

Hierarchical Control on Frequency Regulation of High Permeability Distributed Wind Storage System

Yu Huang*, Zhaoxia Xiao

Key Laboratory of New Technology for Electric Power, Tianjin Polytechnic University, Tianjin
Email: *13512958325@163.com

Received: Mar. 1st, 2018; accepted: Mar. 15th, 2018; published: Mar. 22nd, 2018

Abstract

With the increase of wind power penetration, the fluctuation of wind power and the weak inertia of variable speed wind generation system will bring challenges to the power system frequency stabilization. To solve the above problems, based on distributed wind-energy storage system, this paper proposes a hierarchical control strategy. A central controller can detect the wind speed, the rotor speed and the grid frequency in real time and realize the switching of the system mode and the selection of the bottom controller in different running states. The bottom controller includes wind power MPPT control and energy storage power control. In the aspect of wind power fluctuation, the energy storage system can help the wind generation system to connect to the power grid, which can make the wind-storage system output power smoothing; in frequency regulation aspect, considering wind speed and energy storage configuration, in low frequency, combining inertia control; at high frequency, the energy storage is combined with the wind turbine pitch control to participate in the power grid frequency regulation. In this paper, the simulation system is established, the simulation results verify the correctness and effectiveness of the proposed control strategy.

Keywords

Wind-Energy Storage System, Timed Constant Power Flow of Tie-Line, Inertia Control, Frequency Regulation

高渗透率分布式风储系统参与电网频率调节的分层协调控制

黄玉*, 肖朝霞

天津工业大学电工电能新技术天津市重点实验室, 天津

*通讯作者。

Email: *13512958325@163.com

收稿日期: 2018年3月1日; 录用日期: 2018年3月15日; 发布日期: 2018年3月22日

摘要

风电渗透率日益提高, 风能的功率波动和发电机的有功-频率弱惯性将对电网的频率带来挑战。基于分布式风储系统, 提出一种分层协调控制策略, 上层中心控制器实时检测风速、转子转速和电网频率, 实现不同状态下, 系统运行模式切换和底层控制器的选择。底层控制器包括风电MPPT控制和储能功率控制。在风电功率波动方面, 利用储能辅助风电系统并网, 使得风储系统输出功率平滑; 在频率调节方面, 综合考虑风速与储能配置, 在低频时, 将风电的转子惯性控制和储能充放电功率控制相结合, 在高频时, 将储能与风力机变桨控制结合, 参与电网频率调节。本文建立了风储仿真系统, 仿真结果验证了所提策略的正确性与有效性。

关键词

风储系统, 并网母线功率平滑分层控制转子, 惯性控制, 频率调节

Copyright © 2018 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

随着常规能源日渐枯竭与环境的恶化, 风力发电以其技术成熟、成本较低和绿色环保的优势成为新能源发电发展最快、最具竞争力的发电技术[1] [2] [3]。随着风电装机容量的增加, 常规发电机组被替代, 风电渗透率逐渐提高。我国东北的赤峰、通辽等地区, 风电装机容量渗透率达到约 47% [4]。风能随机波动的特点, 造成风电出力频繁波动, 当前, 风电市场上应用的主流变速风力发电机组, 转速与电网频率之间解耦, 因而风电机组输出功率不能响应电网频率的变化, 称为有功频率弱惯性[5] [6]。高渗透率分布式风电的并网对电网频率的稳定提出了严峻挑战。在风电系统中配置储能, 可有效平滑风电输出, 在提高风电功率输出可控性的同时, 大大增加了风电的消纳能力, 提高了电网运行的稳定性[7] [8]。

国内外对于分布式风电系统频率调节做了大量的研究。在风电机组参与调频方面, 主要有备用功率控制和转子惯性控制。备用功率一般是通过控制风力机转速, 使风力机的叶尖速比和最大风能利用系数均未达到最优值。其次, 也可通过控制风力机的桨距角进而减少风机部分有功输出, 当检测系统频率降低时, 留作备用功率。但上述方法是以牺牲风能捕获效率为代价的, 当前不具有经济性和实用性。在转子惯性控制方面, 文献[9]针对双馈风机, 通过增加辅助频率控制环, 由储存在风机桨叶中的动能提供短时功率支撑。文献[10]采用了频率-转速协调控制策略, 以减少风电机组的转矩突变, 在参与频率调整时对转速进行调节, 并且能够有效增大系统惯性。但文献[11]也指出, 转速恢复可能会造成系统频率出现二次降低。在储能辅助风电机组参与频率调节方面, 文献[12]将飞轮储能与双馈风电机组结合, 文献[13]将电池组接入静止同步补偿器的直流母线, 文献[14]则在永磁风力发电机的公共直流母线上接入超级电容器储能。上述方法可以较好地平滑风机的有功输出和调频等辅助功能, 但也会导致风电机组的结构与控制变得复杂。

针对高渗透率分布式风电功率波动与频率波动两个问题, 本文采用了一种联络线功率分时恒定的计算方法, 使得风储系统输出功率平滑。其次, 设计了风储系统的结构, 在该结构中采用了蓄电池通过DC/AC变换器直接连接风电输出交流侧。针对变速风力机的有功频率弱惯性, 通过在风机侧添加一个功率环, 有效增加了系统的惯性。当系统频率超过规定范围, 风储系统发电系统在尽可能保证风电最大功率输出的前提下, 根据 AGC 调度指令迅速改变风储系统并网母线的有功功率输出以调节电网的频率。在低频时, 将风电的转子惯性控制和储能充放电功率控制相结合, 在高频时, 将储能与风力机变桨控制结合, 共同参与电网频率调节。

本文的第二部分介绍了分布式风储系统的拓扑结构; 第三部叙述了风储系统调频原理; 第四部分介绍了风储系统各种可能运行状态及状态转换条件; 第五部分介绍了风储系统的底层控制器即风电最大功率跟踪控制、变桨控制、以及储能逆变器的恒功率控制器; 第五部分给出了系统参数和仿真结果及分析; 最后一部分对本文做总结了。

2. 分布式风储系统结构

风储系统中, 风电机组与储能系统的电气连接既可采用交流侧并联, 也可采用直流侧并联。直流侧并联时, 储能系统的底层硬件控制需要与风电机组的底层硬件控制进行深入地、电力电子开关周期级的协调控制方能实现。其优势在于在降低风电机组和储能系统的整体成本的同时, 还可有效提高风电机组的低电压穿越性能。直流侧并联不仅技术难度较高, 且涉及到风电机组厂商与储能厂商配合问题。交流侧并联时, 风电机组与储能系统之间的底层硬件控制完全相互解耦, 实现方便, 技术上较为成熟; 减少一级能量变换, 并且经济性更好, 便于集中控制本文选择储能单元交流侧并联的配置方式。分布式风储结构如图 1 所示, 包括一次回路和控制系统。一次回路主要包括直驱式永磁风力发电系统和由蓄电池组成的储能单元。直驱式永磁风力发电单元包括风力机、永磁发电机和双 PWM 背靠背变频器, 蓄电池组通过 DC/AC 连接至交流母线。

