

基于 DIgSILENT 的风光储微电网系统对 电网安全稳定影响分析

张炀¹, 马伟哲¹, 程韧俐¹, 许琴²

(1. 深圳供电局有限公司, 深圳 518000; 2. 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)

摘要: [目的] 风力发电、太阳能发电等可再生能源由于其随机性和间歇性等特点严重影响电力系统的稳定性。为此, 文章从系统侧角度研究风光储微电网系统对电网的安全稳定影响分析。[方法] 首先, 在 DIgSILENT 软件下搭建风机、光伏、储能装置及微电网的电网仿真模型, 然后对其进行稳态及机电暂态计算, 提出相应的稳控策略。[结果] 通过对采取的稳定控制策略进行归纳总结, 提出分布式电源、储能装置控制策略及整个微电网系统控制策略制定的一般性原则。[结论] 研究成果可为微电网工程的控制策略制定提供借鉴和参考。

关键词: 风力发电; 太阳能发电; 微电网; 安全稳定

中图分类号: TM7; TM773

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2018)S1-0001-07

Influence of Microgrid Containing Wind Photovoltaic and Storage on Power Grid Security and Stability Using DIgSILENT

ZHANG Yang¹, MA Weizhe¹, CHENG Renli¹, XU Qin²

(1. Shenzhen Power Supply Bureau Co., Ltd., Shenzhen, 518000, China;

2. China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, China)

Abstract: [Introduction] Considering randomness and intermittency of wind power generation, solar power generation and other renewable energy seriously affect the stability of power system, influence of micro grid containing wind, photovoltaic and storage on power grid security and stability is researched in this paper. [Method] First, wind system, photovoltaic system and the concrete microgrid network simulation model were established using DIgSILENT, and then steady-state and electromechanical transient calculations were carried out and corresponding control strategies were proposed. [Result] In the end, the general principles of control strategies about distributed generation, storage device and overall micro-grid system were proposed. [Conclusion] This research result provides some guidance for control strategies for micro-grid.

Key words: wind power generation; solar power generation; micro-grid; stability

近年来, 风力发电、太阳能发电等可再生能源的发电技术越来越成熟, 这些可再生能源有着污染小、经济效益好、安装地点灵活等诸多优点^[1-2]。虽然分布式发电技术有着上述诸多优点, 但是由于分布式发电利用的分布式可再生能源, 如风能、太阳能等, 具有随机性和间歇性等特点, 导致输出功

率出现波动, 如果直接并网会严重影响电力系统的稳定性。为了利用分布式发电技术的经济、环境效益, 并考虑对电力系统可靠性改善的同时, 尽可能减少其对大电网的负面影响, 衍生出微电网的概念^[3-7]。根据我国的相关规定, 微电网是一个由分布式电源(distributed generation, DG)、负荷、储能设备、监控和保护装置等构成的能够实现自我控制和管理的小型发电配电系统^[8]。同时储能装置作为能量缓冲装置在微电网中起到保障系统的安全稳定运行。

收稿日期: 2018-04-03 修回日期: 2018-05-24

基金项目: 深圳供电局科技项目“高穿透率下分布式新能源并网与负荷密集型城市电网交互影响研究”(090000KK52160035)

本文重点研究风光储微电网系统对电网安全稳定影响分析。首先,介绍了微网分布式电源的控制策略。其次,在DIGSILENT搭建风光储微电网的电网拓扑图,对其进行相关的电气仿真计算(稳态计算、机电暂态计算),在机电暂态计算中,针对运行模式的切换、分布式电源、负荷投切等故障进行暂态仿真。最后,通过对为了维持系统稳定所采取的稳定控制策略进行归纳总结,提出分布式电源、储能装置控制策略及整个微电网系统控制策略制定的一般性原则。

1 微电网分布式电源的控制策略

微网中的分布式电源主要可以分为逆变型和同步发电机型。现阶段,同步发电机型的控制和并网技术较为成熟,不在这里详述。重点阐述基于电力电子技术的逆变型。目前,逆变型的控制策略主要有三种:(1)PQ控制;(2)V/f控制;(3)Droop(下垂)控制。

