

# 风光储联合发电系统能量管理策略研究

李金鑫 张建成 周 阳

(华北电力大学 电力工程系, 河北 保定 071003)

**摘要:** 风力发电、光伏发电等可再生能源发电正迅速发展, 风、光随自然条件具有不稳定性, 简单的并入大电网, 会造成不利影响。介绍了结合储能系统实现风光储联合发电, 详细阐述了风光互补发电, 储能方式及应用模式, 采用低通滤波器原理应用储能系统对风、光功率波动性进行平滑处理, 该方法能有效平滑功率波动性, 为新能源并网提供理论基础。

**关键词:** 风光储; 储能电池; 联合发电; 能量管理

**作者简介:** 李金鑫(1986-) 男, 硕士研究生, 主要研究方向为新能源发电控制技术。

**中图分类号:** TM73 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-9529(2011)12-2026-04

**基金项目:** 国家自然科学基金资助项目(50677018, 51177047); 国家科技支撑计划课题项目(2011BAA07B02)

## Energy Management Strategy of wind-PV-ES Hybrid Power System

LI Jin-xin, ZHANG Jian-cheng, ZHOU Yang

(School of Electrical and Electronic Engineering, North China Electric Power University, Baoding 071003, China)

**Abstract:** In recent years, wind power, solar power, and other renewable power are gaining more and more attention at home and abroad. Because of the instability characteristics of wind and light, simply merging them into big grid will affect the grid adversely; therefore the wind-PV-ES hybrid power system is presented in this paper. The micro nets wind-light complementary, combined with composite energy storage technology to improve the power supply reliability and the power supply quality, aims at stabilizing wind power and photovoltaic fluctuations based on the principles of low-pass filter. It is indicated that this method can effectively stabilize power fluctuation and can provide some theoretical basis for the new energy.

**Key words:** wind-PV-ES hybrid power system; storage system; hybrid power system; energy management

**Foundation items:** The National Natural Science Foundation of China (50677018, 51177047)

由于风能和光能具有随机性、间歇性的特点, 独立的发电系统难以提供稳定、连续的功率输出, 采取风、光互补发电并加入储能装置, 形成风光储联合发电系统, 既可以充分利用风能和光能在时间及地理上的天然互补性, 也可以利用储能系统的充放电改善风光互补发电系统的功率输出特性, 减缓风、光发电的波动性和间歇性, 并实现功率的供需平衡, 降低其对电力系统的不利影响, 增加电力系统对可再生能源的吸收接纳程度。本文以风光互补发电结合储能电池来提高新能源供电可靠性, 提出联合发电系统运行控制的不同模式及各自模式下的能量控制策略。

## 1 风光互补发电组成及原理

风能和太阳能作为一种清洁的可再生能源, 受到世界各国的重视。由于受到地理分布、季节

变化、昼夜交替等影响, 风能和太阳能在时间上、地域上和上都有一定的互补性<sup>[1-2]</sup>。白天太阳光照最强时, 风较小, 晚上没有阳光, 风力则加强。在夏季, 光强而风小, 在冬季, 光弱而风大, 因而复合发电可以向电网提供更加稳定的电能。

风力发电与太阳能电池发电组成的联合发电系统结构如图 1 所示。它是由风机、太阳能光伏阵列、蓄电池组、充放电控制器、逆变器、监控系统等组成<sup>[3-4]</sup>。风力机及光伏电池发出的电通过控制器储存在蓄电池组中, 当负载用直流电时, 通过控制器将直流电直接输送给负载; 当负载用交流电时, 则需要经逆变器将直流电转变为交流电再输送给负载。

由于风机出力、光伏发电出力具有较强的互补性, 可以基本上达到功率的平稳性, 但是在较小范围内的功率波动仍然影响其功率输出。风机单

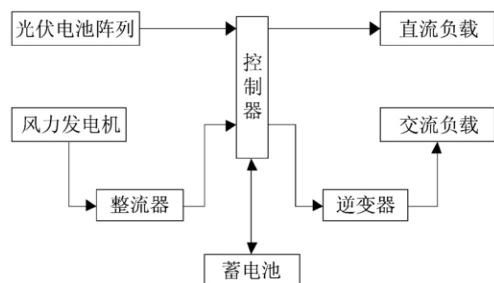


图1 风光储联合发电系统结构

元、光伏发电阵列具有不可调度性,通常是基于最大功率跟踪运行。

## 2 风光储联合发电系统控制目标及策略

风光储联合发电系统接入大电网稳定运行需要实现3种控制目标:功率平滑输出、跟踪计划出力、跟踪实时负荷出力<sup>[5]</sup>。本文研究发电系统的功率平滑输出,减小波动性,使其可调度性大大加强。