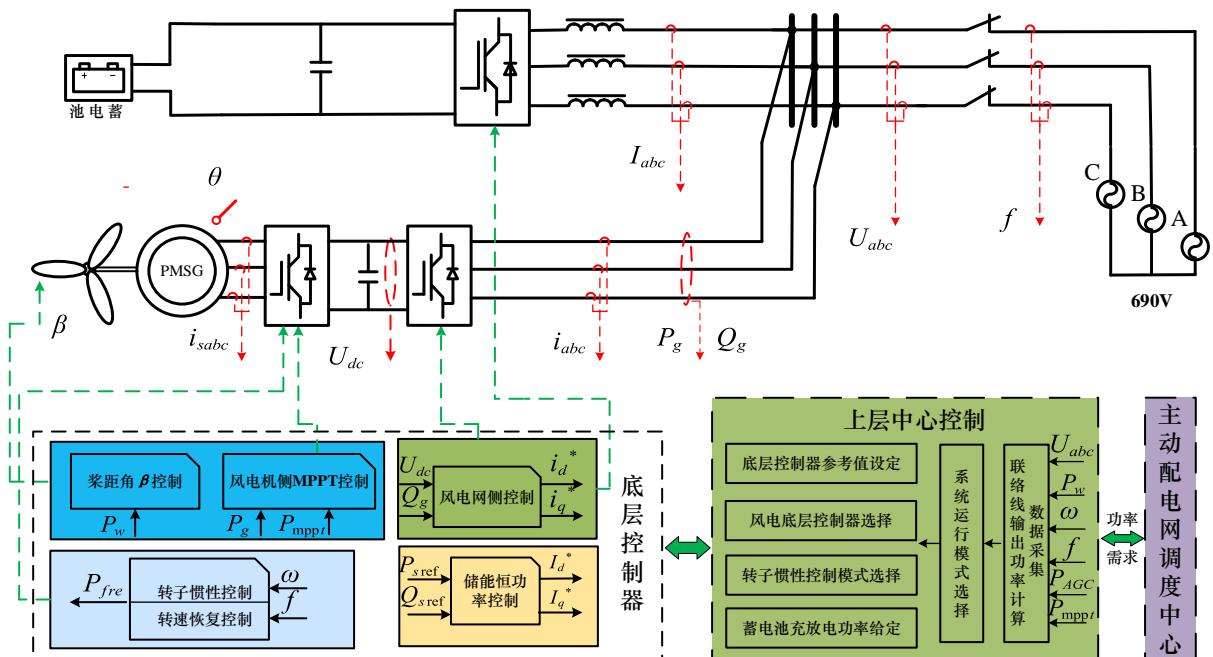


Figure 1. Structure of WT-BU system
图 1. 分布式风储系统

控制系统包括上层中心控制器和底层控制器。上层中心控制器是风储系统的核心部分,负责风速预测、风力发电机转速与电网频率检测,联络线分时交换功率的计算、系统运行模式的选择及切换、风储系统底层控制器选择和控制器参考值计算、蓄电池充放电模式选择和管理等。通过对储能单元的充放电控制,在电网频率正常时,使得风储系统向电网输送功率平滑。系统频率异常时,风储系统迅速参与电网频率调节。

3. 风储系统调频原理

3.1. 风电机组的动能

风力机转子叶片中储存的动能可表示为:

$$E = \frac{1}{2} J \omega^2 \quad (1)$$

上式中, J 为转动惯量, ω 为转子转速,当风力机的转速从 ω_0 变化至 ω_1 时,此时风力机释放的旋转动能为:

$$\Delta E = \frac{1}{2} J \omega_0^2 - \frac{1}{2} J \omega_1^2 \quad (2)$$

由上式可知,风电系统具有一定的旋转动能,当风电的渗透率较大时,风电机组隐藏的旋转动能将不容忽视。传统的变速风力发电机,为了实现风能的最大捕获,转子转速与电网频率解耦。因此,可在风电的机组的转子侧控制器原有的有功功率参考值上叠加一个与频率相关的功率指令 P_{fre} 。系统频率正常时, P_{fre} 的值为 0,当电网频率异常时, P_{fre} 开始变化,将风电系统中存储的动能转化为功率对电网频率进行支持。

3.2. 蓄电池参与电网频率调节

储能逆变器具有灵活可控、快速响应的优点,本文的分布式风储系统接受电网 AGC 调度。当电网频率异常时,风储系统根据 AGC 调度指令迅速改变其有功功率输出辅助调频厂参与频率调节。本文中,在低频时,将风电的转子惯性控制和储能充放电功率控制相结合,在高频时,将储能与风力机变桨控制相结合,共同参与电网频率调节。

4. 上层中心控制

4.1. 联络母线分时恒定计算

对每一调度时段的风速进行预测,对这一时段内风电输出的功率进行积分,可得时段 T 内风电所输出电量 W_G :

$$W_G = \int_0^T P_G dt \quad (3)$$

由此可得,在此调度时间内,风电系统输出的平均功率为 P_T :

$$P_T = \frac{W_G}{T} \quad (4)$$

则有风储系统在调度时段 T 内输出有功功率的期望值为该时段内的平均输出功率。而此时储能逆变器的参考功率为:

