

文章编号:1007-2985(2019)04-0043-05

含风电微电网负荷预测建模及其仿真^{*}

黎 铭¹,王 林²,梁 冰¹,扈海泽¹,资春元¹,
莫 异¹,方梦鸽³,扈菲宇³

(1. 吉首大学信息科学与工程学院,湖南 吉首 416000;2. 国网郴州供电公司,
湖南 郴州 423000;3. 长沙理工大学电气与信息工程学院,湖南 长沙 410000)



摘 要:风具有随机间歇性特性,在并网条件下参与电网负荷预测,其风速和风向的间歇性会对电网产生很大冲击,严重影响电力系统的稳定性.结合微电网的特点和风电运行特性,搭建微电网的基本负荷模型和风电模型,并采用 MATLAB/Simulink 建立负荷预测仿真模型.仿真结果表明,含风电微电网不仅能够抵御消化风电并网的影响,还能够有效降低电网的负荷曲线的峰谷差.含风电微电网参与电网的负荷预测能够有效地提高电力系统的供电可靠性.

关键词:微电网;负荷预测;并网运行;MATLAB/Simulink;峰谷差

中图分类号:TM743

文献标志码:A

DOI:10.13438/j.cnki.jdzk.2019.04.008

风电研究包含很广,如同服电机^[1]、防雷及接地保护^[2]和并网离网等.研究重点主要集中于对随机波动性及其在并网运行情况下如何降低对电网的冲击性影响^[3].由于风力的不确定性,对预测误差的研究通常采用概率分布模型、随机分布变量的分布函数^[4]、统计数据分析^[5-6]、直接预测^[7]和整合分析^[8]等方法.对风电场的风速和发电功率进行准确预测,有利于电力系统调度部门及时调整调度计划,减少电力系统的运行成本和旋转备用^[9].

1 微电网建模

1.1 分布式电源模型

风力发电的输出功率与风速之间的关系可用分段函数表示^[3]:

$$P_w = \begin{cases} 0 & v \geq v_0, v \leq v_i, \\ av + b & v_i < v < v_r, \\ P_r & v_r \leq v < v_0. \end{cases}$$

其中: P_w 为发电机组的输出功率; P_r 为额定功率; v_i 为最低切入风速; v_r 为该机组的额定风速; v 为实际风速; v_0 为该机组的切出风速; a, b 为风力发电系统的输出功率与风速之间的系数因子, $a = \frac{P_r}{v_r - v_i}$, $b = -av$.当风速小于风力发电机组切入风速或者大于风力发电机组切出风速时,风力发电机处于静默状

^{*} 收稿日期:2018-09-11

基金项目:湖南省教育厅重点资助项目(17A173);湖南省教育厅一般项目(18C0565);吉首大学大学生创新性项目(9520113);湖南省信息类专业校企合作创新创业教育基地项目(2017JSUJD032);吉首大学科学研究项目(JD17007, JDX17030)

通信作者:扈海泽(1989—),男,湖南邵阳人,吉首大学信息科学与工程学院讲师,硕士,主要从事电力系统负荷预测研究.

态,不输出功率;当风速在风力发电机组切入风速与额定风速之间时,机组的输出功率与风速呈线性关系;当风速在风力发电机组额定风速与切出风速之间时,风电机组的输出功率维持在额定值. 概率密度函数

$$f(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c} \right)^{k-1} \exp\left(-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right). \quad (1)$$

其中: k 为形状系数; c 为尺度系数,单位 m/s. k 和 c 可由平均风速 \bar{v} 和风速标准差 σ 近似得到,其表达式为

$$k = \left(\frac{\sigma}{\bar{v}} \right)^{-1.086}, c = \bar{v} / \Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right).$$

对(1) 式进行积分,可得 $f_v(v) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right)$.

柴油发电机在运行时需满足一定的约束条件,包括柴油发电机组出力限值约束、机组爬坡率约束和机组最小启停机时间约束等. 约束条件的表达式为 $u^t P_{\min} \leq P_G^t \leq u^t P_{\max}$. 其中: P_{\max} 和 P_{\min} 分别为电机组 m 的最大出力限值和最小出力限值; u^t 为电机组 m 的启动和停机时刻的状态, $u^t = 1$ 表示启动状态, $u^t = 0$ 表示停机状态; P_G^t 是发电机组 m 在 t 时刻的运行出力值. 出力爬坡率的约束条件为 $-(R\Delta T) \leq P_G^t - P_D^t \leq R\Delta T$. 其中: R 为运行速率; ΔT 为间隔; P_D^t 为 t 时刻的负载功率.