风光储联合发电系统功率平滑输出包括对风力发电和光伏发电的短周期功率波动(30min级)和长期波动(h级)的功率平滑,以增强可再生能源功率输出的平稳性<sup>[6]</sup>。平抑短周期功率波动所需配置的储能电池的功率和容量较小,但平滑所得功率波动性仍较大;而平抑长期波动得到的功率输出更加稳定,峰谷差更小,但同时所需配置的储能电池功率和容量也较大。

联合发电系统的功率控制策略主要以功率数据预测和控制目标作为前提由控制储能系统的充放电过程来实现,平滑功率输出模式下储能电池的充放电策略如下。

(1) 当联合发电系统功率输出较大时,对储能电池充电;输出较小时,储能电池进行放电。

(2) 根据电池容量和预测功率合理选择电池充放电区间,尽可能地维持总功率输出稳定,减少电池的充放电次数,以延长其使用寿命。

(3) 在联合发电系统功率输出波动性较小时,蓄电池容量充裕,可将部分容量参与系统削峰填谷。

## 3 联合发电系统能量管理策略

### 3.1 平滑原理

针对波动性较大的风、光发电功率的平滑问题,利用低通滤波器原理对输入信号幅值进行相

应处理<sup>[7-10]</sup>,即幅值趋势增则减处理,幅值减则增处理,达到输出信号平滑的目的来减小功率波动性。

低通滤波器的数学模型为

$$\tau Y' + Y = X \quad (1)$$

式中  $X$  为输入量;  $Y$  为输出量;  $\tau$  为时间常数。

由式(1)可得,振幅相同的输入信号,越高的频率,输出信号的幅值越小;当时间常数  $\tau$  增大时,输出信号的频率变小、波形就越趋于平稳<sup>[11]</sup>。假设  $t$  为功率平滑周期,对式(1)离散化,令  $t_k = kt$  ( $k=1, 2, 3, \dots, n$ ),在某一时刻有

$$\tau \frac{Y_k - Y_{k-1}}{t} + Y_k = X_k \quad (2)$$

可得

$$Y_k = \frac{\tau}{\tau + t} Y_{k-1} + \frac{t}{\tau + t} X_k \quad (3)$$

由式(3)可知,由某时刻的  $X_k$ 、前一时刻的  $Y_{k-1}$  和值,计算可得经平滑处理后的  $Y_k$ 。其中  $X_k$  相当于风电输出功率  $P_{wk}$ 、光伏输出功率  $P_{vk}$ ,  $Y_k$  相当于平滑后风电功率  $P_{woutk}$ 、光伏功率  $P_{voutk}$ 。

由  $X_k$ 、 $Y_k$  得到储能系统吸收功率

$$P_b = X_k - Y_k \quad (4)$$

通过软件编程实现功率平滑,得到满足要求的功率曲线。

### 3.2 蓄电池能量管理

为满足蓄电池对风、光功率平滑响应速率的要求,对其采用分阶段分组充放电方式,这种模式也可以提高蓄电池的使用效率并有效延长其使用寿命<sup>[12]</sup>。其充放电过程为:

(1) 首先对所有蓄电池进行充电,并实时监测各组蓄电池的电压,当某一组电池电压达到最高值时,停止对其充电。

(2) 然后对其他电池继续充电,同时实时监测各组电池电压值,直到每组电池均充电完成。

放电过程类似充电过程,首先令各组电池放电,并监测各组电压值,当某组电压降到最低值时,停止对其放电。然后令其他电池继续放电,并实时监测电压值,直到各组电池放电完毕。