1.1 PQ控制

PQ控制是将有功功率和无功功率解耦后分别进行控制,使分布式电源输出的有功功率和无功功率等于其参考功率,其控制原理如图1所示。即DG输出的有功功率在频率允许的变化范围内($f_{\min} \leq f \leq f_{\max}$),维持在给定的参考值;无功功率在电压允许的变化范围内($u_{\min} \leq u \leq u_{\max}$)维持在给定的参考值。

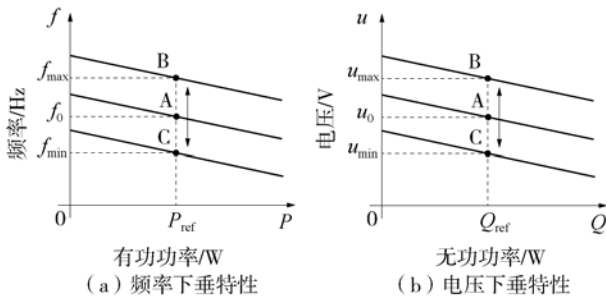


图1 PQ控制原理图

Fig. 1 PQ control schematic

1.2 V/f控制

V/f控制即恒压/恒频控制策略。不论分布式电源输出的功率如何变化,逆变器所接交流母线的电压幅值和系统输出的频率维持不变,其控制原理如图2所示。即频率控制器通过调节分布式电源输出的有功功率,使频率维持在给定的参考值;电压调

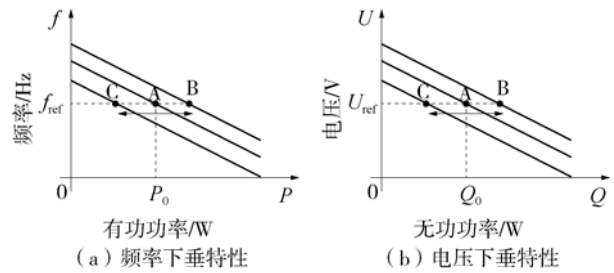


图2 V/f控制原理

Fig. 2 V/f control schematic

节器调节分布式电源输出的无功功率,使电压维持在给定的参考值。

1.3 Droop(下垂)控制

Droop(下垂)控制,即逆变器输出电压V的频率f和幅值与其输出有功P和无功功率Q具有某种线性关系,如图3所示。

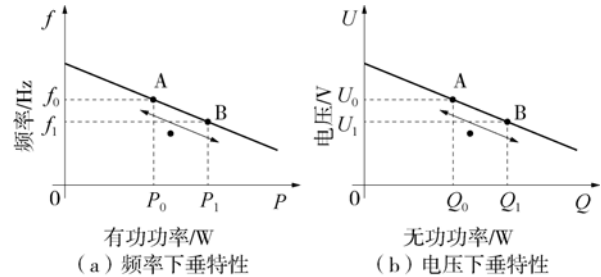


图3 下垂特性曲线

Fig. 3 Droop characteristic curve

从下垂特性曲线可以看出,存在三种Droop控制方法:(1) $P-f$ 和 $Q-V$ Droop控制;(2) $f-P$ 和 $V-Q$ Droop控制;(3) $V-P$ Droop和 $f-Q$ Droop反下垂控制。其中(1)(2)适用于当逆变器与电网之间线路为感性时,(3)适用于阻性时。

2 风光储微电网系统的安全稳定分析

风机/光伏/储能型微电网的电网拓扑图如图4所示。负荷规模为6 MW,并网电压为10 kV;光伏电池配置8.855 MW,平均分配到两段母线上;风机装机容量为4.8 MW,采用四台1.2 MW风机,平均分配到两段母线上;负荷分为普通负荷,可控负荷和敏感负荷,各占比例为1/2、1/4、1/4;蓄电池按两部分考虑:一部分与敏感负荷搭配使用,保证敏感负荷供电可靠性,其容量为1.5 MW×2 h;另一部分为公共储能,孤岛运行时维持系统的电压与频率,其容量为1.2 MW×2 h。

