhouyu2@gedi.com.cn。

(责任编辑 李辉)



现场光伏系统安装实例



现场储能集装箱实例



国家能源局首批新能源微电网示范项目《南沙高可靠性智能低碳微电网项目》园区微源分布图