在以上的柴油发电机模型中,为了减少柴油发电机组启/停动作造成的误差及影响,可设置柴油发电机组的最小停机时间约束和最小启机时间约束:最小停机时间约束为 $SW_1^t + \sum_{i=1}^{K_1} SW_2^{t+i} \leq 1$,其中 K_1 为启动运行时间, SW_1 和 SW_2 分别启动和停机负载;最小启动时间约束为 $SW_2^t + \sum_{i=1}^{K_2} SW_1^{t+i} \leq 1$,其中 K_2 为机组检修或调控停机时间.

柴油机组自身还满足一定的机组启/停逻辑约束: $u^{t-1} - SW_2^t \leq u^t \leq u^{t-1} + SW_1^t, 0 \leq SW_2^t + SW_1^t \leq 1$. 在柴油机组连续运行或者连续处于停机状态时,二进制变量 SW_1 和 SW_2 同时为 0,但在启 / 停机操作时,两者不可同时为 1.

1.2 蓄电池约束条件

1.2.1 充放电功率约束 一般情况下,储能装置的充放电功率需要满足特定条件^[9] $P_{\min}^B \leq P_{\text{es}}^t \leq P_{\max}^B$,其中 P_{\max}^B 和 P_{\min}^B 分别为发电系统储能装置的充放电功率上、下限.

假设微电网中的清洁能源发电功率预测的误差为 α ,风力发电负荷预测的最大误差为 β ,则微电网内的功率波动 $\Delta P = \left| \alpha \sum_{k=1}^M P_S^k - \beta \sum_{j=1}^N P_L^j \right| l$. 其中: P_S^k 和 P_L^j 分别为剩余发电功率和负荷功率; M 为发电机组数量; N 为负荷数量. 调频容量 $P_f = P_{L,\max} P_N / \sum P_{L,\max}^t$,其中 $P_{L,\max}$ 和 P_N 分别为负荷功率最大值和额定功率. 因此,在对微电网进行优化和调度时,发电系统的储能装置的充放电功率约束为 $-(P_{L,\max} - P_f) \leq P_{\text{es}}^t \leq P_{L,\max} - P_f$.

1.2.2 SOC 状态约束 储能设备的动态模型为 $SOC_{i+1}^t = SOC_i^t + u_{\text{es}1}^t \Delta T P_c^t - u_{\text{es}2}^t P_c^t \Delta T$. 其中: SOC_{i+1}^t 为储能系统在 $t+1$ 时刻的剩余电量; SOC_i^t 为储能系统在 t 时刻的剩余电量; P_c^t 为储存功率. 考虑储能系统的充放电效率,设储能系统的充电效率为 η_1 ,放电效率为 η_2 ,储能系统和微电网的交换功率为 P_j^t ,则

$$P_c^t = \begin{cases} \frac{P_j^t}{\eta_2} & u_2^t > 0, \\ \eta_1 P_j^t & u_1^t > 0, \end{cases}$$

其中 u_1^t 和 u_2^t 分别为启动和停机电压.

SOC 储能系统的动态可以表示为 $SOC_{i+1}^t = SOC_i^t + u_1^t \Delta T \frac{P_{\text{es}}^t}{\eta_2} - u_2^t \Delta T \eta_1 P_{\text{es}}^t$. 储能设备的 SOC 应满足其上下限约束 $SOC_{\min} \leq SOC_i^t \leq SOC_{\max}$,其中 SOC_{\max} 和 SOC_{\min} 分别为储能的最大值和最小值. 笔者采用下垂控制的储能装置,其约束为 $SOC_{\min,l} \leq SOC_i^t \leq \left(1 - \frac{P_f}{P_{\max}}\right) SOC_{\max}$.