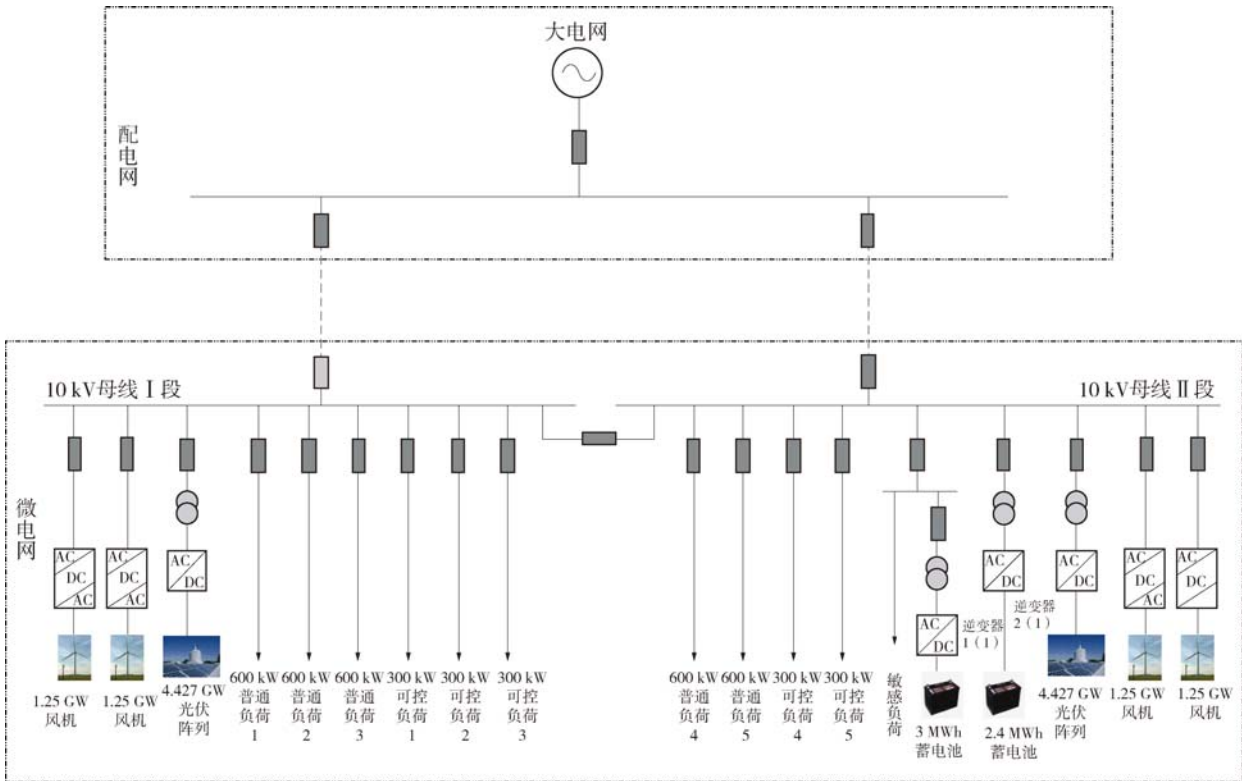


图 4 微电网拓扑图

Fig. 4 Micro-grid topology

下面对风机/光伏/储能型微电网进行电气计算分析。选取并网、孤网方式下,对分布式电源、负荷投切、模式切换进行安全稳定分析。

2.1 并网方式

并网时微电网余量电量上网(负荷满载、光伏出力 100%、风机出力 100%、储能充电控制在 100%)1 台风机 15 s 时与微电网断开连接,运行一段时间后,30 s 再次并入微电网,整个仿真时长 100 s。

如图 5 所示为一台风机正常投切时,10 kV 母线 II 段的母线电压、频率。如图 5 所示,系统频率和电压均在允许范围内,且频率和电压波动均较小,这是由于在并网方式下,对于微电网来说,大电网作为一个无穷大的电源,起到微电网的调压调频作用,微电网中的分布式电源均采用 PQ 控制。但考虑到风机为恒速恒频发电系统,在 DIgSILENT 中采用异步电动机模型,在并入电网时,对电网电压和频率会造成轻微的波动。

2.2 并网转离网方式

并网时微电网余量电量上网(负荷满载、光伏出力 100%、风机出力 100%、储能充电控制在

100%),微电网向大电网送 4.94 MW。若此时大电网系统发生故障、并网断路器断开后,微电网转入离网方式。考虑到微电网上送功率远大于储能装置可吸收功率的最大值,需采取联切机组措施。

