

Region Microgrid Extension Design and Engineering Case Analysis

Lili Yue¹, Yi Yang^{2*}

¹Kunming Chengdian Electric Power Engineering Co., Ltd., Kunming Yunnan

²Faculty of Electric Power Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming Yunnan

Email: 44947434@qq.com

Received: Sep. 25th, 2017; accepted: Oct. 8th, 2017; published: Oct. 16th, 2017

Abstract

China creates a conservation-oriented society, accelerates the process of rural urbanization and promotes the construction of green low carbon industry. Surrounding the development and utilization of renewable energy and clean energy, China is stepping up efforts to build microgrid. Microgrid is the beneficial supplement for traditional power grid, is an organic part of the future smart grid, and it can combine a flexible and effective distributed energy network. However, due to the characteristic of distributed power supply, power grid adaptability and policy factors, distributed power and microgrid can not promote widely. In this paper, according to the characteristics of the current power system, the function of the microgrid and other factors, such as national policy, the author puts forward the concept of regional microgrid. And five functions of microgrid are analysed. Microgrid is divided to the rural microgrid, city region microgrid and remote areas microgrid in the paper. The microgrid structure and operation scheme is designed, which meets the regional characteristics. Taking Yunnan Power Grid Technology Park microgrid project as a case, it verifies the feasibility of design.

Keywords

Region Microgrid, Design, Extension

区域微网可拓式设计及实例分析

岳莉莉¹, 杨毅^{2*}

¹昆明呈电电力工程有限责任公司, 云南 昆明

²昆明理工大学电力工程学院, 云南 昆明

Email: 44947434@qq.com

收稿日期: 2017年9月25日; 录用日期: 2017年10月8日; 发布日期: 2017年10月16日

*通讯作者。

文章引用: 岳莉莉, 杨毅. 区域微网可拓式设计及实例分析[J]. 智能电网, 2017, 7(5): 372-380.

DOI: 10.12677/sg.2017.75041

摘要

在创建节约型社会、加快农村城镇化进程、推进建设绿色低碳行业的大环境下,围绕可再生能源和清洁能源的开发利用,我国正逐步加大微网建设部署的力度。微网是传统电网的有益补充,可以对分布式能源进行灵活有效的组合,是未来智能电网的有机组成部分。但是,由于分布式电源的特性、电网的可接纳性以及政策因素,导致分布式电源无法大范围的推广,也影响了微网的大范围应用。本文充分考虑当前电力系统的特点、微网的功能以及国家政策等因素,提出区域微网的概念,分析了区域微网应具备的五大功能,将微网按照农村微网、城市区域微网以及偏远地区微网进行规划,设计出满足区域特征的可拓式微网结构及运行控制方案。并以云南电网科技园某微网示范工程作为案例,验证设计方案的可行性。

关键词

区域微网, 规划设计, 可拓

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

微网作为智能电网的重要组成部分,集分布式电源,储能设备,能量转化设备,负荷及其监控和保护设备于一体,具备冷热电联供的特点[1] [2] [3]。微网的发展将对我国的节能降耗、绿色环保、促进可再生能源利用等方面起到积极的作用。但是,就目前我国实际情况看,在短时期内分布式电源尚不适合将大规模的介入电网,微网的发展也不能盲目扩张。首先,我国分布式能源的分布并不均匀,如何合理利用地区资源优势,促进资源互补尚待研究。例如太阳能发电、风电,一是地域性强,二是消纳问题难以解决,如果盲目大规模的推广,建成“大微网”,将可能导致电力行业面临更大困境。其次,如果分布式电源大规模并网发电,传统电网将承受重大压力,传统意义上的调压调频、调峰限电、电力安全、储能利用等将面临诸多问题,可能出现难以控制的局面,这些将导致电力企业徒增大量支出。