$$P_{ref} = P_T - P_G \quad (5)$$

4.2. 系统运行状态及切换

图 2 为风储系统参与电网频率调节的状态转换图, P_b^* 为储能逆变器有功功率参考值。

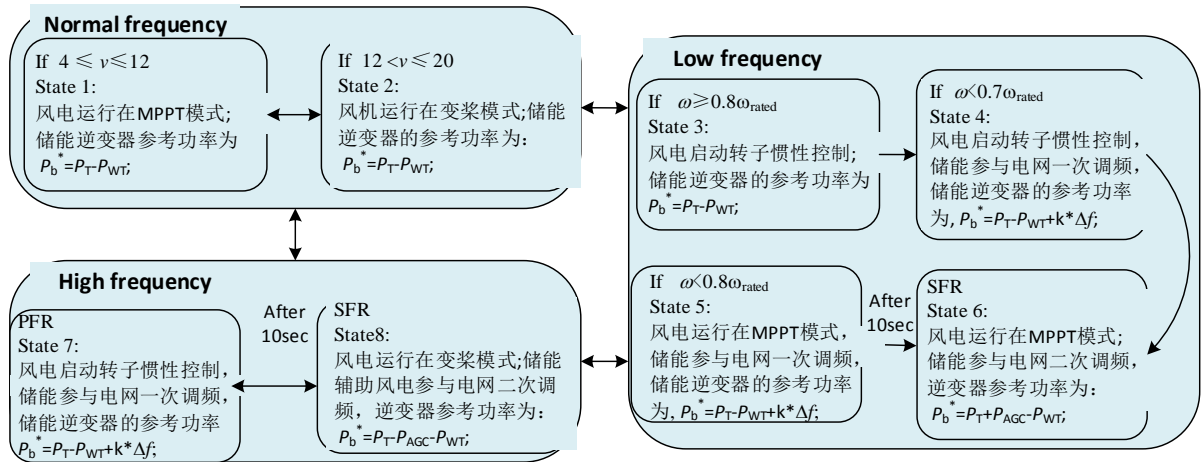


Figure 2. Operation mode of wind storage system
图 2. 风储系统运行状态转换图

MODE1: 风速 $V \leq 12 \text{ m/s}$, 电网频率正常, 直驱式永磁风力发电机运行在 MPPT 模式, 风储系统并网联络线有功功率输出平滑。储能逆变器有功功率参考值 P_b^* 为: $P_b^* = P_T - P_{WT}$, 此时蓄电池处于放电状态。

MODE2: 风速 $V > 12 \text{ m/s}$, 电网频率正常, 直驱式永磁风力发电系统启动变桨距控制, 限制风电输出功率, 风储系统并网联络线功率平滑。储能逆变器的参考功率为: $P_{ref} = P_T - P_{WT}$, 此时蓄电池处于充电状态。

MODE3: 检测到电网频率 $f < 49.5 \text{ Hz}$ 且此时风机转速 $\omega > 0.8\omega^*$ (ω^* 为风力发电机的额定转速), 此时启动转子惯性控制对频率支持。

MODE4: 当检测到风力发电机转速下降至 $0.7\omega^*$, 切断转子惯性控制并启动转速恢复, 同时启动储能参与对电网频率支持, 模拟一次调频的过程。

MODE5: 检测到电网频率 $f < 49.5 \text{ Hz}$ 且此时风机转速 $\omega \leq 0.8\omega^*$ (ω^* 为风力发电机的额定转速), 此时风力机隐藏的动能较少, 直接启动储能参与电网的一次调频。

MODE6: 经过储能参与一次调频模式, 储能启动参与电网二次调频的模式。此时储能逆变器的参考功率为: $P_{ref} = P_T - P_{WT} + P_{AGC}$ 。

MODE7: 检测到电网频率 $f > 50.5 \text{ Hz}$, 启动储能参与电网一次调频。

MODE8: 经过大约 10 s 的储能参与一次调频的时间, 变桨距启动, 限制风风力机对风能的捕获, 在储能的配合下, 避免了变桨距响应缓慢的缺陷, 共同参与参与电网二次调频。此时储能逆变器的参考功率为: $P_{ref} = P_T - P_{WT} - P_{AGC}$ 。

5. 底层控制器

5.1. 风力发电 MPPT 控制

直驱式永磁风力发电机使用背靠背双 PWM 变流器, 采用风力机对发电机直接驱动, 相比较于双馈风力发电机, 省去了齿轮箱, 提高了风力发电机组的效率和可靠性。永磁风力发电的控制系统采用变速恒频风力发电控制系统。底层控制器包括机侧最大风能跟踪控制、网侧控制和变桨距控制。风力机从风能中捕获的功率可表示为:

$$P_w = \frac{1}{2} \rho \pi R^2 V^3 c_p \tag{6}$$

上式中, ρ 为空气密度, R 为风力机半径, C_p 为风能利用系数, 是桨距角 β 和叶尖速比 λ 的函数, $\lambda = \omega R/v$, ω 为风轮角速度。当风力机桨距角一定时, 风力机运行于最佳叶尖速比时, 可获得风力机的最大风能利用系数 C_{pmax} , 因此, 在一定风速下, 风力机的最大功率只与转速有关。

$$P_{opt} = k\omega^3 \tag{7}$$

$$k = \frac{1}{2} \rho \pi R^5 C_p \frac{\omega^3}{\lambda^3} \tag{8}$$

直驱式永磁风力发电机机侧控制框图如图 3 所示。采用双闭环控制, 发电机侧变换器的目标是控制发电机输出的有功功率, 同时实现对风能的最大功率跟踪。对永磁风力发电机采用矢量控制技术, 设 $d-q$ 坐标系以同步速度旋转, 且 q 轴超前 d 轴, 将 d 轴定位于转子永磁体磁链上, 可得到永磁同步电机定子电压方程为:

$$\begin{cases} u_{sd} = R_s i_{sd} + L_s \frac{di_{sd}}{dt} - \omega_e L_s i_{sq} \\ u_{sq} = R_s i_{sq} + L_s \frac{di_{sq}}{dt} + \omega_e L_s i_{sd} + \omega_e \psi \end{cases} \tag{9}$$

电磁转矩方程为:

$$T_e = \frac{3}{2} p [\phi i_{sq} + (L_{sd} - L_{sq}) i_{sd} i_{sq}] \tag{10}$$

上式中, R_s 为定子电阻, L_{sd} 、 L_{sq} 为定子的 d 、 q 轴电感, i_{sd} 、 i_{sq} 为定子的 d 、 q 轴电流, u_{sd} 、 u_{sq} 为定子的 d 、 q 轴电压, ω_e 为同步电角速度, ϕ 为永磁体磁链, p 为永磁同步电机的极对数。

控制电流的 d 轴分量为始终为 0, 则有电机的电磁转矩为:

$$T_e = \frac{3}{2} p \phi i_{sq} \tag{11}$$

5.2. 风力发电并网控制

网侧控制器的目的是稳定直流母线电压和实现风电系统无功功率输出的有功功率和无功功率的解耦

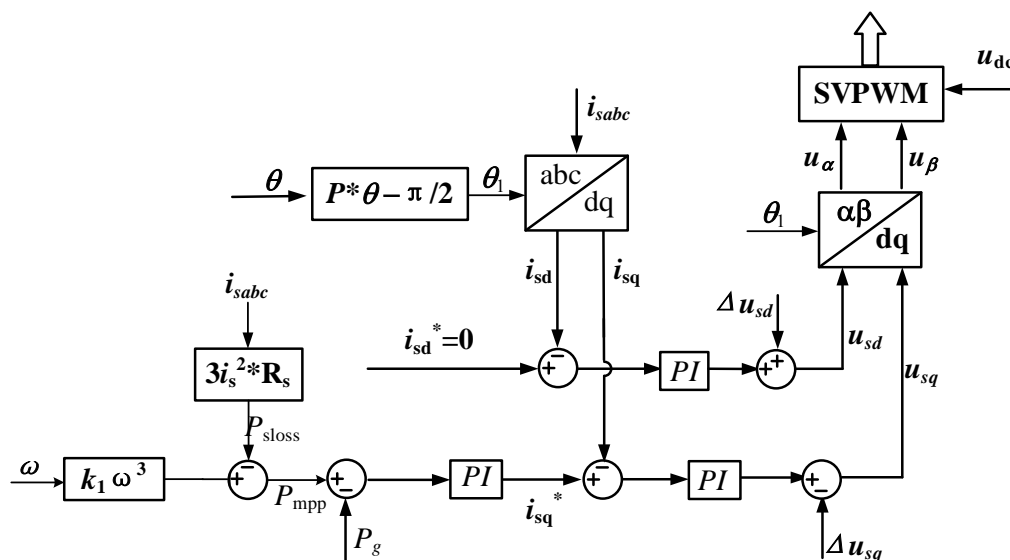


Figure 3. Structure diagram of Generator side control

图 3. 发电机机侧控制框图

控制。当直流母线电压稳定, 才能保证将风力机捕获的风能送入电网。直驱式永磁风力发电机网侧控制器的控制框图如图 4 所示。

网侧变换器在 d - q 坐标系下的数学模型为:

$$\begin{cases} u_{gd} = -R_g i_{gd} + L_g \frac{di_{gd}}{dt} + \omega_g L_g i_{gq} + e_{gd} \\ u_{sd} = -R_g i_{gd} + L_g \frac{di_{gd}}{dt} - \omega_g L_g i_{gq} \end{cases} \quad (12)$$

上式中, e_{gd} 、 e_{gq} 为电网电压的 d 、 q 轴分量, i_{gd} 、 i_{gq} 为电网电流的轴分量, R_g 、 L_g 为网侧变换器进线电抗器的电阻和电感, ω_g 为电网同步电角速度。

网侧控制器采用电网电压的矢量控制技术。假设电网 d - q 坐标系以同步转速旋转, 且 q 轴超前于 d 轴, 将电网电压定于 d 轴上, 则有风电系统网侧变换器的有功功率和无功功率为:

$$\begin{cases} P_g = e_{gd} i_{gd} + e_{gq} i_{gq} \\ Q_g = e_{gd} i_{gq} - e_{gd} i_{gd} \end{cases} \quad (13)$$

由上式可知, 控制参考电流 d 、 q 轴分量可实现有功功率和无功功率的独立控制。

5.3. 风力机变桨距控制

当风速超出风力机的额定风速, 此时需要对风力机的有功功率输出进行限制。即通过改变风力机桨距角 β 来减小风能捕获系数, 从而降低风力机对风能的捕获。将当前发电机的输出功率 P_w 与参考功率 P_w^* 进行比较, 误差经过 PI 控制器进入变桨执行机构产生所需要的 β^* , 风机桨距角发生相应的改变, 使风电单元的输出功率保持在参考值 P_w^* (图 5)。

5.4. 永磁风力发电机转子惯性控制

转子惯性控制是当检测到电网频率出现下跌时, 转子转速下降, 释放旋转动能, 阻止电网频率的进一步下降(图 6)。当检测到系统频率下跌大于设定值时, 转子惯性控制触发器动作, 频率偏差经过 PI 环