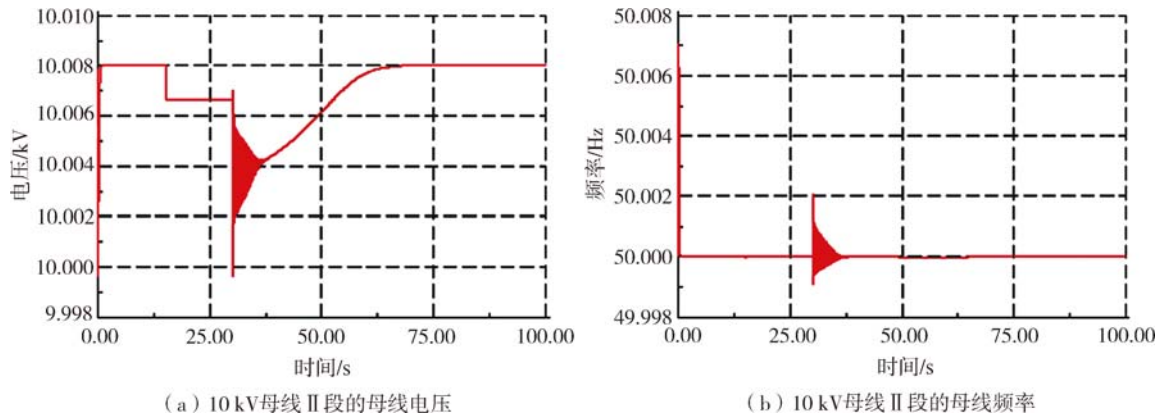
并网转离网方式下,采取将储能装置由 PQ 转成 V/f 控制模式,同时联切(<45 ms)I 段母线上光伏及 1 台风机,充电量减小来维持微电网自平衡。

采取措施后,如图 6 所示,微网母线电压在并网转离网的时候,电压、频率波动较大但能够快速恢复到正常范围内。

由并网转离网方式下采取的稳控措施可知,在离网模式下,系统中必须有维持频率和电压的 DG。考虑到光伏、风力发电等分布式发电,其输出功率具有非常强的随机性,宜采取 PQ 控制。储能装置须由 PQ 转成 V/f 控制模式。至于控制策略,当供大于求时,需采取切机措施,切机量取决于当前微电网上送功率及储能装置的可调控范围。

2.3 孤网方式

在负荷满载、光伏出力 50%、风机出力 40%,储能装置处于浮充状态。在孤网模式下,储能装置必须要处于 V/f 控制模式。

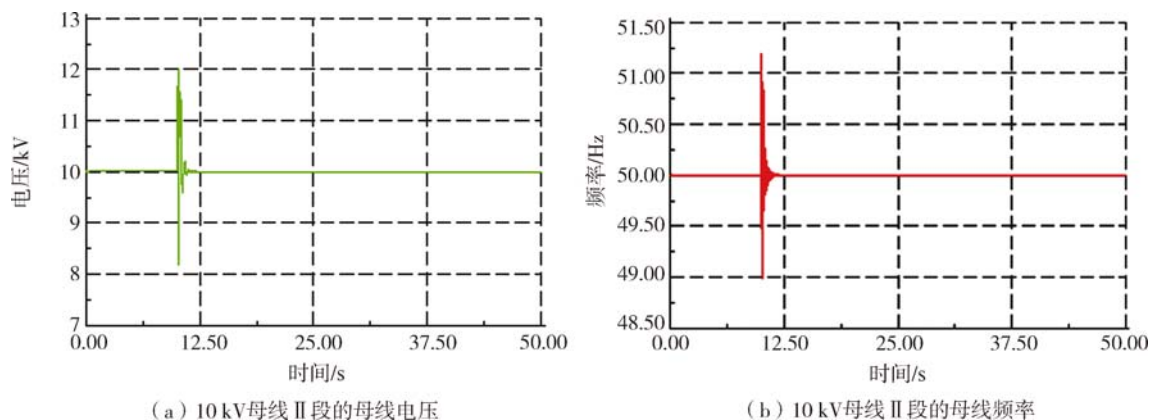


(a) 10 kV母线 II段的母线电压

(b) 10 kV母线 II段的母线频率

图5 10 kV 母线 II段的母线电压、频率(并网方式下,风电正常投切)