本文针对当前我国微网建设中存在的问题,提出建设区域微网的建议。按照不同的地域、电源、负荷以及功能等特点,将微网划分为乡村微网、城市区域微网和偏远地区微网(孤岛微网)等不同的区域微网,设计区域微网的基本结构和运行控制模式。并以云南电网科技园某智能微网示范工程作为案例,分析区域微网的运行控制方式,说明方案的可行性。

2. 区域微网可拓式设计

本文按照微网的供能区域,以及我国现阶段国民经济的发展特点,将微网划分为农村微网、城市微网以及偏远地区微网。这样的划分,考虑了目前我国分布式电源尚不能大范围并网的现状,也考虑了微网的灵活性,以及微网的可控可拓性。既满足当前我国不同地区对微网的要求,也满足未来微网的发展需要。

2.1. 区域微网概念

以分布式能源作为微网的供电电源,再根据供能区域将微网进行划分,并且考虑不同地域的特点将

多类型分布式电源进行合理有效的组合, 构建成灵活、可拓、具有地区特色的区域微网。结合我国区域特点, 将区域微网分为三个大区, 即农村微网、城市微网以及偏远地区微网。

2.1.1. 农村微网

农村微网建设可以考虑热电联供的方式。同时, 对于农村微网设计考虑两种情况: 一是相对发达地区的农村, 负荷较大、电网建设成熟、人口比较集中, 此类农村微网考虑并网运行与孤网运行协调调度控制, 但分布式能源主要对本地负荷供能, 减少上网电量, 同时考虑主网功率支持和计划解列; 二是相对落后地区的农村, 负荷较小、电网建设相对滞后, 此类农村微网, 当前阶段以孤网运行方式为主, 随着电气化进程的深入, 逐步拓展为并网与孤网协调运行。

农村微网的建设可以优先开始, 以加快农村的城镇化进程为契机, 合理分批的投入分布式能源的建设, 实现以微网为主要供能方式的农村电气化。农村微网的建设要依据当地资源优势开展, 比如日照量丰富, 可以优先采用太阳能; 还可以考虑在农村地区使用沼气作为供能的手段; 风资源丰富的地区, 考虑将风能作为主要供能手段, 等等。在农村地区, 目前尚不具备建设电动汽车充电站的条件。但是, 在微网的规划设计中, 需要考虑电动汽车步入农村的可能性。因此, 在设计微网时, 需预留足够的电源空间和建设空地。

2.1.2. 城市区域微网

城市区域微网可以划分为三类。一类区域为特殊负荷区域, 包括医院、政府机关、信息中心等相关机构, 此类负荷负荷量不大, 但属于重要保障性负荷, 需要不间断供电; 二类区域为城市的工商业区域, 此类负荷供电集中、负荷量大、耗能多, 一般要保证不间断供电; 三类区域为城市居民及公共类负荷, 包括住宅小区、学校、图书馆等, 此类负荷相对分散、负荷量居于一、二类区域之间, 允许存在短时的意外停电或计划性停电。

针对这三类区域, 可利用不同类型的分布式电源组成多种类多功能区域微网, 满足用户定制的多种需求。比如在住宅小区、别墅等区域可以采用电热联供为主的供能结构; 在学校区域采用以供电为主的供能结构; 在图书馆采用冷热电联供的供能结构; 对于大耗能企业, 采用冷热电联供的方式, 及保证企业需要也实现了节能降耗。对于城市区域微网采用并网与孤网协调运行的方式, 区域微网首先保证本地负荷的需要, 可适量并网发电, 依据调度的指令, 向主网供电。

城市区域微网的建设规划, 笔者认为可先由高耗能企业开始, 因为分布式能源的使用, 对于高耗能企业的节能降耗起到极大的推动作用。当然, 目前阶段必须由政府辅之相应政策, 比如 3~5 年内根据企业节能、降耗、减排的成效进行政策性补贴, 逐步降低补贴金额甚至取消补贴, 以此推动分布式能源在高耗能企业中的应用。图书馆、公园等公共区域也可优先开展微网建设, 此类地区改造难度相对较小, 对主电网和民众生活的影响也较小, 可以先行。然后, 将微网的建设拓展到学校、居民小区等区域。最后, 依据实际需要保障区域进行适当改造, 比如医院, 部分医院已具有后备电源, 那么可以考虑利用太阳能采集电能对储能装置进行供电, 以此减少主网的电力支持。