1. 2. 3 充放电状态约束 蓄电池组系统充放电状态约束为 $u_1^t + u_2^t \leq 1$, 状态转换约束为 $sw_1^t + sw_2^t \leq 1$, $sw_1^t \geq u_c^t - u_c^{t-1}$, $sw_2^t \geq u_2^t - u_1^{t-1}$, 其中 u_c^t 为储存电池的电压。

2 算例分析

采用 Matlab/Simulink 搭建暂态仿真模型, 模拟含风电微电网并网参与负荷预测, 监测风电微电网对电力系统的影响。模型中采用的风力发电机组容量为 200 kW, 且发电机组带有蓄电池组, 同时模型中搭建逆变器、滤波电容等相关器件。根据监测数据得到如图 1 所示的风力实测曲线。

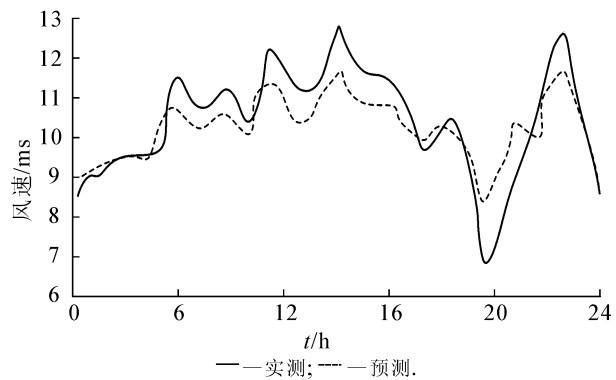


图 1 间歇性风力值

Fig. 1 Intermittent Wind Value

由图 1 可以看出: 在随机测得的 24 h 风力状况中, 1~14 h 时间段的风力逐步上升, 并在 14 h 左右达到风力峰值; 14 h 之后的风力强度开始下降, 并在 19 h 左右达到风力输出谷值, 19 h 之后的风力强度逐渐恢复。

调节控制风力发电机风力信号的输入, 分别设置输入参数 6, 7.2, 8.4, 9.6, 10.8, 12, 13.2, 14.4 m/s。在 Matlab/Simulink 构建仿真模型中, 采用鼠笼感应发电机, 并设置其额定输出功率为 275 kW。仿真结果如图 3~6 所示。