Fig. 5 Voltage and frequency of 10 kV bus II



(a) 10 kV母线 II段的母线电压

(b) 10 kV母线 II段的母线频率

图6 10 kV 母线 II段母线电压、频率(并网脱离网方式)

Fig. 6 Voltage and frequency of 10 kV bus II

方式1A:一台风机15 s时与微电网断开连接,运行一段时间后,30 s再次并入微电网,整个仿真时长50 s。

如图7所示,系统电压波动较小,在30 s再次并入微电网时,系统电压瞬间下降到9 kV以下,这是由于风机采用异步电动机模型,并网需要吸收大量的无功。

方式1B: II段母线上一路普通负荷在15 s时与微电网断开连接,运行一段时间后,30 s再次并入微电网,整个仿真时长50 s。

图8为负荷正常投切时,10 kV 母线 II段母线电压、频率。如图8所示,考虑到普通负荷容量为600 kW,相对于系统规模,容量较小。因此,负荷的投切对系统电压、频率的影响较小。

考虑到风机及负荷的投切均在储能装置的调节范围内,因此不需要采取稳控措施即可保持系统稳定。

3 分布式电源及微电网系统控制策略制定的一般性原则

通过对风机/光伏/储能型微电网开展电气计算,并对计算仿真结果进行归纳总结,提出分布式电源及微电网系统控制策略制定的一般性原则。

3.1 分布式电源、储能控制策略的一般性原则

3.1.1 风机、光伏系统

风机、光伏按最大化出力的方式运行(最大功率追踪)。风机、光伏系统均采用PQ控制。

3.1.2 储能系统

在并网状态下,大电网作为微电网系统的主电源,储能系统仅在系统中出现分布式电源功率有盈余或者在峰谷电价较低的情况下予以充电,储能系统的控制采用PQ控制。在孤网状态下,储能系统作为主电源,需保证微电网系统的电压和频率稳

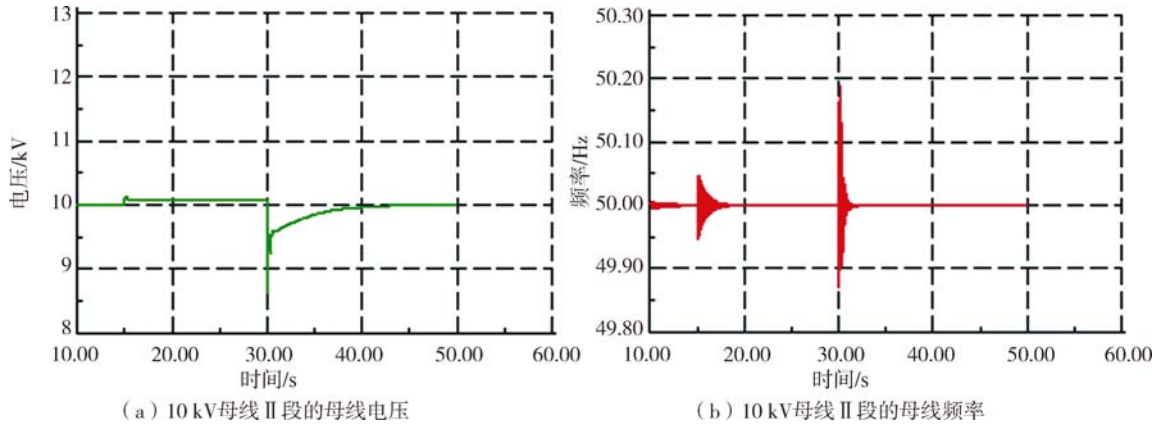


图 7 10 kV 母线 II 段母线电压、频率(孤网方式下, 风机投切)