2.1.3. 偏远地区微网

偏远地区微网主要指偏远山区、林区以及远离大陆的岛屿等。利用微网对这些地区进行供电, 可以利用可再生能源发电或者利用其它分布式电源形成孤网, 既可满足当地居民的需要, 降低用电成本, 也可减少传统化石能源的消耗。

2.2. 可拓式概念

可拓工程[4] [5] [6] [7] [8]指的是可拓方法在实际领域中的应用方法与技术。可拓方法包括可拓控制

技术、可拓故障诊断方法、可拓策划方法、可拓策略生成技术、可拓信息技术、可拓搜索技术、可拓刑侦技术、可拓设计技术、可拓决策方法、可拓营销方法、可拓检测技术。可拓方法应用到各个部门会出现可拓工业、可拓工程医学、可拓工程农业和可拓工程军事等。

电力工程中微网系统的可拓指的是：1) 对电源容量的可扩性。也就是在设计分布式电源容量时，既要考虑未来负荷量增长的可能，也要考虑到未来负荷量下降的可能。所谓可扩性也就是灵活布置电源，合理计划容量，减少成本投资。当负荷增长时，分布式电源可做到扩容；当负荷下降时，分布式电源可做到退出运行，或者向其它区域供电。2) 对负荷类型、性质的适应性。针对不同区域的环境、资源，以及不同的负荷特点，安排不同类型的分布式电源，满足能量需求。3) 施工扩建的预置性。设计微网时，除了考虑电源的增容也要预留出相应的场地，作为扩建用地。如果负荷没有出现预期的增长或者明显逐年下降，预留地可以改造成其他设施用地，比如电动汽车充电站，这样的改建工程相对容易实现，也不需要长距离架设新的输电线路，既可以减少投资，也可以做到资源的最大化利用。

区域微网在规划设计及建设过程中，应充分考虑其可拓性，以期建成可靠灵活的区域微网。

2.3. 区域微网结构与运行方案

由可再生能源和清洁能源组成的微网应具备五个部分，即具备五个主要功能[9]-[15]。该系统的第一部分具备的功能是能源预测和需求分析，即具备环境分析、分布式电源(RER)分析和需求分析三大功能，准确的掌握天气情况(光照情况、风速等)、分布式电源供能情况以及负荷情况(供电、采暖、热水和冷却空气等)。第二部分是系统优化，即具备 DER 灵活配置、组建网络的功能。在第一部分的基础上，实现微网供能系统的构成。第三部分是网络分析功能，也就是进行网络的潮流计算、稳定分析等，实现在线监控的功能。第四部分是微网能量管理功能，依靠微网能量管理系统对微网进行灵活调度，并与主网调度进行信息互换，实现优化调度和计划调度等功能。第五部分是状态估计、经济评估功能，对微网的各个元件状态、经济效率等进行评估、优化。微网的功能示意图如图 1 所示。

本文设计的区域微网结构和区域微网运行控制过程如图 2 和图 3 所示。

微电源的组合是灵活多样的，如图 2 所示。要考虑区域特点使用不同的电源进行能量供应。考虑到微网的可拓性，对于微电源的容量设计要考虑元件设备的更换以及所在区域未来的发展。但是，发展不应只考虑负荷增长，还需考虑在负荷减少的情况下，微电源能量的消纳问题甚至电源的移除、功能置换(改为电动汽车充电桩等)。最终，根据区域的发展，考虑是否需要预留扩建空间。