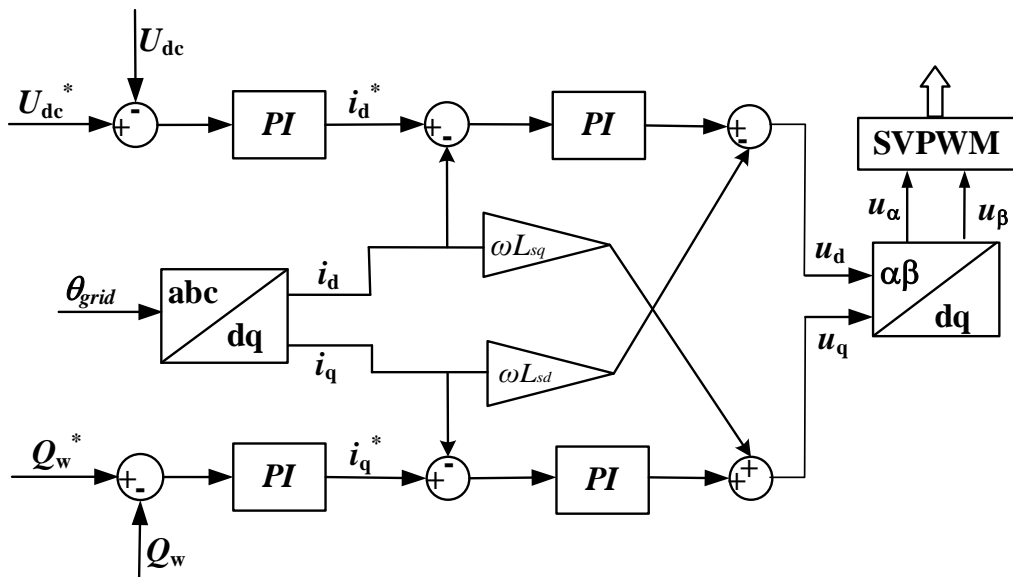


Figure 4. Structure diagram of wind generation grid side control
图 4. 风电网侧控制器

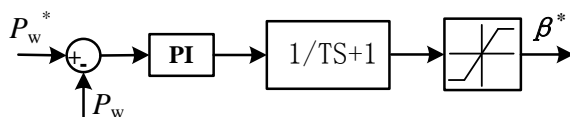


Figure 5. Structure diagram of wind turbine pitch control
图 5. 风力机变桨控制

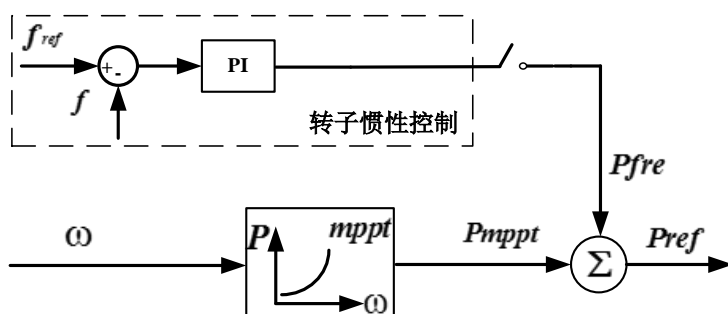


Figure 6. Structure diagram of virtual inertia control
图 6. 转子惯性控制

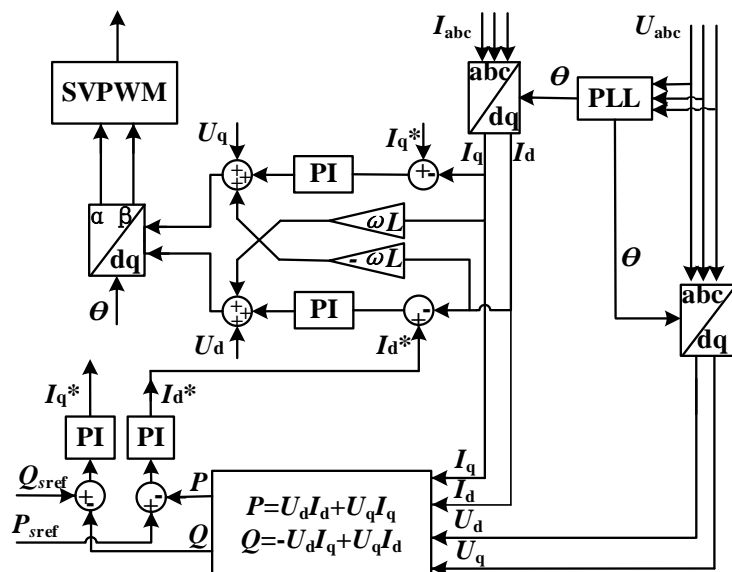


Figure 7. Structure diagram of Energy storage inverter power control
图 7. 储能逆变器功率控制

节的功率指令叠加到机侧变流器 MPPT 的功率指令上。为防止风力机损失过多的动能造成停机，当转子转速下降到额定值的 0.7 倍时，切断转子惯性控制器。

5.5. 储能恒功率控制

储能逆变器功率控制器结构图如上图 7 所示，储能逆变器采用功率电流双闭环控制，其中外环为功率环，内环为电流环。采用电网电压定向矢量控制，即实现对储能逆变器有功功率和无功功率输出的解耦控制。即分别控制参考电流 d 、 q 轴分量可实现有功功率与无功功率的独立控制。