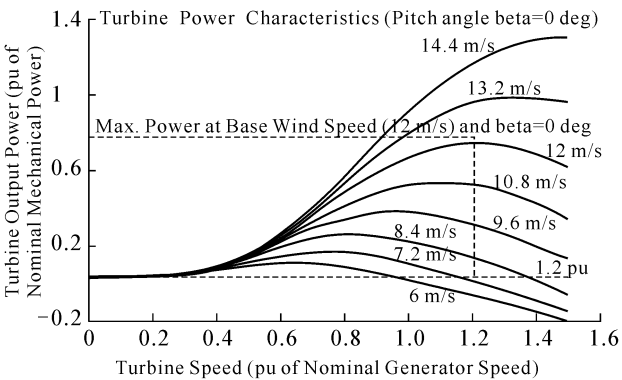


图 2 风特性关系

Fig. 2 Wind Characteristic Relation

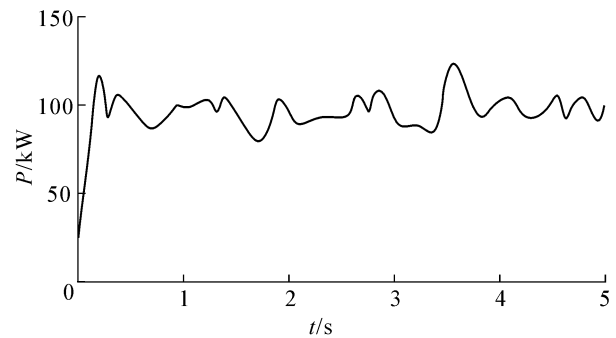


图 3 风电输出功率变化

Fig. 3 Power Changes of Wind Power Output

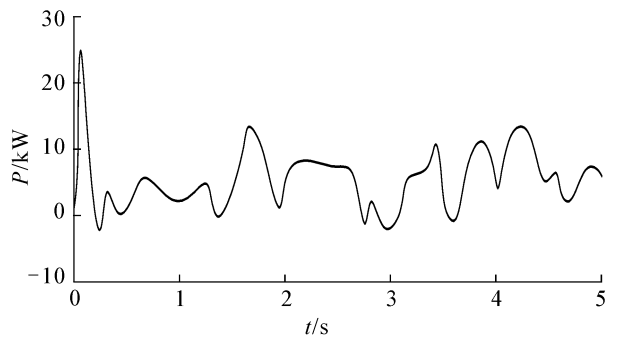


图 4 储能输出功率变化

Fig. 4 Power Changes of Stored Energy Output

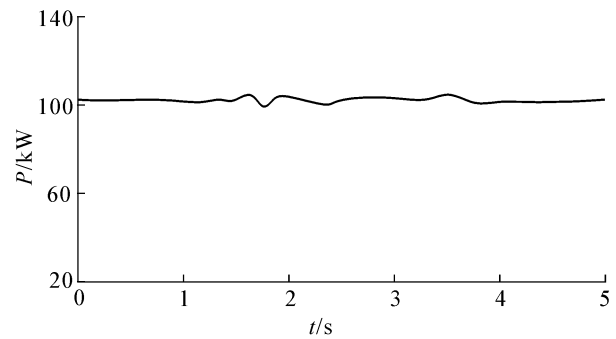


图 5 负载功率变化

Fig. 5 Load Power Changes

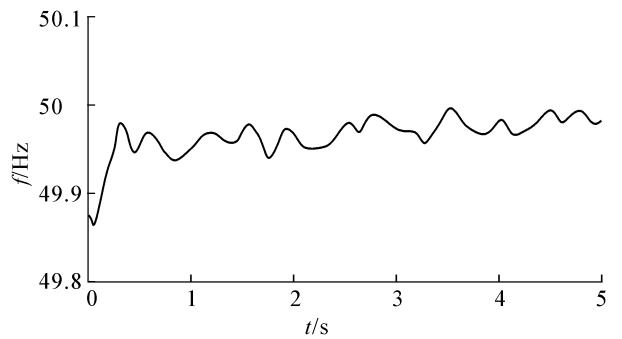


图 6 系统频率变化

Fig. 6 System Frequency Changes

采用风电微电网并网进行调控,其负荷预测曲线如图 7 所示.

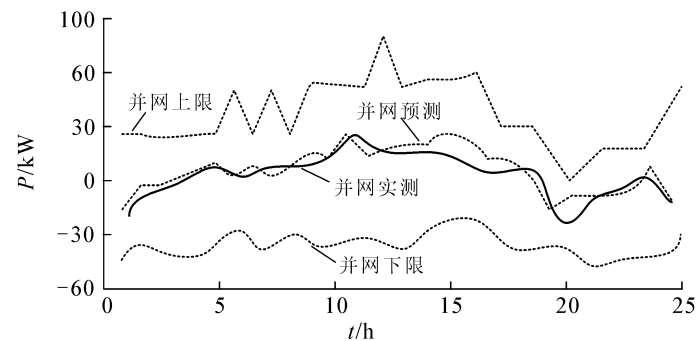


图 7 风电参与后的负荷曲线
Fig. 7 Load Curve with Wind Power Participation

由图 7 可以看出,在设定并网功率的上、下限,经风力模型产生的随机风速变化后,风力发电机组发出功率与电网功率相互输送,达到最优负荷优化,通过模型求解的并网预测曲线与实测曲线很接近.

3 结语

针对风光预测出力的误差具有随机性,采用对预测误差建立概率分布模型的方法进行处理.建立了微电网及不同微网的出力模型,并对不同模型的约束条件进行求解,从而建立了针对微电网各微源的出力模型和短期内的风速分布模型.对模型进行仿真分析,得到近似于实际的负荷结果.由仿真结果可知,通过风能与电网系统的能源互联,并结合风力发电特性和电网负荷特性来调控风力发电出力,可以达到对电网负荷曲线削峰填谷、降低峰谷差和优化负荷曲线的目的.