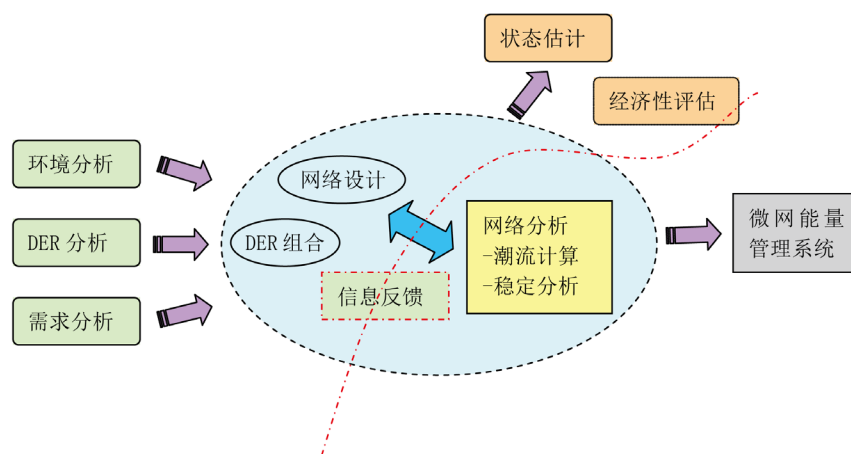


Figure 1. Microgrid function diagram

图 1. 微网功能示意图

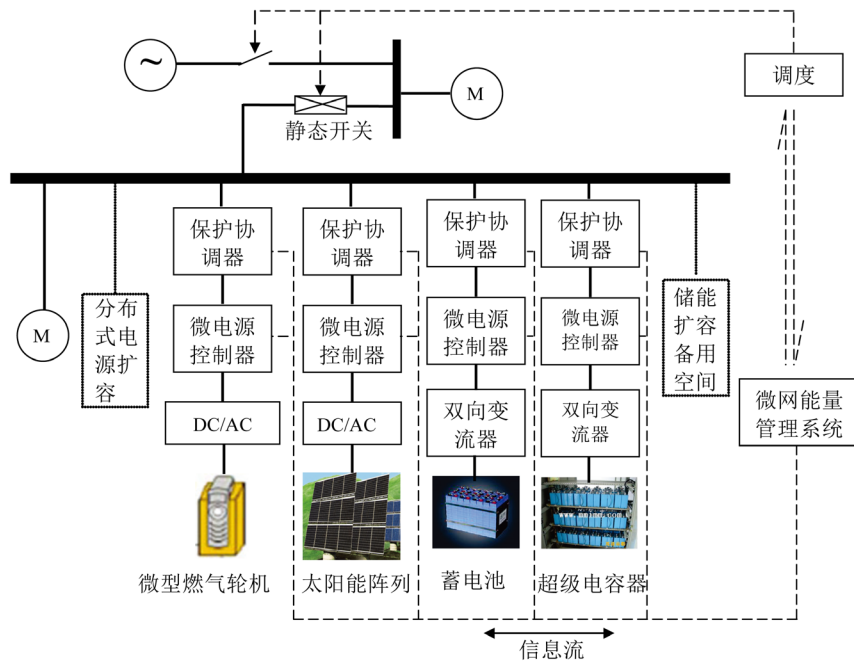


Figure 2. Region microgrid structure diagram
图 2. 区域微网结构示意图

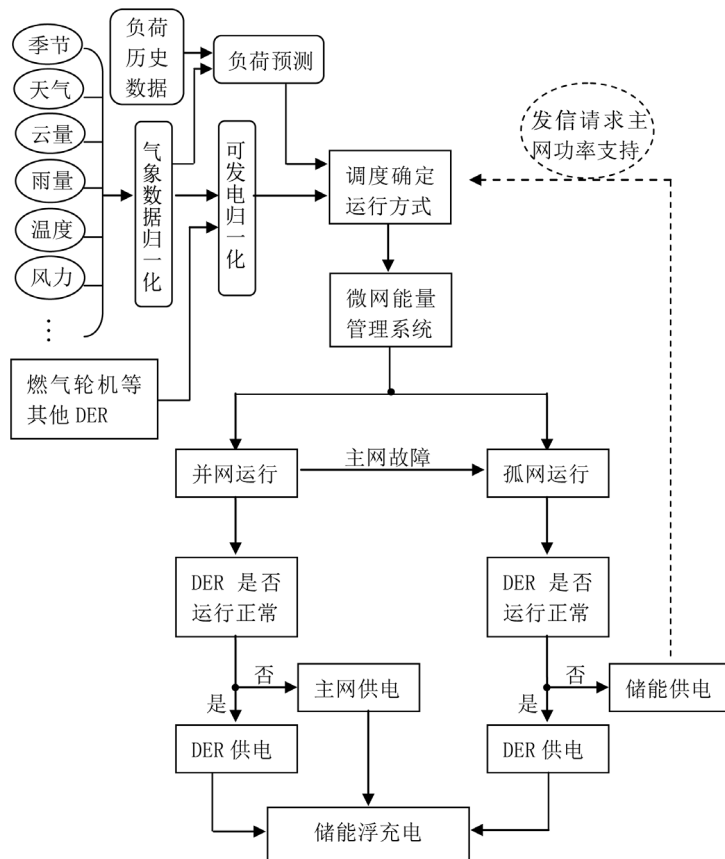


Figure 3. Region microgrid operation and control diagram
图 3. 区域微网运行控制示意图

微网的运行首先要保证安全可靠,其次要追求灵活高效。如图 3 所示,首先是分布式能源的预测,根据季节、天气、降雨、风速等数据,数据归一化后确定微网可输出容量。然后,对负荷进行预测,此部分既要考虑到天气的变化,也要综合考虑负荷的历史数据,以保证负荷预测的准确性(系统的运行经验有助于实现负荷追踪)。接下来,由调度确定运行方式,传达指令至微网能量管理系统,对微网进行相应的操作。运行方式主要分为并网运行和孤网运行两种。如果调度确认的初始运行方式为并网运行,当主网故障或者微网出现问题时,自动解列,变为孤网运行。