Fig. 7 Voltage and Frequency of 10 kV Bus II

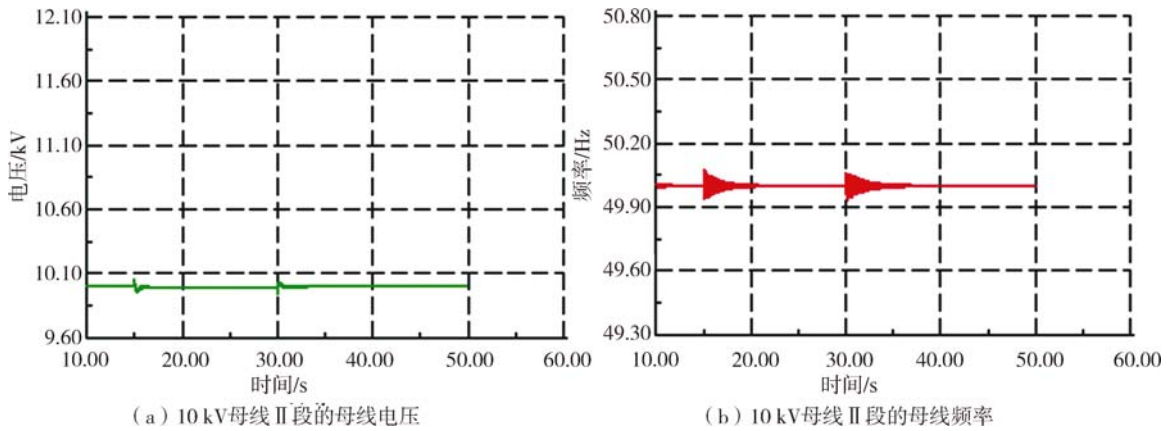


图 8 10 kV 母线 II 段母线电压、频率(孤网方式下, 负荷投切)

Fig. 8 Voltage and frequency of 10 kV bus II

定, 储能系统的控制采用 V/f 控制, 储能装置的容量宜保持不低于敏感负荷的容量和热备用容量之和。其中, 敏感负荷是指即使在微电网系统发生严重故障时, 仍需保障供电的负荷。为满足系统可靠性, 储能装置宜处于浮冲状态。

3.2 微电网系统控制策略的一般性原则

在并网运行模式与孤网运行模式下, 微电网系统控制策略的一般性原则如表 1 和表 2 所示。

表 1 并网运行模式

Tab. 1 On-grid operation mode

故障	分类	控制策略
主网出现故障	微电网余量上网	微网迅速切换运行模式, 进入孤岛运行模式, 储能系统改变控制策略, 由 PQ 控制改为 V/f 控制。若微电网上送功率 < 储能装置可吸收功率的最大值, 可由储能装置自动调节来维持系统稳定; 若微电网上送功率 > 储能装置可吸收功率的最大值, 需采取切机策略, 切机容量应 \geq (微电网上送功率 - 储能装置可吸收功率的最大值)。
	微电网	迅速切除故障线路, 系统电压和频率可能存在波动, 但仍然能够迅速恢复到正常范围内, 系统稳定, 不需采取控制策略。

表 1(续) 并网运行模式

Tab. 1(Cont.) On-grid operation mode

故障	分类	控制策略
主网出现故障	微电网由大电网受电	微网迅速切换运行模式, 进入孤岛运行模式, 储能系统改变控制策略, 由 PQ 控制改为 V/f 控制。若大电网下送功率 < 储能装置可放出功率的最大值, 可由储能装置自动调节来维持系统稳定; 若大电网下送功率 > 储能装置可放出功率的最大值, 需采取切负荷策略, 切负荷容量应 \geq 微电网下送功率 - 储能装置可放出功率的最大值。
	微电网与大电网功率不受限	迅速切除故障线路, 系统电压和频率可能存在波动, 但仍然能够迅速恢复到正常范围内, 系统稳定, 不需采取控制策略。