通过采集电网电压 u_{abc} 和逆变器并网电流 i_{abc} ，计算瞬时功率，并与功率给定值做差比较经 PI 控制器输出为电流内环参考值 i_d^* 、 i_q^* ，内环控制器经过 PI 补偿环节及前馈解耦最终得到调制电压参考 U_d 、 U_q ，经过 $dq/\alpha\beta$ 变换后，输出到空间矢量脉宽调制(SVPWM)模块，实现逆变器并网。

6. 仿真分析

6.1. 系统仿真参数与条件

基于 Matlab/Simulink 工具箱搭建了风储系统模型。本文采用等比例仿真, 本文选择频率调节动作死区为 49.5~50.5 Hz。电网额定容量 10 MW。风储系统参与电网频率调节时运行模式的选择与切换基于 Stateflow 工具箱实现。仿真时间为 100 s, 仿真时间选择从 0.5 s 开始(图 8)。本仿真中, 风力机半径为 27.5 m, 额定风速 12 m/s, 额定功率 1.1 MW, 永磁风力发电机极对数 42, 风电直流母线 1200 V。

6.2. 仿真分析

由 4.1 节中, 公式(3), (4)风储系统分时恒定可计算得风储系统输出期望值 P_T 为 550 kW。

如图 9 所示, 0.5~23 s, 电网频率正常, 风电直流母线电压维持在 1200 V, 永磁风力发电机运行在 MPPT 模式, 风储系统联络母线平滑向电网输出 500 kW 的功率, 系统运行在模式 I 与 II。

23~45 s, 电网频率出现下跌, 此时风速较高, 风力机叶片蕴含着较高动能, 此时转子惯性环节启动,

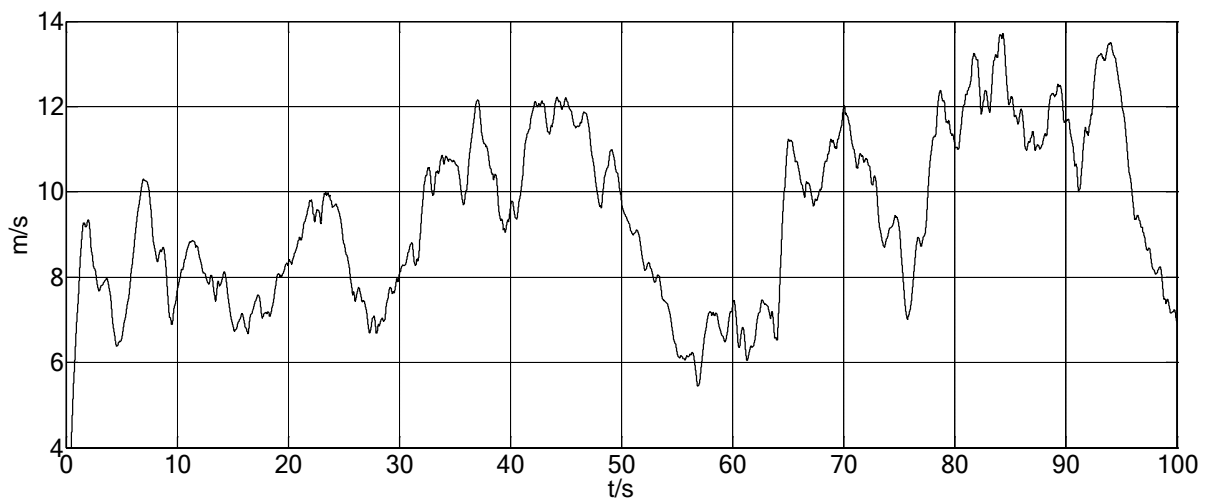
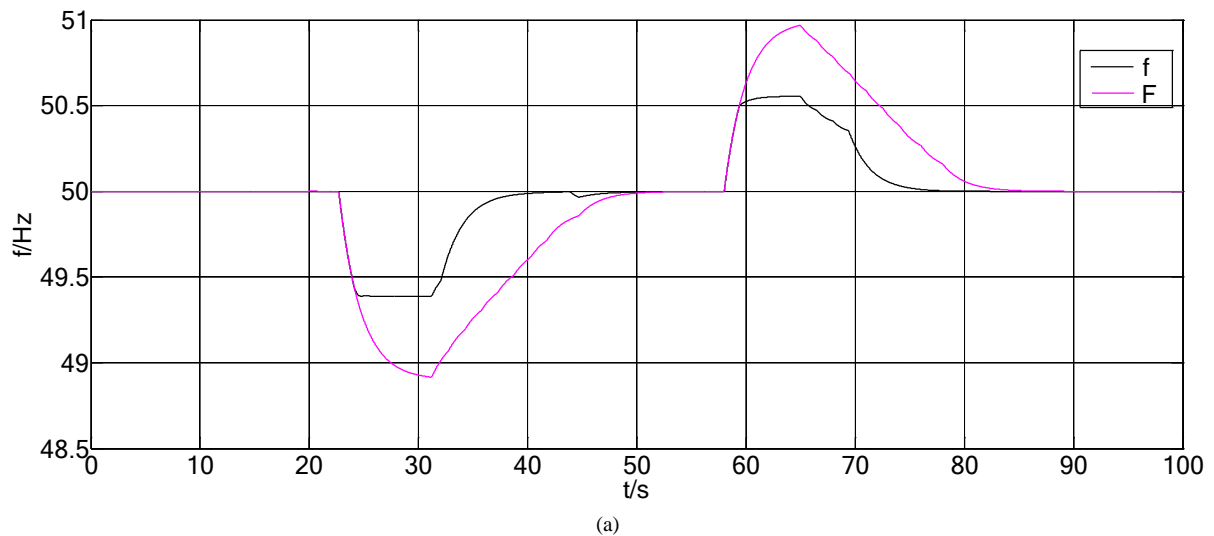
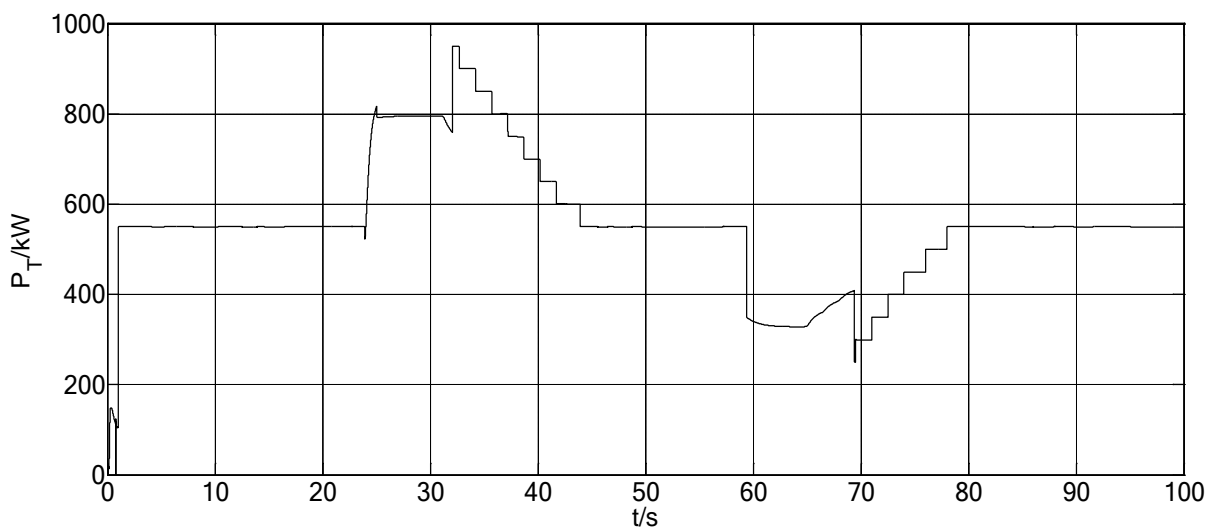