并网运行时,首先判断 DER 设备状态,DER 正常运行时,由 DER 对区域微网进行供电,并且对储能设备浮充电;如果 DER 故障,则向能量管理系统发出信号,改由主网供电,并对储能浮充电;如果负荷变大,DER 功率不足,可由储能装置或者主网协助供电,如果 DER 功率过剩,且储能无法消纳,根据调度的要求,选择功率上传主网或者退出部分 DER。孤网运行方式,DER 工作正常时,DER 对区域供电,并对储能装置浮充电;如果 DER 故障,则由储能装置进行电力供应,并向调度发信号,请求主网的功率支持,以保证系统正常供电。

3. 实例分析

本文以云南电网科技园某微网示范工程为例[16][17][18],对区域微网的设计及工程应用进行分析。该微网拓扑结构如图 4 所示,包含两段 400 V 母线,将光伏发电、风力发电、储能设备接入到 400 V I 段母线,并网型柴油发电机组接入 400 V II 段母线。此种结构下,微网可以在不启用柴油发电机组时,以锂电池为主电源,实现 400 V I 段母线独立运行;也可以在柴油发电机组投用时,以柴油发电机组为主电源,整个园区微网实现独立运行。

3.1. 园区负荷统计

正常工作日科技园的用电负荷高峰时在 300~400 kW,低峰时一般在 50 kW 左右;光伏发电量则在 5~170 kW 之间波动;在正常工作日,光伏发电量一般占园区负荷用电的 1/3,光伏发电的不足部分由电网供给,不存在功率倒送的问题;但在节假日,当天气晴朗时,园区会出现功率的倒送。节假日科技园的用电负荷在 10~30 kW,可能向电网倒送电 0~140 kW。