注: *指微电网中负荷、分布式电源的出线发生故障时。

4 结论

本文从系统侧角度研究风光储微电网系统对电网的安全稳定影响, 提出了分布式电源、储能装置

表2 孤网运行模式

Tab. 2 Off-grid operation mode

故障	控制策略
分布式电源出线发生故障	迅速切除故障线路, 若(负荷功率—分布式电源输出功率) < 储能装置可放出功率的最大值, 可由储能装置自动调节来维持系统稳定; 若(负荷功率—分布式电源输出功率) > 储能装置可放出功率的最大值, 需采取切负荷策略, 按最小过切原则, 切负荷容量应 \geq (负荷功率—分布式电源输出功率—储能装置可放出功率的最大值) 且 $<$ (负荷功率 + 储能装置可吸收功率的最大值—分布式电源输出功率)。
负荷出线发生故障	迅速切除故障线路, 若(分布式电源输出功率—负荷功率) < 储能装置可吸收功率的最大值, 可由储能装置自动调节来维持系统稳定; 若(分布式电源输出功率—负荷功率) > 储能装置可吸收功率的最大值, 需采取切机策略, 按最小过切原则, 切机容量应 \geq (分布式电源输出功率—负荷功率—储能装置可吸收功率的最大值) 且 $<$ (分布式电源输出功率 + 储能装置可放出功率的最大值—负荷功率)。

控制策略及整个微电网系统控制策略制定的一般性原则。该原则可为微电网工程的控制策略制定提供借鉴和参考。但针对储能装置对微电网的影响研究相对较浅, 下一步将深入研究储能装置的配置容量不同对微电网电能质量的影响。

参考文献:

- [1] 肖朝霞, 贾双, 朱建国, 等. 风光储微电网并网网络线功率控制策略 [J]. 电工技术学报, 2017, 32(15): 169-179.
XIAO C X, JIA S, ZHU J G, et al. Tie-line power flow control strategy for a grid-connected microgrid containing wind, photovoltaic and battery [J]. Transactions of China Electro Technical Society, 2017, 32(15): 169-179.
- [2] 张惠生, 赵兴勇, 王凯武, 等. 基于风光互补微电网的复合储能控制策略 [J]. 广东电力, 2017, 30(2): 48-53 +96.
ZHANG H S, ZHAO X Y, WANG K W, et al. Control strategy for hybrid energy storage based on wind/photovoltaic complementary micro-grid system [J]. Guangdong Electric Power, 2017, 30(2): 48-53 +96.
- [3] 杨新法, 苏剑, 吕志鹏, 等. 微电网技术综述 [J]. 中国电机工程学报, 2014, 34(1): 57-70.
YANG X F, SU J, LÜ Z P, et al. Overview on micro-grid technology [J]. Proceedings of the CSEE, 2014, 34(1): 57-70.
- [4] HATZIARGYRIOU N, ASANG H, IRAVANI R, et al. Microgrids [J]. IEEE Power and Energy Magazine, 2007, 5(4): 78-94.
- [5] OLIVARES D E, MEHRIZI-SANI A, ETEMADI A H, et al. Trends in microgrid control [J]. IEEE Transactions on Smart Grid, 2014, 5(4): 1905-1919.
- [6] 王成山, 武震, 李鹏. 微电网关键技术研究 [J]. 电工技术学报, 2014, 29(2): 1-12.
WANG C S, WU Z, LI P. Research on key technologies of microgrid [J]. Transactions of China Electro Technical Society, 2014, 29(2): 1-12.
- [7] 支娜, 张辉, 肖曦. 提高直流微电网动态特性的改进下垂控制策略研究 [J]. 电工技术学报, 2016, 31(3): 31-39.
ZHI N, ZHANG H, XIAO X. Research on the improved droop control strategy for improving the dynamic characteristics of DC microgrid [J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2016, 31(3): 31-39.
- [8] 韩冰, 邵如平, 杨菠. 风光储微电网控制策略研究 [J]. 电气传动, 2016, 46(12): 52-56.
HAN B, SHAO R P, YANG B. Research on control strategy based on wind/PV/battery microgrid [J]. Electric Drive, 2016, 46(12): 52-56.

作者简介:



张扬

1983-, 男, 广东汕头人, 工程师, 硕士, 主要从事发电调度优化及负荷预测工作 (e-mail) gdcyzy2003@163.com。

ZHANG Y

马伟哲

1982-, 男, 黑龙江哈尔滨人, 工程师, 学士, 主要从事电力系统运行方式工作 (e-mail) 13480789779@139.com。

程韧俐

1972-, 女, 湖南长沙人, 高级工程师, 学士, 主要从事电网调度运行分析、发电调度管理工作 (e-mail) chengrenli@sz.csg.cn。

许琴 (通信作者)

1987-, 女, 江西九江人, 工程师, 硕士, 主要从事电力系统继电保护工作 (e-mail) 406537892@qq.com。

(责任编辑 李辉)