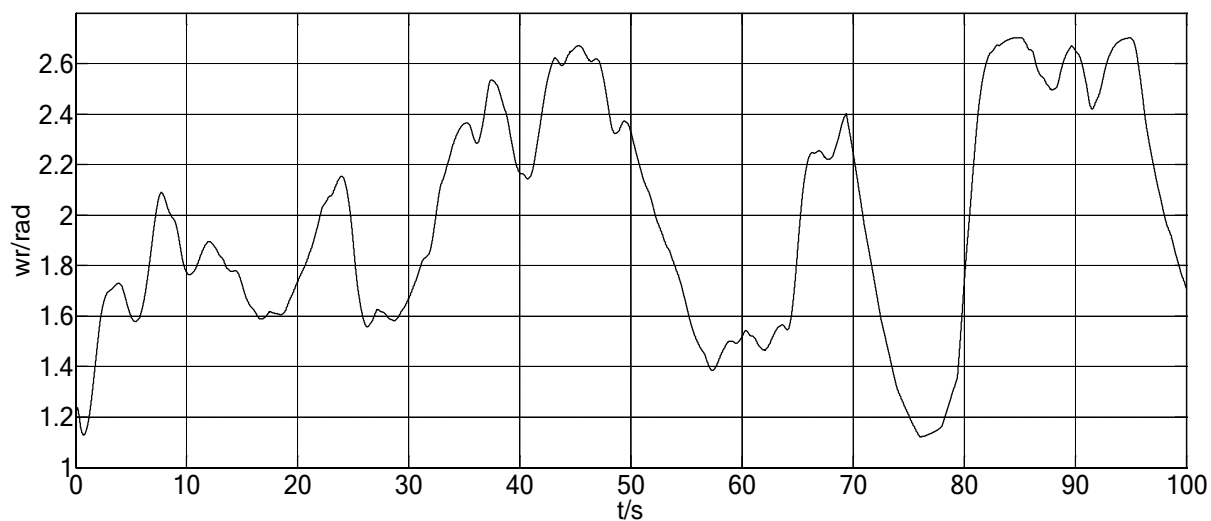
Figure 8. Wind speed curve

图 8. 风速曲线

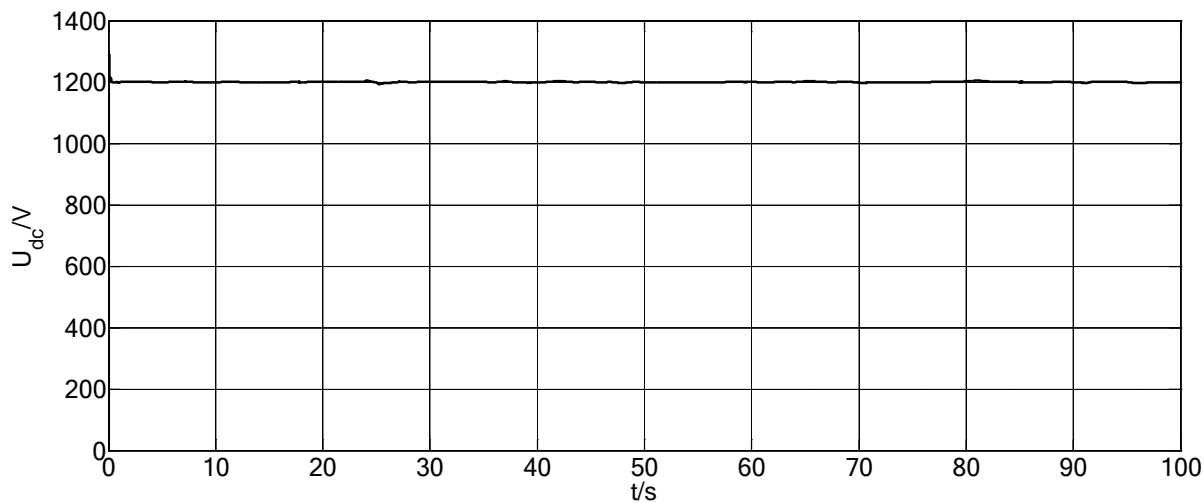




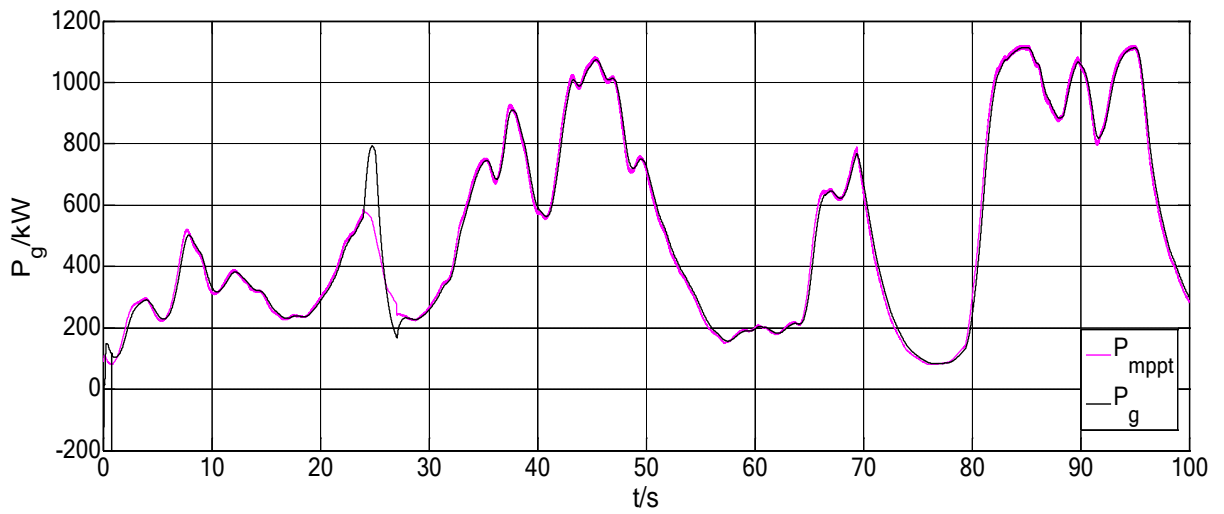
(b)



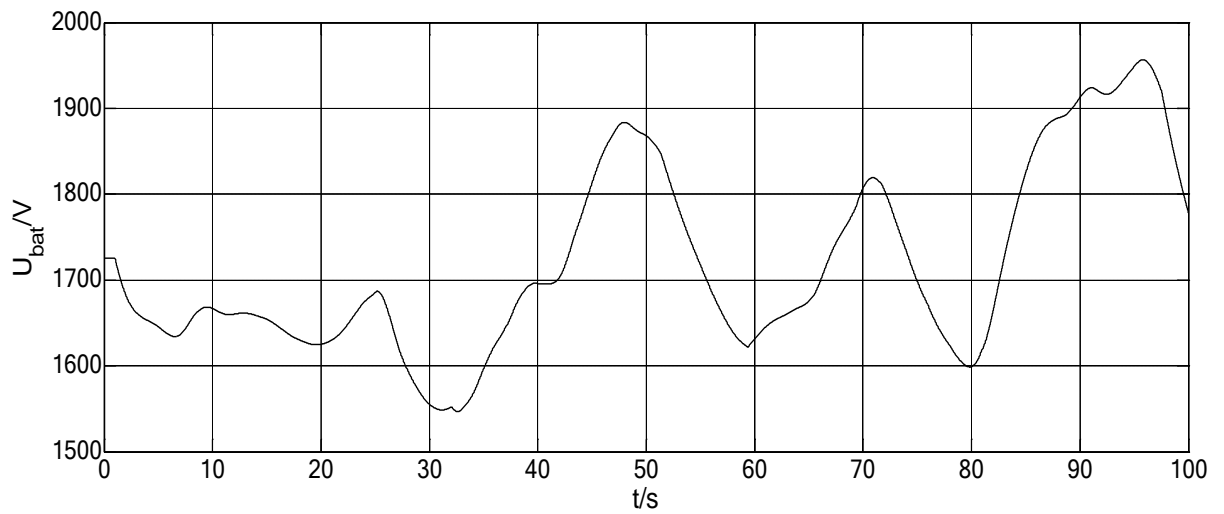
(c)



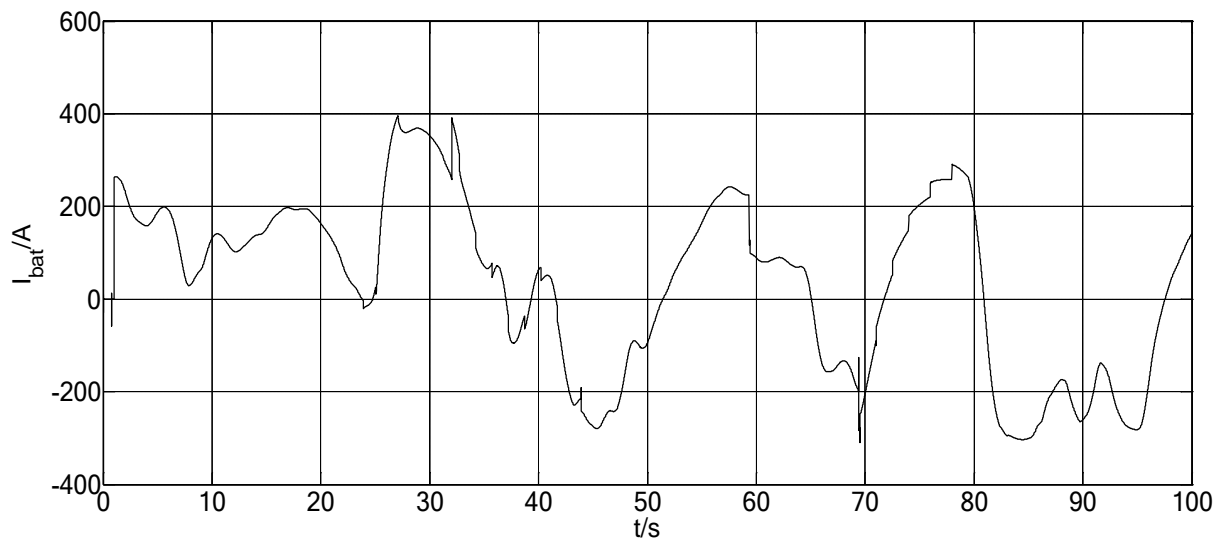
(d)



(e)



(f)



(g)