计算园区负荷时,还需考虑到园区负荷的发展。表 1 为 2008 年~2010 年几个特征时间点科技园区负荷变化情况,可以看出从 2008 年到 2010 年,园区负荷由高速增长阶段逐渐进入饱和阶段。今后数年,科技园区在没有大型基建的情况下,负荷将保持在相对平稳的水平。因此,只需要考虑一定的较小的备用容量,最终选择按 500 kW 的负荷容量进行系统设计。

3.2. 分布式电源容量设计

1) 风力发电机组容量的设计。科技园区风速可以达到或超过 3 m/s。结合 10 kW 风机的技术指标,可以看出科技园安装的风机不具备全天候运行条件,但可以实现间歇性运行。风力发电机组容量选择时,应充分利用分布式能源的自然互补特性,平滑其功率波动;同时,也应综合考虑资源情况、场地条件及技术经济性。最终设计了两台 10 kW 的风力发电机组。

2) 光伏发电容量的设计。云南地处高海拔地区,日照时间长,太阳能辐射量大。在科技园示范工程中,并网光伏发电系统一期工程选取的容量为 175 kWp。

3) 储能容量的设计。储能装置选择超级电容器和磷酸铁锂电池,以充分发挥能量型储能装置和功率型储能装置各自的优势。在充分考虑负荷基数、蓄电池充放电时间间隔(30 min)、电容器充放电时间间隔(5 s)以及无功就地补偿等因素,确定蓄电池储能设备并网逆变器容量为 150 kVA,超级电容器并网逆变器容量为 100 kVA。

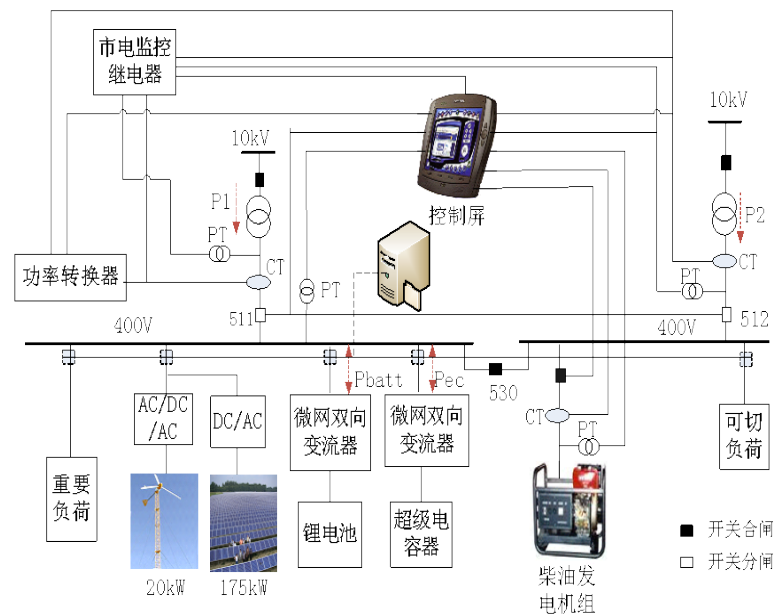


Figure 4. Science Park Microgrid system diagram
图 4. 科技园微网示意图

Table 1. The load of park zone (kW)
表 1. 科技园区负荷情况(kW)

年 月	7 时	9 时	11 时	12 时	13 时	15 时	17 时	19 时
2008 年 2 月	101	75.3	125.2	104	69	46	76	47
2009 年 2 月	216	333.6	310.7	310.8	311.2	215.3	204.6	121
2009 年 4 月	137.9	238	282.5	282.5	323.4	191.9	169.3	115.1
2010 年 3 月	148	299.1	320.4	335.2	319.1	281.5	250.1	136.7