充电程序流程如图2所示。

## 4 仿真实例

根据文中功率平滑原理,采用VC6.0平台编程实现对风、光功率曲线的平滑处理,实现联合发

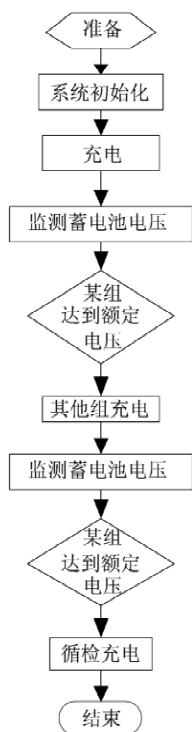


图2 充电程序流程图

电系统功率平滑输出的控制目标。

设置风电输出功率在 10 ~ 100 MW 区间,光伏输出功率在 10 ~ 50 MW 区间,采用储能电池容量为 20 MW,将输入的风、光功率通过储能电池充放电来实现波动功率的平滑,平滑周期 = 15 min,滤波时间常数取 30 min,得到运行结果如图 3 所示。

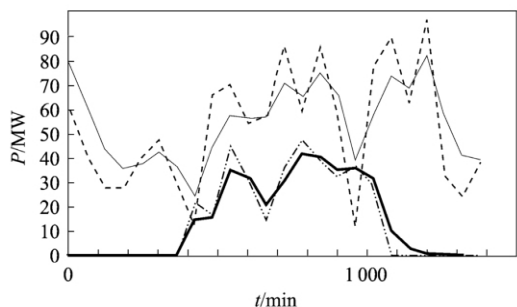


图3 风、光功率平抑效果对比图

在平滑前风电功率、光伏功率均波动很大,经储能平抑后,曲线变得平滑,波动性明显减小,根据平滑所得较为平缓的功率曲线可以进行发电计划的制定以及有功功率的输出控制。

图 4 给出了储能电池充放电曲线图,风电功率、光伏功率分别由各自储能来控制,通过调节充放电周期  $t$ ,以及时间常数  $\tau$  的值可以改变曲线的

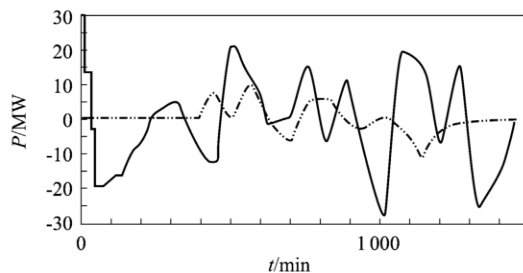


图4 储能系统功率变化曲线

平滑度,得到满足不同需求的功率形式。采用分段分组充放电策略后,将两平滑点之间充放电过程细化,使平滑更趋平缓。

在该算例中,当  $\tau$  取 30 min 时,风电输出功率 10 min 最大变化率减小了 52%,1 min 最大变化率减小了 32%;光伏输出功率 10 min 最大变化率减小了 37%,1 min 最大变化率减小了 29%。

由以上结果可以看出,文中提出的根据一阶低通滤波器原理,由储能电池进行功率波动性平滑是切实可行的。

### 5 结论

风光储联合发电系统构成的结构,可以弥补风能和太阳能发电存在的缺点,为保证能源的最大利用率,风力发电和光伏发电系统采用最大功率点跟踪控制策略,输出有功功率存在较大波动。本文提出采用蓄电池储能技术来平滑间歇性电源的功率波动,调节输出有功功率,能够实现风能与光伏平滑、稳定、持续的并网运行,既可以有效降低系统供电成本,也能提高风光互补发电的经济效益。

#### 参考文献:

[1] 盛 鹏,孔 力,齐智平,等. 新型电网——微网(micro-grid)研究综述[J]. 继电器, 2007, 35(12): 75-81.  
SHENG Kun, KONG Li, QI Zhi-ping, et al. A survey on research of microgrid—a new power system[J]. Relay, 2007, 35(12): 75-81.

[2] 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 Zong-xiang, WANG Cai-xia, MIN yong, et al. Overview on microgrid research[J]. Automation of Electric Power System, 2007, 32(9): 100-107.

[3] 鲁鸿毅,何奔腾. 超级电容器在微型电网中的应用[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(2): 87-91.  
LU Hong-yi, HE Ben-teng. Application of the Super-capacitor in a MicroGrid[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(2): 87-91.