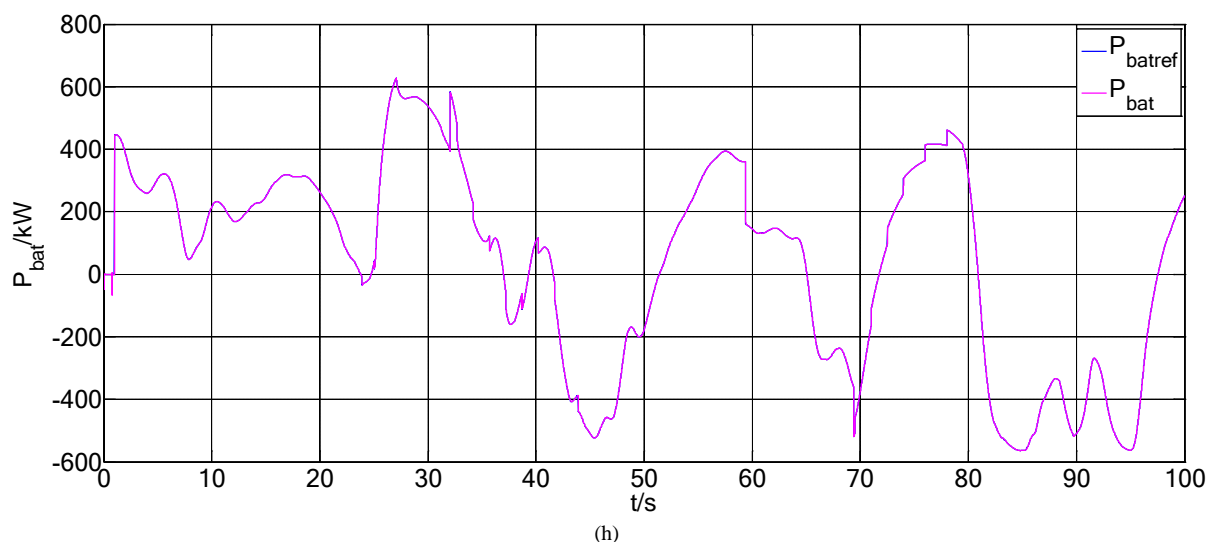


Figure 9. (a) Frequency comparison of wind-storage system before and after participation in grid frequency regulation; (b) Wind speed curve; (c) Rotor speed of PMSG; (d) DC link voltage of wind power system; (e) Comparison of MPPT power and actual power of PMSG; (f) Wind speed curve; (g) Wind speed curve; (h) Comparison of MPPT power and actual power of PMSG

图 9. (a) 风储系统参与电网频率调节前后电网频率对比; (b) 风储系统输出功率; (c) 发电机转子转速; (d) 风电直流母线电压; (e) 永磁风力发电机 MPPT 功率与实际功率对比; (f) 风速曲线; (g) 风速曲线; (h) 储能充放电参考功率与实际功率对比

释放动能参与调频, 系统运行在模式 III。当转子转速跌至 0.7 倍额定值时, 切断转子惯性控制, 启动转速恢复, 由储能增加放电功率参与电网一次调频, 延时 5 s 后, 储能参与电网二次调频, 使得电网频率恢复, 系统运行在模式 IV。

45~58 s, 电网频率正常, 永磁风力发电机运行在 MPPT 模式, 风储系统联络母线平滑。

58~82 s, 电网频率偏高, 储能启动, 参与电网的一次调频, 系统运行在模式 VII, 延时 10 s 后, 变桨控制启动, 使得风力机舍弃一部分动能, 针对系统惯性较大的问题, 配合储能, 使得电网频率恢复至正常值, 系统运行在模式 VIII。

82~100 s, 电网频率正常, 永磁风力发电机运行在 MPPT 模式, 风储系统联络母线平滑。

7. 总结

通过配置储能, 对风电削峰填谷, 提高了对风能的消纳能力。电网频率正常时, 保持风储系统母线有功功率输出平滑, 从而有效解决了风能的随机性。当系统频率异常时, 将风电的转子惯性控制、变桨控制及储能充放电功率控制相结合, 利用储能快速响应的优势, 共同参与系统的频率调节。仿真结果表明, 风储系统参与电网频率调节, 对电网系统的稳定具有一定的意义。

参考文献

- [1] 汪海蛟, 江全元. 应用于平抑风电功率波动的储能系统控制与配置综述[J]. 电力系统自动化, 2014(19): 126-135.
- [2] 唐西胜, 苗福丰, 齐智平, 等. 风力发电的调频技术研究综述[J]. 中国电机工程学报, 2014(25): 4304-4314.
- [3] 苗福丰, 唐西胜, 齐智平. 储能参与风电一次调频的容量优化[J]. 电工电能新技术, 2016(4): 23-29, 42.
- [4] 娄素华, 杨天蒙, 吴耀武, 等. 含高渗透率风电的电力系统复合储能协调优化运行[J]. 电力系统自动化, 2016(7): 30-35.
- [5] Choi, J.W., Heo, S.Y. and Kim, M.K. (2016) Hybrid Operation Strategy of Wind Energy Storage System for Power Grid Frequency Regulation. *IET Generation, Transmission & Distribution*, **10**, 736-749.

<https://doi.org/10.1049/iet-gtd.2015.0149>

- [6] 苗福丰, 唐西胜, 齐智平. 风储联合调频下的电力系统频率特性分析[J]. 高电压技术, 2015(7): 2209-2216.
- [7] 汪海蛟. 含高渗透率风电的电力系统频率控制[D]: [博士学位论文]. 杭州: 浙江大学, 2014.
- [8] 张明理, 徐建源, 李佳珏. 含高渗透率风电的送端系统电网暂态稳定研究[J]. 电网技术, 2013(3): 740-745.
- [9] 蒋平, 熊华川. 混合储能系统平抑风力发电输出功率波动控制方法设计[J]. 电力系统自动化, 2013(1): 122-127.
- [10] 李立成, 叶林. 变风速下永磁直驱风电机组频率-转速协调控制策略[J]. 电力系统自动化, 2011(17): 26-31.
- [11] 曹张洁. 双馈感应风电机组参与系统一次调频的控制策略研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 西南交通大学, 2012.
- [12] Xiang, R., Wang, X. and Tan, J. (2011) Operation Control of Flywheel Energy Storage System with Wind Farm. *Proceedings of the 30th Chinese Control Conference*, Yantai, 6208-6212.
- [13] Abed, N.Y., Teleke, S. and Castaneda, J.J. (2011) Planning and Operation of Dynamic Energy Storage for Improved Integration of Wind Energy. 2011 *IEEE Power and Energy Society General Meeting*, San Diego, 1-7. <https://doi.org/10.1109/PES.2011.6039258>
- [14] Muyeen, S.M., Hasaniien, H.M. and Tamura, J. (2012) Reduction of Frequency Fluctuation for Wind Farm Connected Power Systems by an Adaptive Artificial Neural Network Controlled Energy Capacitor System. *IET Renewable Power Generation*, 6, 226-235. <https://doi.org/10.1049/iet-rpg.2010.0126>

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: 2333-5394, 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: jee@hanspub.org