3.3. 科技园微网的运行与控制

微网的运行与控制如图 4 所示。并网运行时, 开关 511 和 512 处于合闸状态, 该微网根据调度指令, 由光伏发电系统、风力发电系统对园区进行电力供应。如果分布式电源容量有盈余, 则根据电网实际运行状况, 在调度指令下, 向主网倒送电。此模式下, 柴油发电机组一般处于备用状态, 可根据智能微网下发的指令实现自动开、停机控制。孤网运行方式下, 微网监控系统向模式控制器发转模式指令, 跳 400 V 进线断路器, 进入科技园智能微网孤网模式。此时, 微网监控系统协调储能装置与柴油发电机组的运行。

由于科技园区的分布式电源和负荷具有不确定性, 为了能根据电网指令实现科技园区与电网交换功率的控制, 就需要对园区具有调节能力的设备——柴油发电机组、锂电池组和超级电容器组进行合理调度。科技园微网首先要预测光伏发电量以及风力发电量, 并结合园区负荷预测及储能设备的存储电量, 确定是否投入柴油发电机组; 若储能存储电量可以满足联络线功率要求, 则不启动柴油发电机组。

在柴油发电机不投入时, 微网能量管理系统以 30 s 为周期下发指令到锂电池储能控制器, 控制锂电池的充放电。在柴油发电机投入运行时, 在功率完成分配后, 以 30 s 为周期分别下发指令到锂电池储能控制器和柴油发电机组。此时通过对锂电池的控制, 使柴油发电机工作在出力超过 50% $P_{\text{额定}}$ 的高效区, 同时还可对超级电容进行功率支持。超级电容器检测联络线功率的波动, 实时采用滤波算法, 实现补偿控制, 从而平抑联络线功率的快速波动。

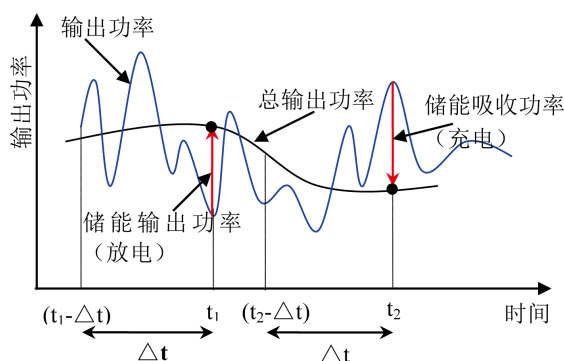


Figure 5. Smooth access diagram

图 5. 平滑接入控制示意图

此微网系统的平滑接入控制主要针对可再生能源输出功率分钟级的短期波动。从控制效果上看, 认为是通过具有时间窗口为 Δt 的低通滤波器对风力发电或光伏发电的输出功率进行滤波, 其某一时刻 t_i 滤波输出值应等于 $(t_i - \Delta t) \sim t_i$ 时间段内的输出功率平均值, 并以该平均值作为“可再生能源 + 储能系统”总输出功率目标值。显然, 储能系统“滤波”作用所具备的时间窗 Δt 越长, 所需的储能容量越大。储能系统对风力发电运行的平滑控制模式 $W_{\text{总输出功率}} = W_{\text{输出功率}} \pm W_{\text{储能输出功率}}$, 其示意图如图 5 所示。

科技园微网系统满足区域性供电的需要, 做到了主网与微网功率的相互支持, 并且实现了分布式电源的平滑接入, 为区域微网的设计和开发提供了重要经验。

4. 结语

作为传统电网的有效补充、未来智能电网的重要环节以及整合分布式电源的有效手段, 微网系统的发展已成为未来节约型电力企业的发展方向之一。但是, 微网技术尚不成熟, 缺乏国家层面的统一标准(设备标准、设计标准、并网标准等), 同时缺少国家的激励政策, 甚至微网技术领先的国家, 也集中在示范型微网层面。因此, 想要在短时期内, 在我国大范围推广微网的应用非常困难。不过, 微网的发展不仅是我国, 甚至是全世界电网的发展趋势, 因此, 微网建设事业应该做到有规划、循序渐进的推进, 夯实基础, 先从局域微网开始, 发现微网运行中的问题, 积累经验, 逐步扩大。