参考文献:

[1] 高忠飞,李春凯,马传宇. 变速恒频风力发电控制技术[J]. 防爆电机,2014(6):29-31;38.
[2] 刘林毓,扈海泽,方梦鸽,等. 抗雷电过电压影响的电容式接地网设计[J]. 吉首大学学报(自然科学版),2017,38(5):24-28.
[3] 孙 婧. 风力发电及风电并网技术现状与展望[J]. 中国新技术新产品,2016(3):74.
[4] RAHMAN SAIFUR, PIPATTANASOMPORN MANISA. Impact of Large-Scale Wind Power Access on US Power System Operation and Strategy[J]. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(22): 3-11.
[5] 韩 爽. 风电场功率短期预测方法研究[D]. 北京:华北电力大学,2008:11-16.
[6] 芦思晨. 基于永磁直驱风力发电系统的微电网下垂控制策略研究[D]. 杭州:浙江大学,2015:22-27.
[7] 任建文,许英强,董圣孝. 考虑储能参与的含高比例风电互联电力系统分散式调度模型[J]. 电网技术,2018,42(4): 1 079-1 086.
[8] 李春燕,陈 骁,张 鹏,等. 计及风电功率预测误差的需求响应多时间尺度优化调度[J]. 电网技术,2018,42(2):487-494.
[9] 叶 林,张慈杭,汤 涌,等. 多时空尺度协调的风电集群有功分层预测控制方法[J]. 中国电机工程学报,2018,38(13): 3 767-3 780;4 018.

Load Forecasting Modeling and Simulation of Wind Power Microgrid

LI Ming¹, WANG Lin², LIANG Bing¹, HU Haize¹, ZI Chunyuan¹,
MO Yi¹, FANG Mengge³, HU Feiyu³

- (1. School of Information Science and Engineering, Jishou University, Jishou 416000, Hunan China;
2. Chengzhou Power Supply Company of State Grid, Chengzhou 423000, Hunan China;
3. School of Electrical & Information Engineering, Changsha University of
Science & Technology, Changsha 410000, China)

Abstract: Wind has the characteristics of stochastic intermittence (mainly including the intermittence of wind direction and wind speed). In the process of grid-connected load forecasting, the intermittence of wind speed and wind direction will have a great impact on the power grid (mainly reflected in the frequency and voltage fluctuations of the power grid), seriously affecting the stability of the power system. Based on the characteristics of micro-grid and wind power operation characteristics, the basic load model and wind power model of micro-grid are built, and the load forecasting simulation model is built with MATLAB/Simulink. The simulation results show that the wind power micro-grid can not only resist the influence of wind power integration, but also effectively reduce the peak-valley difference of the load curve of the grid. Participation of wind power micro-grid in load forecasting of power grid can effectively improve the reliability of power supply system.

Key words: micro-grid; load forecasting; grid-connected operation; Matlab/simulink; peak-valley difference

(责任编辑 向阳洁)

(上接第 35 页)

[4] 陈海明,崔 莉,谢开斌. 物联网体系结构与实现方法的比较研究[J]. 计算机学报,2013,36(1):168-188.
[5] 李娟娟,王希娟. 基于物联网技术的电梯监控系统设计[J]. 微型电脑应用,2018,34(2):33-35;39.
[6] 刘泽良,胡日新. 物联网技术下基于 Arduino 的智能公交系统模型设计[J]. 实验技术与管理,2014,31(11):140-143.
[7] 陈章进,姚真平,张建峰. 基于 ZigBee 技术的城市智能公交系统设计[J]. 电子测量技术,2013,37(4):38-42.
[8] 王小康,李景文. 基于物联网与 WebGIS 的智能公交系统[J]. 测绘与空间地理信息,2015,38(3):69-70.

Design of Intelligent Bus System Based on Internet of Things

YAO Huixiong, ZHAI Fengyun, TANG Pengcheng, HU Li

(College of Information Science and Engineering, Jishou University, Jishou 416000, Hunan China)

Abstract: Aiming at the problems of the current bus system, an intelligent bus system is designed based on IOT technology. In this system, the perception layer realizes data collection through the low power consumption ZigBee wireless ad hoc network and GPS, the network layer realizes data transmission and storage through 3G wireless communication technology and cloud technology, the application layer realizes the system management and inquiry through GIS technology by PC and mobile terminal. The structure of the system is flexible and extendable, which can achieve effective bus management, guarantee driving safety, and improve passengers' travel experience.

Key words: internet of things; intelligent bus; ZigBee; GPS; GIS

(责任编辑 向阳洁)