# 基于 ASCA 实时平台的谐波潮流仿真研究

刘 隽<sup>1</sup>, 何维国<sup>1</sup>, 夏 锐<sup>2</sup>, 李新雄<sup>2</sup>

(1. 上海市电力公司, 上海 200025; 2. 深圳市领步科技有限公司, 广东 深圳 518055)

**摘要:**介绍了一种基于 ASCA 实时平台的谐波潮流实时仿真计算方法。建立了电力网络各元件的谐波模型及参数,在此基础上建立供电网络稳态谐波潮流计算模型,并以某钢厂供电网络进行仿真,分析了仿真结果。

**关键词:**谐波潮流; 实时仿真; 供电网络; ASCA

**作者简介:**刘 隽(1979-)女,博士,工程师,主要研究方向为电力系统稳定和控制。

**中图分类号:**TM74 **文献标志码:**B **文章编号:**1001-9529(2011)12-2029-04

## Simulation Research of Harmonic Power Flow Based on ASCA Real-Time Platform

LIU Jun<sup>1</sup>, HE Wei-guo<sup>1</sup>, XIA Rui<sup>2</sup>, LI Xin-xiong<sup>2</sup>

(1. Shanghai Municipal Electric Power Company, Shanghai 200025, China;

2. Shenzhen Linbo Technology Co., Ltd., Shenzhen 518055, China)

**Abstract:** This paper introduces a simulation calculation method for harmonic power flow based on ASCA real-time platform. The harmonic models and parameters of the components in power system are presented, whereby the calculation model for the steady-state harmonic power flow in power supply network is established. The power supply network in a steel plant is taken as an simulation example and the simulation results are analyzed.

**Key words:** harmonic power flow; real-time simulation; power supply network; ASCA

本文介绍了一种应用 ASCA 平台上的基波潮流计算工具,在其基础上进行谐波潮流计算,可以在电网任意节点注入各类谐波源,实时计算电网任意节点的谐波静态分布,通过某钢厂供电网络

的实时仿真分析,达到满意的效果。

电力系统谐波潮流计算有各种不同的方法,主要有非线性时域分析法、线性分析法、非线性频域分析法、解耦算法、线性分析法速度快、收敛性

- [4] 程时杰,文劲宇,孙海顺. 储能技术及其在现代电力系统中的应用[J]. 电气应用,2005,24(4):1-8.  
CHEN Shi-jie, WEN Jin-yu, SUN Hai-shun. Application of pwer energy storage techniques in the modern power system [J]. Electrotechnical Application 2005 24(4):1-8.
- [5] 李 爽. 风/光互补混合系统优化设计[D]. 中国科学院电工研究所,2001.
- [6] 王建彬. 风/光互补发电系统的管理控制初探[D]. 广东工业大学,2008.
- [7] 刘树民,王若栋. 光伏与风力发电互补上网的若干技术问题[J]. 国际电力,2005(3):30-33.  
LIU Shu-min, WANG Ruo-dong. Some key issues on connecting a PV generation station combined with a wind power farm directly to a power grid[J]. International Electric Power for China, 2005, 9(3):30-33.
- [8] 彭文峰. 风光电互补节能系统中的关键技术研究[D]. 国防科学技术大学,2005.
- [9] 高 研,毕 锐,杨 为,等. 分布式发电对配电网继电保

- 护的影响[J]. 电网与清洁能源,2009,25(04):20-23.  
GAO Yan, BI Rui, YANG Wei, et al. Effect of distributed generation on relay protection in distribution system [J]. Advances of Power System & Hydroelectric Engineering, 2009, 25(4):20-23.
- [10] HOFF T E, WENGE H J, FARMER B K. Distributed generation: An alternative to electric utility investments in system capacity [J]. Energy policy, 24(2):137-147, 1996.
- [11] AKTARUJJAMAN M, KASHEM M A, NEGNEVITSKY M, et al. Control stabilisation of an islanded system with DFIG wind turbine [C]. First International Power and Energy Conference PEC on 2006, 2006, 312-317.
- [12] PENA R, CLARE J C, ASHER G M. Doubly fed induction generator using back-to-back PWM converters and its application to variable-speed wind-energy generation [J]. IEE Proc. Electric Power Applications, 1996, 143(3):231-241.

收稿日期:2011-08-29

本文编辑:王志胜