本文主要针对微网发现现状, 提出阶段性的区域微网的建设思路。在接下来的研究工作中, 笔者还将围绕区域微网的控制策略、成本预算、投资回报以及储能容量规划等方面开展深入研究, 以期给出更加合理的微网建设及发展的思路。

基金项目

国家自然科学基金项目(51367009, U1202233)。

参考文献 (References)

- [1] 丁明, 张颖媛, 茆美琴. 微网研究中的关键技术[J]. 电网技术, 2009, 39(11): 6-11.
- [2] 盛聘, 孔力, 齐智平, 等. 新型电网 - 微电网(Microgrid)研究综述[J]. 继电器, 2007, 35(12): 75-81.
- [3] 左文霞, 李澍森, 吴夕科, 程军照. 微电网技术及发展概况[J]. 中国电力, 2009, 42(7): 26-30.
- [4] 何永秀, 戴爱英, 等. 基于可拓分析与物元模型的城市电网规划风险评价研究[J]. 华北电力大学学报, 2010, 37(6): 6-10.
- [5] Lee, D., Park, J., Shin, H., Choi, Y., Lee, H. and Choi, J. (2009) Microgrid Village Design with Renewable Energy Resources and Its Economic Feasibility Evaluation. *Transmission & Distribution Conference & Exposition: Asia and Pacific*, 1, 4, 26-30.

-
- [6] Nastac, L., Lute, C., *et al.* (2009) Microgrid Model Development and Validation Testing. *North American Power Symposium (NAPS)*. <https://doi.org/10.1109/NAPS.2009.5484093>
- [7] Skowronska-Kurec, Eick, S.T. and Kallio, E.T. (2012) Demonstration of Microgrid Technology at a Military Installation. 2012 *IEEE Power and Energy Society General Meeting*.
- [8] 杨德昌, 李勇, Rehtanz, C., 等. 中国式智能电网的构成和发展规划研究[J]. 电网技术, 2009, 33(20): 13-20.
- [9] Farzan, F., Lahiri, S., *et al.* Microgrids for Fun and Profit: The Economics of Installation Investments and Operations. *IEEE Power and Energy Magazine*.
- [10] Stamp, J. (2012) The SPIDERS Project—Smart Power Infrastructure Demonstration for Energy Reliability and Security at US Military Facilities. 2012 *IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies (ISGT)*.
- [11] Liu, X. and Su, B. (2008) Microgrids—An Integration of Renewable Energy Technologies. *Electricity Distribution*.
- [12] Stamp, J. and Stinebaugh, J. (2012) Microgrid Modeling to Support the Design Processes. 2012 *IEEE Power and Energy Society General Meeting*.
- [13] 丁明, 杨向真, 苏建徽. 基于虚拟同步发电机思想的微电网逆变电源控制策略[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(8): 89-93.
- [14] 梅生伟, 王莹莹. 输电网 - 配电网 - 微电网三级电网规划的若干基础问题[J]. 电力科学与技术学报, 2009, 24(4): 3-11.
- [15] 林弘宇, 田世明. 智能电网条件下的智能小区关键技术[J]. 电网技术, 2011, 35(12): 1-7.
- [16] 陈健, 王成山, 赵波, 等. 考虑不同控制策略的独立型微电网优化配置[J]. 电力系统自动化, 2013, 37(11): 1-6.
- [17] 陈光堂, 邱晓燕, 林伟. 含钒电池储能的微电网负荷优化分配[J]. 电网技术, 2012, 36(5): 85-91.
- [18] 严玉廷, 苏适. 云电科技园智能微网研究[J]. 云南电力技术, 2011, 39(4): 31-33.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2161-8763, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: sg@hanspub.org